



# EESTI-LÄTI IV ÜHENDUSE ÜLEKANDESÜSTEEMI ELEKTROMAGNETVÄLJADE MÕJU HINNANG

Projekti tähis: LEEEEE25035

Aruande kuupäev: 25.11.2025

Tallinna Tehnikaülikool 2025

## Sisukord

1	Üldist .....	4
2	Elektromagnetväljade toime hindamine elusloodusele ja inimesele.....	6
2.1	EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon .....	7
2.2	ICNIRP soovitusel EMV piirtasemete kehtestamiseks.....	8
2.2.1	ICNIRP EMV kokkupuute hindamise süsteem ja lähtekohad.....	10
2.2.2	Tervisemõjude ajakohasus ja uuendamine .....	11
2.2.3	ICNIRP baassuurused ja baaspiirangud.....	12
2.2.4	Elektromagnetvälja tasemete piirväärtused.....	14
2.3	EMV mõju kriteeriumid antud aruandes.....	14
2.3.1	EVSM2025 piirnorme ületav ala „1“ .....	15
2.3.2	EMV intensiivse mõju ala „2“ .....	15
2.3.3	EMV märgatava mõju ala „3“ .....	16
2.3.4	EMV nõrga või väga nõrga mõju ala „4“ .....	16
2.4	EMV tasemete hinnangu alus .....	17
3	Elektrienergia ülekandeliinid ja nende talitlussuurused.....	19
3.1	Elektrisüsteemi talitlussuurused .....	20
3.2	Vahelduvtoitesüsteem .....	20
3.3	Kolmefaasiline vahelduvtoitesüsteem.....	22
4	Elektromagnetväljade tasemete analüüsi meetodika .....	24
4.1	Elektri- ja magnetväljasuuruste arvutamise üldised põhimõtted .....	24
4.2	Ülekandeliinidega seotud elektri- ja magnetväljasuuruste seosed.....	25
5	Üheaheelalise 330 kV õhuliini elektromagnetvälja hinnang.....	27
5.1	Õhuliini mastid ja juhtide paigutus.....	27
5.2	Õhuliini faasijuhid ja isolaatorid.....	29
5.3	Juhtide riipe ja madalaimad juhtide asukohad .....	29
5.4	Õhuliini EMV hinnangu alused ja arvutus.....	30
5.4.1	Õhuliini emiteeritava EMV hindamise mudelis rakendatav geomeetria ..	30
5.4.2	Elektrilised talitlustingimused .....	32
5.5	Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks.....	32

5.6	Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks.....	34
5.7	Õhuliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes .....	35
5.8	Kommentaar 330 kV õhuliini poolt põhjustatava EMV juurde.....	37
5.8.1	Üldised aspektid olmekeskkonna seisukohtadest .....	37
5.8.2	Tehnilised aspektid .....	39
6	Kaheaabelaline 330 kV + 110 kV õhuliin .....	41
6.1	Õhuliini mastid ja juhtide paigutus.....	41
6.2	330 kV + 110 kV õhuliini faasijuhid ja isolaatorid .....	43
6.3	Juhtide riipe ja madalaimad juhtide asukohad .....	44
6.3.1	Õhuliini poolt emiteeritava EMV hindamise mudelis rakendatav geomeetria .....	45
6.3.2	Elektrilised talitlustingimused .....	47
6.4	Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks.....	47
6.5	Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks.....	48
6.6	330 kV + 110 kV õhuliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes50	
6.7	Kommentaar 330 kV + 110 kV õhuliini poolt põhjustatava EMV juurde .....	52
6.7.1	Üldised aspektid olmekeskkonna seisukohtadest .....	52
6.7.2	Tehnilised aspektid .....	53
7	Maakaabelliini elektromagnetvälja hinnang.....	57
7.1	Maakaabelliini geomeetria .....	57
7.2	Maakaabelliinis kasutatavad kaablid ja koormused .....	58
7.3	Maakaabelliini EMV hinnangu alused ja arvutus .....	59
7.3.1	Maakaabelliini arvutustes rakendatav geomeetria .....	59
7.3.2	Elektrilised talitlustingimused .....	61
7.4	Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks.....	61
7.5	Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks.....	61
7.6	Maakaabelliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes	63
7.7	Kommentaar 330 kV maakaabelliini poolt põhjustatava EMV juurde .....	65
8	Merekaabelliini elektromagnetvälja hinnang.....	67
8.1	Merekaabelliini geomeetria .....	68

8.2	Merekaabelliinis kasutatavad kaablid.....	68
8.3	Merekaabelliini EMV hinnangu alused ja arvutus.....	69
8.3.1	Maakaabelliini arvutustes rakendatav geomeetria .....	70
8.3.2	Elektrilised talitlustingimused .....	71
8.4	Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks.....	72
8.5	Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks.....	72
8.6	Merekabelliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes	73
8.7	Kommentaari 330 kV merekaabelliini poolt põhjustatava EMV juurde.....	74
9	EMV tasemete mõõtmine.....	76
9.1	Osalises talitluses läbi viidavad mõõtmised .....	76
9.2	Nimitalitluses ülekandesüsteemi komponentide mõõtmine .....	77
9.3	Harmoonikud ja kõrgema sagedusega komponendid .....	78
9.4	Üldised nõuded mõõtetevusele .....	79
9.5	Ohutushinnangu esitamine mõõtetulemusele tuginedes.....	80
10	Kõrgsageduslikud häiringud ja EMV komponendid .....	82
10.1	Harmoonikud ja üliharmoonikud .....	83
10.2	Kõrgsageduslikud häiringukomponendid.....	84
LISA A	.....	86
A.1	Kandemasti tüüp 3S0G .....	86
A.2	Kandemasti tüüp 3S0F.....	86
A.3	Isolaatorkett .....	86
A.4	Kaheaahelaline kandemast 31S0GD.....	86
A.5	Kaheaahelaline kandemast 31S0P .....	86

# 1. Üldist

Antud eksperthinnang kirjeldab hinnangulist elektri- ja magnetväljade (edaspidi **EMV**) taset Eesti-Läti IV ühenduse elektriülekandeliinide lähiümbruses.

Ekspert hinnangu eesmärgiks on anda ülevaade alljärgnevast EMV tasemetest hinnang, lähtudes ohutusest inimesele ja loodusele. Selleks kirjeldatakse EMV oodatavaid potentsiaalseid tasemeid planeeritud liinikoridori vahetus ümbruses, kuni u 100 m kaugusel liini keskteljest. Vaadeldavateks olukordadeks on:

- üheaheelalise 330 kV ülekandeliini lähiümbrus;
- 330 kV + 110 kV kaheaheelalise õhuliini lähiümbrus;
- 330 kV maakaabelühenduse lähiümbrus;
- 330 kV merekaabli lähiümbrus.

Esitatavate hinnangute aluseks on elektriülekandeliinide poolt tekitatavate EMV tasemetest võrdlus sotsiaalministri 1. septembri 2025. a määruses nr 45 „Mitteioniseeriva kiirguse ohutuse tagamise nõuded ja hindamise kord“ toodud piirtasemetega. EMV mõjuhinnangu aluseks loetakse, et määruses kirjeldatud piirtasemetest allapoole jäävatel elektri-, magnet- ja elektromagnetväljade tasemetest korral võib EMV poolt avaldatava mõju inimesele lugeda minimaalseks või olematuks.

Käesolevas aruandes esitatud analüüsi teostasid Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi spetsialistid:

- Lauri Kütt, kaasprofessor tennurirajal,  
e-post [lauri.kutt@taltech.ee](mailto:lauri.kutt@taltech.ee),  
tel. 620 3806;
- Aleksander Kilk, elektrotehnika valdkonna ekspert,  
e-post [aleksander.kilk@taltech.ee](mailto:aleksander.kilk@taltech.ee);
- Hendrik Keltmann, insener.

Aruande koostas:

- Lauri Kütt, kaasprofessor tennurirajal,  
e-post [lauri.kutt@taltech.ee](mailto:lauri.kutt@taltech.ee),  
tel 620 3806.

Teostaja üldkontakt:

Elektrotehnika ja mehhatroonika instituut  
Tallinna Tehnikaülikool  
Ehitajate tee 5  
e-post [ee@taltech.ee](mailto:ee@taltech.ee)  
tel 620 3300

**Käesoleva analüüsi tulemusena esitatud järeldused EMV tasemete ohutuse kohta kehtivad ainult siin aruandes esitatud alusmaterjalile ja aruande sisus esitatud valikukriteeriumide korral. Aruande sisus esitatut ei tohi üldistada ilma lähteandmete konteksti arvestamata ning aruande osalisel esitamisel tuleb kaasata kogu esitatavas alamosas viidatud lähtematerjal, sh hinnangu lähtekohtade ja ohutushinnangu kriteeriumid, alusjoonised ja talitluskriteeriumide täpsustused.**

## 2. Elektromagnetväljade toime hindamine elusloodusele ja inimesele

Käesolev aruanne esitab analüüsi tulemuse, mille alusel on võimalik hinnata elektromagnetväljade (EMV) tasemeid Eesti-Läti IV ühenduse elektrienergia ülekandeliinide vahetus ümbruses. Hinnang tugineb EMV piirväärtustele, mis on esitatud sotsiaalministri 1. septembri 2025. a määruses nr 45 „*Mitteioniseeriva kiirguse ohutuse tagamise nõuded ja hindamise kord*“ (edaspidi **EVSM2025**). Analüüsi tulemusena esitatakse asukohtades EMV suuruse hinnang ja selle suuruse tähendus tervisemõju seisukohtadest.

Hinnangu tulemus esitatakse nelja eri EMV taseme kontekstis järgnevalt.

**1 – alad, kus EMV tasemed võivad eeldatavalt ületada EVSM2025 määruses esitatud piirtasemeid;** sellised alad ei ole sobilikud inimese alaliseks viibimiseks (ajutine viibimine ei ole piiratud).

**2 – alad, kus EMV tasemed võivad eeldatavalt ületada EVSM2025 määruses esitatud piirtasemeid, kui alasse paigutada täiendav tugev EMV allikas;** inimese sellises alas viibimine ei ole piiratud, kuid lisanduvate EMV allikate mõjul võib EVSM2025 piirtase osutuda ületatuks.

- Viimatinimetatud juhtumil ei ole sellised alad sobilikud inimese alaliseks viibimiseks (ajutine viibimine ei ole piiratud).

**3 – alad, kus EMV tasemed ei ületa EVSM2025 määruses esitatud tasemeid, kuid ülekandesüsteemist emiteeritud EMV on siiski peamine EMV taseme kirjeldaja.** Sellises alas on EMV mõõtmisel selgelt tuvastatav ülekandeliini poolt tekitatud väljatugevuse suurus.

**4 – alad, kus ülekandesüsteemi komponentidest emiteeritud EMV tase on selline, et see ei eristu** muudest majapidamises või olmetegevuses kaasnevatest EMV tasemetest. Sellises alas on EMV mõõtmisel ülekandeliini poolt tekitatud väljatugevuse suurus ei pruugi olla üheselt tuvastatav, kuna väga paljud muud olmekeskkonnas töötavad seadmed ja paigaldised võivad tekitada samaväärse suurusega EMV taseme.

**Inimese alalisest EMV mõjualas viibimisest tingitud tervisemõju seisukohast tuleb märkida alad „1“ kui ebasobivad. Alas „2“ tuleb olla ettevaatlik täiendavate olulise EMV emissiooniga komponentide korral. Ohututeks saab lugeda alad „2“, „3“ ja „4“.**

**Tähelepanu! Antud hinnang käsitleb ainult esitatud asukohas alalist viibimist, st alast lahkumata kohaolekut pikema ajaperioodi jooksul kui 24 h. Ajutist viibimist antud regulatiivne alus ei piira ja lühiajaline asukohas viibimine sellele tuginevalt ei too oodatavalt kaasa olulisi tervisemõjusid.**

Tähelepanu tuleb juhtida ka asjaolule, et töökeskkonnas esinevate EMV tasemete piirtasemed tervisele avalduva mõju seisukohast on esitatud Vabariigi Valitsuse 1. aprilli 2016. a määruses nr 44 „Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded elektromagnetväljadest mõjutatud töökeskkonnale, elektromagnetväljadega kokkupuute piirnormid ja rakendusväärtused ning elektromagnetväljade mõõtmise kord“. Seal on sätestatud piirtasemed 8 h EMV mõjualas viibimise korral, mis on olmekeskkonnale esitatud piirtasemetest 4 või enam korda kõrgemad.

Hinnangu esitamiseks on analüüs teostatud alljärgnevalt.

- Esitatakse geomeetriliste ja elektriliste parameetritega seotud mudel, mis on aluseks edasistele arvutustele.
- Mudelile tuginevalt viiakse läbi arvutusprotsess, mille tulemusena selgitatakse numbrilised suurused nii elektriväljatugevuse kui magnetvootiheduse osas.
- Arvutusprotsessist saadud numbrilisi suuruseid võrreldakse Eestis kehtivate piirtasemete suhtes. Seadusandlikuks aluseks on Sotsiaalministri määrus „Mitteioniseeriva kiirguse ohutuse tagamise nõuded ja hindamise kord“.
- Juhul, kui mingis lõigus on numbriliselt selgitatud tulemus kõrgem, kui ülaltoodud piirtase, esitatakse mäрге, kus antud lõigus esineva EMV taseme tõttu tuleb tervisekaitse eesmärkidel alalist viibimist vältida.
- Juhul, kui mingis lõigus on numbriliselt selgitatud tulemus madalam, kui ülaltoodud piirtase, esitatakse mäрге, kus antud lõigus esineva EMV taseme tõttu ei ole oodata olulist tervisemõju ja selles alas inimese viibimisele piiranguid ei esitata.

## 2.1. EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon

Inimese jaoks ohutuse tagamiseks EMV kontekstis on Eestis rakendatud kaks piirväärtusi kehtestavat riikliku määrust.

- Avalikes, elu- ja puhkeruumides inimese tervisele ohutud elektri-, magnet- ja elektromagnetvälja tasemed kehtestatud Eesti sotsiaalministri määrusega „Mitteioniseeriva kiirguse ohutuse tagamise nõuded ja hindamise kord“ (kehtiv alates 01.09.2025, edaspidi siin aruandes **EVSM2025**). Määrus tugineb otseselt Euroopa Liidu nõukogu soovitusel 1999/519/EC, mis omakorda viitab Rahvusvahelise Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjoni (ICNIRP) poolt välja töötanud rakendusväärtustele (RV).
- Töökeskkonnas reguleerib EMV tasemeid ja nende ohjet Eest Vabariigi Valitsuse määrus „Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded elektromagnetväljadest mõjutatud töökeskkonnale, elektromagnetväljadega kokkupuute piirnormid ja rakendusväärtused ning elektromagnetväljade mõõtmise kord“ (praegu kehtiv redaktsioon kehtiv alates 1.09.2019, edaspidi siin aruandes **EVVM2019**) tugineb EL direktiivile 2013/35/EL. Direktiivi ning siseriikliku määrusega on sätestatud inimese elektromagnetväljadega kokkupuute piirnormid ehk biofüüsikaliste ja

bioloogiliste kaalutluste alusel kindlaks määratud normid, eelkõige teaduslikult tõendatud alustel lühiajaline ja akuutne otsene mõju, muu hulgas soojuslik mõju ja kudede elektristimulatsioon.

Käesolevas ekspertiisiaruandes tuginetakse EMV mõju osas keskkonnale võrdlusalusena piirväärtustele, mis on kehtestatud avalike alade, elu- ja puhkeruumides EVSM2025 alusel (Tabel 2-1). Nimetatud piirtasemeid kasutatakse keskkonnale avaldatava mõju hinnangu alusena läbivalt kogu käesoleva eksperthinnangu aruandes. EVSM2025 määruses kehtestatud tasemed tuginevad ICNIRP (vt järgnev lõik) poolt välja töötatud piirväärtustele. Regulatsiooni täitmist Eestis jälgib Terviseamet.

Piirväärtused esitatakse iga diskreetse sageduskomponendi kohta, millisega saab kirjeldada EMV suurust esituses sagedusvallas. Sagedusvallas suuruste kirjeldamine tähendab seda, et mingi ajalisel esituses suurus jagatakse üksikuteks erinevatel sagedustel võnkuvateks komponentideks, mis samas summaarselt vastavad väärtuselt samale aegses realsele suurusele. Selline sagedusvallas esitus võimaldab paremat mõjutajate ja toime eristamist. Näiteks 50 Hz võrgusagedusel esinev EMV lähtub 50 Hz võrgutoitel töötavatest süsteemidest jne.

Tabel 2-1. Eesti Vabariigis sotsiaalministri määrusega kehtivad väärtused (EVSM 2025), ühtlasi ICNIRP 1998 väärtused.

Sagedus	Elektrivälja tugevus, V/m	Magnetvootihedus, $\mu\text{T}$
1–8 Hz	10 000	$4 \cdot 10^4 / f^2$
8–25 Hz	10 000	$5\,000 / f$
25–800 Hz	$2,5 \cdot 10^5 / f$	$5\,000 / f$
0,8–3 kHz	$2,5 \cdot 10^5 / f$	6,25
3–150 kHz	87	6,25
0,15–1 MHz	87	$0,92 / f_M$
1–10 MHz	$87 / f_M^{0,5}$	$0,92 / f_M$
10–400 MHz	28	0,092
400–2000 MHz	$1,375 f_M^{0,5}$	$0,0046 f_M^{0,5}$
2–300 GHz	61	0,20

Märkus:  $f_M$  tähistab sagedust ühikutes MHz, kus 1 MHz =  $10^6$  Hz;  $f$  tähistab sagedust pöhiühikutes Hz.

## 2.2. ICNIRP soovitusel EMV piirtasemete kehtestamiseks

EVSM2025 määruse aluseks on *Rahvusvahelise Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjoni* (edaspidi ICNIRP, i.k *International Commission on Non-Ionizing Radiation*

*Protection*) poolt välja töötatud elektromagnetväljade võimalike tervisemõjude hindamise süsteem. ICNIRP on rahvusvaheline sõltumatu komitee, mille eesmärgiks on inimeste ja keskkonna kaitse mitteioniseeriva kiirguse eest. Viimasteks loetakse mh nii madalsageduslikud elektri-, magnet- ja elektromagnetväljad kui ka raadiosideks kasutatavad elektromagnetväljad.

ICNIRP poolt välja pakutud reeglistik elektromagnetväljade mõjualas tervist mõjutavate toimete piiramiseks on soovituslik, samas on Euroopa Liidus käsitletud kui üks peamisi alusdokumente. ICNIRPi olulisemad viidatavad publikatsioonid piirnormide kontekstis on järgmised.

- **ICNIRP 1998 publikatsioon**<sup>1</sup> (viidatakse ka kui 1999 publikatsioon) – kirjeldab nii avalike ja elukohtade, kui ka töökoha ja töötegemise kontekstis ohutud EMV rakendusväärtused sagedusvahemikus 0...300 GHz. Antud ICNIRP publikatsioonile tugineb Euroopa Komisjoni soovitus 1999/519/EC, millele vastab ka käesoleval hetkel kehtiv EV sotsiaalministri määrus „Mitteioniseeriva kiirguse piirväärtused elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes, õpperuumides ja mitteioniseeriva kiirguse tasemete mõõtmine“ (kehtiv alates 01.06.2002, EVSM2025). Nimetatud määrus loetleb avalikes, elu- ja puhkeruumides inimese tervisele ohutuks loetavad elektri-, magnet- ja elektromagnetvälja tasemed.
- **ICNIRP 2010 publikatsioon**<sup>2</sup> – uuemale alusmaterjalile tuginev publikatsioon sagedusvahemikule 1 Hz...100 kHz, mis võtab arvesse peale eelmist publikatsiooni avaldatud ning teatavaks tehtud asjaolud EMV mõjudest. Võrreldes ICNIRP 1998 esitatuga, on ICNIRP 2010 publikatsioonis esitatud rakendusväärtused on mõnevõrra piiratumad sagedustel kuni 50 Hz, samas leebemad sagedustel üle 50 Hz.
- **ICNIRP 2020 publikatsioon**<sup>3</sup> – uuemale alusmaterjalile tuginev publikatsioon sagedusvahemikule 100 kHz...300 GHz, mis võtab arvesse peale eelmist publikatsiooni avaldatud ning teatavaks tehtud asjaolud EMV mõjudest. Võrreldes ICNIRP 1998 esitatuga, on ICNIRP 2020 publikatsioonis esitatud rakendusväärtused sageli leebemad, st piirväärtuseks loetakse tugevamaid EMV tasemeid.

EVSM2025 määrukses kirjeldatud EMV tasemete piirväärtused põhinevad ICNIRP1998 ettepanekutel ja käesoleva aruande avaldamise ajaks ei ole ICNIRP2010 ega ICNIRP2020 siduvalt Eestis kehtestatud ohutuslike piirnormide aluseks võetud. ICNIRP 2010 ning

---

<sup>1</sup> ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) Health Physics 74 (4): lk 494-522; 1998.

<sup>2</sup> ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz) Health Physics 99(6):818-836; 2010; DOI: 10.1097/HP.0b013e3181f06c86

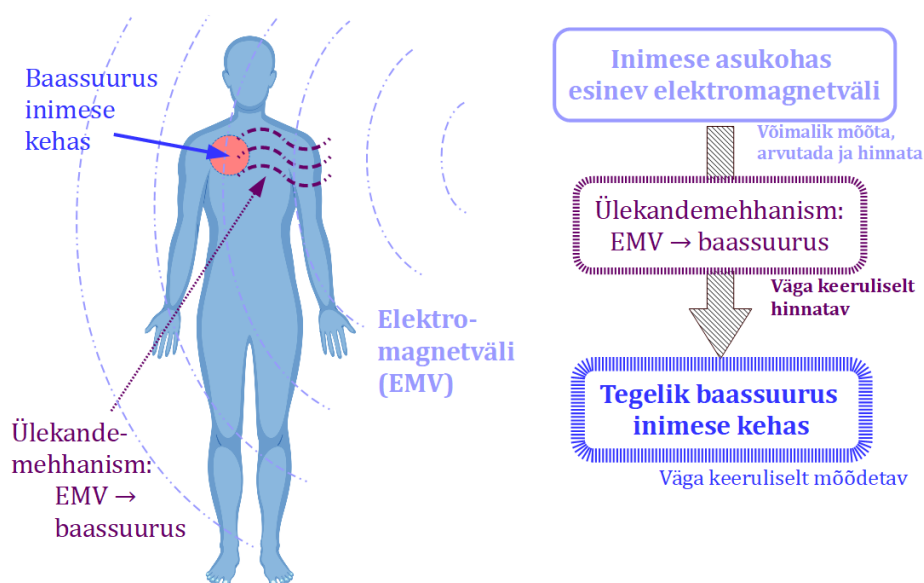
<sup>3</sup> ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz), Health Physics 118(5): lk 483–524; 2020; DOI: 10.1097/HP.0000000000001210

2020 publikatsioonid on antud kontekstis loetletud viidetena ja ei ole siin kasutuses EMV mõju hinnangu alusena.

### 2.2.1. ICNIRP EMV kokkupuute hindamise süsteem ja lähtekohad

ICNIPR poolt rakendatav EMV kokkupuute hindamise süsteemi alusplaan on esitatud alloleval skeemil (vt Joonis 2-1). ICNIRP süsteemi kohaselt lähtub EMV kokkupuute olukordade hindamine **baassuurustest**. Need kajastavad erinevaid füüsikalisi nähtuseid, mille kaudu avaldub toime inimese keha kudedele ja närvisüsteemile. Baassuurustele on esitatud **baaspiirangute tasemed**, millest suuremate baassuuruste esinemine on ebasoovitav või tuleb pidada potentsiaalselt ohtlikuks. Baaspiirangutele tuginevalt on seejärel kehtestatud **EMV piirväärtused**, mille aluseks on hinnangud võimalikust füüsikalisest ülekandenähtusest. Viimane kirjeldab seda, mil määral inimkehas baassuurus eeldatavalt esineb, kui inimkeha satub kokkupuutesse EMV-ga. **Igas kirjeldatud lülis on kasutatud täiendavad varutegurid**, mis põhimõtteliselt välistavad ICNIPR poolt esitatud EMV piirväärtuste tasemel väljatugevuste korral vahetu ohtliku tervisemõju tekkimise. Seetõttu lühiajaline intensiivse EMV asukohas viibimine ei ole koheselt tervisele püsivaid kahjustusi põhjustav. Oluliselt kõrgem võib olla risk erinevate meditsiiniliste abivahendite kontekstis, mis ICNIRP piirtasemetest kordades kõrgemate väljatugevuste ületamiste korral võivad sattuda väärtalitusse.

Inimkehas aset leidvaid nähtuseid ja nende suurust on väga keeruline hinnata, kuid näiteks erinevate tehnoloogiliste paigaldiste juures esinevaid elektromagnetvälja intensiivsuse tasemeid on võimalik mõõta. Selliselt lähtutakse ka elukeskkonnas võimaliku tervisemõju hindamisel EMV intensiivsuse tasemest. EMV mõju inimesele vaadeldakse ICNIRPi süsteemis pessimistlikust vaatest. See tähendab, et hinnangul lähtutakse võimaliku tervisemõju avaldumisest oluliselt väikesema EMV intensiivsuse puhul, kui seda erinevates eksperimentide tulemustes on kinnitatud.



Joonis 2-1. ICNIPR poolt vaadeldava EMV kokkupuute tervisemõju hindamise üldine skeem (alusjoonis Vecteezy.com).

ICNIRP süsteem lähtub alusraamistikus baassuuruste sellistest tasemetest, mille puhul on ebasoovitav või ka kahjulik mõju kindlaks tehtud. Näiteks on võimalik laboratoorselt määratleda, millisel juhul algab eluskudede soojuslik hävimine; samuti on sooritatud märkimisväärne hulk eksperimente erinevate närvisüsteemi (eriti aistingute) stimulatsioonipiiride tuvastamiseks. Selgepiiriliste tulemustega eksperimendid on üldiselt paiksed ja ei jäljenda täies ulatuses inimkeha ülesehitust. Samuti on inimese kehas tegelike baassuuruste tasemeid ülimalt keeruline mõõta, sest iga muudatus või tajuri lisamine muudab olukorda mõõtekohas. Osadel juhtudel lähtutakse kindla arvulise hinnangu puudumisel ebasoovitava baassuuruse taseme määramisel ka sellistest eksperimentide tulemustest, milles teatud baassuuruse rakendamise tasemel reaktsiooni ei tuvastatud. Eksperimendis kasutatud baassuuruse intensiivsus loetakse sel juhul ohtlikuks katses kasutatud tasemest kõrgemal väärtusel, kuigi tõendeid ohtlikkusest ei leitud.

ICNIPR EMV tervisemõju hindamise süsteemi puhul on hinnangus võetud arvesse nii vahetat tervisemõju kui ka erinevate meditsiiniliste abivahendite poolt ja ka nende suhtes tekitatavat mõju. Meditsiinilised abivahendid nagu proteesid võivad tekitada ühelt poolt suurema tervisemõju koondumise nende ümber (nt metallmaterjali kaudu juhitud elektrivool), samas kui aktiivsed meditsiiniseadmed, sh elektroonilise juhtimise ja toimega seadmed võivad tugeva EMV olukorras lugeda sisendstiimuleid ebakorrektselt, mis võib viia nende võimaliku ohtliku väärtalituseni.

### 2.2.2. Tervisemõjude ajakohasus ja uuendamine

Elektromagnetväljade võimalikku mõju elusloodusele on enim uuritud inimese kontekstis. Üldises plaanis loetakse esmase toime avaldumiseks teatavat reageerimist või tundlikkust teatud funktsioonidele (nt närvisüsteem), seda oluliselt nõrgemate EMV tasemete puhul, aga ka rakkude ja kudede hävimise ohuga ülimalt intensiivse EMV toimel. Senised uuringud ei ole üheselt selgitanud võimalike elektromagnetväljade tasemeid, mille korral EMV intensiivsus oleks tervisemõju seisukohast pöördumatute kahjustuste põhjustaja. Elektromagnetväljade mõju inimesele tuntakse mitmeti, mõju kontekstis vaadeldakse seda nii meeleliselt avalduva mõjuna (aistingute muutus EMV toimel), inimese lihaskonnale avalduva mõjuna (lihaskudede toimingute mõjuna) kui ka soojusliku mõjuna (eluskoe kuumenemise mõjuna). Kuigi laiemas kirjandusallikate valimis on esitatud ridamisi hüpoteese ja väiteid EMV ohtlikkusest ja pöördumatute kahjustuste põhjustamisest, sh kantserogeensest toimest, ei ole selgitatud üheselt nimetatud väidete toimumise põhiasjaolusid ega selliste asjaolude ilmnenise korratavaid katseolukordade tulemusi.

ICNIRP süsteem ei anna vastuseid kõikidele mõjumehhanismide osas ja organisatsiooni enda reeglistik näeb ette kriitilise vaate igale esitatud seisukohale, mida seetõttu perioodiliselt üle vaadatakse. ICNIPR esitab tuvastatud puuduste või teadmislünkade

ilmnemisel ka vastavad ülevaated<sup>4</sup>, milles loetletud asjaolud täiendavate sihtuuringute raames läbi vaadatakse. EMV mõjuväljas ilmnevate tervisemõjude osas teostatakse jätkuvat seiret aktiivselt, et välistada võimalikke ohte. Teadusuuringutele, kliinilistele kogemustele ja ekspertteadmistele tuginevalt teostatakse andmete ülevaatuseid regulaarselt, ning esitatakse selliste ülevaatuste kokkuvõtteid. Põhjalikumad käsitlused viimaseimatest uuringutest on leitavad näiteks:

- „Recent Research on EMF and Health Risk“ – ülevaadete seeria, mille avaldab Rootsi Kiirguskaitseamet (Swedish Radiation Safety Authority / Strålsäkerhetsmyndigheten):
  - ülevaade esitatakse 1 või 2 aasta tervisemõjude alaste teadusartiklite kogumina, tegemist on kriitilise ülevaatega esitatud materjalist, mis teeb kiiremaks esitatud materjali mõistmise ja selles esitatud pädevuse;
  - Viimane väljaanne: *Recent Research on EMF and Health Risk, Eighteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2023* (Report number: 2024:12, ISSN: 2000-0456, [www.stralsakerhetsmyndigheten.se](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se));
- „Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)“ – uuringuteseeria tulemuste aruanne Euroopa Komisjoni töörühma poolt:
  - väljaanne *SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), 27 January 2015.*  
[https://health.ec.europa.eu/other-pages/health-sc-basic-page/final-opinion-emf\\_en](https://health.ec.europa.eu/other-pages/health-sc-basic-page/final-opinion-emf_en)

EMV mõju reguleerimine tehissüsteemidele on ajalooliselt saanud alguse tundlikemate funktsioonide, nt raadioside häirimise faktidest. Tehissüsteemid on paljudel juhtudel, mh raudteealastes rakendustes, seotud kriitiliste funktsioonide töökorras hoidmisega, mille lakkamisel või väärtalitusel võib olla täiendav oht elule ja elusloodusele. Valdkonda, mis uurib elektromagnet (EM)-keskkonna vastastikmõju tehissüsteemide juures, tuntakse elektromagnetilise ühilduvuse (EMÜ) nime all. Põhimõtteliselt kõik tehissüsteemid on tundlikud EMV-le, seejuures funktsioonikadude või täiendava ohuni viivad EMV tasemed võivad olla suurusjärke nõrgemad, kui on vajalik sarnase mõju avaldumiseks elusorganismides.

### 2.2.3. ICNIRP baassuurused ja baaspiirangud

Teaduslikele uurimistöodele, eksperimentidele ja praktilisele kogemusele toetudes on Rahvusvahelise Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjoni (ICNIRP) poolt välja töötatud baassuuruste väärtuste tasemed, mis kaasnevad eeldatavalt inimese kokkupuutel

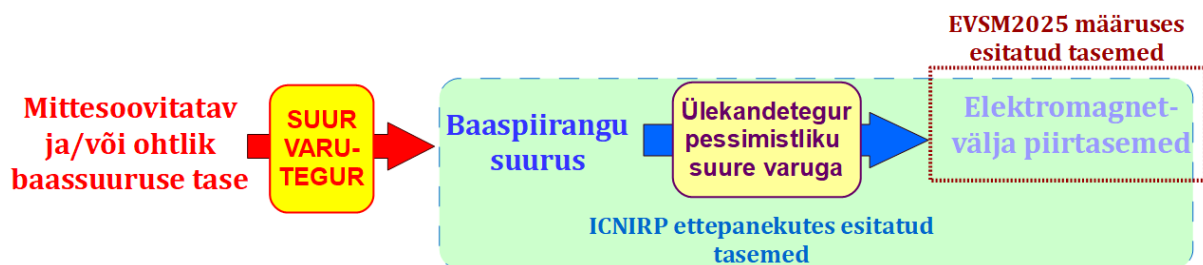
---

<sup>4</sup> ICNIRP Statement: Gaps in Knowledge Relevant to the "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)". Health Phys 128(2): lk 190–202; 2025. DOI:10.1097/HP.0000000000001944

EMVga. Mõju (baassuuruste) arvulised väärtused on üldiselt esitatud inimkehas sees või inimkeha pinna kohta kirjeldatud suurustena, sh:

- voolutihedus (ühik: mA/m<sup>2</sup>) on inimkeha osa või jäsemeid läbiv vool (piirang seatud sagedusvahemikus >0 Hz ... 10 MHz);
- erineelduvuskiirgus (ühik: W/kg) on inimkeha sees neeldunud EM kiirguse võimsus 1 kg kohta (piirang seatud sagedusvahemikus 100 kHz ... 10 GHz);
- võimsustihedus (ühik: W/m<sup>2</sup>) on inimkeha pinnaühiku kohta neeldunud EM kiirguse võimsus (piirang seatakse vahemikus 10 ... 300 GHz);
- staatilise magnetvoo tihedus (ühik: mT) on ajas püsiva magnetvoo tiheduse väärtus, mis on esitatud ainsana baaspiirangutest väljasuurusena, mitte inimkehas selle esinemisel avalduvale mõjule.

ICNIRP baaspiirangute ja piirväärtuste sätestamist selgitab allolev diagramm (vt Joonis 2-2).



Joonis 2-2. ICNIRP süsteem tervisemõju piirtasemete sätestamiseks.

Baaspiirangud on sellised baassuuruste väärtused, millest suurema intensiivsuse korral võib potentsiaalselt olla mõju inimese tervisele.

- Baaspiirangud on piirangud elektromagnetvälja toimele, millele inimorganism reageerib või omab tundlikkust. Baaspiirangud kirjeldavad suurusi inimkeha kontekstis, mille esinemisel inimkeha organite, närvisüsteemi ja/või kudede talitluse kontekstis võib esineda tuntav (kuid veel mitte tingimata ohtlik) mõju.
- Baaspiirangud tuginevad biofüüsikaliste ja bioloogiliste kaalutluste alusel kindlaks määratud mõjule, eelkõige teaduslikult tõendatud alustel lühiajaline ja akuutne otsene mõju, mh soojuslik mõju ja kudede elektristimulatsioon.
- Baaspiirangud on seatud inimesele mõjuva EMV ja selle toime kontekstis. Muule elusloodusele ei ole erinevaid baaspiiranguid sätestatud, isegi vastupidi, on kasutatud eksperimente erinevate loomadega (nt hiirega), et teha kindlaks võimalikud mõjud inimestele, võrreldavatel EMV tasemetel.

**Antud eksperthinnangu kontekstis on eeldatud, et mõju elusloodusele laiemalt, mitte ainult inimesele, on minimaalne või tühine juhul, kui normdokumentidega EVSM2025 (vt ptk 2.1 „EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon“) sätestatud baaspiirangute tasemeid ei ületata.**

#### 2.2.4. Elektromagnetvälja tasemete piirväärtused

Eelnevas lõigus esitatud baaspiirangud tähistavad füüsikalisi inimkehas toimivaid elektrilisi suuruseid, millel on sedavõrd ulatuslik mõju, mille puhul mittesoovitav või kahjulik tervisemõju ei ole välistatud. Selliste suuruste inimkehas esinevate tasemete ja mõju hindamine ja mõõtmine on keeruline või isegi võimatu ja sõltub väga paljudest muutujatest. Seetõttu on ohutuse tagamise ja analüüsi seisukohast oluliste baaspiirangute kontekstis välja töötatud **piirväärtused EMV kokkupuute tasemete kohta**. EMV piirväärtused on sellise intensiivsusega **elektri, magnet- ja elektromagnetväljad, millega kokkupuutes viibiva inimese jaoks ei ole tõenäoline, et baaspiirangutega esitatud suurused tema kehas ületatakse**.

Viimane asjaolu tähendab ühtlasi, et **piirväärtustest allapoole jäävate EMV intensiivsuste korral on võimalik mõju tervisele minimaalne või tühine**. Kirjeldatud piirväärtused on kehtestatud riikliku regulatsiooniga (vt ptk 2.1 „EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon“). **Piirväärtustena esitatavaid EMV tasemeid on võimalik mõõta ning füüsikaliselt arvutada**.

Määrustega seatud piirväärtused on esitatud pessimistlikena, kasutades baaspiiranguna esitatud suuruse suhtes täiendavaid varutegureid (tüüpiliselt suurusjärg või enam). Seetõttu võib lugeda, et kehtestatud piirväärtustest madalama intensiivsusega EMV omab väga vähest või tühist mõju, st on nende kehtestamise ajal parimat teadmist arvestades põhimõtteliselt ohutu.

Piirväärtus-suurustega on seatud kõrgeimad lubatud tasemed:

- elektriväljatugevusele (ka *E-välja tugevus*, tähis *E*, ühik: V/m);
- magnetväljatugevusele (ka *H-välja tugevus*, tähis *H*, ühik: A/m), suurus on seotud otseselt magnetvootihedusega;
- magnetvootihedusele (ka *B-välja tugevus*, tähis *B*, ühik:  $\mu\text{T}$ ), suurus on otseselt seotud magnetväljatugevusega;
- võimsustihedusele (tähis *S*, ühik:  $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Piirväärtused on esitatud sagedusvahemikule, millises mistahes sagedusel ei tohi ületada seatud piirväärtust. Mitmel erineval sagedusel esineva väljasuuruse korral tuleb arvestada nende summaarset mõju ja nende suhtelised kaugused piirväärtustest liita. Piirväärtussuurused esitatakse ruutkeskväärtustena (i.k. *root mean square* – RMS).

### 2.3. EMV mõju kriteeriumid antud aruandes

Lähtudes viimati nimetatud tingimustest, on käesolevas eksperthinnangus lähtutud järgmisest.

- EMV ohutuse hinnangus lähtutakse piirväärtustest, mis on esitatud Eesti Vabariigi määramises EVSM2025. Hinnangu andmisel lähtutakse EMV potentsiaalsete allikate iseloomust ning muude piirnormidega kehtestatud piirangutega võrdlusest.
- Mitmesagedusliku hindamise vajalikkust kaalutakse juhul, kui on oodata enam kui ühel sagedusel esinevate sageduskomponentide intensiivsust üle 20% vastava sageduskomponendi piirväärtusest.
- Ülekandeliinidega seoses tuleb rõhutada vahelduvvooluvõrgu talitus-sageduslikku (50 Hz) EMV emissiooni. Kõrgematel sagedustel esinev EMV on üldjuhul suurusjärke madalama intensiivsusega (sh ülekandeliinide harmoonikute põhjustatud EMV).

Suure võimsuse ülekandmiseks ehitatud ülekandeliinide poolt tekitatud keskkonnamõju EMV võib ulatuda laiemale maa-alale kui vahetult liinijuhtmete all/peal. Antud analüüsi kontekstis ning lähtudes peatükis 2.1 esitatud piirtasemete arvulistest väärtustest, on EMV mõju hinnatud ülekandeliinide talitlussagedusel alljärgnevalt nelja erineva määratlusega alana.

### 2.3.1. EVSM2025 piirnorme ületav ala „1“

**Inimese alaliseks viibimiseks on mittesobivad alad**, milles ülekandeliinide talitus-sagedusel 50 Hz:

- elektrivälja tugevus **ületab väärtust 5000 V/m** või
- magnetvoo tihedus **ületab väärtust 100  $\mu$ T**.

Ala, kus ülekandeliinide poolt EMV tase ületab nimetatud piirtasemeid, loetakse inimese pideva viibimise korral selles alas potentsiaalset füsioloogilist või bioloogilist mõju omavaks. **Selles alas tuleks vältida eluruumide rajamist, eluruumide kasutamist või muul moel alalist viibimist.** Alaline viibimine on siin tähenduses eeskätt pidev inimese kohalolu asukohast lahkumata.

**NB!** Lühiajalist viibimist (asukohast lahkumisega ja asukohta naasmisega) nimetatud EMV piirtasemeid ületavas alas ei loeta siiski ohtlikuks. Ajutine viibimine asukohas loetakse ohtlikuks alles EVVM2019 regulatsioonis sõnastatud väärtuste ületamisel.

### 2.3.2. EMV intensiivse mõju ala „2“

See on ala, milles ülekandeliinid põhjustavad väga intensiivse EMV esinemise. Alas „2“ esinev EMV on peaaesjalikult tingitud ülekandeliini talitlusest ja on tuvastatav oluliselt tugevamana, kui muude elukeskkonna elektriseadmete poolt põhjustatud EMV.

Käesoleva analüüsi kontekstis on EMV intensiivse mõjuala piiriks EMV tase üle 20% ohutuks peetavast piirnormist (vt ptk 2.1. „EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon“):

- elektrivälja tugevus **ületab taset 1000 V/m, kuid ei ületa 5000 V/m** või
- magnetvoo tihedus **ületab taset 20  $\mu$ T, kuid ei ületa 100  $\mu$ T**.

Selles alas ei esitata inimestele piiranguid alas viibimiseks, kuid tähelepanu tuleb juhtida teiste EMV allikate koosmõjule. **Intensiivses EMV mõjualas** võib ülekandeliinide poolt tekitatud EMV teiste tugevate EMV allikatega kombinatsioonis tekitada olukorra, kus ületatakse ohutuks peetava EVSM2025 piirnormi tase (seda juhul, kui kumbki EMV allikas ei emiteeri iseseisvalt ohutut piirnormi ületavat EMV taset). Juhul, kui on tuvastatud ülekandeliinide EMV intensiivne mõju, tuleb järgida EMV taset vähendavaid meetmeid (nt maandamine, varjestamine või ka spetsiaalsete juhustike ehitamine) inimese püsivaks viibimiseks ette nähtud ehitistes.

### 2.3.3. EMV märgatava mõju ala „3“

Ülekandeliinide EMV märgatavaks mõjualaks on ala, milles ülekandeliin põhjustab EMV esinemise tõenäoliselt samal tasemel, kui ülekandeliinidest sõltumatud ja oma talitlusel EMV-d emiteerivad infrastruktuuriobjektid (nt madalpinge-elektriliinid, pumplad, telekommunikatsioonisüsteemid jpt).

Käesoleva analüüsi kontekstis on EMV märgatava mõjuala piiriks EMV tase 20...2% ohutuks peetavast piirnormist (vt ptk 2.1 „EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon“):

- elektrivälja tugevus **ületab taset 100 V/m, kuid ei ületa 1000 V/m** või
- magnetvoo tihedus **ületab taset 2,0  $\mu$ T, kuid ei ületa 20  $\mu$ T.**

**Märgatavas EMV mõjualas** ei ole oodata EMV võimalikku mõju inimesele määral, mis potentsiaalselt põhjustaks füsioloogilisi või bioloogilisi ilminguid. Ülekandeliinide EMV emissioon on siiski vaadeldav eeldatavalt kõige tugevamalt asukoha EMV tasemesse panustajana. EMV tasemete mõõtmistel on ülekandeliini EMV emissioon märgatava mõju alas „3“ selgelt eristatav.

### 2.3.4. EMV nõrga või väga nõrga mõju ala „4“

Nõrga mõju alana vaadeldakse sellist piirkonda, milles vaadeldav ülekandeliin põhjustab EMV esinemise alla selle taseme, kui muud tõenäolised olmekeskkonnas EMV-d emiteerivad ning antud ülekandeliinist sõltumatud tüüpilised seadmed ja paigaldised. Käesoleva analüüsi kontekstis on EMV nõrga või väga nõrga mõjualaks piiriks EMV tase alla 2% ohutuks peetavast piirnormist (vt ptk 2.1. „EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon“):

- elektrivälja tugevus **ei ületa 100 V/m taset** või
- magnetvoo tihedus **ei ületa 2,0  $\mu$ T taset.**

**Nõrgas või väga nõrgas EMV mõjualas „4“** ei ole oodata EMV võimalikku mõju inimesele määral, mis potentsiaalselt põhjustaks füsioloogilist või bioloogilist mõju. Ülekandeliinide EMV emissioon ei pruugi olla mõõtmistel märgata, kuna muud elektriseadmed ja paigaldised võivad põhjustada ka märgatavalt kõrgemaid EMV emissioone.

## 2.4. EMV tasemete hinnangu alus

Antud aruanne lähtub EMV tasemete hindamisel praktikatest, mis on leitavad vastavatest rahvusvahelistest standarditest, juhendmaterjalidest ja asjakohastest eeskujudest.

Eksperthinnang on esitatud, lähtudes järgmistest eeldustest.

1. Eesti-Läti IV ühenduse ülekandeliinide rajamisel lähtutakse täies ulatuses ja siin aruandes esitatud kontekstis kirjeldatud tingimustel kohalduvatest normdokumentidest ja standarditest.
2. Hinnang on eeldusel, et peale Eesti-Läti IV ühenduse ülekandeliinide ei ole võrgusagedusliku EMV emissiooni allikatena vaadeldavates asukohtades muid olulisi potentsiaalseid EMV allikaid.
  - Vaadeldud on juhtumeid, mil EMV põhjustaja on ainult ülekandeliini komponent ise.
  - Juhul, kui on teada täiendavaid tugevaid EMV allikaid ülekandeliini vahetus läheduses olevates asukohtades, tuleb hinnata iga juhtumit eraldi ja vajadusel sooritada täiendav analüüs, mis võtaks arvesse ka teist EMV allikat.

Hinnangu aluseks on erinevad potentsiaalset tugevat EMV emissiooni omavad komponendid, mille elektrilist talitlust mudeldatakse, võttes arvesse nende konkreetset geomeetrilist paigutust. Nii talitlus- kui geomeetriliste parameetrite konkreetset väärtused on kirjeldatud detailides, mis võimaldavad selgelt jälgida nende kehtivust vaadeldavate liinilõikude juures.

Hinnangu sooritamisel lähtutakse pessimistlikust vaatest nii geomeetriliste- kui ka talitlussuuruste nimetamisel.

- Geomeetriliste suuruste valiku aluseks on võimalik nimetatud objektide paigutus ruumis selline, mis eeldatavalt toob kaasa intensiivseima EMV suuruse kujunemise. Näiteks tekkiv EMV oleks tavatalitlustingimustel suurima intensiivsusega, kui vaadeldaks olukorda voolujuhtidele lähimas asukohas. Õhuliinide puhul esineb selline olukord juhul, kui vaadeldakse EMV taset vähimal kaugust liini juhtmetest.
- Talitlussuuruste valikul võetakse arvesse võimalikke maksimaalsete püsikoormuste olukorda, millega võidakse liine pikema aja jooksul käitada. Selle näiteks on liinide koormusvoolutugevused, mille korral liini kao tõttu eralduv soojus viib voolujuhid maksimaalse töötemperatuurini. Kuigi selline olukord ei pruugi olla alaline (tegelik koormus ajas varieerub alla nimetatud piiri), loetakse see potentsiaalseks suurimaks koormusolukorraks.

Käesolevas aruandes esitatud hinnang on arvutuslik ja tugineb andmetele, mis olid liinide eeldatava konstruktiivse lahenduse kohta olemas analüüsi sooritamise ajal. Liinide

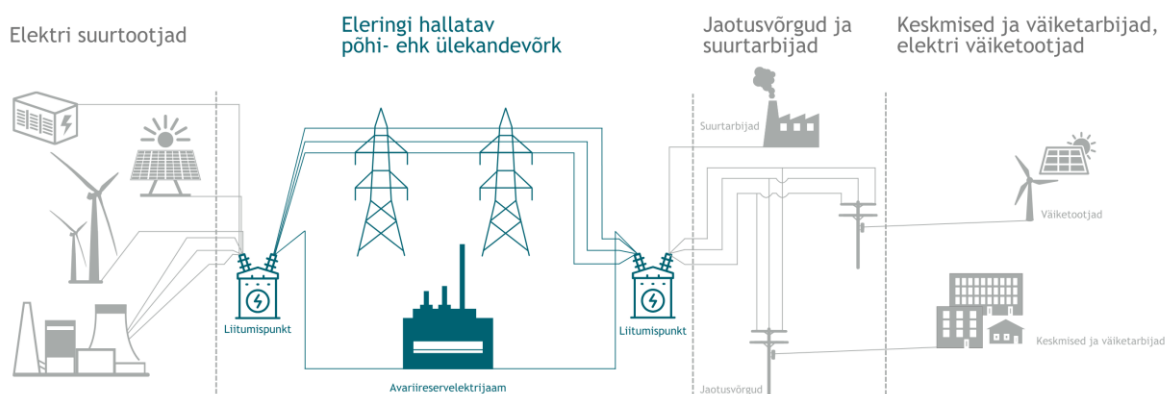
projekteerimise ja lõpliku ehituse käigus võib esineda asjaolusid, mis viivad erinevusteni käesolevas aruandes kirjeldatu ja tegelikult püstitatud liinide vahel. Sellisel juhul tuleb erisuste puhul sooritada hinnang nende EMV jälje mõju suhtes ning vajadusel korrata või täiendada siin esitatud analüüsi. Aruandes esitatud suuruste ja ohutushinnangu tegelik kehtivus tuleb kinnitada reaalses keskkonnas läbi viidavate mõõtmistega ülekandeliinide ehituse järel (vt ptk 9 „EMV tasemete mõõtmine“).

**Antud analüüsi tulemusena esitatud järeldused EMV tasemete ohutuse kohta kehtivad ainult siin aruandes esitatud alusmaterjalile ja aruande sisus esitatud valikukriteeriumide korral. Aruande sisus esitatut ei tohi üldistada ilma lähteandmete konteksti arvestamata ning aruande osalisel esitamisel tuleb kaasata kogu esitatavas alamosas viidatud lähtematerjal, sh hinnangu lähtekohtade ja ohutushinnangu kriteeriumid, alusjoonised ja talitluskriteeriumide täpsustused.**

### 3. Elektrienergia ülekandeliinid ja nende talitlussuurused

Käesolevas peatükis selgitatakse üldiseid elektrilisi talitlussuuruseid ning nendevahelisi arvutusseoseid. Kontekst keskendub terminitele ja seostele, mis on otseselt seotud antud aruandes vaadeldavate elektriülekandevõrgu komponentidega.

Elektrienergiasüsteemid töötavad selleks, et tagada energiaga varustatus erinevatele tarbijatele (osapool süsteemis, kes kasutab talle tarnitud elektrienergiat), saades elektrienergia tootjatelt (osapool süsteemis, kes annab süsteemi elektrienergiat) ja korraldades selle jaotuse läbi elektrienergia ülekandesüsteemi (osapool süsteemis, kes tagab elektrienergia ülekandmise erinevate osapoolte vahel). Süsteemi töötavate osapoolte elektrienergiavajaduse katmiseks või elektrienergiaväljundi tarneks peab ülekandesüsteem tagama piisava võimekuse ja töökindluse. Elektrienergia ülekandevõrgu ülesehituses (vt Joonis 3-1) on suurimas rollis alajaamad ning neid ühendavad ülekandeliinid.



Joonis 3-1. Eesti ülekandesüsteemi operaatori Elering haldusalasse kuuluva ülekandevõrgu positsioon. Joonis elering.ee.

Suured elektrienergia vahelduvtoitesüsteemid on korraldatud hierarhiliselt viisil, mis tagaks neile parima töökindluse ja elektrienergia saadavuse.

- Kõrgeima pingega liinid moodustavad töökindlaima ülekandevõrgu. Eesti ülekandesüsteemi suurima võimsusega osa talitleb nimipingetasemel 330 kV. Sellele järgnevad hierarhias 110 kV nimipingel talitlevad liinid ja alajaamad.
- Keskpinge-tasemel (35 kV, 20 kV, 10 kV ja 6 kV) tagavad elektrivarustuse jaotusvõrgu liinid, mis varustavad suurtarbijaid, tööstusettevõtteid ning elamupiirkondi varustavaid alajaamu.
- Madalpingetasemel (400 V) elektrijaotusvõrgu liinide kaudu toimub väikesema võimsusega lõpptarbijate varustamine, sh väikesema võimsusega kommerts- ja tootmisettevõtted, üksikisikutest kliendid (majapidamised).

### 3.1. Elektrisüsteemi talitlussuurused

Elektrienergia kasutuse ja edastamise hulk ajaühikus on tähistatud võimsuse terminiga. Elektrienergiaal töötava elektriahela talitlust iseloomustab elektriline pinge (tähis  $U$ , ühik V – volt) ja elektrivoolutugevus (tähis  $I$ , ühik A – amper). Võimsus (tähis  $P$ , ühik W – vatt) on esmases lähenduses elektrilise pinge ja voolutugevuse korrutis:

$P = U \cdot I$	
-----------------	--

Elektriliste suuruste tähistamiseks rakendatakse põhimõtet, kus suurtähega on märgitud ajas püsiva suuruse tähis (nt pinge  $U = 230$  V tähistab, et see suurus ei muutu ajas) ning väiketähega, millele on sageli lisatud ajasuuruse muutuja tähis  $t$ , märgitakse mingil konkreetsel ajahetkel esitatud suurus (nt pinge hetkväärtus  $u(t) = 170$  V tähistab, et antud pinge taseme arvsuurus esines ainult konkreetsel vaatlus-ajahetkel).

Võimsus-seos kehtib iga ajahetke vaates. Näiteks juhul, kui fikseeritud ajahetkel on talitlussuuruste väärtuseks  $u(t) = 190$  V ning  $i(t) = 8,1$  A, on võimsussuuruse väärtuseks:

$p(t) = u(t) \cdot i(t) = 170 \cdot 8,2 \sim 1400$ W	
--	--

Võimsus tähistab ajaühikus üle antavat või rakendatavat energiat (tähis  $W$ , ühik J – džaul; NB! Mitte segamini ajada võimsuse ühikuga W – vatt. Füüsikalise suuruse „energia“ tähis „ $W$ “ esitatakse kaldkirjas). Nii on  $P = 1000$  W (s.o 1 kW) püsiva võimsuse korral võimalik ühe tunni ( $1 \text{ h} = 3600$  s) pikkuse ajavahemiku vältel  $\Delta t = 3600$  s üle kanda või rakendada kokku:

$W_{el}(t) = P \cdot \Delta t = 1000 \cdot 3600 = 3600000 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ} = 1 \text{ kWh}$	
--	--

elektrienergia ( $W_{el}$ ). Elektrienergia seotud süsteemides kasutatakse energiaühikutena peamiselt kWh (kilovatt-tundi) ning MWh (megavatt-tundi, seejuures  $1 \text{ MWh} = 1000 \text{ kWh}$ ), samas kui soojussüsteemides kasutatakse ühikutena MJ (mega-džauli) ning GJ (giga-džauli), seejuures  $1 \text{ GJ} = 1000 \text{ MJ}$ .

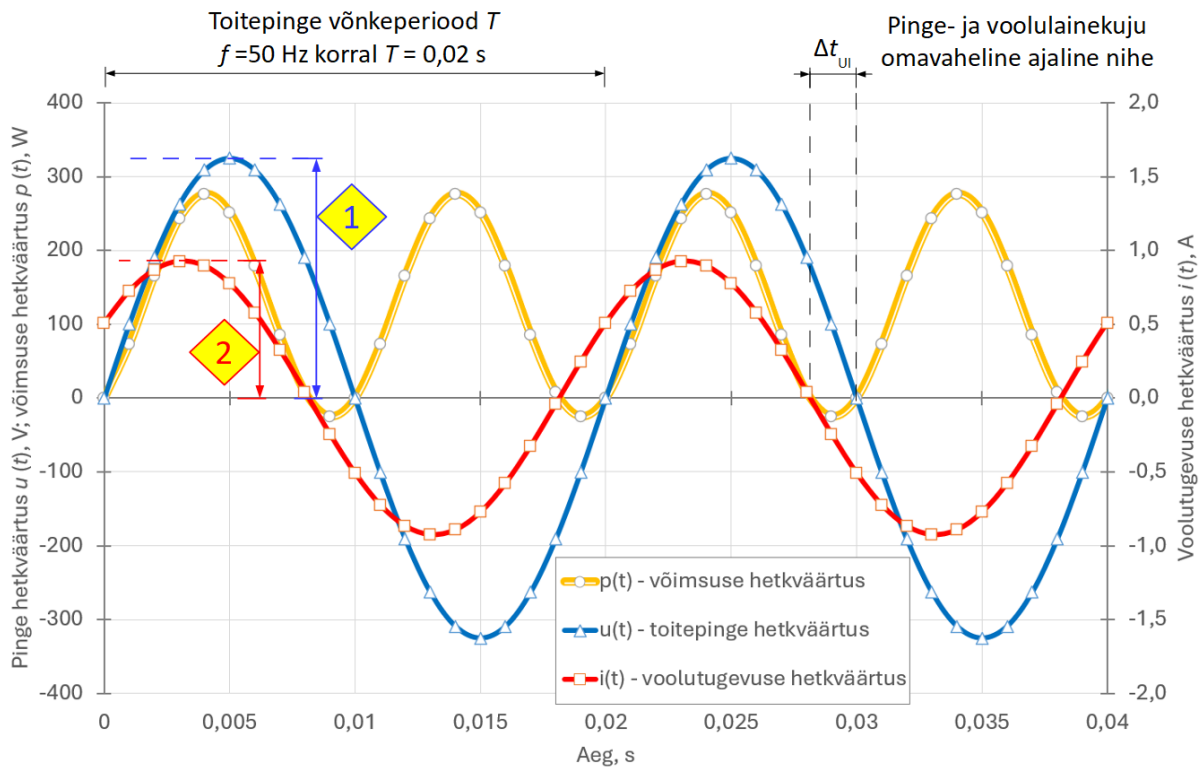
### 3.2. Vahelduvtoitesüsteem

Vahelduvtoite-elektrisüsteemi üldised parameetrid on toitesüsteemi:

- vahelduvpinge efektiivväärtus,
- vahelduvvoolutugevuse efektiivväärtus,
- vahelduvtoiteparameetrite võnkesagedus.

Elektrilises vahelduvtoitesüsteemis rakendatakse vahelduvpinget ja -voolutugevust, mille talitlussuurused on pidevalt muutuvad siinusfunktsiooni-reeglipära alusel (vt Joonis 3-2) võnkesagedusega (tähis  $f$ , ühik Hz – herts). Vahelduvtoitesüsteemis on võnkesagedusega seotud rida talitlustingimusi, seda suurust hoitakse tavatalitluses

konstantsena tasemel 50 Hz. Antud sagedusega võnguvad nii pingetase kui ka voolutugevus. Vahelduvtoitesüsteemides eristatakse seetõttu hetkväärtus-suuruseid, mis kirjeldavad mingi suuruse taset konkreetsel ajahetkel, või siis efektiivsuuruseid, mis kirjeldavad koondsuurust pikema ajalõigu ulatuses. Vahelduvtoitesüsteemide talitluse kirjeldamiseks kasutatakse efektiivsuuruseid, mis esitavad võimsusliku toime (seotud eeskätt energia üleandmise suurusega) ühe võnkeperioodi ulatuses ühe koondväärtusena.



Joonis 3-2. Selgitav kirjeldus vahelduvtoitesüsteemis esinevate ping- ja voolutugevuse suuruste lainekujudele ja põhireeglitele; ping- ja voolutugevuse hetkväärtustele tugineva võimsuse kirjeldus. Tähistused ja muutujad on selgitavalt kirjeldatud allolevas tabelis (vt Tabel 3-1). Tähistused „1“ – pingelainekuju amplituudväärtus; „2“ – voolutugevuse lainekuju amplituudväärtus.

Tabel 3-1. Vahelduvpinge- ja -voolutugevuse lainekujude graafikul esitatud suuruste täpsustatud kirjeldused.

Suurus	Kirjeldus	
$U_M$	Siinuspinge amplituudväärtus, suurim ping- hetkväärtuse tase	$U_M = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$
$u(t)$	Siinuspinge hetkväärtus, ühel konkreetsel ajahetkel esinev toitepinge tase	
$I_M$	Siinustlainekujuga voolutugevuse amplituudväärtus, suurim voolutugevuse hetkväärtuse tase	$I_M = I_{eff} \cdot \sqrt{2}$
$i(t)$	Siinuspinge hetkväärtus, ühel konkreetsel ajahetkel esinev toitepinge tase	

Suurus	Kirjeldus	
$\Delta t_{UI}$	Toitepinge- ja voolutugevuse lainekujude omavaheline ajaline nihe, arvestatuna siinusprotsessi sama faasinurga esinemise ajahetkest. Toitesüsteemides kirjeldatakse faasinihkena $\varphi$ , ühik nurgakraad.	

Vahelduvtoitesüsteemi siinusreeglipära alusel võnkuvad suurused kirjeldatakse ja alljärgnevalt:

• pinge hetkväärtus $u(t) = U_M \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$	
• voolutugevuse hetkväärtus $i(t) = I_M \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_{UI})$	

Seejuures pinge- ja voolusuuruste faasinihe:

$\varphi_{UI} = \frac{\Delta t_{UI}}{T} \cdot 360^\circ$	
--	--

Vahelduvtoitesüsteemi efektiivväärtus-suurused märgitakse suurtähtedega. Efektiivsuuruste rakendamisel saab rakendada lihtsustatud võimsuse ja energia arvutamise süsteemi, mille kohaselt:

$P_{VT} = U_{VT} \cdot I_{VT} \cdot k_{UIPF}$	
---	--

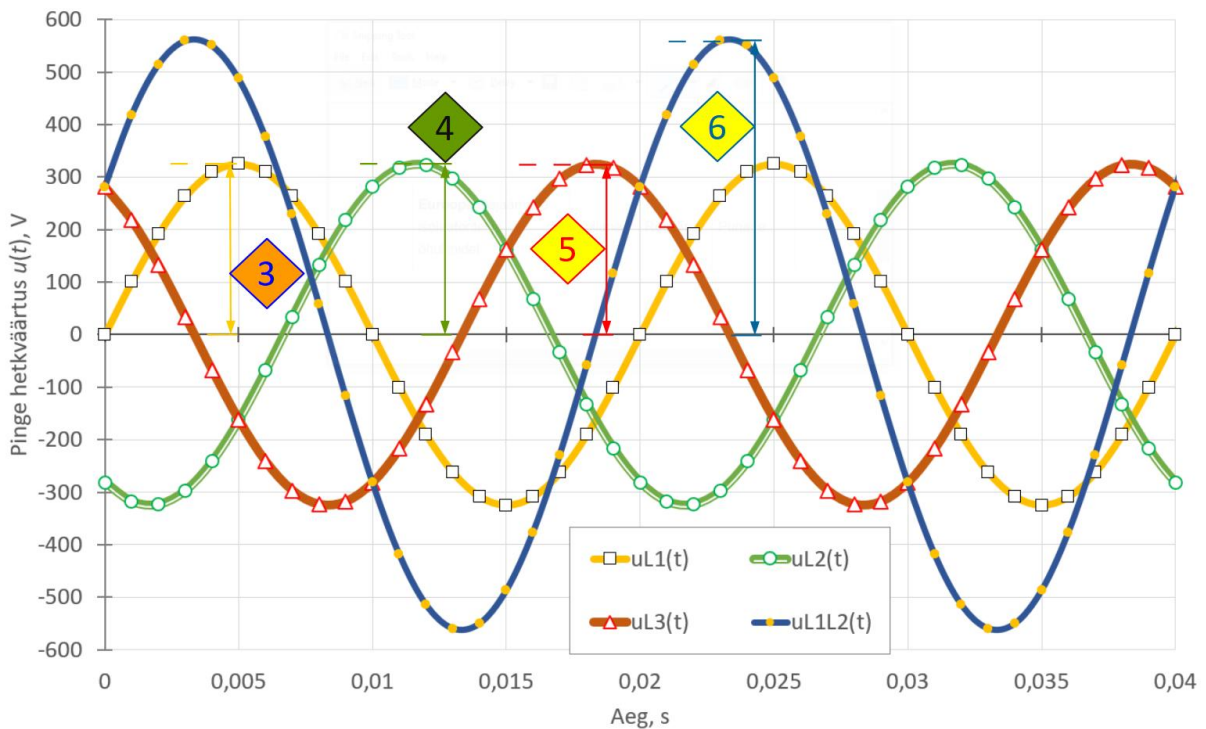
kus  $k_{UIPF}$  on toitepinge ja koormusvoolutugevuse lainekujude omavahelise ajalise nihke kaudu kirjeldatav võimsusteguri suurus. Ühesageduslikus käsitluses:

$k_{UIPF} = \cos(\varphi_{UI})$	
---------------------------------	--

Võimsustegurit oluliselt pikemate ülekandeliinide enda parameetrid, sh ülekandeliini geometriast tingitud elektriline mahtuvus ja induktiivsus. Käeolevas aruandes ei keskenduta täpsustatud võimsusteguri arvutuse täpsetele detailidele, kuid rakendatakse võimsusteguri üldist suurust koormusvoolude arvutamisel.

### 3.3. Kolmefaasiline vahelduvtoitesüsteem

Vahelduvtoitesüsteemides on sõltuvalt siinusreeglipära alusel võnkuvate elektriliste kontuuride arvust kasutusel mitmik-faasi süsteemid. Ühefaasiline süsteem tähistab ühe siinusreeglipära järgi võnkuvat allika, sellega ühendatud juhtide ja koormusega elektri ahela kontuuri. Ühefaasilise süsteemi eripäraks on kontuuri võimsuse võnkumine toitesagedusega sünkroonselt. Suurtes süsteemides rakendatakse kolmefaasilist vahelduvtoitesüsteemi, mis võimaldab tagada üle kantava võimsuse püsivuse sõltumata toitesüsteemi pinge- ja voolutugevuse suuruste võnkumisest. Kolmefaasiline süsteem kujundatakse seejuures kolmest sõltuvast kontuurist, mis on teineteisega järgalt ühenduses; sellise süsteemi realiseerimiseks on vajalik rakendada minimaalselt kolme elektrijuhti.



Joonis 3-3. Pingete hetkväärtused kolmefaasilises vahelduvtoitesüsteemis. Tähistused „3“ – pingelaineukuju amplituudväärtus faasis „L1“; „4“ – pingelaineukuju amplituudväärtus faasis „L2“; „5“ – pingelaineukuju amplituudväärtus faasis „L3“; „6“ – pingelaineukuju amplituudväärtus pingena faaside L1 ja L2 vahelises ühenduses.

Ülekandeliinide puhul rakendatakse kolmejuhtmelist kolmefaasilist süsteemi, milles faaside kontuurid on talitlussuuruste vaates üldiselt sümmeetriliselt tasakaalus. See tähendab, et:

- kõikide faasijuhtide pinged teise faasijuhi suhtes on samal tasemel;
- kõikide faasijuhtide pinged maa-tasandi suhtes on samal tasemel;
- kõikide faasijuhtide koormusvoolud on samal tasemel.

Sümmeetrilise kolmefaasilise ahela talitlussuuruste arvutustes kasutatakse samu põhimõtteid, mis kirjeldati vahelduvtoitesüsteemi arvutuste juures, rakendades tegurit  $\sqrt{3}$ .

$$P_{3FVT} = \sqrt{3} \cdot U_{VT} \cdot I_{VT} \cdot k_{UIPF}$$

330 kV ülekandesüsteemides hoitakse üldiselt võimsustegur  $k_{UIPF}$  suhteliselt 1 lähedal, kuna see võimaldab juhtide maksimaalset kasutust ja tagab väikesed kaod. Kaabelliinidega süsteemides võib aga kaabli elektrilisest mahtuvusest tingituna esineda ka madalam võimsusteguri suurus. Kui ülekandeliinile on ette antud üle kantava aktiivvõimsuse spetsifikatsioon, saab liini talitlusvoolutugevuse arvutada:

$$I_{3FVT} = \frac{P_{3FVT}}{\sqrt{3} \cdot U_{VT} \cdot k_{UIPF}}$$

## 4. Elektromagnetväljade tasemete analüüsi meetodika

Elektromagnetväljade (EMV) tasemete analüüsiks teostatakse arvutused, mis tuginevad ülekandeliinide geomeetrilistele ja elektrilistele talitlussuurustele. Nii elektri- kui magnetväljade suurused konkreetsetes asukohas on füüsikaliselt hästi tuntud printsiipide kohaselt leitavad. Analüüsiks on koostatud mudelid, mis võimaldavad kirjeldatud printsiipide kaudu teostatud arvutustele tuginedes esitada EMV tasemed ülekandeliinide ja nende komponentide vahetus ümbruses. Arvesse tuleb võtta asjaolu, et mudel on alati reaalse olukorra lihtsustatud esitus ning mudelitel esineb piiranguid.

### 4.1. Elektri- ja magnetväljasuuruste arvutamise üldised põhimõtted

**Elektrivälja intensiivsust** iseloomustab elektriväljatugevus (tähis  $E$ , ühik V/m – volti meetrile). Elektrivälja tuntakse mh nimetuse E-väli all. Elektriväli on vektorväli, mis tähendab, et tegemist on intensiivsust ja suunda omava väljaga. Reaalses keskkonnas on elektriväli alati kolmemõõtmelise mõjuga väli (mõjub igas ruumi suunas).

Elektriväljatugevus konkreetsetes asukohas iseloomustab jõudu, millega elektriväljas paiknevat elektrilaengut mõjutatakse. Elektriväljatugevust iseloomustab lineaarse superpositsiooni printsiip, mistõttu mingis asukohas olev reaalselt mõjuv elektriväljatugevus on erinevate elektrivälja põhjustavate allikate/asjaolude poolt tekitatavate väljakomponentide aritmeetiline summa.

$\vec{E}_{VP} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{Q_i \cdot \vec{r}_i}{ r_i ^3}$	
--	--

kus  $Q_i$  on E-välja põhjustav laeng,  $\vec{r}_i$  on  $i$ -nda laengu  $Q_i$  ja vaatluspunkti vaheline kaugusvektor ja  $N$  on vaadeldavate E-välja põhjustavate laengute koguarv,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12}$  F/m on vaakumi/vaba õhu dielektriline konstant.

Elektrijuhiga seotud laengu suurus on määratud sellel oleva pingetaseme poolt. Lihtsamal vaates on siin ülekandeliiniga seotud laengusuurus määratletud läbi 3-faasilise süsteemi faasijuhtide pingete ja maapinna-tasandi laengusuurusega.

E-välja intensiivsuse määratlejana vaadeldakse siin ainult faasijuhtide pingesuurst. Faasijuhte läbiv koormusvool E-välja suurst ei mõjuta.

**Magnetvälja intensiivsust** iseloomustab magnetvoo tihedus (tähis  $B$ , ühik T – tesla). Magnetvoo tihedust tuntakse ka magnetilise induktsiooni ja B-välja nimetuste all. Magnetvoo tihedus on vektorväli sarnaselt E-väljale, seda iseloomustab nii välja intensiivsus kui ka suund. Samuti kehtib B-välja kohta lineaarne superpositsiooni-printsiip. Reaalses keskkonnas on magnetvoo tihedus alati kolmemõõtmelise mõjuga väli (mõjub igas ruumi suunas).

Magnetvooitihedus konkreetses asukohas iseloomustab jõudu, millega selles magnetväljas paiknevat liikuvat elektrilaengut (e elektrivoolu) mõjutatakse. Magnetvooitiheduse algataja on samuti liikuv laeng, s.o voolutugevus elektriahelas.

$\vec{B} = \sum_{k=1}^N N_{r_k} \frac{I_k \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi \cdot  r_k ^2}$	
--	--

kus  $Q_k$  on B-välja põhjustav voolutugevus,  $\vec{r}_k$  on i-nda voolujuhi ja vaatluspunkti vaheline kaugusvektor ja  $N$  on vaadeldavate B-välja põhjustavate voolude koguarv,  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  H/m on vaakumi/vaba õhu magnetiline läbitavus.

## 4.2. Ülekandeliinidega seotud elektri- ja magnetväljasuuruste seosed

Analüüsil kasutatud arvutustes rakendatakse ülekandeliinide EMV leidmiseks peatükis 3.1. „Elektrisüsteemi talitlussuurused“ kirjeldatud talitlussuuruste arvutusprintsipi. EMV suuruste arvutamiseks on elektrilistest talitlussuurustest tarvilik rakendada elektrilise pinge ja voolutugevuse suuruseid. Arvutuste aluseks on:

- ülekandeliini või ülekandesüsteemi komponendi pingetaseme suurus, mis tugineb tüüpiliselt normdokumendi alusel spetsifitseeritud suurusel (vt EN 60038);
- ülekandeliini koormusvoolu suurus on antud suurima koormustaluvusega (esitatakse maksimaalne püsi-koormusvoolu suurus), suurima oodatava võimsusega (esitatakse ülekantava võimsuse suurus) või projekteerimisel spetsifitseeritud suurus.

Arvutusjuhised ning meetodika aluspõhimõtted on leitavad mh IEC, IEEE ja CIGRE dokumentidest:

- EVS-EN 62110:2010 Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure;
- IEEE 644-2019 IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines;
- CIGRE WG 36-01. Ref 021 - 1980. Electric and magnetic fields produced by transmission systems. Technical Brochure;
- CIGRE WG 36-01. Ref 074 - 1993. Electric power transmission and the environment - Fields, noise and interference;
- CIGRE WG C4-204. Ref 373 - 2009. Mitigation Techniques of Power Frequency Magnetic Fields originated from Electric Power Systems. Technical brochure;
- CIGRE WG C3-19. Ref. 806 - 2020. Responsible management of electric and magnetic fields (EMF). Technical brochure.

Vahelduvtoitesüsteemi talitlusel esinevad siinuslainekujuga pinge- ja voolutugevuse suurused tingivad ka vastavalt E- ja B-väljasuuruste esinemise perioodilise võnkumisega.

Lihtsamases vaates põhjustab vahelduvtoitekontuuris olev siinuslainekujuga pingesuurus siinuslainekujuga E-väljasuuruse ning siinuslainekujuga voolutugevuse suurus omakorda siinuslainekujuga B-välja esinemise. Ülekandeliinide EMV tasemete arvutamisel tuleb arvesse võtta E- ja B-väljade kombineerumist erinevatel ajahetkedel 3-faasilises süsteemis. Kolme erineva faasijuhi poolt tekitatud väljade kombineerumine annab tulemuseks vahelduvväljasuuruste esinemise, kuid summaarne väljatugevus ei ole liini juures siinuskujule omase ringikujulise profiiliga, vaid elliptilise profiiliga. Inimesele mõjuva EMV hinnangu aluseks on efektiivväärtussuurus, mille leidmine elliptilise profiili järgi muutuva suuruse korral on keerulisem kui siinuslainekuju puhul.

EMV tasemete arvutusteks ja võimaliku elliptilise profiili arvutuste teostamiseks sooritatakse käesolevas aruandes esitatud analüüs järgmiselt.

- Ülekandeliinile määratakse ühe siinusvõnkumise jooksul kokku 24 erinevat ajahetket sellel oleva pinge- ja voolutugevuse suurus (so faasori iga 15 nurgakraadi järel)
- Leitud talitlussuuruste hetkväärtuste alusel teostatakse E- ja B-väljade numbriline arvutus.
- Kasutades arvutustel leitud 24 E- ja B-välja tulemust, määratakse väljatugevuse efektiivväärtused kasutades seoseid:

$ E _{eff} = \sqrt{\sum_{k=1}^{24}  E_k ^2}$	
$ B _{eff} = \sqrt{\sum_{k=1}^{24}  B_k ^2}$	

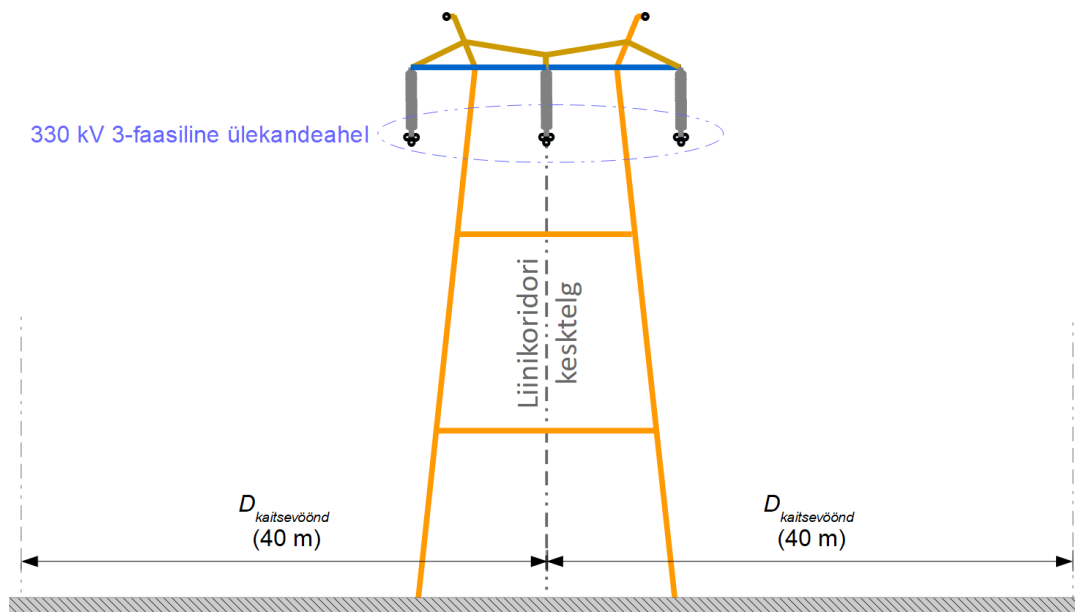
- $|E_k|$  ja  $|B_k|$  esitatakse iga vaadeldava geomeetrilise asukoha kohta. Tegemist on väljasuuruste moodulväärtusega, mis kirjeldab väljasuuruse intensiivsust ilma selle suunata.
- Arvutustulemustena esitatakse E-välja ja B-välja intensiivsuseks ainult kogu ühe vönkeperioodi summaarne moodul-efektiivsus.

## 5. Üheaheelalise 330 kV õhuliini elektromagnetvälja hinnang

Ülekandevõrgu üheaheelalise 330 kV õhuliini planeeritava asukohaga on võimalik tutvuda kaardirakenduses: <https://www.riigiplaneering.ee/riigi-eriplaneeringud/eesti-lati-neljas-elektrihendus/kaardirakendus>.

Õhuliini rajamisel kehtestatakse sellele kaitsevöönd, mis 330 kV nimipingega õhuliini korral on 40 m, mida arvestatakse õhuliini pikiteljest kummaski suunas. Kaitsevööndi ulatus ja selles rakenduvad piirangud on kirjeldatud majandus- ja taristuministri 25. juuni 2015. a määruses nr 73 „Ehitise kaitsevööndi ulatus, kaitsevööndis tegutsemise kord ja kaitsevööndi tähistusele esitatavad nõuded“ (kehtiv redaktsioon RT I, 03.02.2022, 20).

Õhuliini eskiisprojektis on ette nähtud ülekandeliinide rajamine üheaheelalise 330 kV õhuliinina. Sellises konfiguratsioonis on õhuliinidega seotud kaitsevööndi laiuseks kokku 80 m, mis moodustuks liini jaoks ette nähtud kaitsevööndist kummaski külgsuunas (vt Joonis 5-1).

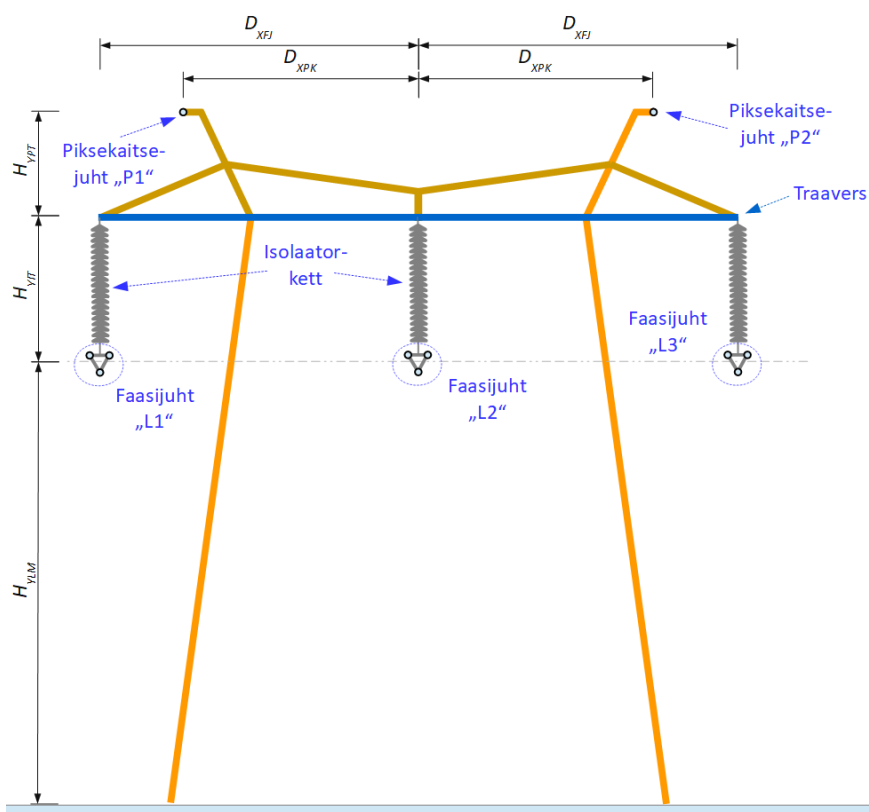


Joonis 5-1. Üldvaade õhuliini kavandatavale mastile ja sellega seotud kaitsevööndi ulatusele.

### 5.1. Õhuliini mastid ja juhtide paigutus

Liini prototüübiks on 1-ahelaline faasijuhtide horisontaalpaigutusega liin, milles faasijuhid on kinnitatud kandemastidele tüübid 3S0G, 3S0F (vt Lisa A). Nimetatud mastid esindavad sirge liinilõigu maste. Erinevas suunas sihtidega liiniosade ühenduskohtades kasutatakse mehaanilisi koormuseid arvestavaid nurgamaste, millel siiski tagatakse juhtide paigutus selliselt, et see vastaks sirgel liinilõigul kasutatavale liinijuhtide paigutusele.

Õhuliiniga seotud elektromagnetväljade arvutusmudeli ülesehituse peamine geometria tugineb masti ülesehituse lihtsustatud geomeetrilisele skeemile (vt Joonis 5-2).



Joonis 5-2. Õhuliini kandemastide lihtsustatud geomeetriline visand ja juhtide paigutuse alusmõõtmed. Geomeetria olulised suurused vt Tabel 5-1.

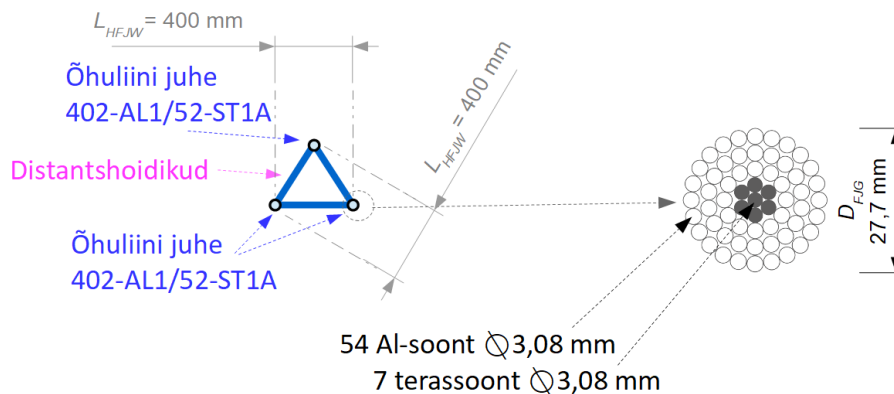
Joonise esitatud geomeetriliste suuruste parameetrid on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 5-1).

Tabel 5-1. Õhuliini kandemasti ja juhtmete paigutusega seotud geometria (vt Joonis 5-2).

Mõõde joonisel (vt Joonis 5-2)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$H_{YLM}$	Faasijuhi kõrgus maapinnast	8,0...35,0	Seotud faasijuhi asukohaga visangul
$H_{YIT}$	Faasijuhi kandeisolaatori kõrgus	4,0	
$H_{YPT}$	Piksekaitsejuhi kõrgus traaversist	4,5	
$D_{XFJ}$	Faasijuhi hor. kaugus liini keskteljest	9,8	
$D_{XPK}$	Piksekaitsejuhi hor. kaugus liini keskteljest	7,8	

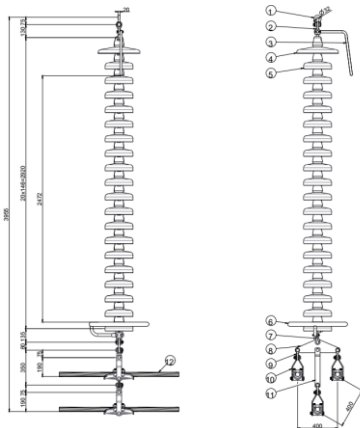
## 5.2. Õhuliini faasijuhid ja isolaatorid

330 kV õhuliinidele on nähtud ette kolm juhet faasis, terasalumiiniumjuhtmetega 402-AL1/52-ST1A. Osajuhtmed paigaldada omavahelise kaugusega 400 mm. (alus: Eleringi juhend „701 Projekteerimine“). See tähendab, et iga faasijuht on kujundatud kolmest juhtmest koosneva lõhisfaas-konstruktsioonina, milles faasijuhtide omavaheline horisontaalne vahekaugus  $L_{HFJW}$  on 400 mm, vt Joonis 5-3. Õhuliini juhtmetena kasutatakse 402-AL1/52-ST1A „Condor“ tüüpi teras-alumiiniumjuhtmeid (EVS-EN 50182:2002), mille välis-läbimõõduks on 27,7 mm.



Joonis 5-3. Õhuliini konstruktsioonis rakendatud teras-alumiiniumjuhtmed ja nendega koostatud kolmest paralleelselt paiknevast juhist lõhisfaas-konstruktsioon.

Isolaatorina kasutatakse liinide ehitusel eeldatavalt isolaatorketti, mis on alusena esitatud joonis 330S-0182 (vt Lisa A). Sellise isolaatorkети kogupikkus riputusaasast kuni madalaima juhini on ligikaudu 4 m (vt Joonis 5-4).



Joonis 5-4. Isolaatorkети üldvaade (alus: väljavõte jooniselt 330S-0182 / projekt 626K0).

## 5.3. Juhtide ripe ja madalaimad juhtide asukohad

Juhtide rippekõrgus tähistab mastidele kinnitatud isolaatoritele toetatud juhtmete kõrgust kahe kandemasti vahelisel alal. Juhtide vertikaalsuunaline paiknemine on parabooli-kujulise kõrgusprofiiliga. Eleringi juhend „701 Projekteerimine“ esitab

väljavõtte nõutavate õhkvaheemike kohta, s.o minimaalsed kaugused erinevate osade vahel. Nõutavad õhkvaheemikud 330 kV suurima juhtme temperatuuri korral on:

- maantee, raudtee või veeteed – 10 m;
- tänav, muu tee (v.a maantee osa) – 8,5 m;
- rada (põllu-, metsa- vms katendita tee) – 7,5 m;
- maapinnani avatud maastikul – 7,5 m.

Õhuliinide korral teostatakse analüüs rippe madalaimas punktis, milleks on reeglina visangu keskkohas. Sellisel juhul on faasijuhid maapinnale lähimas paiknemises. Faasijuhtide läheduse tõttu inimesele esineb antud juhtumil kõige intensiivsemalt mõju avaldava EMV olukord. Visangu muudes osades, kus faasijuhtide kaugus inimesest on suurem, jääb inimese juures oleva EMV tase oluliselt madalamaks.

Antud töös on vaadeldud rippe madalaima kõrgusena 8,0 m.

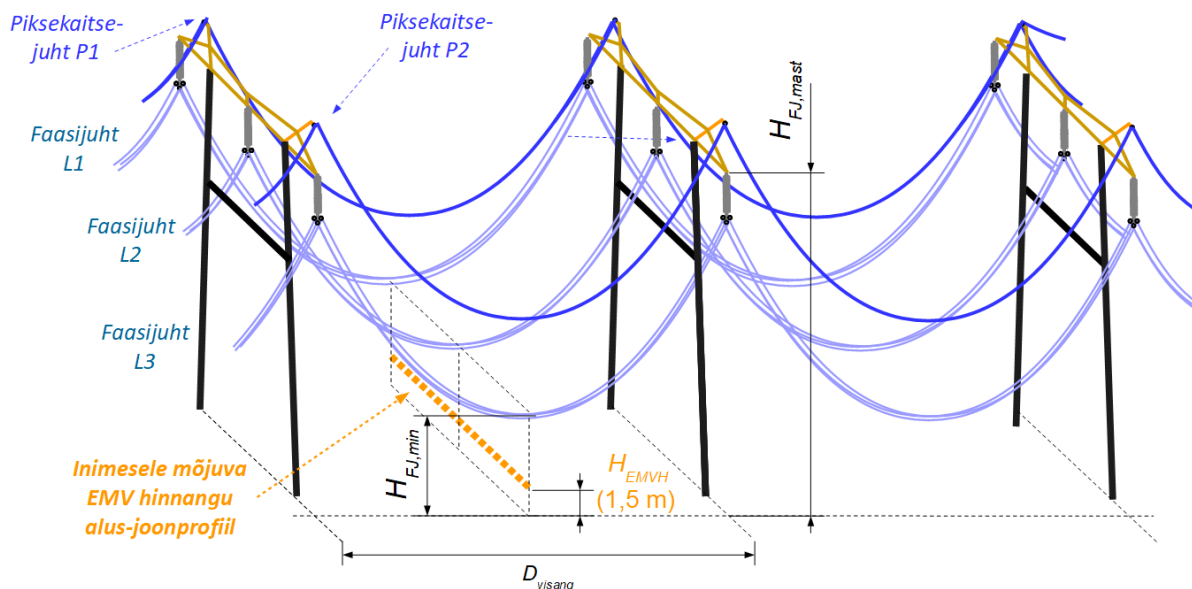
## 5.4. Õhuliini EMV hinnangu alused ja arvutus

Õhuliini tekitatava EMV tasemed on füüsikaliselt määratletud läbi elektrijuhtide asetuse geomeetria ning elektrijuhtidele rakendatud talitlussuuruste, pinge ja voolutugevuse tasemete. Esimene neist on määrav elektriväljatugevuse hinnangul ning teine magnetvootiheduse hinnangul. EMV hinnanguks tarvilikus arvutuseks arvestatakse järgmiseid kitsendusi.

- Hinnang antakse lähtuvalt inimesele potentsiaalselt mõjuva EMV tugevusest, selleks hinnatakse EMV taset maapinnast 1,5 m kõrgusel.
- Suurim EMV intensiivsus esineb juhul, kui juhtmed on inimesele lähimad. Tarvilik tingimus selleks on, et inimene viibib elektriliini läheduses rippe madalaimas punktis.
- Rippe madalaim punkt on eeldatavalt kaugel mistahes muudest objektidest, mis võiksid EMV taset mõjutada. Tüüpiliselt visangu keskel asuv punkt on kaugel ka liinimastidest, mistõttu nende mõju EMV tasemele ei hinnata. Märkusena saab välja tuua, et elektriliini mastide juures olev EMV on reeglina oluliselt nõrgem, kui visangu keskel juhtide madalaimas punktis.

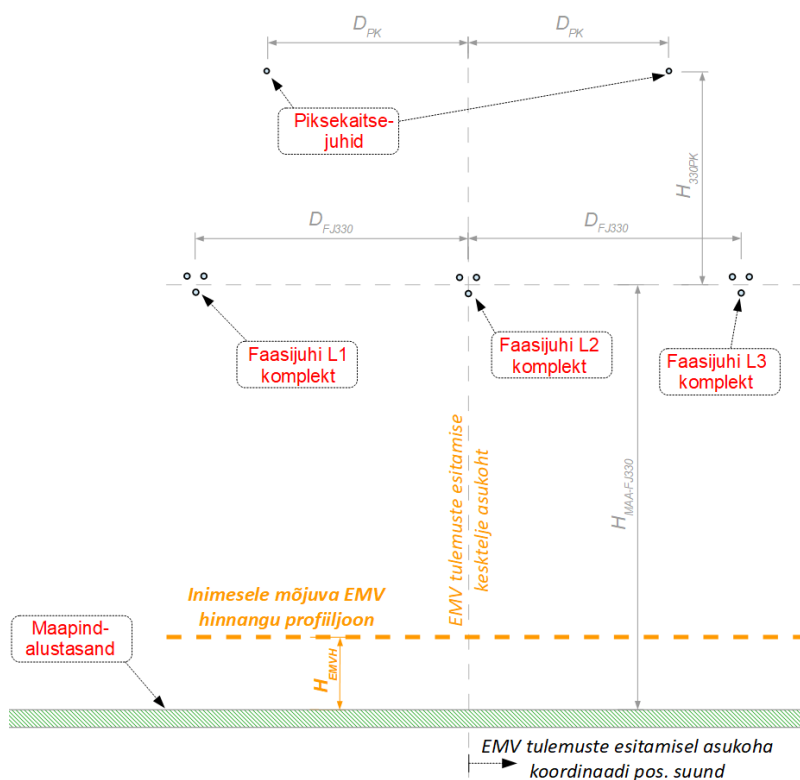
### 5.4.1. Õhuliini emiteeritava EMV hindamise mudelis rakendatav geomeetria

Suurimat EMV tugevust on oodata asukohas, kus inimene on ülekandeliini faasijuhtidele lähimas positsioonis. EMV mõju inimesele iseloomustamise seisukohast on selline olukord visangu keskel (vt Joonis 5-5).



Joonis 5-5. Inimesele mõjuva EMV hinnangu asukoht ning sellega seotud geometria.

Inimesele mõjuva EMV tugevuse hinnangu aluseks on liini all oleva EMV tugevus mööda joonprofiili, mille kõrguseks maapinnast eeldatakse 1,5 m ( $H_{EMVH}$ ).



Joonis 5-6. EMV arvutustes rakendatud ühe elektriliini alusgeomeetria skeem.

Õhuliini tekitatava EMV arvutuse geometria on esitatud alloleval skeemil (vt Joonis 5-6), millel on arvutuste jaoks olulised komponendid faasijuhid, piksekaitsejuhid ning maapinna alustasand. Viimane on kõikides arvutustes ideaalne 0-potentsiaali kandja. Arvutustes rakendatavad geomeetriselised mõõtmed on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 5-2).

Tabel 5-2. EMV arvutusskeemis rakendatavad geomeetrilised parameetrid, vt Joonis 5-6.

Mõõde joonisel (vt Joonis 5-6)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$H_{YMAA-FJ330}$	Faasijuhi kõrgus maapinnast	8,0	Minimaalne juhtmete kõrgus visangu kesksel
$H_{330PK}$	Piksekaitsejuhi kaugus faasijuhist	8,5	
$H_{EMVH}$	Elektromagnetvälja mõjuhinnangu aluskõrgus	1,5	
$D_{FJ330}$	Faasijuhi hor. kaugus liini keskteljest	9,8	
$D_{PK}$	Piksekaitsejuhi hor. kaugus liini keskteljest	7,8	

#### 5.4.2. Elektrilised talitlustingimused

Ülekandeliini EMV arvutuste aluseks on alljärgnevad elektrilised talitlustingimused.

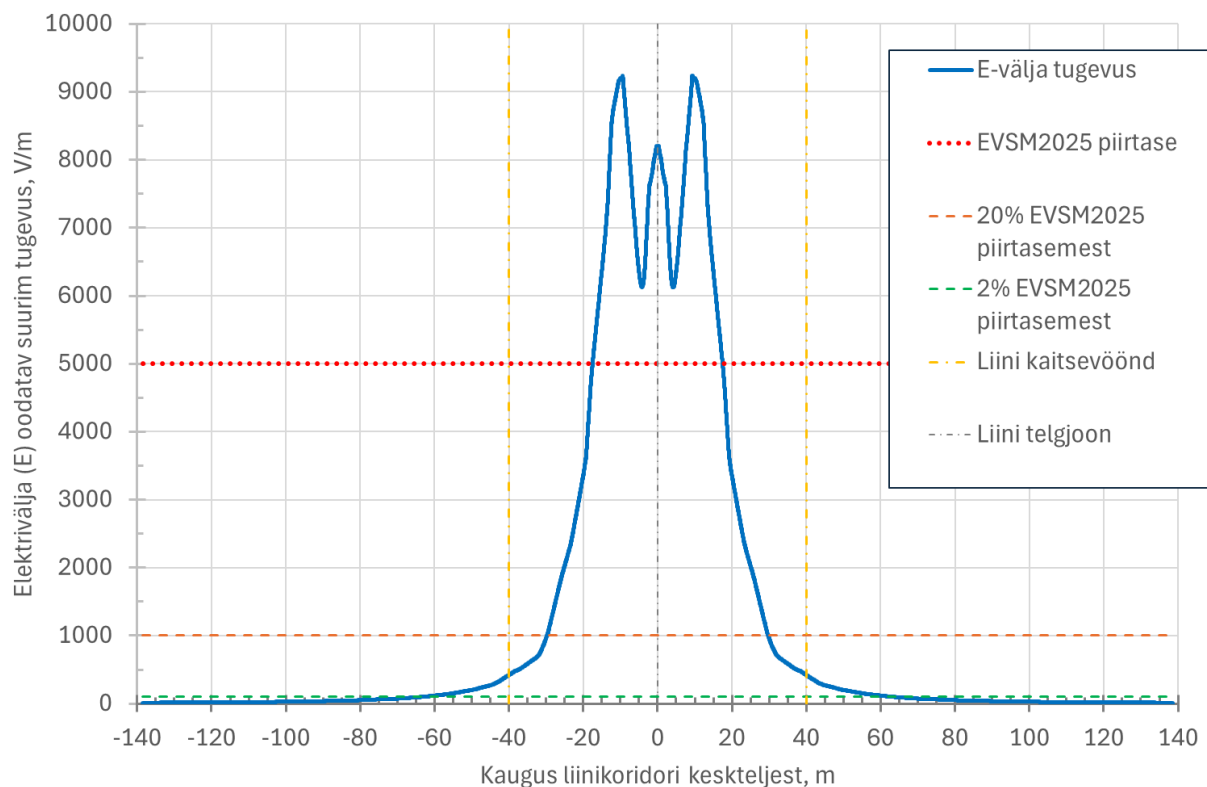
- Pingetase 362 kV on 330 kV nimipingega töötavate ülekandeliinide suurim kestevpinge e püsiv suurim talitus-liinipinge efektiivväärtuse tase (alus: EVS-EN 60038:2012 *CENELECi standardpinged*, suurim kestevpinge tase). Liinijuhtide faasipinge e pinge suurus maa suhtes on efektiivväärtusena 209 kV igal faasijuhil.
- Voolutugevuse suurus lähtub liini juhile määratud termilise taluvuse püsisuurusest juhtme lõpliku pinnatemperatuuri 80°C korral (tuulevaikus, max päevane õhutemperatuur, max päikesekiirguse intensiivsus). 402-AL1/52-ST1A tüüpi juhtme püsiv koormusvool on eri allikate hinnangul 650...900 A. Projekteerimisel on aluseks koormusvoolu suurim suurus 800 A juhtme kohta.
- EMV mõju hindamise mudelis koormusvoolutugevus ühes faasijuhi kompleksis kokku (3 juhet lõhisfaasina) on 2400 A.

#### 5.5. Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks

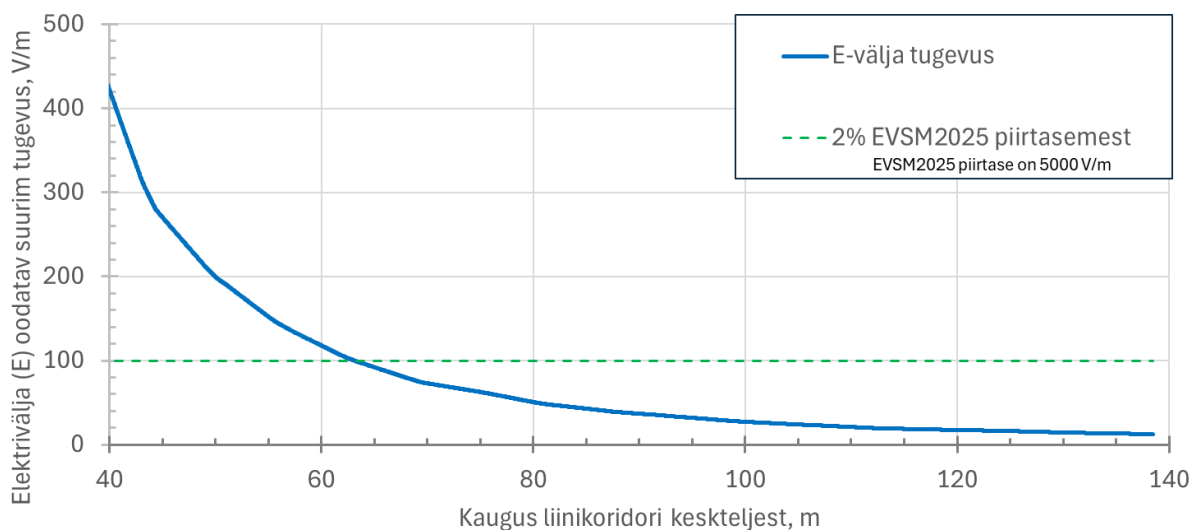
Õhuliini poolt tekitatud elektriväljatugevuse osas hinnangu andmiseks on aluseks alloleval graafikul (vt Joonis 5-7) koondatud numbrilised suurused.

Oodatavad elektrivälja tugevuse suurused jäävad liini kaitsevööndist väljaspool selgelt alla EVSM2025 piirtasemeid. Kuigi otse liini faasijuhtide all viibides ületaks elektrivälja tugevus EVSM2025 piirtasemeid, kahaneb välja intensiivsus liinist eemaldudes järsult. Liin kaitsevööndi piiril on elektriväljatugevus kahanenud tasemele u 9% EVSM piirtasemest. Elektriväljatugevuse tasemete oodatavate suuruste ülevaade väljaspool

liini kaitsevööndit on esitatud detailsemas vaates alloleval graafikul (vt Joonis 5-8). Kaugusel üle 63 m liinikoridori keskteljest (s.o 25 m liini kaitsevööndi piirist) on elektriväljatugevuse intensiivsus alla 2% EVSM2025 piirtaseme väärtust. Sellisel juhul ei ole võimalik eristada ülekandeliini poolt tekitatud EMV ja näiteks olmeseadmete või hoone elektripaigaldise poolt tekitatud EMV emissioone.



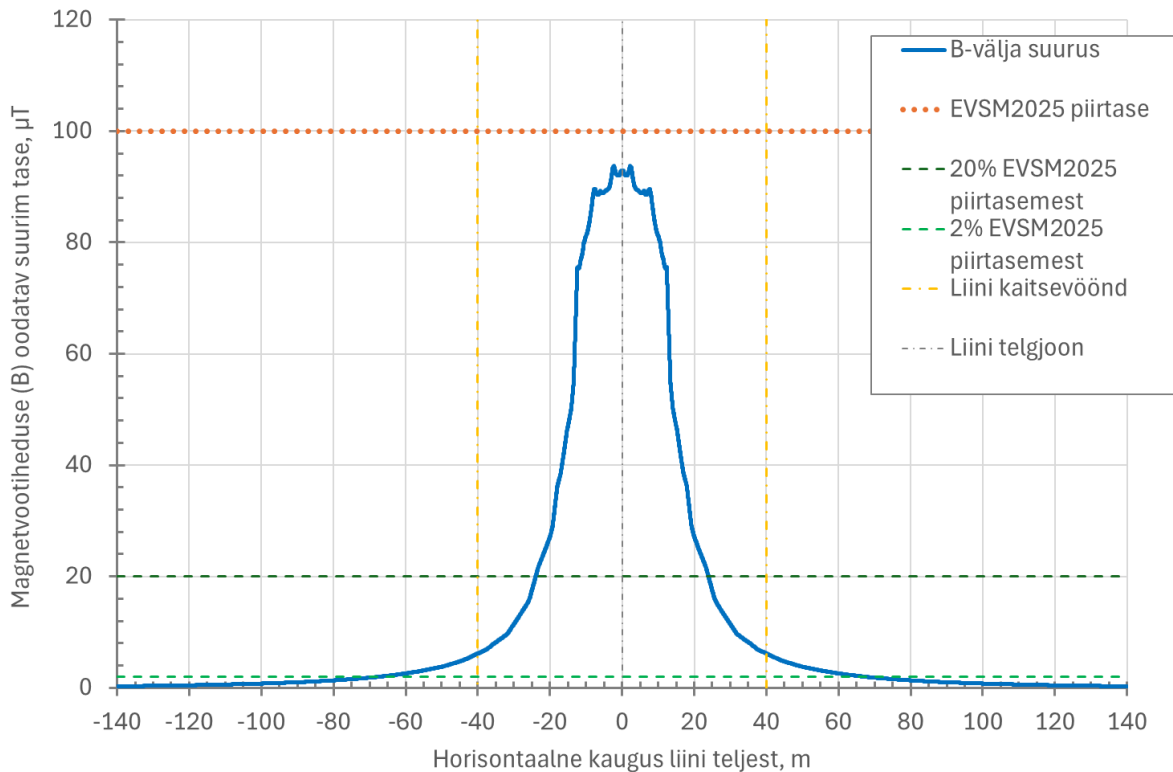
Joonis 5-7. Elektriväljatugevuse (E-välja) arvutustulemused graafikul, ulatuses 140 m liinikoridori teljest mõlemas suunas. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljest vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljest paremale.



Joonis 5-8. Elektriväljatugevuse (E-välja) arvutustulemused detailvaates graafikul, väljaspool ülekandeliini kaitsevööndit.

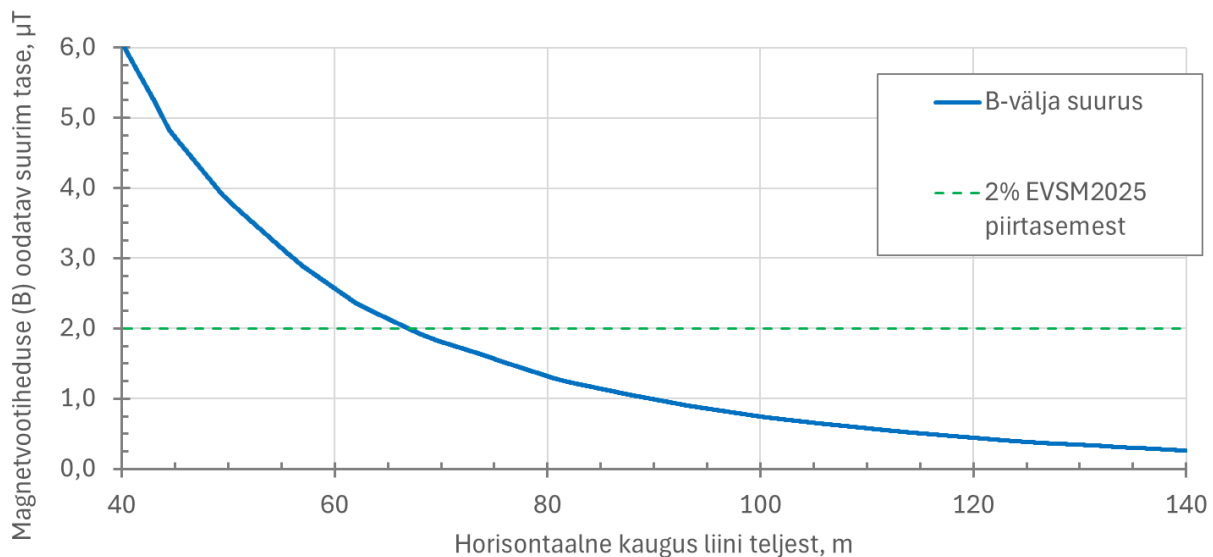
## 5.6. Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks

Õhuliini poolt tekitatud elektriväljatugevuse osas hinnangu andmiseks on aluseks alloleval graafikul (vt Joonis 5-9) koondatud numbrilised suurused.



Joonis 5-9. Magnetvootiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, ulatuses 140 m liinikoridori teljest mõlemas suunas.

Oodatavad magnetvootiheduse tugevuse suurused jäävad liini kaitsevööndist väljaspool selgelt alla EVSM2025 piirtasemeid. Antud liini konfiguratsiooni korral ja oodatavates koormusolukordades ka otse liini faasijuhtide all viibides ei ületaks oodatav magnetvootihedus EVSM2025 piirtasemeid. Liinist eemaldudes kahaneb magnetvootihedus järsult ja liini kaitsevööndi piiril on magnetvootihedus kahanenud tasemele u 6% EVSM piirtasemest. Magnetvootiheduse tasemete oodatavate suuruste ülevaade väljaspool liinide kaitsevööndit on esitatud detailsemas vaates alloleval graafikul (vt Joonis 5-8). Kaugusel üle 67 m liinikoridori keskteljest (s.o 27 m liini kaitsevööndi piirist) on ülekandeliini poolt põhjustatud magnetvootiheduse intensiivsus alla 2% EVSM2025 piirtaseme väärtust. Sellisel juhul ei ole võimalik eristada ülekandeliini poolt tekitatud EMV ja näiteks majapidamise elektripaigaldise poolt tekitatud EMV emissioone.



Joonis 5-10. Magnetvooitiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, väljaspool ülekandeliini kaitsevööndit.

## 5.7. Õhuliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes

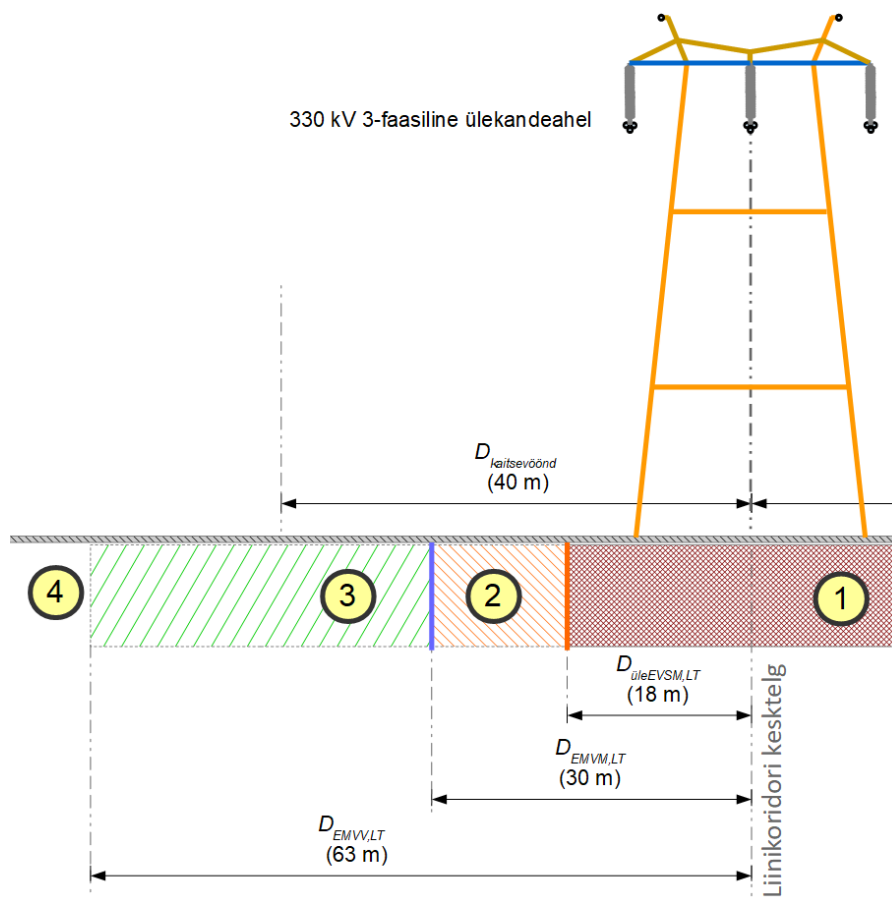
330 kV õhuliini poolt tekitatud EMV tasemete ülevaade lähtudes mõjust inimesele on esitatud alloleval graafilisel skeemil, vt Joonis 5-11. Siin on esitatud kokku 4 erinevat ala, mille üldkirjeldus oli esitatud peatükis 2.3. „EMV mõju kriteeriumid“. Ülekandeliini poolt tekitatud EMV (lüh ÜL-EMV) tasemete alusel eristatakse siin järgmisi alasid.

1 – ala, milles ÜL-EMV tasemed ületavad suure tõenäosusega EVSM2025 määruses esitatud piirtasemed. **Selles alas ei ole inimese alaline viibimine soovitatav.**

2 – intensiivse ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 20...100%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

3 – märgatava ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 2...20%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

4 – vähese ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel alla 2%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.



Joonis 5-11. Ülekandeliinide inimesele mõjuvate EMV tasemete alusel kinnitatud alad. Esitatud on vaade liini ühel poolel; liini teie poole jaoks vastab sama alade määratlus ja ulatus, liini kesktelje suhtes peegelkujutisena.

Käesolevate ülekandeliinide EMV hinnang esitab alade piirid kaugustel, mis on kirjeldatud allolevas tabelis (vt Tabel 5-3). Tabelis on esitatud ka intensiivsuse alade piiritingimuse seadjana kas elektriväljatugevus või magnetvootihedus.

Tabel 5-3. Õhuliinide poolt tekitatud elektromagnetvälja (ÜL-EMV) alusel sätestatud EMV intensiivsuse alad, nende piirid ja määratlused.

Ala tähis ja kommentaar	Ulatus liini keskteljest, m	Kommentaar
„1“ – EVSM2025 piirtasemest kõrgema EMV ala	0...18	<b>Ala, milles inimese alaline viibimine ei ole soovitatav.</b> Ala ulatuse määratleb elektriväljatugevus (E-väli).
„2“ – intensiivse tasemega EMV ala	18...30	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega 20...100% EVSM2025 tasemest. Ala ulatuse määratleb elektriväljatugevus (E-väli).
„3“ – märgatava tasemega EMV ala	30...67	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega 2...20% EVSM2025 tasemest. Ala ulatuse määratleb elektriväljatugevus ja magnetvootihedus (E-väli / B-väli).

Ala tähis ja kommentaar	Ulatus liini keskteljest, m	Kommentaar
„4“ – nõrga tasemega EMV ala	Üle 67	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega alla 2% EVSM2025 tasemest.

## 5.8. Kommentaar 330 kV õhuliini poolt põhjustatava EMV juurde

### 5.8.1. Üldised aspektid olmekeskonna seisukohtadest

#### ***EVSM2025 piirväärtuseid ületav ala „1“***

330 kV üheaheelalise õhuliini poolt tekitatava elektromagnetvälja suurus on tasemel, mis liinikoridori vahetus läheduses ületab EVSM2025 määrusega seatud piirtasemeid. EVSM2025 piirtasemeid ületav ala ulatub kuni 18 m kaugusele liini keskteljest (vt Tabel 5-3).

Antud piirtaseme ületamine iseenesest ei tähenda vältimatut terviseohu tekkimist ega ilmnemist. Eeskätt iseloomustab antud piirtaseme ületamist võimalike inimkeha bioloogilist talitlus mõjutavate stresside kujunemist määral, milles pikaajaline või alaline viibimine võib potentsiaalselt viia pöörduvate või pöördumatute tervisemõjudeni. Kirjeldatud tuleb käsitleda eeskätt statistilises vaates, seepärast:

- mõjude ilmnemine inimesele võib avalduda väga väikesel hulgal inimestel;
- mõju võib olla väga erineva ja eri isikutel täiesti erinevate tunnustega.

EVSM2025 piirtasemed on kirjeldatud märkimisväärse varuteguriga, et viia EMV tõttu tervisemõju ilmnemine täiendavalt väikesele tasemele. Näiteks töökeskkonnas on mittealalise (kuni 8 h päevas) EMV-ga kokkupuute perioodil arvestatav piirtase 4 korda kõrgem (s.o 20 kV/m 50 Hz sagedusega väljatugevuse komponendile vastavalt EVSM2013). EVSM2025 piirtasemeid ületav EMV tase praeguste parimate teadmiste kohaselt ei ole lühiajalisel kokkupuutel tervisemõjusid käivitav asjaolu.

Olmekeskonna käsitluses on viibimine kõrge EMV tasemega alas seotud mõningate riskidega, mis avalduvad eeskätt seoses meditsiiniliste abivahendite kasutamisega. Elektroonilised implantaadid ja abiseadmed ei pruugi kõrge EMV tasemega aladel korrektselt talitleda. Sellised implantaadid on üldiselt katsetatud põhjalikult töös mh oluliselt kõrgemate EMV tasemetega korral.

Kuigi sellised alad on inimese alalise viibimise seisukohast mittesobilikud, ei esitata piiranguid mistahes põllumajanduslikuks tegevuseks (sh loomakasvatuse- ja taimakasvatuse).

### ***EVSM2025 piirväärtuse lähedane ala „2“***

EVSM2025 piirväärtuse lähedase EMV tasemega alas ulatub EMV oodatav suurus alates 20% piirväärtuse tasemest kuni 100%-ni piirväärtuse tasemest. Arvestades EVSM2025 piirtaseme juures arvesse võetud varutegureid, ei oodata, et selliselt tasemel EMV põhjustaks inimese jaoks olulist bioloogilist või neuroloogilist stressi ka pideval selles alas viibimisel.

Antud ala ulatub ülekanaliini keskteljest kuni 28 m kauguseni (viide Tabel 5-3), selles alas olmekeskonna ja elutegevusega seotud aspektid ei ole oodatavalt EMV tugevusest oluliselt mõjutatud. Siiski, arvestades EMV taset antud alas, on võimalik, et täiendava seadme, süsteemi või paigaldise (tehnilise sõlme) rakendamisel selles alas võib EMV tase kumuleeruda EVSM2025 piirtasemeid ületavaks. Seda juhul, kui nii antud ülekanaliin ega täiendav rakendatav sõlm iseseisvalt ei tingiks EVSM2025 piirtasemeid ületava väljatekkimist.

Võimaldamaks hinnata, kas alasse lisaks paigaldatav sõlm talitlemisel põhjustaks täiendavalt EVSM2025 piirtasemete ületamise, tuleb alas võimalikke sõlme käitavaid isikuid EMV tasemetest informeerida ja esitada neile alusmaterjal, mis kirjeldab vaadeldavas alas ülekanaliini poolt defineeritava EMV oodatavaid suursi. Selliseks materjaliks on näiteks epüürid EMV tasemete kirjeldustega (nii E- kui B-väli), graafikud väljatugevuste väärtustega, spektrogramm-esitys väljatugevuse väärtused jpt.

Antud alas inimeste alalisele viibimisele piiranguid ei seata. Inimene võib selles alas viibida alaliselt, selles alas olevate eluruumide pidev kasutamine ei ole piiratud. Inimese sellise EMV tugevusega alas viibimine ja elamine ei ole käesoleval hetkel parimate teadmiste kohaselt tervisega seotud nähtusi tõstatav.

Sellised alad on sobilikud eluruumide seisukohast, samuti mistahes põllumajanduslikuks tegevuseks (sh loomakasvatus- ja taimekasvatus).

### ***EVSM2025 piirväärtusest oluliselt madalama EMV tasemega alad „3“ ja „4“***

EVSM2025 piirväärtuse lähedase EMV tasemega alas ulatub EMV oodatav suurus alates 2% piirväärtuse tasemest kuni 20%-ni piirväärtuse tasemest. Arvestades EVSM2025 piirtaseme juures arvesse võetud varutegureid, ei oodata, et selliselt tasemel EMV põhjustaks inimese jaoks olulist bioloogilist või neuroloogilist stressi ka pideval selles alas viibimisel.

EMV mõõdukat taset võivad pakkuda ka paljud koduseadmed. Üheks tuntud tugeva elektrivälja tekitajaks oli mh hiljaaegu kasutusest kadunud katoodkineskoobiga teler. Aladel „3“ ja „4“ on ülekanaliini EMV tugevus selline, et koduseadmed ise võivad nende kasutamisel tingida sellest kõrgema EMV taseme.

Sellised alad on sobilikud eluruumide seisukohast, samuti mistahes põllumajanduslikuks tegevuseks (sh loomakasvatus- ja taimekasvatus).

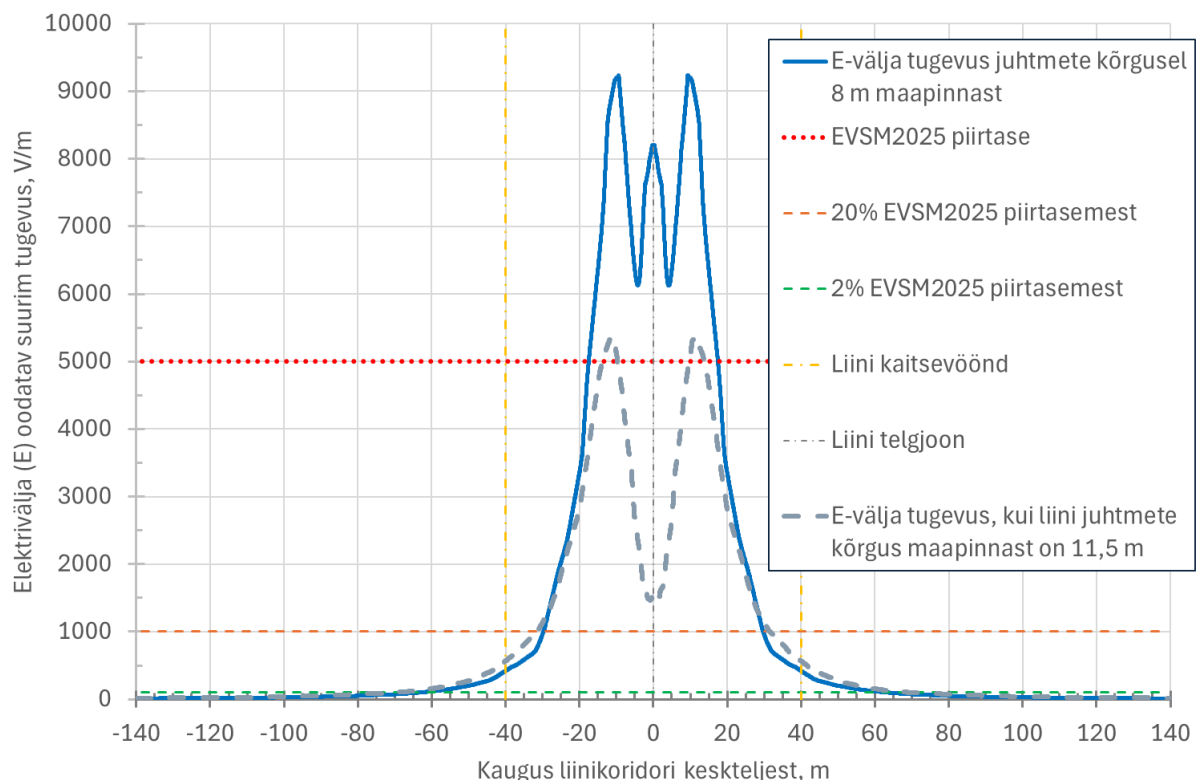
## 5.8.2. Tehnilised aspektid

330 kV õhuliini poolt põhjustatud EMV intensiivsus sõltub nii antud ülekandeliini elektrilistest talitlustingimustest kui ka faasijuhtide geomeetrisest paigutusest selle lähedal viibiva inimese suhtes.

- Elektrivälja tekitajaks on elektriliini talitluspinge nivoo.
- Magnetvootiheduse tekitajaks on ülekandeliini koormusvoolutugevus.

Tabelile Tabel 5-3 tuginedes on inimese jaoks mõjuva EMV suurima taseme määratleja elektriväljatugevus. Elektriväljatugevuse tasemed EMV hinnangu aluseks olevates arvutustes lähtuvad püsitalitluse suurimast lubatud väärtusest 363 kV (vt EVS-EN 60038:2012, *CENELECI standardpinged*). Ülekandeliini talitlusel on siiski oodatav nimipinge 330 kV, mis tähendab, et tegelik elektriväljatugevus jääb oodatavalt 10% madalamaks siin esitatust.

Pessimistlik hinnang lähtubasukohast visangu keskel, kus faasijuhtide kaugus maast on minimaalne (8,0 m). Mastide kõrgused viivad juhtmed paarikümne meetri kõrgusele suuremas osas liinist, mistõttu faasijuhtide kaugus inimeseni suureneb. Selle kauguse suurenemisega väheneb ka väljatugevus, mis on kirjeldatud alloleval graafikul (vt Joonis 5-12).



Joonis 5-12. Elektriväljatugevuse võrdlus olukordades, kus faasijuhtide kõrgus maapinnast on 8,0 m (minimaalne rippekõrgus) ning 11 m. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljelt vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljelt paremale.

Võrreldes 330 kV faasijuhtide erineval kõrgusel paiknemisega (vt Joonis 5-12) muutub järsult E-välja tiputugevus ning sellega ka efektiivselt EVSM2025 määruses kirjeldatud piirtasemeid ületav ala vaatluskõrgusel (1,5 m maapinnast). Külgsuunalised väljatugevuse suurused tasemel alla 40% EVSM2025 piirtasemetest jäävad suhteliselt samaks, faasijuhtide rippekõrguse kasvamisel võivad ka vähesel määral kerkida, kuid EVSM2025 piirtasemete kontekstis mitteolulisel määral.

Antud kirjeldusele tuginedes võib kinnitada, et elektriväljatugevus jääb 330 kV ülekandeliini ümbruses oodatavalt madalamaks kui ülaltoodud analüüsil esitatud. Lähtudes EVSM piirtasemetest väljaspool liini kaitsevööndit inimesele oodatavalt tervisemõju ei tõstatu ka inimese pikaajalisel viibimisel alas.

## 6. Kaheaabelaline 330 kV + 110 kV õhuliin

Õhuliini planeeritava koridori planeeritava asukohaga on võimalik tutvuda kaardirakenduses: <https://www.riigiplaneering.ee/riigi-eriplaneeringud/eesti-lati-neljas-elektrihendus/kaardirakendus>.

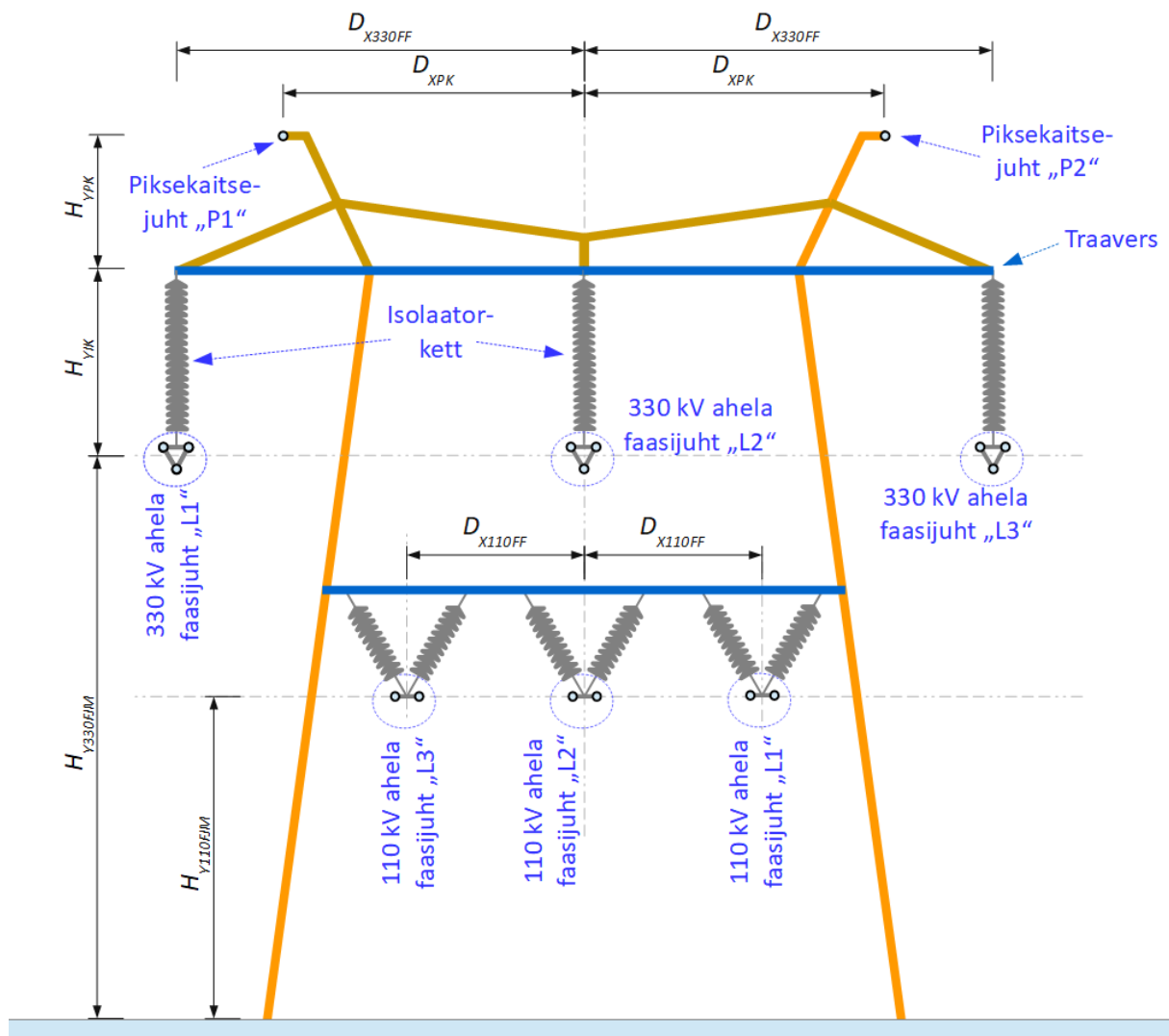
Õhuliini rajamisel kehtestatakse sellele kaitsevöönd, mis 330 kV nimipingega õhuliini korral on 40 m, mida arvestatakse õhuliini pikiteljest kummaski suunas. Kaitsevööndi ulatus ja selles rakenduvad piirangud on kirjeldatud Majandus- ja taristuministri 25. juuni 2015. a määrusega nr 73 „Ehitise kaitsevööndi ulatus, kaitsevööndis tegutsemise kord ja kaitsevööndi tähistusele esitatavad nõuded“ (kehtiv redaktsioon RT I, 03.02.2022, 20).

Õhuliini eskiisprojektis on ette nähtud kaheaabelaliste ülekandeliinide rajamine 330 kV + 110 kV nimipingega õhuliinina. Sellises konfiguratsioonis on õhuliinidega seotud kaitsevööndi laiuseks kokku 80 m, mis moodustuks liini jaoks ette nähtud kaitsevööndist kummaski külgsuunas (vt Joonis 5-1).

### 6.1. Õhuliini mastid ja juhtide paigutus

Liini prototüübiks on 330 kV + 110 kV kaheaabelaline faasijuhtide horisontaalpaigutusega liin, milles faasijuhid on kinnitatud kandemastidele tüübid 31S0GD, 31S0P (vt Lisa A). Nimetatud mastid esindavad sirge liinilõigu maste. Erinevas suunas sihtidega liiniosade ühenduskohtades kasutatakse mehaanilisi koormuseid arvestavaid nurgamaste, millel siiski tagatakse juhtide paigutus selliselt, et see vastaks sirgel liinilõigul kasutatavale liinijuhtide paigutusele.

Õhuliiniga seotud elektromagnetväljade arvutustega seotud ülesehituse peamine geomeetria on koondatud masti geomeetria tuginevale lihtsustatud geomeetrilisele skeemile (vt Joonis 6-1). Joonise esitatud geomeetriliste suuruste parameetrid on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 5-1).



Joonis 6-1. Kaheahelalise 330 kV + 110 kV ülekandeliini üldvaade ja selle olulisemad geomeetrilised parameetrid.

Tabel 6-1. Õhuliini kandemasti ja juhtmete paigutusega seotud geometria (vt Joonis 6-1).

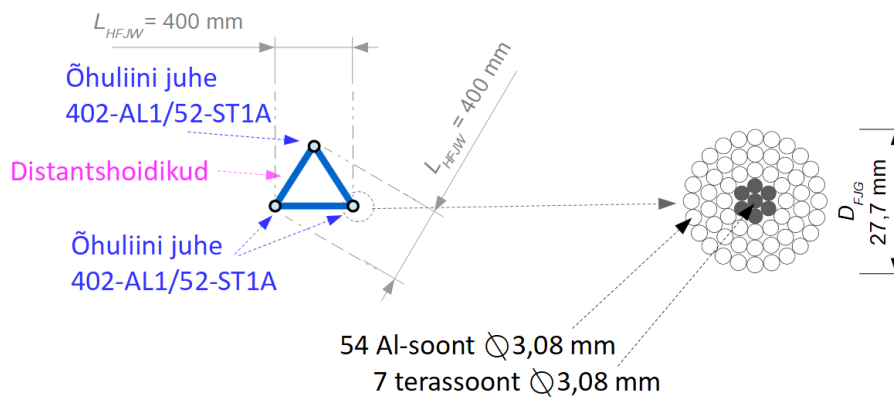
Mõõde joonisel (vt Joonis 6-1)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$H_{Y330FJM}$	Faasijuhi kõrgus maapinnast	11,5...40,0*	Seotud faasijuhi asukohaga visangul
$H_{Y110FJM}$	Faasijuhi kõrgus maapinnast	6,5...35,0*	Seotud faasijuhi asukohaga visangul
$H_{YIT}$	Faasijuhi kandeisolaatori kõrgus	4,0	
$H_{YPT}$	Piksekaitsejuhi kõrgus traaversist	4,5	
$D_{X110FF}$	110 kV ahela faasijuhtide kaugus keskteljest	4,1	

Mõõde joonisel (vt Joonis 6-1)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$D_{X330FF}$	110 kV ahela faasijuhtide kaugus keskteljest	9,8	
$D_{XPK}$	Piksekaitsejuhi hor. kaugus liini keskteljest	7,8	

\* Märkus: kõrgeim faasijuhi paiknemine on seotud kandemasti kõrgusega, mis võib ulatuda kuni 40 m-ni.

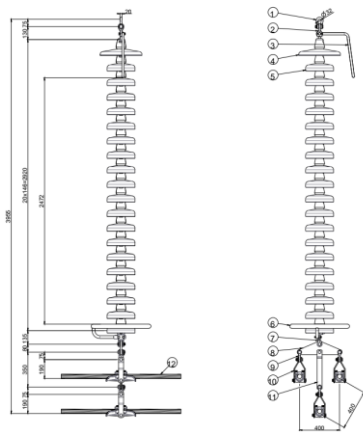
## 6.2. 330 kV + 110 kV õhuliini faasijuhid ja isolaatorid

330 kV ahela õhuliini osale on nähtud ette kolm juhet faasis, terasalumiiniumjuhtmetega 402-AL1/52-ST1A. Osajuhtmed paigaldada omavahelise kaugusega 400 mm (Eleringi juhend „701 Projekteerimine“). See tähendab, et iga faasijuht on kujundatud kolmest juhtmest koosneva lõhisfaas-konstruktsioonina, milles faasijuhtide omavaheline horisontaalne vahekaugus  $L_{HFJW}$  on 400 mm, vt Joonis 6-2. Õhuliini juhtmetena kasutatakse 402-AL1/52-ST1A „Condor“ tüüpi teras-alumiiniumjuhtmeid (EVS-EN 50182:2002), mille välis-läbimõõduks on 27,7 mm.



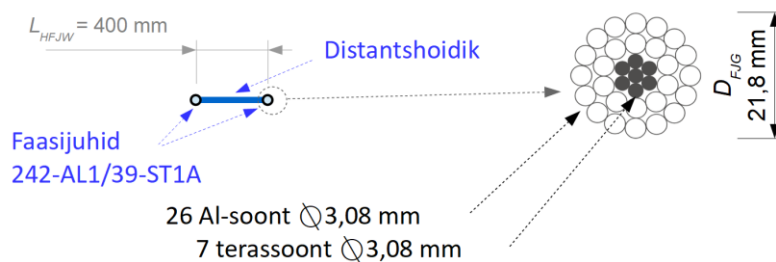
Joonis 6-2. Õhuliini 330 kV ahela faasijuhtide koostamiseks rakendatud teras-alumiiniumjuhtmed ja nendega koostatud kolmest paralleelselt paiknevast juhust lõhisfaas-konstruktsioon.

Isolaatorina on eeldatud isolaatorketti, mille aluseks on joonis 330S-0182. Sellise isolaatorketi kogupikkus riputusaasast kuni madalaima juhini on ligikaudu 4 m (vt Joonis 6-3).



Joonis 6-3. Isolaatorketi üldvaade (alus: väljavõte jooniselt 330S-0182 / projekt 626K0).

110 kV ahela õhuliinidele on nähtud ette kaks juheta faasijuhi kohta, terasaluumiiniumjuhtmetega 242-AL1/39-ST1A „Hawk“ (EVS-EN 50182:2002). Osajuhtmed paigaldatakse omavahelise kaugusega 400 mm (Eleringi juhend „701 Projekteerimine“). See tähendab, et iga 110 kV ahela faasijuht on kujundatud kolmest juhtmest koosneva lõhisfaas-konstruktsioonina, milles faasijuhtide omavaheline horisontaalne vahekaugus  $L_{HFJW}$  on 400 mm, vt Joonis 6-4. Õhuliini juhtmetena välis-läbimõõduks on 21,8 mm.



Joonis 6-4. Õhuliini 110 kV ahela faasijuhtide koostamiseks rakendatud teras-alumiiniumjuhtmed ja nendega koostatud kahest paralleelselt paiknevast juhista lõhisfaas-konstruktsioon.

### 6.3. Juhtide ripe ja madalaimad juhtide asukohad

Juhtide rippekõrgus tähistab mastidele kinnitatud isolaatoritele toetatud juhtmete kõrgust kahe kandemasti vahelisel alal. Juhtide vertikaalsuunaline paiknemine on parabooli-kujulise kõrgusprofiiliga. Eleringi juhend „701 Projekteerimine“ esitab väljavõtte nõutavate õhkvaheemike kohta, so minimaalsed kaugused erinevate osade vahel. Nõutavad õhkvaheemikud 330 kV (sulgudes 110 kV) suurima juhtme temperatuuri korral on:

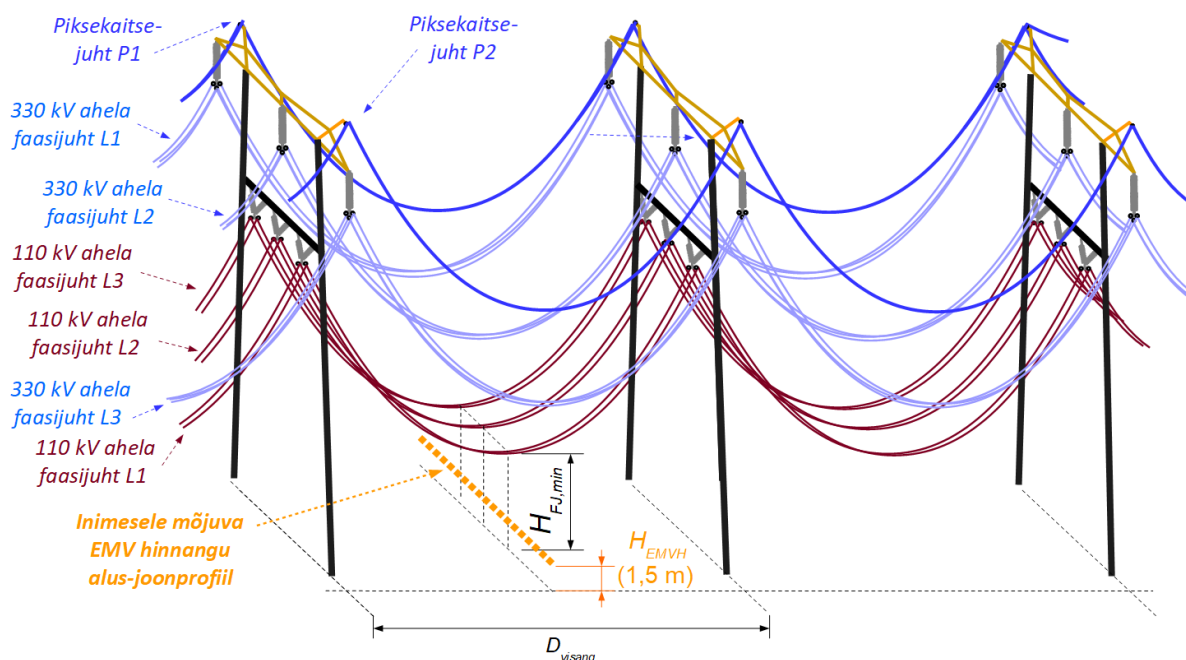
- maantee, raudtee või veeteed – 10 m (8,5 m);
- tänav, muu tee (v.a maantee osa) – 10 m (8,5 m);
- rada (põllu-, metsa- vms katendita tee) – 7,5 m (6,0 m);
- maapinnani avatud maastikul – 7,5 m (6,0 m).

Õhuliinide korral teostatakse analüüs rippe madalaimas punktis, milleks on reeglina visangu keskoht. Sellisel juhul on faasijuhid maapinnale lähimas paiknemises. Faasijuhtide läheduse tõttu inimesele esineb antud juhtumile kõige intensiivsemalt mõju avaldava EMV olukord. Visangu muudes osades, kus faasijuhtide kaugus inimesest on suurem, jääb inimese juures oleva EMV tase oluliselt madalamaks.

Antud töös on vaadeldud rippe madalaima kõrgusena 6,5 m, st arvestatud on minimaalset 110 kV ahela faasijuhtide rippekõrgust, millele on liidetud varu 0,5 m.

### 6.3.1. Õhuliini poolt emiteeritava EMV hindamise mudelis rakendatav geomeetria

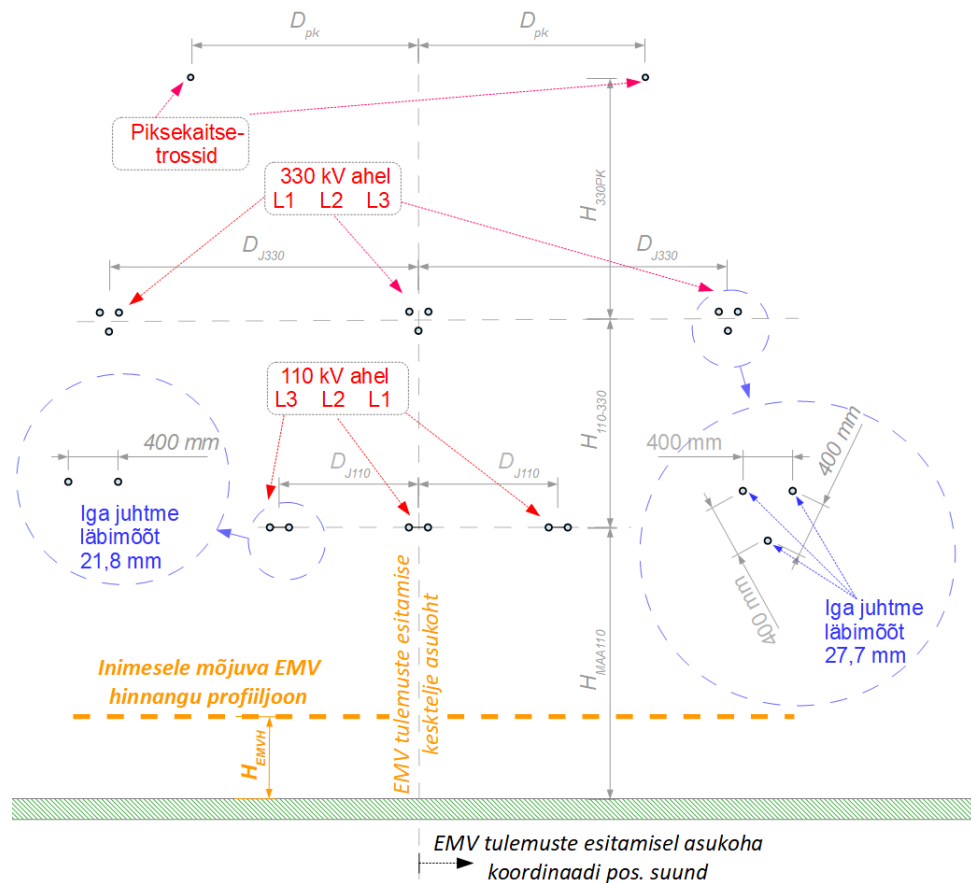
Suurimat EMV tugevust ilmestab oodatavalt asukoht, mis on ülekandeliini faasijuhtidele lähim. EMV mõju inimesele iseloomustamise seisukohast on selline olukord visangu keskel (vt Joonis 6-5). Hinnang antakse 110 kV ahela faasijuhtide rippes oleval kõrgusel 6,5 m, samal ajal on 330 kV ahelas rippekõrgus 13,5 m maapinnast.



Joonis 6-5. Inimesele mõjuva EMV hinnangu asukoht ning sellega seotud geomeetria.

Inimesele mõjuva EMV tugevuse hinnangu aluseks on liini all oleva EMV tugevus mööda joonprofiili, mille kõrguseks maapinnast eeldatakse 1,5 m ( $H_{EMVH}$ ).

Õhuliini poolt tekitatava EMV arvutuse geomeetria on esitatud alloleval skeemil (vt Joonis 6-6), millel on arvutuste jaoks olulised komponendid faasijuhid, piksekaitsejuhid ning maapinna alustasand. Viimane on kõikides arvutustes ideaalne 0-potentsiaali kandja. Arvutustes rakendatavad geomeetrilised mõõtmed on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 6-2).



Joonis 6-6. EMV arvutustes rakendatud ühe elektriliini alusgeomeetria skeem.

Tabel 6-2. EMV arvutusskeemis rakendatavad geomeetrilised parameetrid, vt Joonis 6-6.

Mõõde joonisel (vt Joonis 6-6)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$H_{MAA110}$	110 kV ahela faasijuhi kõrgus maapinnast	6,5	Minimaalne juhtmete kõrgus visangu kesksel
$H_{110-330}$	110 kV ahela faasijuhtide ja 330 kV ahela faasijuhtide vaheline vertikaalvahe	5,0	Minimaalne juhtmete kõrgus visangu kesksel
$H_{330PK}$	Piksekaitsejuhi kaugus faasijuhist	8,5	
$H_{EMVH}$	Elektromagnetvälja mõjuhinnangu aluskõrgus	1,5	
$D_{FJ110}$	110 kV ahela faasijuhi hor. kaugus liini keskteljest	4,1	
$D_{FJ330}$	110 kV ahela faasijuhi hor. kaugus liini keskteljest	9,8	
$D_{PK}$	Piksekaitsejuhi hor. kaugus liini keskteljest	7,8	

### 6.3.2. Elektrilised talitlustingimused

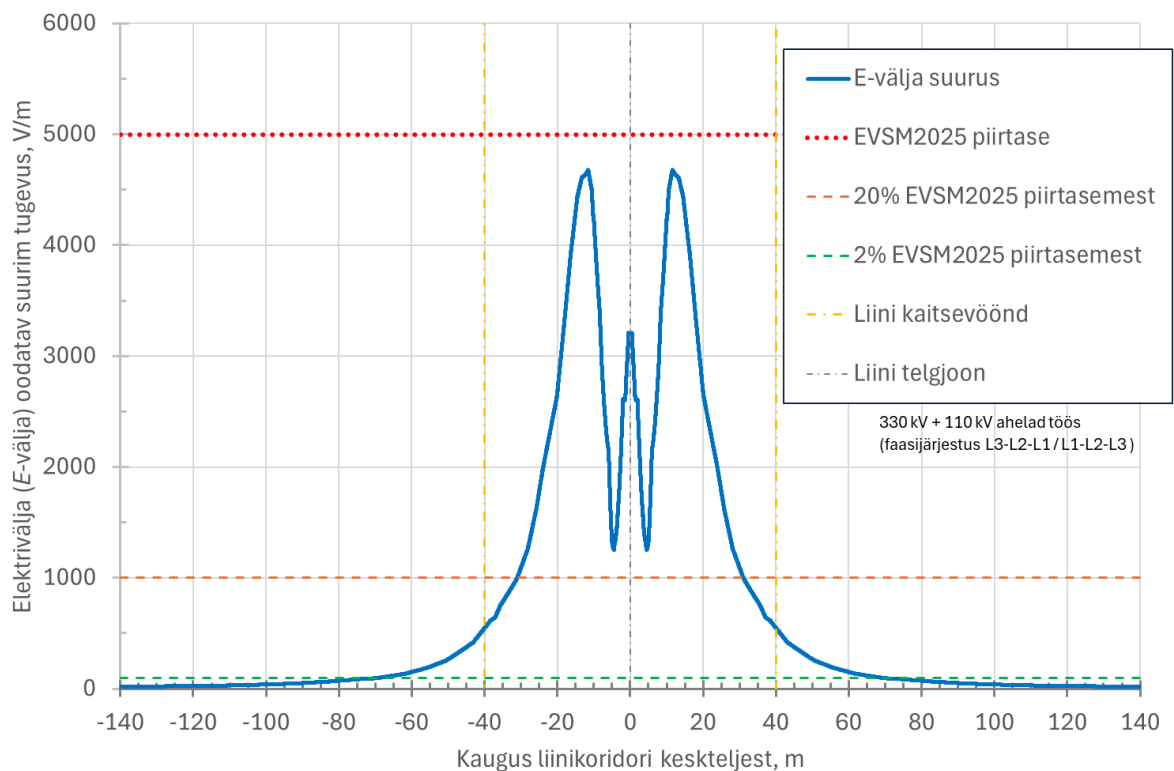
330 kV + 110 kV ülekandeliini EMV arvutuste aluseks on alljärgnevad elektrilised talitlustingimused.

- Pingetase 362 kV on 330 kV nimipingega töötavate ülekandeliinide suurim kestevpinge e püsiv suurim talitus-liinipinge efektiivväärtuse tase (alus: EVS-EN 60038:2012 *CENELECi standardpinged*, suurim kestevpinge tase). Liinijuhtide faasipinge e pinge suurus maa suhtes on efektiivväärtusena 209 kV igal faasijuhil.
- Pingetase 123 kV on 110 kV nimipingega töötavate ülekandeliinide suurim kestevpinge e püsiv suurim talitus-liinipinge efektiivväärtuse tase (alus: EVS-EN 60038:2012 *CENELECi standardpinged*, suurim kestevpinge tase). Liinijuhtide faasipinge e pinge suurus maa suhtes on efektiivväärtusena 63,5 kV igal faasijuhil.
- Voolutugevuse suurus lähtub liini juhile määratud termilise taluvuse püsisuurusest juhtme lõpliku pinnatemperatuuri 80°C korral (tuulevaikus, max päevane õhutemperatuur, max päikesekiirguse intensiivsus).
  - 402-AL1/52-ST1A tüüpi juhtme (330 kV ahel) püsiv koormusvool on eri allikate hinnangul 650 ... 900 A. Projekteerimisel on aluseks koormusvoolu suurim suurus 800 A juhtme kohta.
  - 242-AL1/39-ST1A tüüpi juhtme (110 kV ahel) püsiv koormusvool on eri allikate hinnangul 400 ... 650 A. Projekteerimisel on aluseks koormusvoolu suurim suurus 550 A juhtme kohta.
- EMV mõju hindamise mudelis on 330 kV ahela koormusvoolutugevus ühes faasijuhi komplektis kokku (3 juhet lõhisfaasina) on 2400 A.
- EMV mõju hindamise mudelis on 110 kV ahela koormusvoolutugevus ühes faasijuhi komplektis kokku (2 juhet lõhisfaasina) on 1100 A.

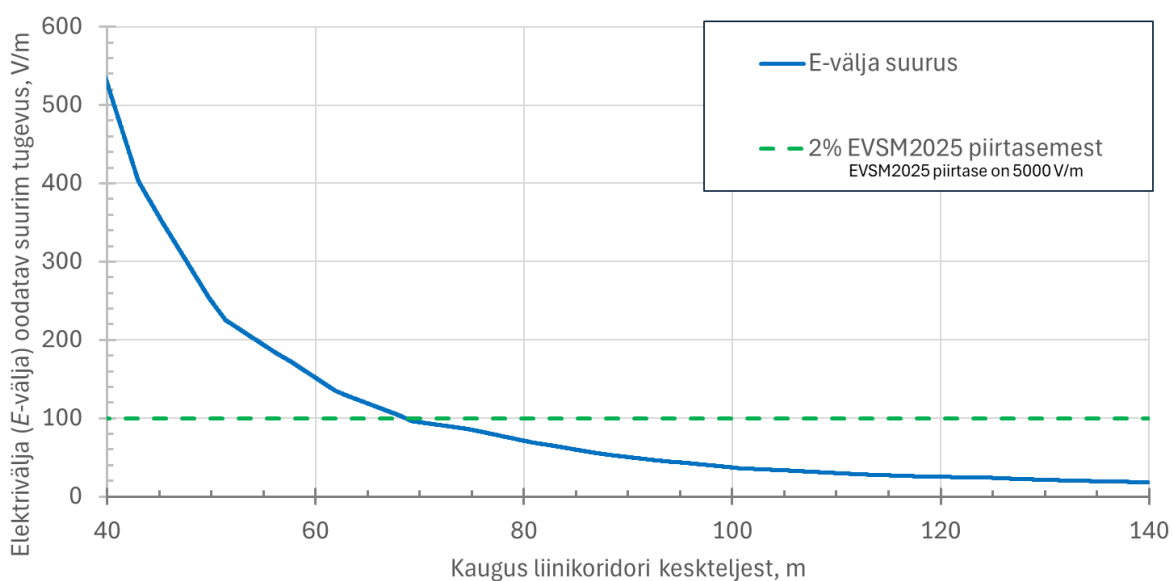
### 6.4. Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks

Õhuliini poolt tekitatud elektriväljatugevuse osas hinnangu andmiseks on aluseks alloleval graafikul (vt Joonis 6-7) koondatud numbrilised suurused.

Oodatavad elektrivälja tugevuse suurused jäävad liini kaitsevööndist väljaspool selgelt alla EVSM2025 piirtasemeid. Kuigi otse liini faasijuhtide all viibides ületaks elektrivälja tugevus EVSM2025 piirtasemeid, kahaneb välja intensiivsus liinist eemaldudes järsult. Liin kaitsevööndi piiril on elektriväljatugevus kahanenud tasemele u 10% EVSM piirtasemest. Elektriväljatugevuse tasemete oodatavate suuruste ülevaade väljaspool liini kaitsevööndit on esitatud detailsemas vaates alloleval graafikul (vt Joonis 6-8). Kaugusel üle 69 m liinikoridori keskteljest (s.o 29 m liini kaitsevööndi piirist) on elektriväljatugevuse intensiivsus alla 2% EVSM2025 piirtaseme väärtust. Sellisel juhul ei ole võimalik eristada ülekandeliini poolt tekitatud EMV ja näiteks majapidamise elektripaigaldise poolt tekitatud EMV emissioone.



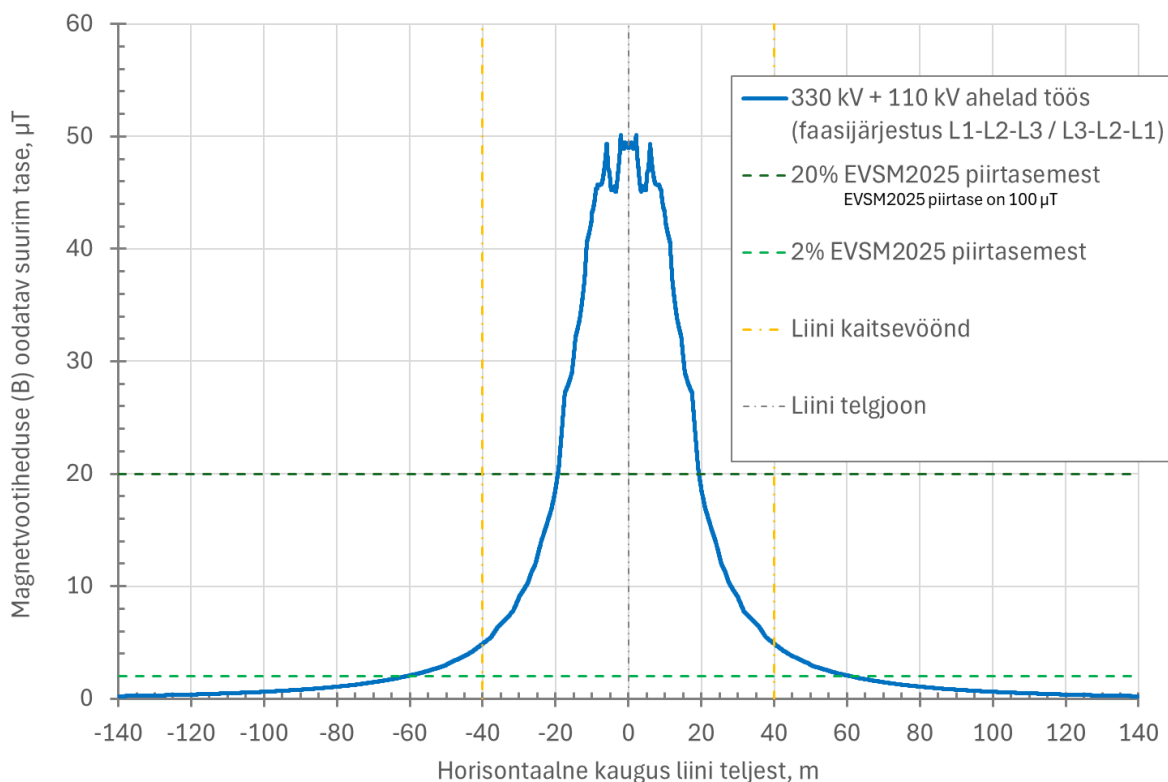
Joonis 6-7. Elektriväljatugevuse (E-välja) arvutustulemused graafikul, ulatuses 140 m liinikoridori teljest mõlemas suunas. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljest vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljest paremale.



Joonis 6-8. Elektriväljatugevuse (E-välja) arvutustulemused graafikul detailvaates, väljaspool ülekandeliini kaitsevööndit.

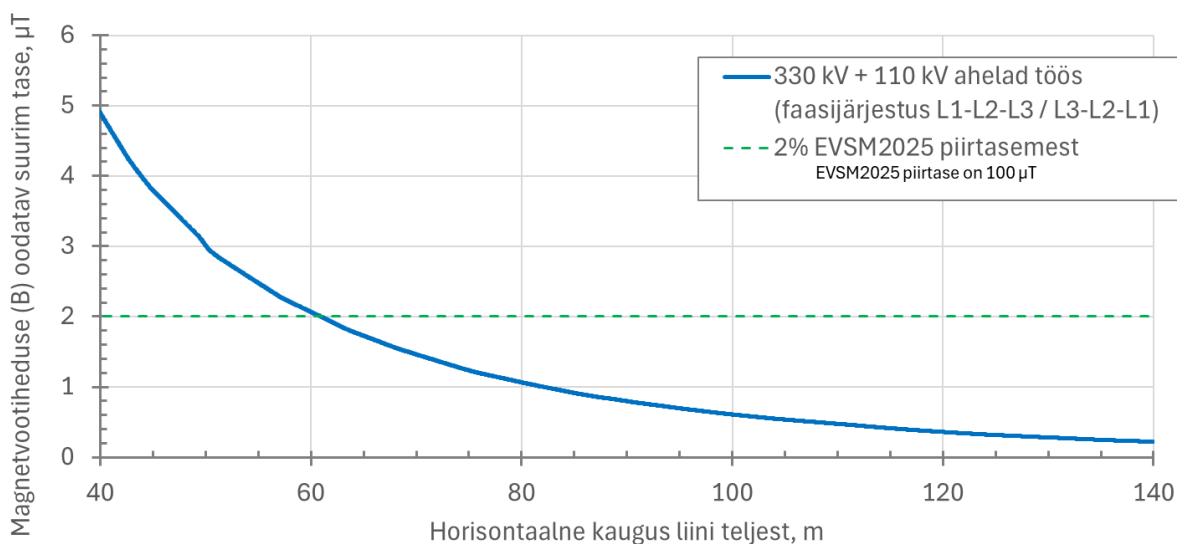
## 6.5. Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks

Õhuliini poolt tekitatud elektriväljatugevuse osas hinnangu andmiseks on aluseks alloleval graafikul (vt Joonis 6-9) koondatud numbrilised suurused.



Joonis 6-9. Magnetvootiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, ulatuses 140 m liinikoridoride teljest mõlemas suunas. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljest vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljest paremale. EVS2025 piirtase ei ole siin graafikul esitatud.

Oodatavad magnetvootiheduse tugevuse suurused jäävad liini kaitsevööndist väljaspool selgelt alla EVSM2025 piirtasemeid. Antud liini konfiguratsiooni korral ja oodatavates koormusolukordades ka otse liini faasijuhtide all viibides ei ületaks oodatav magnetvootihedus EVSM2025 piirtasemeid. Liinist eemaldudes kahaneb magnetvootihedus järsult ja liini kaitsevööndi piiril on magnetvootihedus kahanenud tasemele u 5% EVSM piirtasemest. Magnetvootiheduse tasemete oodatavate suuruste ülevaade väljaspool liinide kaitsevööndit on esitatud detailsemas vaates alloleval graafikul (vt Joonis 6-10). Kaugusel üle 61 m liinikoridori keskteljest (s.o 21 m liini kaitsevööndi piirist) on ülekandeliini poolt põhjustatud magnetvootiheduse intensiivsus alla 2% EVSM2025 piirtaseme väärtust. Sellisel juhul ei ole võimalik eristada ülekandeliini poolt tekitatud EMV ja näiteks majapidamise elektripaigaldise poolt tekitatud EMV emissioone.



Joonis 6-10. Magnetvõõtiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, väljaspool ülekanaliini kaitsevööndit.

## 6.6. 330 kV + 110 kV õhuliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes

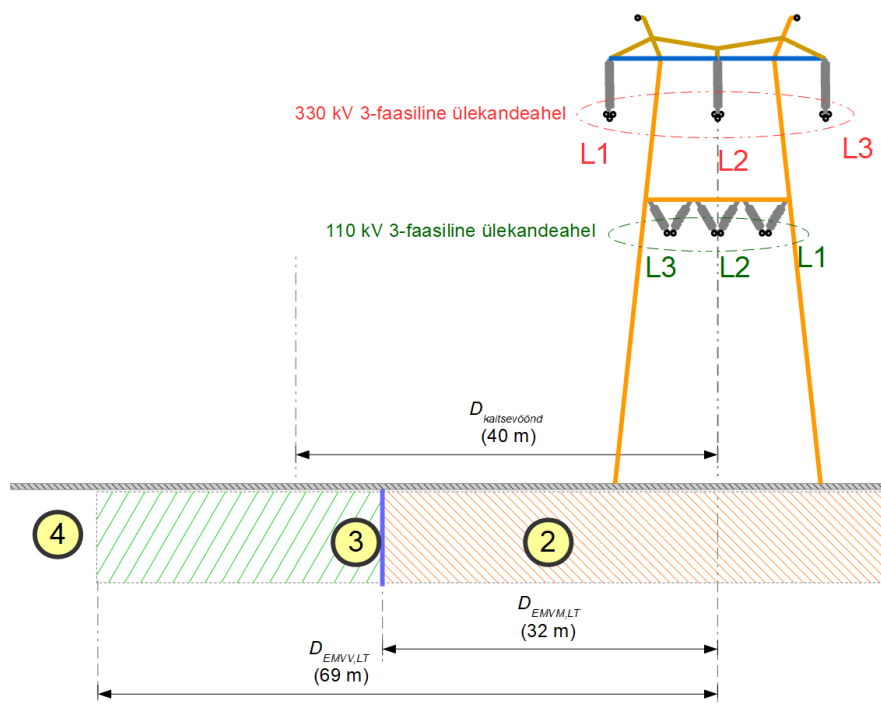
Õhuliini poolt tekitatud EMV tasemete ülevaade lähtudes mõjust inimesele on esitatud alloleval graafilisel skeemil, vt Joonis 6-11. Siin on esitatud kokku 4 erinevat ala, mille üldkirjeldus oli esitatud peatükis „2.3 EMV mõju kriteeriumid“. Ülekanaliini poolt tekitatud EMV (lüh ÜL-EMV) tasemete alusel eristatakse siin järgmisi alasid.

1 – ala, milles ÜL-EMV tasemed ületavad suure tõenäosusega EVSM2025 määruses esitatud piirtasemed. Selles alas ei ole inimese alaline viibimine soovitatav.

2 – intensiivse ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 20...100%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

3 – märgatava ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 2...20%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

4 – vähese ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel alla 2%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.



Joonis 6-11. 330 kV + 110 kV ülekandeliini talitlusel inimesele mõjuvate EMV tasemete alusel esitatud alad. Esitatud on vaade liini ühel poolel; liini teie poole jaoks vastab sama alade määratlus ja ulatus, liini kesktelje suhtes peegelkujutisena. Märkus: tegemist on maksimaalse tehnilistest talitlustingimustest defineeritud väljatugevuse olukorraga.

Käesolevate ülekandeliinide EMV hinnang esitab alade piirid kaugustel, mis on kirjeldatud allolevas tabelis (vt Tabel 6-3). Tabelis on esitatud ka intensiivsuse alade piiritingimuse seadjana kas elektriväljatugevus või magnetvootihedus.

Tabel 6-3. 330 kV + 110 kV õhuliini poolt tekitatud elektromagnetvälja (ÜL-EMV) alusel sätestatud EMV intensiivsuse alad, nende piirid ja määratlused.

Ala tähis ja kommentaar	Ulatus liini keskteljest, m	Kommentaar
„2“ – intensiivse tasemega EMV ala	0...32	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega 20 ... 100% EVSM2025 tasemest. Ala ulatuse määratleb elektriväljatugevus (E-väli). <ul style="list-style-type: none"> <li>Inimesele selles alas viibimise piiraga ega piiranguid ei ole.</li> </ul>
„3“ – märgatava tasemega EMV ala	32...69	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega 2 ... 20% EVSM2025 tasemest. Ala ulatuse määratleb elektriväljatugevus (E-väli). <ul style="list-style-type: none"> <li>Inimesele selles alas viibimise piiraga ega piiranguid ei ole.</li> </ul>
„4“ – nõrga tasemega EMV ala	Üle 69	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega alla 2% EVSM2025 tasemest.

Ala tähis ja kommentaar	Ulatus liini keskteljest, m	Kommentaar
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Inimesele selles alas viibimise piiraeaga ega piiranguid ei ole.</li> </ul>

## 6.7. Kommentaar 330 kV + 110 kV õhuliini poolt põhjustatava EMV juurde

### 6.7.1. Üldised aspektid olmekeskkonna seisukohtadest

#### ***EVSM2025 piirväärtuseid ületav ala „1“***

330 kV + 110 kV kaheaheelalise õhuliini poolt tekitatava elektromagnetvälja suurus on tasemel, mis ka liinikoridori vahetus läheduses ei ületa EVSM2025 määrusega seatud piirtasemeid. Seega, EVSM2025 piirtasemeid ületav ala ja piirangud inimese alalisele viibimisele ülekandeliiniga seotud alas puuduvad.

#### ***EVSM2025 piirväärtuse lähedane ala „2“***

EVSM2025 piirväärtuse lähedase EMV tasemega alas ulatub EMV oodatav suurus alates 20% piirväärtuse tasemest kuni 100%-ni piirväärtuse tasemest. Arvestades EVSM2025 piirtaseme juures arvesse võetud varutegevusi, ei oodata, et sellisel tasemel EMV põhjustaks inimese jaoks olulist bioloogilist või neuroloogilist stressi ka pideval selles alas viibimisel.

Antud ala ulatub ülekandeliini keskteljest kuni 32 m kauguseni (vt Tabel 6-3), selles alas olmekeskkonna ja elutegevusega seotud aspektid ei ole oodatavalt EMV tugevusest oluliselt mõjutatud. Siiski, arvestades EMV taset antud alas, on võimalik, et täiendava seadme, süsteemi või paigaldise (tehnilise sõlme) rakendamisel selles alas võib EMV tase kumuleeruda EVSM2025 piirtasemeid ületavaks. Seda juhul, kui nii antud ülekandeliin ega täiendav rakendatav sõlm iseseisvalt ei tingiks EVSM2025 piirtasemeid ületava väljatekkimist.

Võimaldamaks hinnata, kas alasse lisaks paigaldatav sõlm talitlemisel põhjustaks täiendavalt EVSM2025 piirtasemete ületamise, tuleb alas võimalikke sõlme käitavaid isikuid EMV tasemetest informeerida ja esitada neile alusmaterjal, milline kirjeldab vaadeldavas alas ülekandeliini poolt defineeritava EMV oodatavaid suursi. Selliseks materjaliks on näiteks epüürid EMV tasemete kirjeldustega (nii E- kui B-väli), graafikud väljatugevuste väärtustega, spektrogramm-esitys väljatugevuse väärtused jpt.

Antud alas inimeste alalisele viibimisele piiranguid ei seata. Inimene võib selles alas viibida alaliselt, selles alas olevate eluruumide pidev kasutamine ei ole piiratud. Inimese

sellise EMV tugevusega alas viibimine ja elamine ei ole käesoleval hetkel parimate teadmiste kohaselt tervisega seotud nähtusi tõstatav.

### ***EVSM2025 piirväärtusest oluliselt madalama EMV tasemega alad „3“ ja „4“***

EVSM2025 piirväärtuse lähedase EMV tasemega alas ulatub EMV oodatav suurus alates 2% piirväärtuse tasemest kuni 20%-ni piirväärtuse tasemest. Arvestades EVSM2025 piirtaseme juures arvesse võetud varutegureid, ei oodata, et sellisel tasemel EMV põhjustaks inimese jaoks olulist bioloogilist või neuroloogilist stressi ka pideval selles alas viibimisel.

EMV mõõdukat taset võivad tekitada ka paljud koduseadmed. Üheks tuntud tugeva elektrivälja tekitajaks oli mh hiljaaegu kasutusest kadunud katoodekineskoobiga teler. Aladel „3“ ja „4“ on ülekandeliini EMV tugevus selline, et koduseadmed ise võivad nende kasutamisel tingida sellest kõrgema EMV taseme.

Sellised alad sobivad eluruumide seisukohast, samuti loomakasvatus- ja taimekasvatus-tegevusteks.

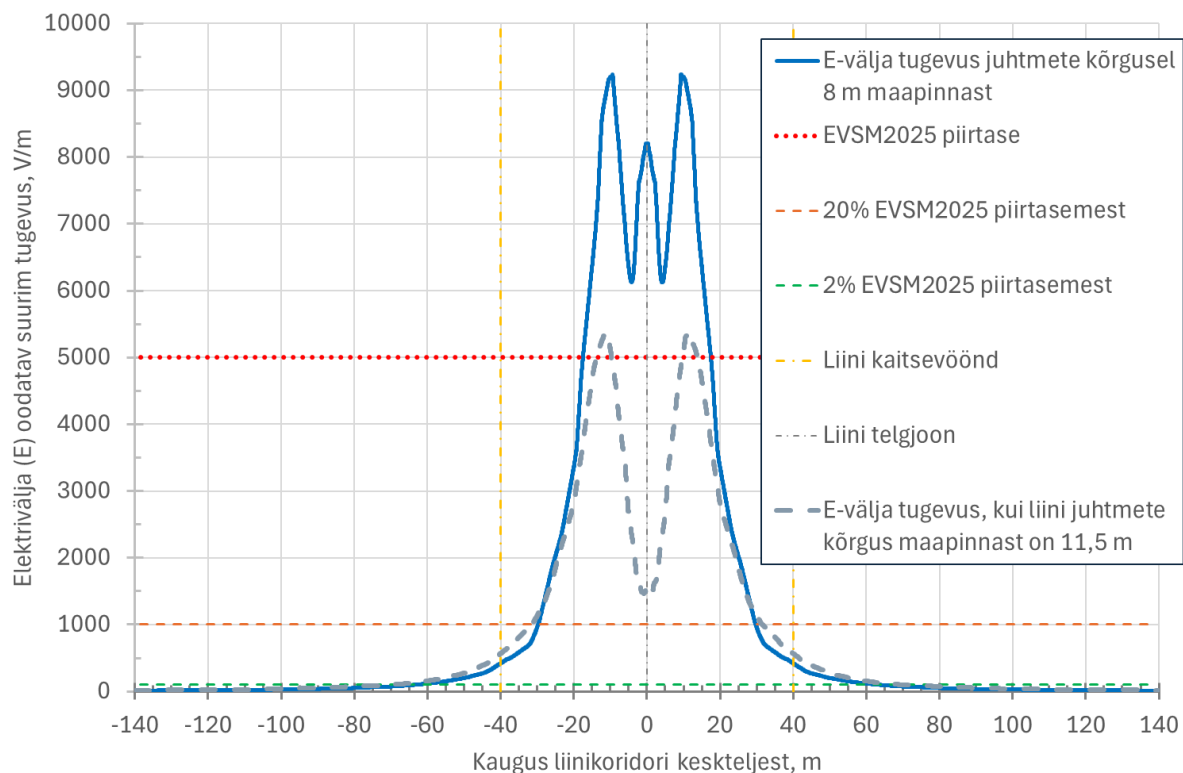
#### **6.7.2. Tehnilised aspektid**

330 kV õhuliini poolt põhjustatud EMV intensiivsus sõltub nii antud ülekandeliini elektrilistest talitlustingimustest kui ka faasijuhtide geomeetrisest paigutusest selle lähedal viibiva inimese suhtes.

- Elektrivälja tekitajaks on elektriliini talitluspinge nivoo.
- Magnetvootiheduse tekitajaks on ülekandeliini koormusvoolutugevus.

Tabel 5-3 tuginedes on inimese jaoks mõjuva EMV suurima taseme määratleja elektriväljatugevus. Elektriväljatugevuse tasemed EMV hinnangu aluseks olevates arvutustes lähtuvad püsitalitluse suurimast lubatud kestevpinge väärtusest 363 kV (vt EVS-EN 60038:2012, CENELECi standardpinged). Ülekandeliini talitlusel on siiski oodatav nimipinge 330 kV, mis tähendab, et tegelik elektriväljatugevus jääb oodatavalt 10% madalamaks siin esitatust.

Pessimistlik hinnang lähtub asukohast visangu keskel, kus faasijuhtide kaugus maast on minimaalne (8,0 m). Mastide kõrgused viivad juhtmed paarikümne meetri kõrgusele suuremas osas liinist, mistõttu faasijuhtide kaugus inimeseni suureneb. Selle kauguse suurenemisega väheneb ka väljatugevus, mis on kirjeldatud alloleval graafikul (vt Joonis 6-12), vt ka 5.8 Kommentaar 330 kV õhuliini poolt põhjustatava EMV juurde.



Joonis 6-12. Elektriväljatugevuse võrdlus olukordades, kus faasijuhtide kõrgus maapinnast on 8,0 m (minimaalne rippekõrgus) ning 11 m. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljest vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljest paremale.

Võrreldes 330 kV faasijuhtide erineval kõrgusel paiknemist (vt Joonis 6-12), muutub järsult E-välja tiputugevus ning sellega ka efektiivselt EVSM2025 määruses kirjeldatud piirtasemeid ületav ala vaatluskõrgusel (1,5 m maapinnast). Külgsuunalised väljatugevuse suurused tasemel alla 40% EVSM2025 piirtasemetest jäävad suhteliselt samaks, faasijuhtide rippekõrguse kasvamisel võivad ka vähesel määral kerkida, kuid EVSM2025 piirtasemete kontekstis mitteolulisel määral.

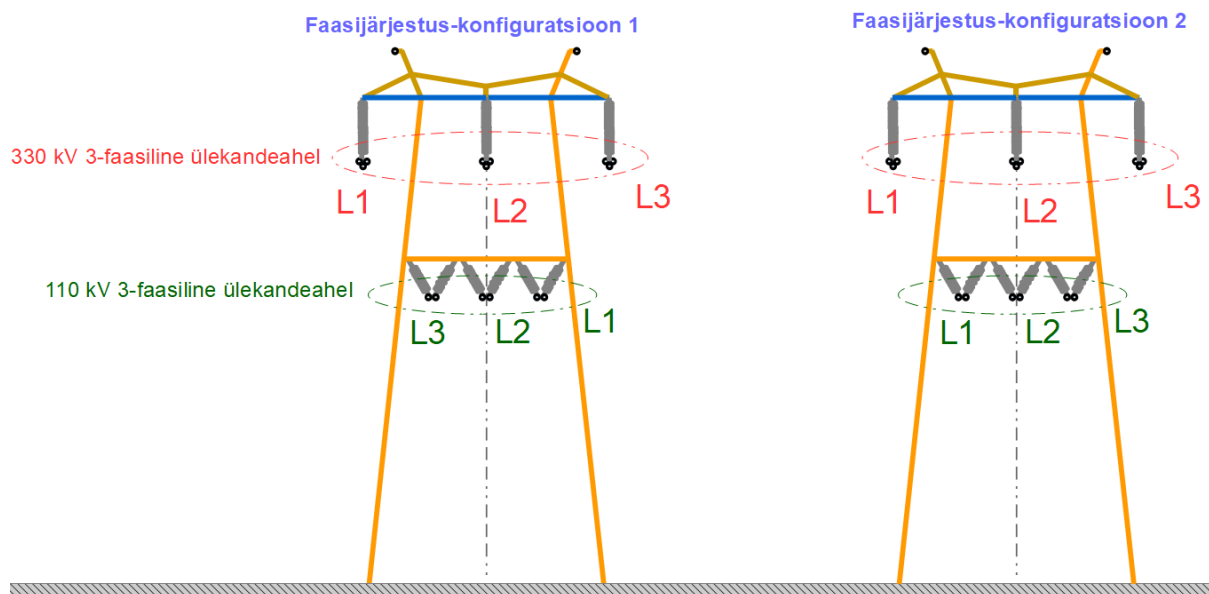
Antud kirjeldusele tuginedes võib kinnitada, et elektriväljatugevus jääb 330 kV ülekandeliini ümbruses oodatavalt madalamaks kui ülaltoodud analüüsil esitatud. Lähtudes EVSM piirtasemetest, siis väljaspool liini kaitsevööndit ei tõstatu oodatavalt inimesele terviseohtu ka inimese pikaajalisel viibimisel alas.

330 kV + 110 kV ülekandeliini juures annavad tooni aga teised võimalikud talitluskonfiguratsioonid.

- Kumbagi ülekandeliini ahelat on võimalik eraldi käitada sõltumata, kas teine ahel on sisse lülitatud või mitte. Seega võib mõnevõrra teistsugune EMV olukord esineda ainult ühe ahela opereerimisel.
- Olulise muutuse EMV tasemetesse toob kaasa faasijuhtide faasijärgnevuse muutmine. Ülekandeliini ehitusel on võimalik 330 kV ja 110 kV ahelate faasijärjestused, kus:

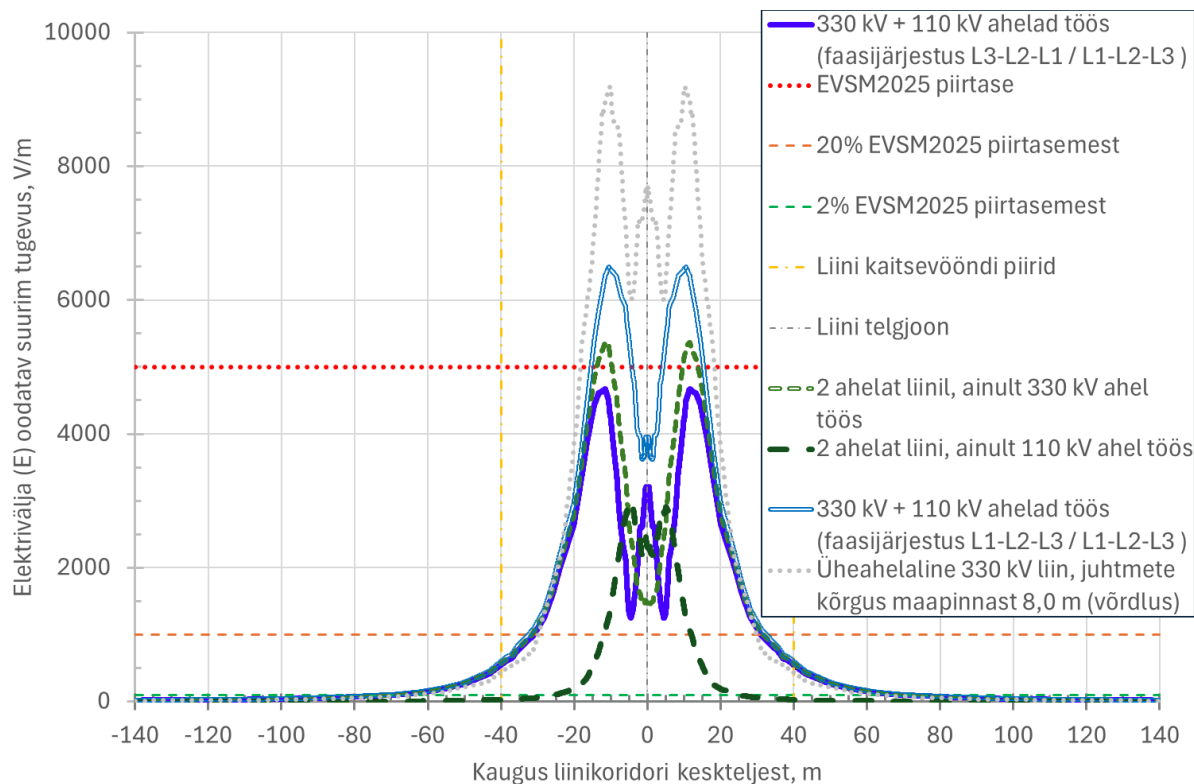
- ühe ahela L1 faasijuhi all on lähim faasijuht teise ahela L3 (vt Joonis 6-13 „faasijärjestus-konfiguratsioon 1“), mis on vähema EMV emissiooniga seadistus;
- ühe ahela L1 faasijuhi all on lähim faasijuht teise ahela L1 (vt Joonis 6-13 „faasijärjestus-konfiguratsioon 1“), mis on suurima EMV emissiooniga seadistus.

**NB! Faasijuht-konfiguratsioon 2 (vt Joonis 6-13) on ebasoovitav, sest sünkroonselt töötavate faasijuhtide väljatugevuste kumulatsiooni tulemusena esineb liini vahetus läheduses olukord, kus ületatakse EVSM2025 piirtasemed.**



Joonis 6-13. Võimalikud faasijuhtide elektriliste faasiühenduste konfiguratsioonid 330 kV + 110 kV liinidel. Vasakul on antud EMV aruande kontekstis arvestatud järjestus (soovitav konfiguratsioon); paremal on faasijuhtide samade faaside kohakuti paigutusega konfiguratsioon (ei ole soovitatav), millel on suurem EMV emissioonijälg.

Erinevate talitusolukordade ja faasijuhtide konfiguratsioonide mõju EMV tasemetele on esitatud alloleval graafikul (vt Joonis 6-14).



Joonis 6-14. Elektriväljatugevuse võrdlus 330 kV + 110 kV õhuliini võimalikes talitlustingimustes. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskeljst vasakule ja positiive kaugussuurus märgib suunda liini keskeljst paremale.

Kaheaahelalise 330 kV + 110 kV liini käitamisel ühe ahela pingestamise olukorras jäävad väljatugevused siiski suhteliselt võrreldavaks antud liini baastasemega. Siiski, tuleb märkida, et 110 kV ja 330 kV ahelate omavaheliste väljade kumulatiivne mõju on EMV kogutugevust mõnevõrra vähendav; 330 kV ahela iseseisval käitamisel ilma 110 kV liini pingestamiseta on liini vahetus läheduses EMV intensiivsus kõrgem ja vähesel määral ületab EVSM piirtaset. Tähelepanu tuleb osutada, et liini teljest 20 m kaugusel, ning ka kaitsevööndist väljaspool järgib EMV intensiivsuse profiil põhimõtteliselt 330 kV + 110 kV ahelate kooskäitamisel esinevat elektriväljatugevuse profiili. Antud asjaolust tingituna saab kinnitada, et ahelate iseseisval käitamisel EMV alade hinnang jääb üldjoontes samaks.

Täiendavalt lisanduvad kaalutlused, mis olid kirjeldatud seoses faasijuhtide kõrgusega maapinnast (vt ptk 5.8 „Kommentaari 330 kV õhuliini poolt põhjustatava EMV juurde“) ja kehtivad ka 330 kV + 110 kV liini kohta. Sellele tuginedes võib kinnitada, et elektriväljatugevus jääb 330 kV ülekandeliini ümbruses oodatavalt madalamaks kui ülaltoodud analüüsil esitatud. Lähtudes EVSM piirtasemetest väljaspool liini kaitsevööndit inimesele oodatavalt tervisemõju ei tõstatu ka inimese pikaajalisel viibimisel alas.

## 7. Maakaabelliini elektromagnetvälja hinnang

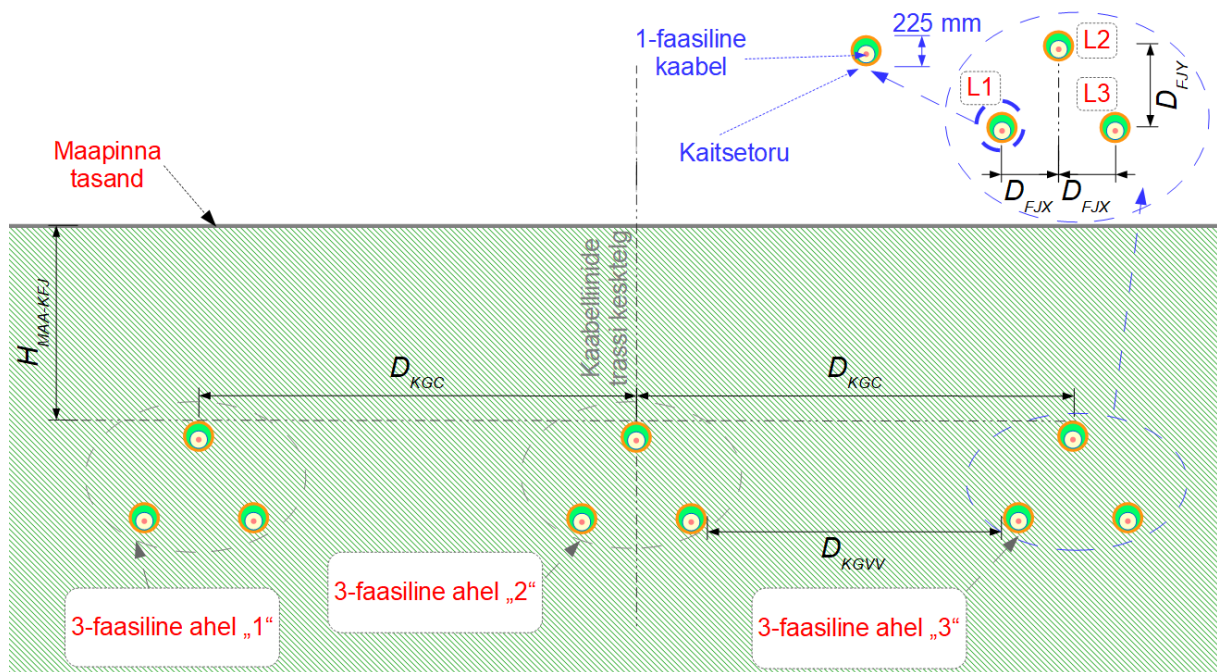
Ülekandeliini maakaabelliini lõigu planeeritav asukohaga on võimalik tutvuda kaardirakenduses: <https://www.riigiplaneering.ee/riigi-eriplaneeringud/eesti-lati-neljas-elektrihendus/kaardirakendus>.

Maakaabelliini kaitsevöönd kulgeb piki kaablit ja mõlemalt poolt ulatub kaablitest 1 m kaugusele. Kaitsevööndi ulatus ja selles rakenduvad piirangud on kirjeldatud Majandus- ja taristuministri 25. juuni 2015. a määruses nr 73 „Ehitise kaitsevööndi ulatus, kaitsevööndis tegutsemise kord ja kaitsevööndi tähistusele esitatavad nõuded“ (kehtiv redaktsioon RT I, 03.02.2022, 20).

Maakaabelliini eskiisprojekti on ette nähtud kolme 330 kV nimipingega, kolmefaasilise ahelaga kaabelliini rajamine.

### 7.1. Maakaabelliini geomeetria

Maakaabelliini trassil on kavandatud kokku kolme kaablikomplekti rajamine (iga komplekt moodustab 3-faasilise ahela), mis paigutatakse kaevisesse komplekti kaupa kolmnurkpaigutuses. Kaablikomplektid paigutatakse samale horisontaaltasandile. Iga 3-faasilise kaabelliini komplekti puhul rakendatakse täiendavasse kaitsetorusse paigaldatud kaableid, kus iga ahela iga faasijuhi kaabel on paigaldatud iseseisvalt ja teistest faasijuhtidest eraldatult (vt Joonis 7-1).



Joonis 7-1. Maakaabelliini üldine geomeetriline vaade. Mõõtmete kirjeldused vt Tabel 7-1.

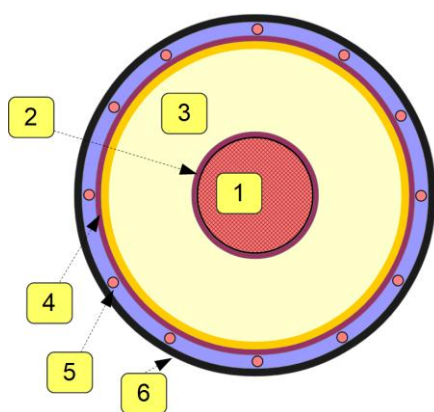
Tabel 7-1. Kaabelliini olulisemate geomeetriliste suuruste spetsifikatsioon (vt Joonis 7-1).

Mõõde joonisel (vt Joonis 7-1)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$D_{MAA-KFJ}$	Kaabli sügavus maapinnast	1,5	Minimaalne sügavus
$D_{KGC}$	Ahelate keskelgede omavaheline kaugus	2,73	
$D_{KGVV}$	Ahelate kaitsetorude välispiiride kaugus	2,0	
$D_{FIJ}$	Faasijuhtude omavaheline horisontaalkaugus	0,5	
$D_{FIY}$	Faasijuhtude omavaheline vertikaalkaugus	0,7	

Faasijuhtide kaablid paigutatakse kaevisesse 225 mm läbimõõduga plastist kaitsetorudesse, mille eesmärk on tagada kaitse väliste mehaaniliste vigastuste eest.

## 7.2. Maakaabelliinis kasutatavad kaablid ja koormused

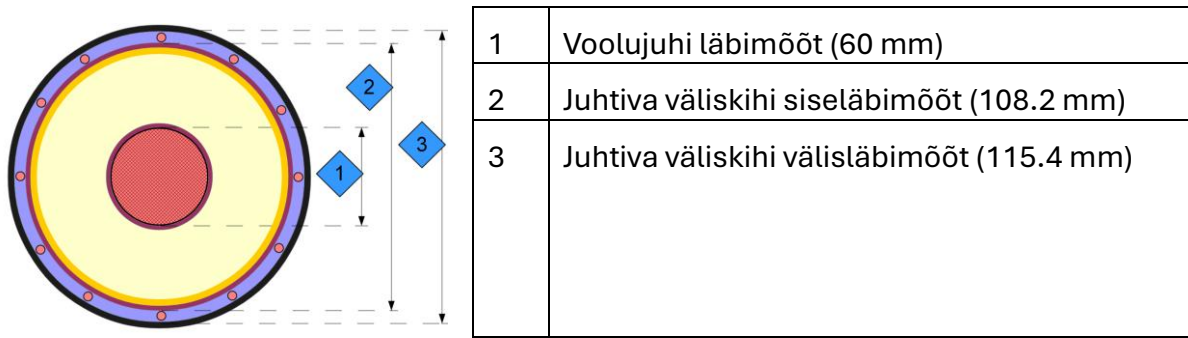
Maakaablina on kavandatud rakendada XLPE-isolatsiooniga kaablit, mille nimipingesuurus on 330 (362) kV. Antud uuringu raames vaadeldavaks kaabli prototüübiks on XLPE kaabel juhi ristlõikepindalaga 2500 mm<sup>2</sup>. Kaabli eeldatav ülesehitus<sup>5</sup> on esitatud alloleval joonisel (vt Joonis 7-2) ning geomeetria esitab Joonis 7-3.



1	Voolujuht alumiiniumist või vasest
2	Väljaühtlustus-pooljuhtkiht
3	XLPE isolatsioon
4	Väljaühtlustus-pooljuhtkiht ja hüdrotõkkekiht
5	Väliskihi plii- või elektrijuhtidest (vask- või alumiiniumtraat) armeering
6	Polümeer-väliskattekiht

Joonis 7-2. XLPE 330 kV maakaabli ülesehitus.

<sup>5</sup> ABB XLPE Land Cable Systems User's Guide. Rev 5. 2010-04, 2GM 5007 GB rev5.



Joonis 7-3. XLPE 330 kV 2500 mm<sup>2</sup> maakaabli olulised mõõtmed.

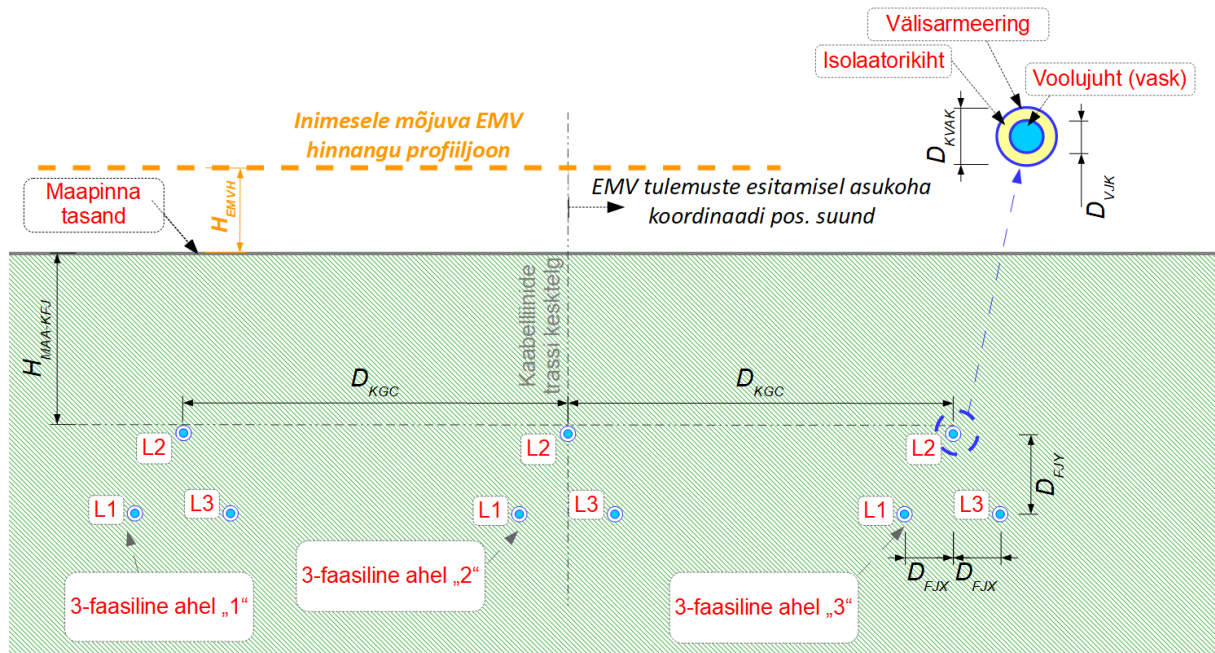
### 7.3. Maakaabelliini EMV hinnangu alused ja arvutus

Maakaabelliini poolt tekitatava EMV tasemed on füüsiliselt määratletud läbi elektrijuhtide asetuse geomeetria, ning elektrijuhtidele rakendatud talitlussuuruste, pinge ja voolutugevuse tasemetega. Esimene neist on määrav elektriväljatugevuse hinnangul ning teine magnetvootiheduse hinnangul. EMV hinnanguks tarvilikus arvutuseks arvestatakse järgmiseid kitsendusi.

- Maakaabelliinide EMV oodatavalt on tugevaim kaablitele lähimas alas, s.o maapinnale lähemal. EMV hinnang antakse lähtuvalt elusloodusele potentsiaalselt mõjuva EMV tugevusest, selleks hinnatakse EMV taset maapinnast 1,0 m kõrgusel. Inimese pea kõrgusel (1,5 m või kõrgem) on maakaabelliini poolt tekitatud EMV märgatavalt vähenenud.
- Eeldatakse, et vaadeldavas asukohas on kaablid paigaldatud maapinnast vähimale sügavusele.

#### 7.3.1. Maakaabelliini arvutustes rakendatav geomeetria

Maakaabelliini arvutustes rakendatav elektrijuhtide ja oluliste detailide geomeetria on esitatud üldisel skeemil alloleval joonisel (vt Joonis 7-4).



Joonis 7-4. Maakaabli EMV tasemete hindamiseks läbiviidavate arvutuste alus-geomeetria. Geomeetriliste parameetrite loetelu vt Tabel 7-2.

Tabel 7-2. EMV arvutusskeemis rakendatavad geomeetrilised parameetrid, vt Joonis 7-4.

Mõõde joonisel (vt Joonis 7-4)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$D_{VJK}$	Faasijuhi läbimõõt	0,06	Materjal: vask
$D_{KVAK}$	Kaabli armeeringukihi välisläbimõõt	0,11	
$D_{VKM}$	Välisarmeeringukihi paksus	0,005	Materjal: alum.
$D_{KGC}$	Ahelate kesktelgede kaugus	2,73	
$D_{FJX}$	Faasijuhtide omavaheline hor. kaugus	0,5	
$D_{FJY}$	Faasijuhtide omavaheline vert. kaugus	0,7	
$H_{MAA-FJM}$	Maakaabli faasijuhi sügavus maapinnas	1,5	
$H_{EMVH}$	Elektromagnetvälja mõjuhinnangu aluskõrgus	1,0	

Maapinna materjali mudelis rakendatakse ühtlast keskkonda, mille magnetiline absoluutne läbitavus on võrdne vaba keskkonna magnetilise läbitavusega  $\mu_{MAAPIND} = \mu_0$ , kus  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$  H/m. Maapinna materjali juhtivuseks on rakendatud suurus  $G_{MAAPIND} = 1$  S.

Voolujuhtidena on kasutuses materjalina rakendatud alumiinium. Armeeringukihi hea voolujuhtivuse tõttu on see kiht loetud üheks massiiviks paksusega 5 mm (0,005 m), mille materjaliks on alumiinium.

XLPE isolatsiooni suhteliseks dielektriliseks läbitavuseks on arvestatud  $\epsilon_{XLPE} = 4,0$ .

### 7.3.2. Elektrilised talitlustingimused

Ülekandeliini EMV arvutuste aluseks on alljärgnevad elektrilised talitlustingimused.

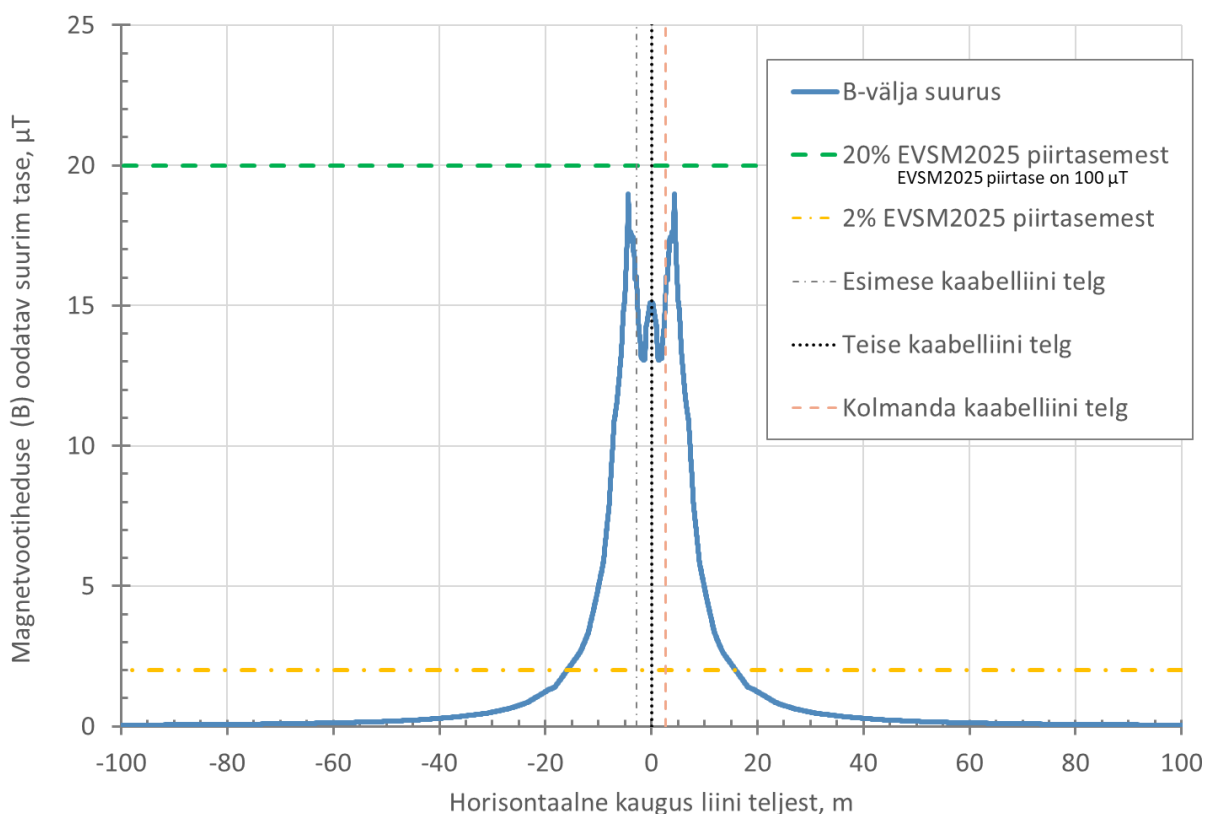
- Pingetase 362 kV on 330 kV nimipingega töötavate ülekandeliinide suurim kestevpinge e püsiv suurim talitus-liinipinge efektiivväärtuse tase (alus: EVS-EN 60038:2012 CENELECi standardpinged, suurim kestevpinge tase). Liinijuhtide faasipinge e pinge suurus maa suhtes on efektiivväärtusena 209 kV igal faasijuhtil.
- Elektromagnetvälja hinnangul rakendatud arvutustes pessimistlikus stsenaariumis on kasutatud suurimat eeldatavat koormusvoolutugevust, mida antud kaabel võiks kanda. Kaabli tegelikku läbilaskevõimet määratakse läbi erinevate vähendustegurite. Hinnanguline kaabli püsiv koormustaluvus 2500 mm<sup>2</sup> voolujuhi ristlõike pindala korral on 700 A.
- Käesolevas EMV analüüsis on maakaablite süsteemis iga kaabli tööjuhile rakendatud voolutugevus 700 A.
- Eeldades võimsusteguri väärtuseks 0,9 ning rakendades rööpselt töösse 3 kaablit, saab antud kaabelliinide süsteemist 700 A koormusvoolutugevusel üle kanda võimsuse u 1100 MW.

### 7.4. Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks

Maakaabelliiniga seotud elektriväli on üldiselt piiratud tänu maakaabelliini ehituses kasutatud kaablite konstruktsiooni eripärale. Kaabli faasijuht on ümbritsetud kogu ulatuses vaskarmeeringu poolt, mis maandatakse alajaamas või eraldisesvates armeeringu-maanduspunktides. Maandatud ning kogu faasijuhti ümbritsev armeering põhimõtteliselt tühistab kogu faasijuhi poolt emiteeritava elektrivälja ja elektriväljatugevus ümber kaabelliini jääb tühiselt väikeseks.

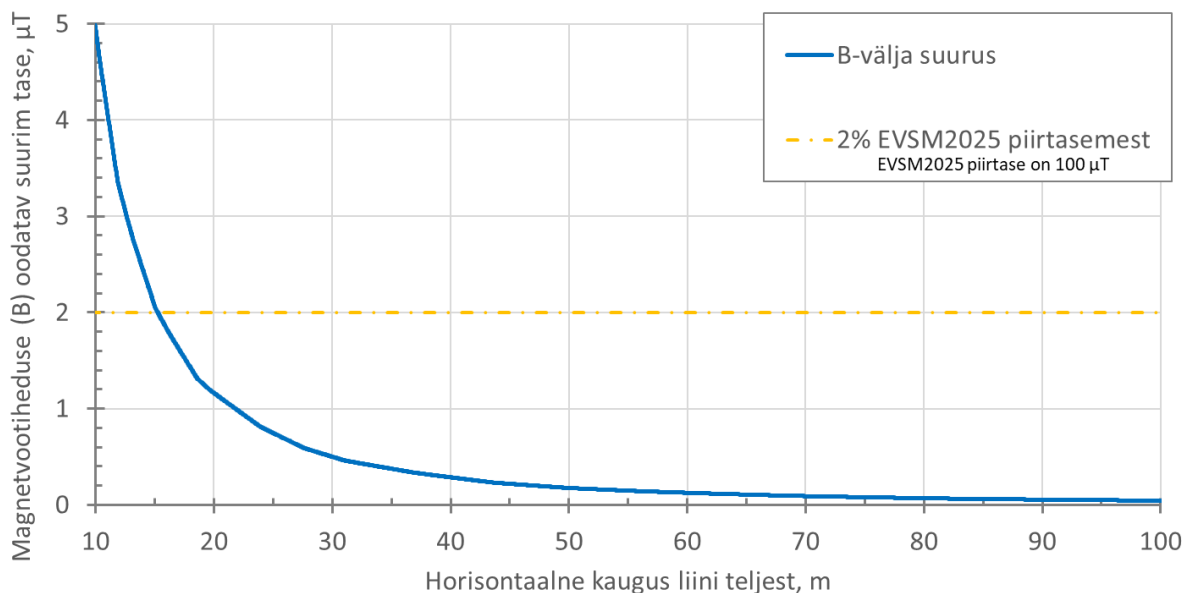
### 7.5. Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks

Maakaabelliini poolt tekitatud elektriväljatugevuse osas hinnangu andmiseks on aluseks alloleval graafikul (vt Joonis 7-5) koondatud numbrilised suurused.



Joonis 7-5. Magnetvootiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, ulatuses 100 m liinikoridori teljest mõlemas suunas. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljelt vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljelt paremale.

Oodatavad magnetvootiheduse tugevuse suurused jäävad kaabelliini kaitsevööndist väljaspool selgelt alla EVSM2025 piirtasemeid. Antud liini konfiguratsiooni korral ja oodatavates koormusolukordades ka otse liini faasijuhtide kohal viibides ei ületaks oodatav magnetvootihedus EVSM2025 piirtasemeid. Liinist eemaldudes kahaneb magnetvootihedus järsult ja liini kaitsevööndi piiril on magnetvootihedus kahanenud tasemele u 5% EVSM piirtasemest. Magnetvootiheduse tasemete oodatavate suuruste ülevaade väljaspool liinide kaitsevööndit on esitatud detailsemas vaates alloleval graafikul (vt Joonis 7-6). Kaugusel üle 16 m liinikoridori keskteljelt (u 11 m liini kaitsevööndi piirist (4,8 m)) on ülekandeliini poolt põhjustatud magnetvootiheduse intensiivsus alla 2% EVSM2025 piirtaseme väärtust. Sellisel juhul ei ole võimalik eristada ülekandeliini poolt tekitatud EMV ja näiteks majapidamise elektripaigaldise poolt tekitatud EMV emissioone.



Joonis 7-6. Magnetvooitiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, väljaspool ülekandeliini kaitsevööndit.

## 7.6. Maakabelliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes

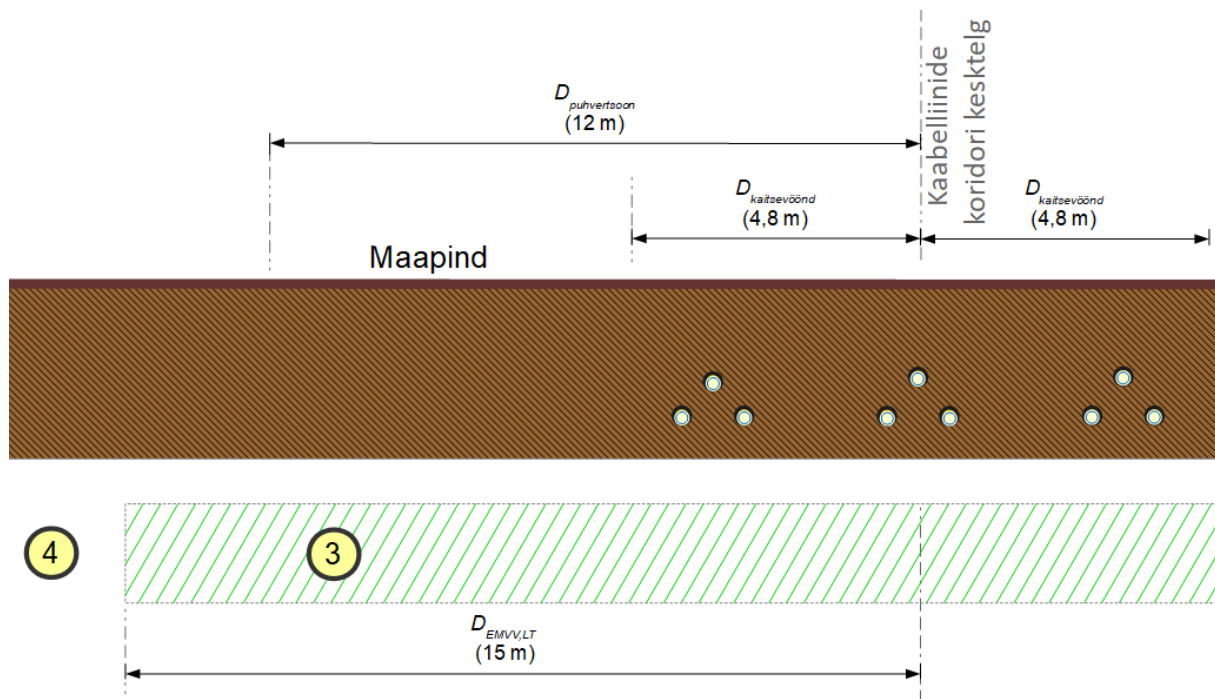
Maakaabelliinide poolt tekitatud EMV tasemete ülevaade lähtudes mõjust inimesele on esitatud alloleval graafilisel skeemil, vt Joonis 7-7. Siin on esitatud kokku neli erinevat ala, mille üldkirjeldus oli esitatud peatükis 2.3. „EMV mõju kriteeriumid“. Ülekandeliini poolt tekitatud EMV (lüh ÜL-EMV) tasemete alusel eristatakse siin järgmisi alasid.

1 – ala, milles ÜL-EMV tasemed ületavad suure tõenäosusega EVSM2025 määruuses esitatud piirtasemed. Selles alas ei ole inimese alaline viibimine soovitatav.

2 – intensiivse ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 20 ... 100%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

3 – märgatava ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 2 ... 20%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

4 – vähese ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel alla 2%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.



Joonis 7-7. Kaabelliinide juures inimesele mõjuvate EMV tasemete alusel kinnitatud alad. Esitatud on vaade ühel kaabelliini trassi poolel (joonisel keskteljest vasakul); teise (joonisel keskteljest paremal) horizontaalsuuna jaoks vastab sama alade jaotus ja ulatus, liinikoridori keskeltelje suhtes peegelkujutisena.

Vaadeldava kaabelliini EMV hinnang esitab alade piirid kaugustel, mis on kirjeldatud allolevas tabelis (vt Tabel 7-3). Tabelis on esitatud ka intensiivsuse alade piiritingimuse seadjana kas elektriväljatugevus või magnetvootihedus.

Tabel 7-3. Maakaabel-ülekanali poolt tekitatud elektromagnetvälja (ÜL-EMV) alusel sätestatud EMV intensiivsuse alad, nende piirid ja määratlused.

Ala tähis ja kommentaar	Ulatus liinikoridori keskelteljest, m	Kommentaar
„3“ – märgatava tasemega EMV ala	0...15	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega 2 ... 20% EVSM2025 tasemest. Ala ulatuse määratleb magnetvootihedus (B-väli). <ul style="list-style-type: none"> <li>Inimesele selles alas viibimise piiraga ega piiranguid ei ole.</li> </ul>
„4“ – nõrga tasemega EMV ala	Üle 15	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega alla 2% EVSM2025 tasemest. <ul style="list-style-type: none"> <li>Inimesele selles alas viibimise piiraga ega piiranguid ei ole.</li> </ul>

## 7.7. Kommentaar 330 kV maakaabelliini poolt põhjustatava EMV juurde

Maakaabelliinide vahetus läheduses on kaabelliini talitlusest tingitud ÜL-EMV nõrga või väga nõrga mõju alad, tuginedes Tabel 7-3 esitatud tulemustele.

### ***EVSM2025 piirväärtusest oluliselt madalama EMV tasemega alad „3“ ja „4“***

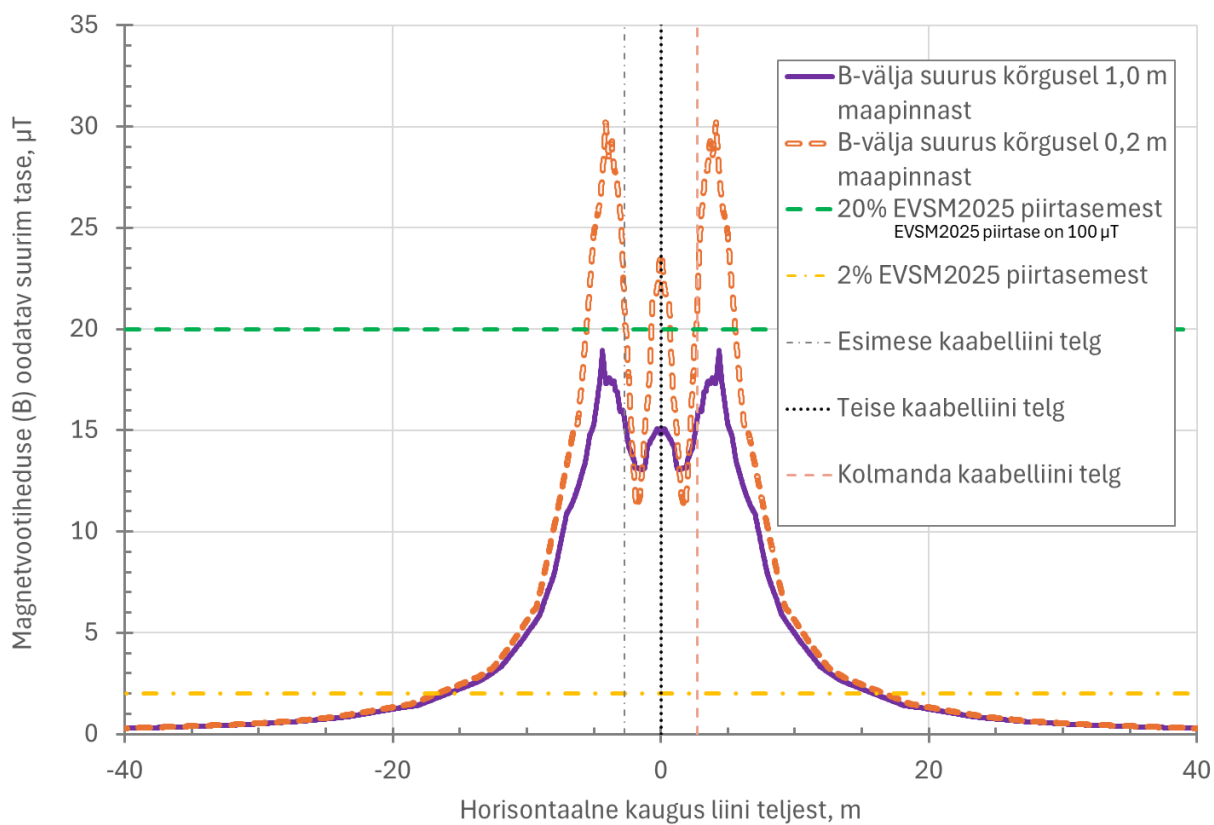
EVSM2025 piirväärtuse lähedase EMV tasemega alas ulatub EMV oodatav suurus alates 2% piirväärtuse tasemest kuni 20%-ni piirväärtuse tasemest. Arvestades EVSM2025 piirtaseme juures arvesse võetud varutegureid, ei oodata, et selliselt tasemel EMV põhjustaks inimese jaoks olulist bioloogilist või neuroloogilist stressi ka pideval selles alas viibimisel.

EMV mõõdukat taset võivad pakkuda ka paljud koduseadmed. Üheks tuntud tugeva elektrivälja tekitajaks oli mh hiljaaegu kasutusest kadunud katoodekineskoobiga teler. Aladel „3“ ja „4“ on ülekanaliini EMV tugevus selline, et koduseadmed ise võivad nende kasutamisel tingida sellest kõrgema EMV taseme.

Sellised alad sobivad eluruumide rajamise seisukohast, samuti loomakasvatus- ja taimekasvatustegevusteks.

Rannaalal või puhkealal võib kaabelliin läbida ka asukohti, mis on kasutuses näiteks telkimiseks või päevitamiseks. Nendel juhtudel võib inimene olla mõnevõrra pikemalt lamavas asendis maapinnal, selle tõttu on tema kogu keha lähemal kaablitele. Alljärgnevalt (vt Joonis 7-8) on toodud välja graafilises esituses B-välja tugevusest kaablite paiknemise lähialas, mis esitab täiendavalt info EMV tugevusest maapinnast 20 cm kõrgusel.

B-välja intensiivsus on 0,2 m kõrgusel maapinnast märgatavalt tugevam, kuid piirdub tasemetega alla 30% EVSM2025 piirtasemest. Seega ei ole ka inimese pideval maapinnal lamamisel selles alas suuremat ohtu tervisemõjude kerkimiseks. Inimese puhketegevus selles asukohas on ajutine ja kaabelliinide asukohast eemaldumisel EMV tugevus kahaneb kiirelt. Ajutise alas viibimise korral võib juhinduda üldistest töökeskkonna EMV ohje määrusest EVVM2019, mis sätestab B-välja piirtasemeks 1000  $\mu\text{T}$  e. 10 korda suurema väärtuse, kui EVSM2025. Kaabelliini poolt tekitatud B-välja suurus antud tingimustel jääb vähemalt 30 korda väikesemaks, kui töökeskkonna olukorras lubatud tasemed.



Joonis 7-8. Magnetvooiheduse (B-väli) suuruse arvutustulemuste graafiline esitus kaablite asukoha lähikümbruses võrdluses 1,0 m ning 0,2 m kõrgusel maapinnast.

## 8. Merekaabelliini elektromagnetvälja hinnang

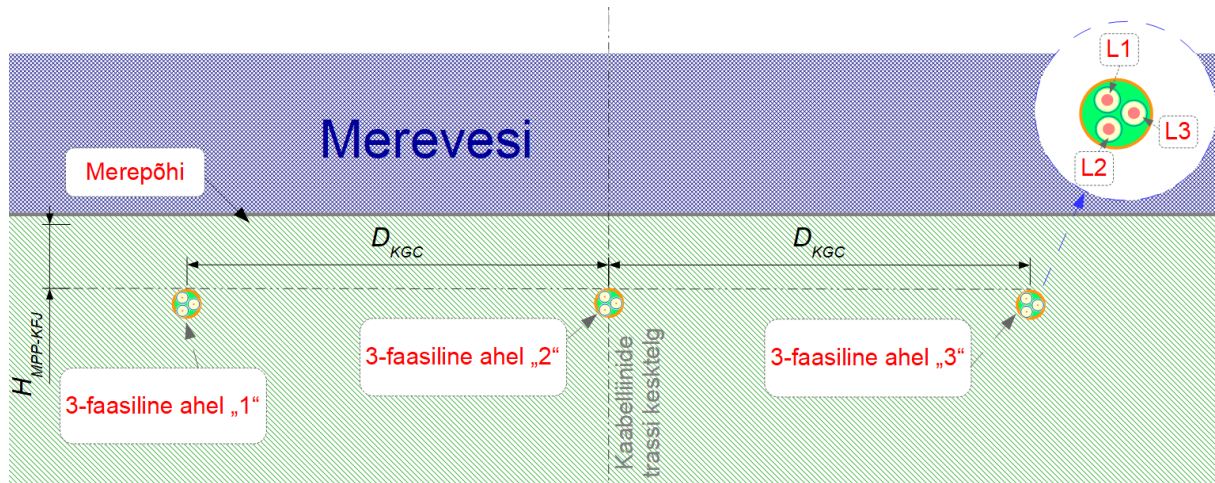
Ülekandeliini merekaabelliini-lõigu planeeritava asukohaga on võimalik tutvuda kaardirakenduses: <https://www.riigiplaneering.ee/riigi-eriplaneeringud/eesti-lati-neljas-elektrihendus/kaardirakendus>.

Merekaabli kaitsevöönd kulgeb piki kaablit ja mõlemalt poolt ulatub kaablitest 100 m kaugusele. Kaitsevööndi ulatus ja selles rakenduvad piirangud on kirjeldatud Majandus- ja taristuministri 25. juuni 2015. a määruses nr 73 „Ehitise kaitsevööndi ulatus, kaitsevööndis tegutsemise kord ja kaitsevööndi tähistusele esitatavad nõuded“ (kehtiv redaktsioon RT I, 03.02.2022, 20).

Merekaabelliini eskiisprojekti on ette nähtud kolmeahelalise 330 kV nimipingega ülekandeliinide rajamine merepõhja.

## 8.1. Merekaabelliini geomeetria

Merekaabelliini trassil on kavandatud kokku kolme kaabli paigaldamine, kus iga kaabel hõlmab 3-faasilise ahela. Merekaabel paigaldatakse merepõhja ja süvistatakse u 1 m sügavusele (vt Joonis 8-1).



Joonis 8-1. Merekaabel-ülekandekaabelliini üldine geomeetriline vaade. Mõõtmete kirjeldused vt Tabel 8-1..

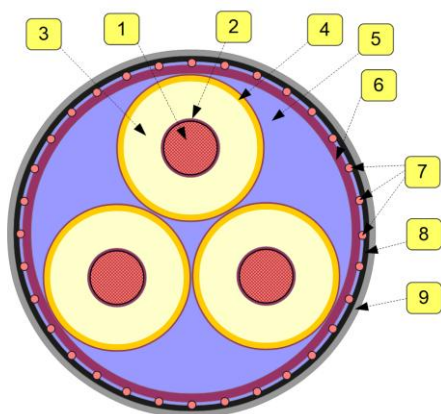
Tabel 8-1. Kaabelliini olulisemate geomeetriliste suuruste spetsifikatsioon (vt Joonis 7-1).

Mõõde joonisel (vt Joonis 7-1)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$H_{MPP-KFJ}$	Kaabli sügavus merepinnast	1,0	Minimaalne süvistus
$D_{KGC}$	Kaablite keskelgede omavaheline kaugus	200	

## 8.2. Merekaabelliinis kasutatavad kaablid

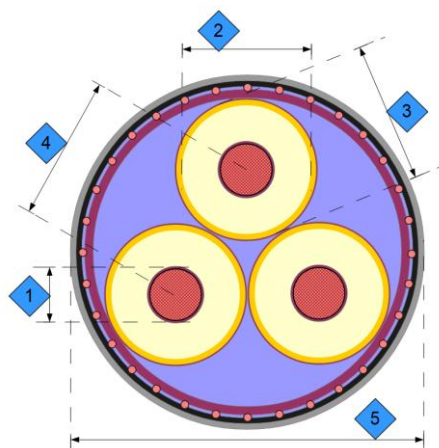
Merekaablina on kavandatud rakendada kolmefaasilist XLPE-isolatsiooniga kaablit, mille nimipingesuuruseks on 330 (362) kV. Antud uuringu raames vaadeldavaks kaabli prototüübiks on XLPE kaabel juhi ristlõikepindalaga 2500 mm<sup>2</sup>. Kaabli eeldatava ülesehituse aluseks on<sup>6</sup> ning konstruktsiooni struktuur ja geomeetria on esitatud alloleval joonisel (vt Joonis 7-2) ning geomeetria esitab Joonis 7-3.

<sup>6</sup> ABB XLPE Submarine Cable Systems Attachment to XLPE Land Cable Systems - User's Guide. Rev 5. 2010-04, 2GM 5007 -sub GB rev5.



Joonis 8-2. XLPE 330 kV 3-faasilise merekaabli ülesehitus.

1	Voolujuht alumiiniumist või vasest
2	Väljaühtlustus-pooljuhtkiht
3	XLPE isolatsioon
4	Väljaühtlustus-pooljuhtkiht ja hüdrotõkkekiht
5	Kaabli sisetäide ja isolatsioon
6	Polümeer-väliskattekiht
7	Välisarmeering elektrijuhtidest või pliist ning terasplekk
8	Väline polümeer-kattekiht
9	Nailonnöörist välispinnakiht



Joonis 8-3. XLPE 330 kV 2500 mm<sup>2</sup> 3-faasilise merekaabli olulised mõõtmed.

1	Voolujuhi läbimõõt (60 mm)
2	Isolatsioonikihi välisläbimõõt (108.2 mm)
3	Juhtiva väliskihi välisläbimõõt (115.4 mm)
4	Juhtide omavaheline kaugus (125 mm)
5	Kaabli välis-koguläbimõõt (330 mm)

Elektrimagnetvälja hinnangul rakendatud arvutustes pessimistlikus stsenaariumis on kasutatud suurimat eeldatavat püsivat koormusvoolutugevust. Arvutuse aluseks on 2500 mm<sup>2</sup> kaabli eeldatav püsikoormus 600 A. Tegemist on projekteerija hinnangulise koormusvooluga, mis kajastab kaabli tegeliku läbilaskevõimet peale konstruktiivsete ja ehitusviisist tingitud vähendustegurite rakendamise.

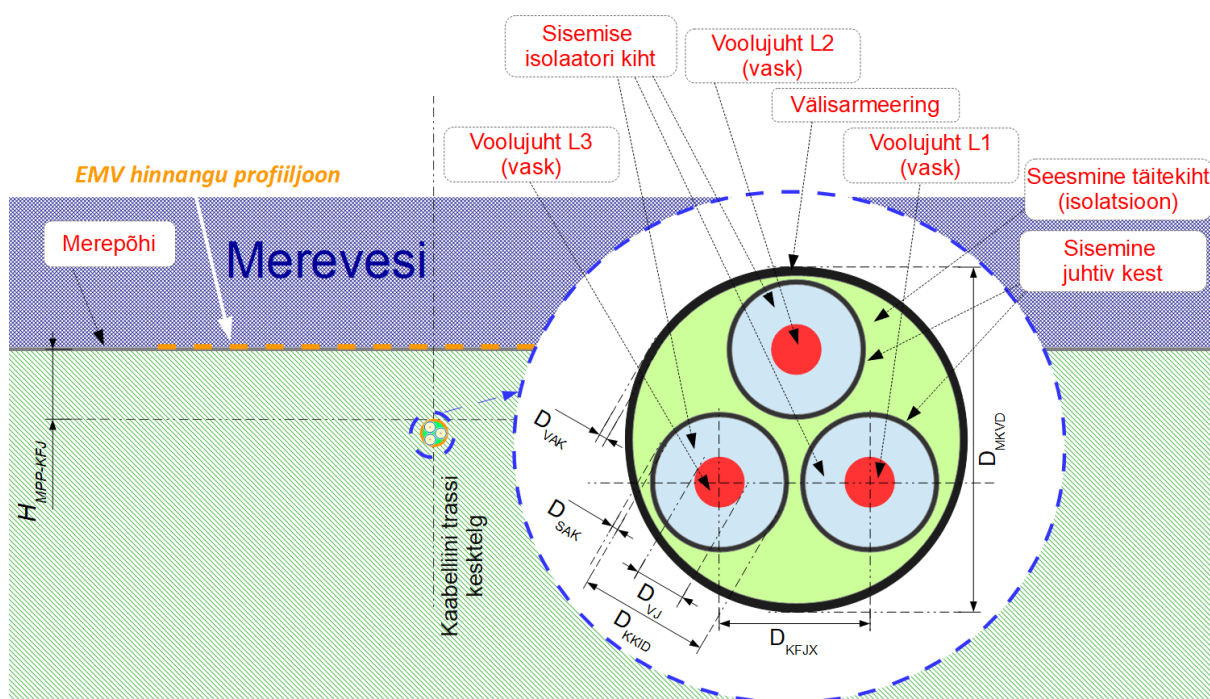
### 8.3. Merekaabelliini EMV hinnangu alused ja arvutus

Merekaabelliini poolt tekitatava EMV tasemed on füüsikaliselt määratletud läbi elektrijuhtide asetuse geomeetria, ning elektrijuhtidele rakendatud talitlussuuruste, pinge ja voolutugevuse tasemete. Esimene neist on määrav elektriväljatugevuse hinnangul ning teine magnetvootiheduse hinnangul. EMV hinnanguks tarvilikus arvutuseks arvestatakse järgmiseid kitsendusi.

- Merekaabelliinide EMV oodatavalt on tugevaim kaablitele lähimas alas. EMV hinnang antakse lähtuvalt elusloodusele potentsiaalselt mõjuva EMV tugevusest, selleks hinnatakse EMV taset kaablist 1,0 m kõrgusel. See on oodatavalt merekaabli süvistamise järel asukoht, millest ülespoole jääb avatud merevesi.
- Merekeskkonnas EMV mõju hindamiseks kasutatakse ühe kaabelliini mudelit, tingituna rööpsete merekaablite omavahelisest suurest eraldusvahemaast (200 m). Merekaabli ümbruses esinev elektromagnetväli on ülimalt lokaalse profiiliga, juba 10 m kaugusel merekaablist on väljatugevus kahanenud mitmekümnekordselt võrreldes tippväärtusega.

### 8.3.1. Maakaabelliini arvutustes rakendatav geomeetria

Maakaabelliini arvutustes rakendatav elektrijuhtide ja oluliste detailide geomeetria on esitatud üldisel skeemil alloleval joonisel (vt Joonis 8-4).



Joonis 8-4. Maakaabli EMV tasemete hindamiseks läbiviidavate arvutuste alus-geomeetria. Geomeetriliste parameetrite loetelu vt Tabel 8-2.

Tabel 8-2. EMV arvutusskeemis rakendatavad geomeetrilised parameetrid, vt Joonis 8-4.

Mõõde joonisel (vt Joonis 7-4)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$D_{VJ}$	Faasijuhi läbimõõt	0,074	Materjal: vask
$D_{SAK}$	Sisemise juhtiva kesta paksus	0,005	Mudelil rakendatud materjal: alum.
$D_{KKID}$	Sisemise isolatsioonikihi järgne läbimõõt	0,124	

Mõõde joonisel (vt Joonis 7-4)	Kirjeldus	Suurus, m	Märkused
$D_{KFJX}$	Faasijuhtide omavaheline kaugus	0,13	Mistahes kahe faasijuhi vaheline kaugus
$D_{MKVD}$	Merekaabli välisläbimõõt	0,33	
$D_{VAK}$	Välise armeeringukihi juhtiva osa paksus	0,01	Mudelis rakendatud materjal: alum.
$H_{MAA-FJM}$	3-faasilise merekaabli vähim sügavus merepõhjas	1,0	

Pinnase ning merevee materjali mudelis rakendatakse ühtlast keskkonda, mille magnetiline absoluutne läbitavus on võrdne vaba keskkonna magnetilise läbitavusega  $\mu_{MAAPIND} = \mu_0$ , kus  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$  H/m. Merepõhja materjali juhitavuseks on rakendatud suurus  $G_{MEREPÕHI} = 1$  S, merevee juhtivuseks on rakendatud  $G_{MEREVESI} = 5$  S.

Voolujuhtidena on kasutuses materjalina rakendatud alumiinium. Armeeringukihi hea voolujuhtivuse tõttu on see kiht loetud üheks massiiviks paksusega 5 mm (0,005 m), mille materjaliks on alumiinium.

XLPE isolatsiooni suhteliseks dielektriliseks läbitavuseks on arvestatud  $\epsilon_{XLPE} = 4,0$ .

### 8.3.2. Elektrilised talitlustingimused

Merekaabelliini ülekandeliini EMV arvutuste aluseks on alljärgnevad elektrilised talitlustingimused.

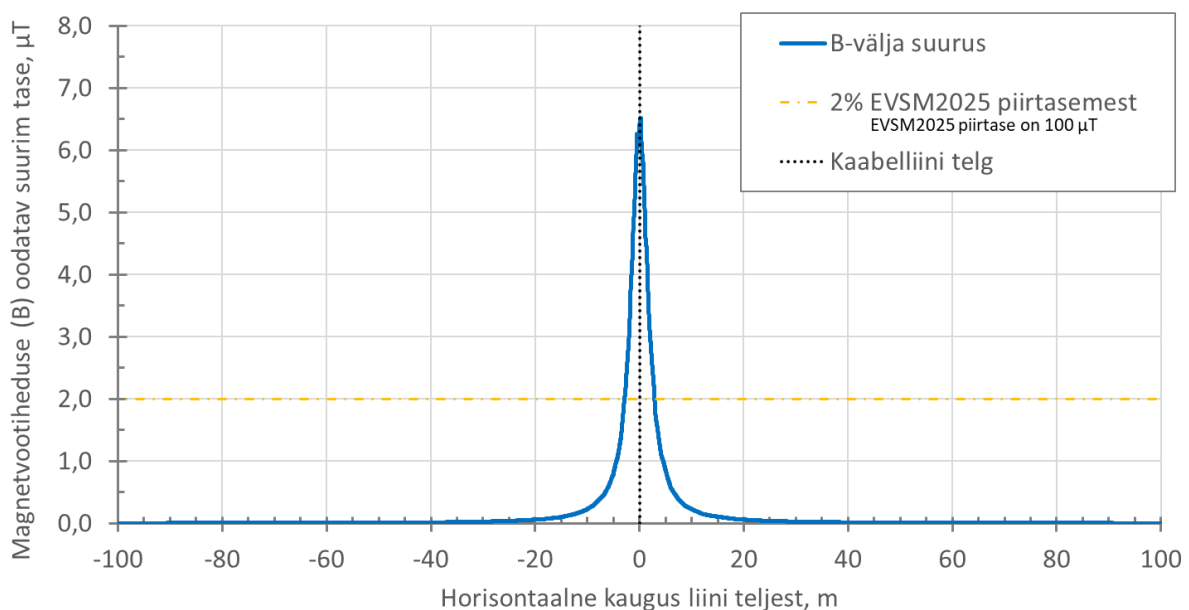
- Pingetase 362 kV on 330 kV nimipingega töötavate ülekandeliinide suurim kestevpinge e püsiv suurim talitus-liinipinge efektiivväärtuse tase (alus: EVS-EN 60038:2012 CENELEC'i standardpinged, suurim kestevpinge tase). Liinijuhtide faasipinge e pinge suurus maa suhtes on efektiivväärtusena 209 kV igal faasijuhil.
- Elektromagnetvälja hinnangul rakendatud arvutustes pessimistlikus stsenaariumis on kasutatud suurimat eeldatavat koormusvoolutugevust, mida antud kaabel võiks kanda. Kaabli tegelikku läbilaskevõimet määratakse läbi erinevate vähendustegurite. Hinnanguline kaabli püsiv koormustaluvus 2500 mm<sup>2</sup> voolujuhi ristlõike pindala korral on 700 A.
- Käesolevas EMV analüüsis on merekaablite süsteemis iga merekaabli tööjuhile rakendatud voolutugevus 700 A.
- Eeldades võimsusteguri väärtuseks 0,9 ning rakendades rööpselt töösse 3 kaablit, saab antud kaabelliinide süsteemist 700 A koormusvoolutugevusel üle kanda võimsuse u 1100 MW.

## 8.4. Arvutustulemused elektriväljatugevuse hinnanguks

Merekaabelliiniga seotud elektriväli on üldiselt piiratud tänu kaabelliini ehituses kasutatud kaablite konstruktsiooni eripärale. Kaabli faasijuht on ümbritsetud kogu ulatuses vaskarmeeringu poolt, mis maandatakse alajaamas või eraldisesvates armeeringu-maanduspunktides. Maandatud ning kogu faasijuhti ümbritsev armeering põhimõtteliselt tühistab kogu faasijuhi poolt emiteeritava elektrivälja ja elektriväljatugevus ümber kaabelliini jääb tühiselt väikeseks.

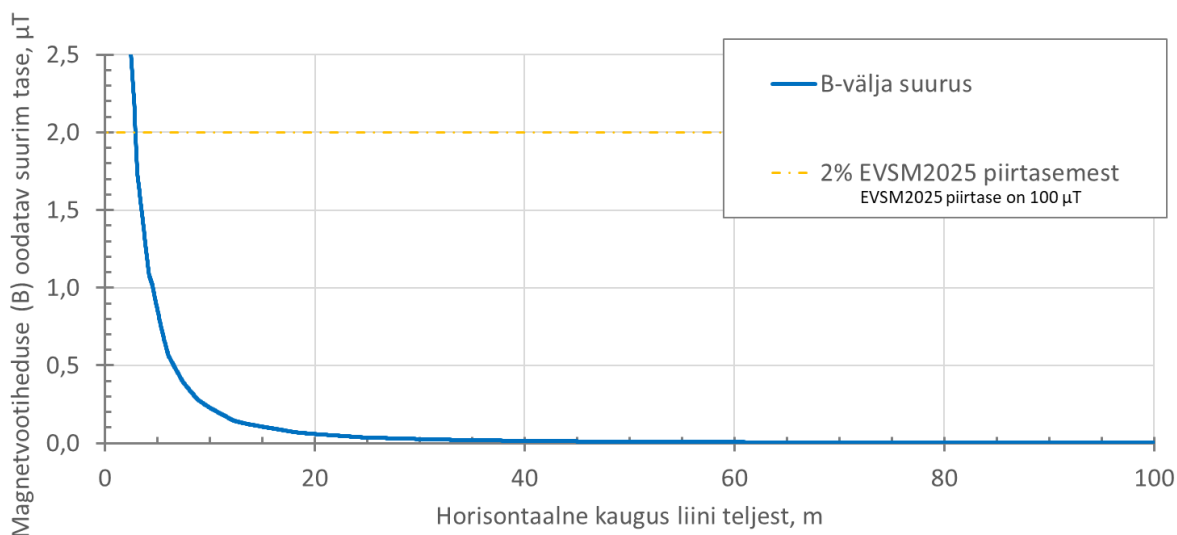
## 8.5. Arvutustulemused magnetvootiheduse hinnanguks

Merekaabelliini poolt tekitatud elektriväljatugevuse osas hinnangu andmiseks on aluseks alloleval graafikul (vt Joonis 8-5) koondatud numbrilised suurused.



Joonis 8-5. Magnetvootiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, ulatuses 100 m liinikoridoride teljest mõlemas suunas. Negatiivne kaugus märgib suunda liini keskteljest vasakule ja positiivne kaugussuurus märgib suunda liini keskteljest paremale.

Oodatavad magnetvootiheduse tugevuse suurused jäävad kaabelliini kaitsevööndist väljaspool selgelt alla EVSM2025 piirtasemeid. Antud liini konfiguratsiooni korral ja oodatavates koormusolukordades ka otse liini faasijuhtide kohal viibides ei ületaks oodatav magnetvootihedus EVSM2025 piirtasemeid. Liinist eemaldudes kahaneb magnetvootihedus järsult kaabli keskteljest u 3 m kaugusel on magnetvootiheduse suurus kahanenud EVSM2025 piirtasemes suhtes alla 2% nivoo. Magnetvootiheduse tasemete oodatavate suuruste ülevaade väljaspool liinide kaitsevööndit on esitatud detailsemas vaates alloleval graafikul (vt Joonis 8-6).



Joonis 8-6. Magnetvooiheduse (B-välja) arvutustulemused graafikul, väljaspool ülekanali kaitsevööndit.

## 8.6. Merekabelliini poolt tekitatud EMV tasemete hinnang inimesele mõju suhtes

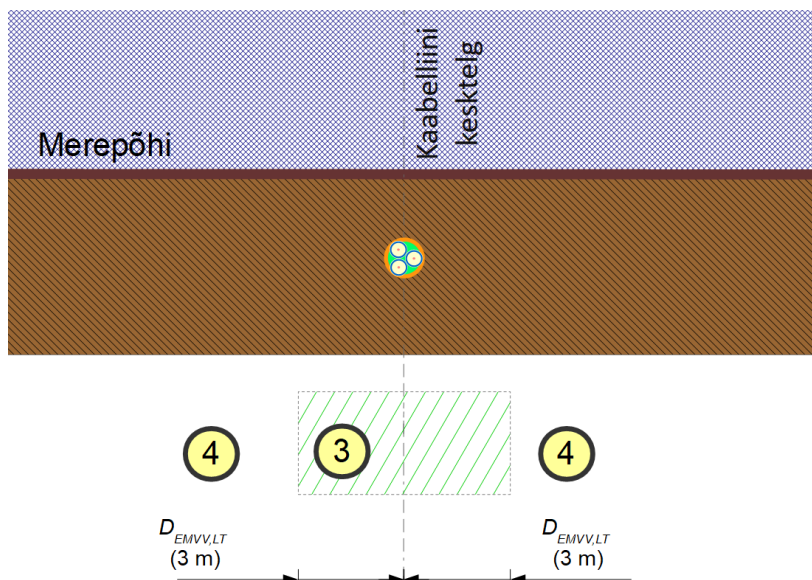
Merekaabelliinide poolt tekitatud EMV tasemete ülevaade lähtudes mõjust inimesele on esitatud alloleval graafilisel skeemil, vt Joonis 8-7. Siin on esituses rakendatud kokku 4 erinevat EMV tasemega ala, mille üldkirjeldus oli esitatud peatükis 2.3. „EMV mõju kriteeriumid“. Ülekandeliini poolt tekitatud EMV (lüh ÜL-EMV) tasemete alusel eristatakse siin järgmisi alasid.

1 – ala, milles ÜL-EMV tasemed ületavad suure tõenäosusega EVSM2025 määruuses esitatud piirtasemed. Selles alas ei ole inimese alalise viibimise soovitatav.

2 – intensiivse ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 20...100%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

3 – märgatava ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel 2...20%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.

4 – vähese ÜL-EMV tasemega ala, milles ÜL-EMV tase on võrreldes EVSM2025 piirtasemega suhtelisel tasemel alla 2%. Selles alas inimesele alalise viibimise osas piiranguid ei esitata.



Joonis 8-7. EMV mõju klassifikatsiooni järgi nimetatud alad merekaabli vahetus ümbruses.

Vaadeldava kaabelliini EMV hinnang esitab alade piirid kaugustel, mis on kirjeldatud allolevas tabelis (vt Tabel 8-3). Tabelis on esitatud ka intensiivsuse alade piiritingimuse seadjana kas elektriväljatugevus või magnetvootihedus.

Tabel 8-3. Merekaabel-ülekandeliini poolt tekitatud elektromagnetvälja (ÜL-EMV) alusel sätestatud EMV intensiivsuse alad, nende piirid ja määratlused.

Ala tähis ja kommentaar	Ulatus liini-kordiori kesktelest, m	Kommentaar
„3“ – märgatava tasemega EMV ala	0...3	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega 2...20% EVSM2025 tasemest. Ala ulatuse määratleb magnetvootihedus (B-väli).
„4“ – nõrga tasemega EMV ala	Üle 3	Ala, milles ÜL-EMV on intensiivsusega alla 2% EVSM2025 tasemest.

## 8.7. Kommentaar 330 kV merekaabelliini poolt põhjustatava EMV juurde

Merekaabelliinide vahetus läheduses on merekaabelliini talitlusest tingitud ÜL-EMV nõrga või väga nõrga mõju alad, tuginedes Tabel 8-3 esitatud tulemustele.

### **EVSM2025 piirväärtusest oluliselt madalama EMV tasemega alad „3“ ja „4“**

EVSM2025 piirväärtuse lähedase EMV tasemega alas ulatub EMV oodatav suurus alates 2% piirväärtuse tasemest kuni 20%-ni piirväärtuse tasemest. Arvestades EVSM2025 piirtaseme juures arvesse võetud varutegureid, ei oodata, et selliselt tasemel EMV

põhjustaks inimese jaoks olulist bioloogilist või neuroloogilist stressi ka pideval selles alas viibimisel.

Merekeskkonnas olevad eluvormid omavad oluliselt teistsugust seost keskkonnaga kui inimene. Sama puudutab ka potentsiaalseid seoseid EMV-ga. EVSM2025 kajastab tasemeid, mis esitavad inimesele mõjuva EMV osas. 50 Hz sagedustel suuruste puhul on näiteks aluseks B-välja poolt jäsemetes ja kehas potentsiaalselt indutseeritavast elektromotoorjõust tingitud voolutugevus. Eluvormid meres võivad olla täiendavalt mõjutatud näiteks EMV poolt tekitatud sensorsetest nähetest.

Mere-eluvormidele mõjuva EMV taseme võrdlusaluseks võib pidada madalpingekaabli (nt eramajapidamises kasutatavad ühefaasilised kaablid) poolt tekitatud magnetväli. Tiikide ja teiste veekogude madalpingeliste elektrivarustuskaablite paigaldamise tõttu ei ole teatatud seal elavate eluvormide seisukohast märgatavaid mõjutusi.

## 9. EMV tasemete mõõtmine

Elektromagnetväljade tasemete ohutuses veendumiseks tuleb EMV suuruseid mõõta peale ehitatavate ülekandesüsteemide valmimist ja talitlusevõimekuse saavutamist. Mõõtmiste läbiviimisega saab kindlaks teha nii eelnevalt antud hinnangute paikapidavuse kui ka võimalike parandus- ja varutegurite rakendamise vajaduse ohutushinnangute seisukohast.

Mõõtmistoiminguid võib läbi viia kahel viisil:

- osalises elektrilises talitluses, kui elektrilised talitusparameetrid on ülekandesüsteemi komponentidele kavandatud suuruste seisukohast oluliselt madalamatel tasemetel;
- projekteeritud elektrilises talitluses, kui elektrilised talitusparameetrid on ülekandesüsteemi komponentidele kavandatud nimitasemetel.

Mõõteprotsessis tuleb tagada korratavus ja jälgitavus. Korratavus tähendab siin, et mõõtmisprotsessi korrates teise mõõtja poolt ja/või teisel ajal saadakse samadel tingimustel piisavalt kattuvaid suuruseid kajastav mõõtetulemus. Jälgitavus tähendab siin, et mõõtetulemuse aluseks on mõõtesuuruse põhiühikud piisava täpsusega, et oleks võimalik teostada võrdlus eri asukohtades, aegadel ja asjaoludel läbi viidud mõõtmistel saadud tulemuste osas.

### 9.1. Osalises talitluses läbi viidavad mõõtmised

Eelmõõtmised võimaldavad anda hinnangu ohutuskriteeriumide täitmisele selliselt, et mõõtmiste teostamisel ei tekitata olukorda, mil vaadeldavas asukohas esinev EMV tase võib ulatuda piirtasemeid ületavaks. Selline olukord võib olla vajalik näiteks juhul, kui:

- mõõtmisi läbi viiva personali jaoks on võimalik sattuda alasse, milles EMV tase ületab töökeskkonna piirnorme;
- looduskeskkonnas on selgitatud asukoht, milles on vajalik säilitada täiendava varuteguri tasemed võrreldes EVSM2025 piirtasemega.

Eelmõõtmiste läbiviimiseks teostatakse:

- ülekandesüsteemi pingestamine selliselt, et sellele rakendatakse näiteks madalamal pingetasemel talitluspinge (nt 330 kV asemel 110 kV). Sellisel juhul on oodatavalt ülekandesüsteemi komponentidel pingetaseme suhtega proportsionaalselt madalam elektriväljatugevus;
- komponentide koormusvoolutugevuse tasemega määratud magnetvootiheduse suurused mõõdetakse selliselt, et koormuseks rakendatakse liinil kavandatuga võrreldes märkimisväärselt madalam koormus.

Ohutushinnangu paikapidavus esitatakse sellisel juhul mõõtetulemustel selgitatud arvutustulemustele tuginevalt. Selleks arvutatakse projektsioon väljatugevuste

suurustest juhuks, kui ülekandesüsteemi komponent talitleks nimisuurustel. Arvutuste läbiviimiseks on vältimatu katseks rakendatud talitusparameetrite pidev seire kogu mõõteprotsessi läbiviimise vältel.

Eelmõõtmiste läbiviimine on vajalik eeskätt juhul, kui on tuvastatud spetsiifiline olukord, mil ülekandesüsteemide nimitalitlusel kasutatavate elektriliste suuruste korral on eeldada ohutustasemete ületamist. Eelmõõtmistel rakendatava osalisel tasemel pingestamise korral on vajalik täiendav ehitustegevus (lisakomponendid, lisaühendused) ning selliste ühenduste lisamisel pingestamise eelne ja lisaseadmete eemaldamisele järgnev kontroll.

## 9.2. Nimitalitluses ülekandesüsteemi komponentide mõõtmine

Nimitalitluses ülekandesüsteemide komponentide kohta saab esitada ohutushinnangu täies või olulises ulatuses mõõtetulemustele tuginedes. Eristada tuleb elektriväljatugevuse mõõtmiseks ja magnetvootiheduse mõõtmisel sooritatavaid tegevusi.

- Nimitalitluses on ülekandeliinide komponentidel tüüpiliselt suhteliselt püsiv talituspinge, mis on kirjeldatud näiteks EVS-EN 60038:2012, *CENELEC standardpinged* esitatud vahemikes. Ülekandesüsteemi talituspinge varieerub üldiselt aeglaselt ja väikeses ulatuses, seega ka elektriväljatugevus varieerub samal viisil.
- Koormusvoolutugevus ülekandeliinide talitlusel on tõenäosuslik ja võib varieeruda väikeses ajavahemikus suhteliselt suures ulatuses, mis on tingitud tegelike koormusolukordade muutlikkusest.

Mõõtmisülesandes on vajalik tähelepanu pöörata asjaoludele, mis tulenevad ülekandeliini geomeetriast tingitud välja jaotusest. Väljatugevuse mõõdetud suuruse võrdluses mudelis esitatuga on vaja korrata mõõtmisi vähemalt viies punktis alates komponendi keskteljelt, mis võimaldaks esitada eeldatava EMV suuruste profiili ülekandesüsteemi komponentidest kaugenemisel.

Igas mõõte/vaatlusasukohas mõõtetulemuste esitamisel on otstarbekas esitada mõõtetulemuste komplekt, milleks mõõtmised on teostatud ristprofiilis:

- ülekandeliini äärmiste juhtide all;
- ülekandeliini keskteljel;
- eeldataval kaugusel, kus oodatav suurim väljatugevus jääb tasemele 80-120% EVSM2025 tasemetest (juhul, kui oodatavalt esineb selline tase);
- eeldataval kaugusel, kus oodatav suurim väljatugevus jääb tasemele 10-30% EVSM2025 tasemetest (juhul, kui oodatavalt esineb selline tase);
- ülekandesüsteemi komponendi kaitsevööndi piiril.

Soovitav on teostada mõõtmised liinide pikisuunas vähemalt kolmes mõõte/vaatlusasukohas, millest üks on õhuliinide korral visangu keskel (s.o juhtide madalaimas asukohas maa suhtes).

Mõõtetulemuste registreerimisel on kriitilise tähtsusega mõõdetava ala EMV tasemeid kujundava ülekandesüsteemi komponendi elektriliste talitlussuuruste registreerimine. Üldises plaanis on vajalik mõõtmiste läbiviimine selliselt, et oleks võimalik anda hinnang EMV suuruse mõõtmise ajal esinevatele talitlussuuruste keskmistele tasemetele. Näiteks juhul, kui mõõtmine ühes asukohas viidi läbi 1 minuti jooksul, peaks olema registreeritud ka elektriliste talitlussuuruste mõõtetulemused (talitluspinge tase, voolutugevus) mitte harvemini, kui 1 minuti ajalise sammuga suurustena.

Tähelepanu! Komponenti elektriliste talitlussuuruste mõõtmisel esinev määramatus tuleb arvesse võtta ohutushinnangus esitatava laiendmääramatuse arvutusel.

### 9.3. Harmoonikud ja kõrgema sagedusega komponendid

Mõõtmistel saab lähtuda eeldusest, et ülekandesüsteemi komponentidel esineb peamiselt nimitalitlussagedusel (s.o 50 Hz) komponent. Mõõtmistel tuleb veenduda, et kõrgema sagedusega väljatugevuse komponentide osakaal oleks sedavõrd madal, et selliste sageduskomponentide esinemine ei vajaks nimetatud sageduskomponentide arvestamist ohutushinnangul (vt ptk 9.5. „Ohutushinnangu esitamine mõõtetulemusele tuginedes“).

Harmoonikute/kõrgema sagedusega komponentide olulisus tõstatub, kui nende mõõdetud suuruse kaalutud väärtus on üle 5% EVSM2025 piirtasemest selle komponendi sagedusel (vt 2.1 EMV piirväärtuste tasemeid kehtestav regulatsioon, Tabel 2-1), mille saab leida, kasutades tehet:

$\lambda_E(f_K) = \frac{E_{\text{mõõdetud}}(f_K)}{E_{\text{piirv}}(f_K)}$ $\lambda_B(f_K) = \frac{B_{\text{mõõdetud}}(f_K)}{B_{\text{piirv}}(f_K)}$	
---	--

kus alaindeksiga 'mõõdetud' tähistatud suurus on mõõdetud suuruse sageduskomponendi tase, 'piirv' tähistab EVSM2025 piirväärtuse taset ja  $\lambda$  on kaalutud väärtus.

Arvestades pooljuhtseadistega lülitustalitluses muundurite osakaaluga süsteemis, tuleks EMV ohutushinnanguks esitamiseks registreerida sageduskomponendid igas mõõte/vaatlusasukohas vähemalt kuni 2 kHz sagedusribas.

- Juhul, kui nimetatud sagedusribas ei esine olulise suurusega EMV komponente, peale 50 Hz komponendi, mille kaalutud väärtus ületab 5% taset, saab edasised mõõtmised selles mõõte/vaatlusasukohas läbi viia vähendatud sagedusribas, kus

registreerida vähemalt 7. järku (350 Hz), soovitatavalt vähemalt 11. järku harmooniku (550 Hz) EMV komponentide tasemed.

- Juhul, kui nimetatud sagedusribas esineb EMV komponente peale 50 Hz sagedusega komponendi, mille kaalutud väärtus ületab 5% taset, tuleb edasistel mõõtmistel antud mõõte/analüüsi asukohas registreerida sageduskomponentide tasemed vähemalt 2 kHz sagedusribas.

## 9.4. Üldised nõuded mõõtetevgevusele

Väljatasemete hindamiseks vajalike mõõtmise teostajal peab olema piisav pädevus, et:

- tagada enda ohutus mõõtmiste läbiviimisel, sh ohutus EMV tasemetest tingitud mõjude osas, ning elektriliste suuruste seisukohtadest esitatavad ohutusnõuded;
  - tähelepanu tuleb pöörata kõrgepingeseadmete läheduses töötamisel tingitud ohutuskriteeriumidele;
- tagada ohutus mõõtmistel rakendatavate seadmetele ja nende talitlusele, sh nende talitluse korrektsusele.

Mõõtmistegevuste läbiviijal peab olema akrediteerimisasutuse poolt EV mõõteseaduse § 5 lõike 5 alusel välja antud erialast kompetentsust kinnitav tunnistus või akrediteerimistunnistus. Viimase kontekstis tuleb hinnata mõõteülesande sooritamise (elektri- ja magnetväljatugevuse mõõtmise) protseduurile vajalike nõuete täitmise vastavust.

Mõõtmiste läbiviimisel tuleb lähtuda mõõtja akrediteerimisulatuses, kui mõõtjal on elektriülekanadesüsteemidega seotud EMV mõõtmiseks sobilik meetodika. Viimase puudumisel esitada mõõtearuandes mõõtmiste läbi viimisel rakendatud meetodika täpne ja küllaldane kirjeldus mõõtetevgevuste korrektsuses veendumiseks ning korratavuse tagamiseks. Mõõtja poolt rakendatavate meetodite aluseks peab olema normatiivalustega kirjeldatud raamistik, mille esitavad dokumendid:

- EVS-EN 62110:2010 Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure;
- IEEE 644-2019 IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines;
- EVS-EN 61786-1:2014+A1:2024 Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings - Part 1: Requirements for measuring instruments (IEC 61786-1:2013 + IEC 61786-1:2013/AMD1:2024);
- IEC 61786-2:2014 Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings - Part 2: Basic standard for measurements.

\* Loetletud dokumentide versioonid võivad olla ajakohasemad kui need, mis ülaltoodud, nt 2019 aasta dokumendi asemel võib rakendada 2025 aasta dokumendi redaktsiooni.

Juhul, kui mõõteprotseduuris on kasutusel normatiividest lahknevad protseduurid, mõõteviisid või tegevused, tuleb need selgelt välja tuua, põhjendada kõrvalekallete kasutamise vajadus ja hinnata nendest tulenevate võimalikke kõrvalekallete ulatus.

Mõõtetulemuste korratavuse tagamiseks tuleb mõõtetulemuste aruannete esitamisel tuleb fikseerida kõik suurused, mis on loetletud EVS-EN 62110 dokumendis.

## 9.5. Ohutushinnangu esitamine mõõtetulemusele tuginedes

Ohutushinnangu esitamisel tuleb arvesse võtta, et ülekandeliinide tegelik talitlusolukord mõõtmiste ajal võis erineda suhteliselt suurel määral komponentide projekteeritud talitlustingimustest. Seetõttu tuleb mõõtetulemustele tugineva ohutushinnangu esitamisel tuleb arvesse võtta ülekandeliinide tegelikke talitlusolukordi mõõtmiste ajal, ja sellele tuginevalt interpoleerida mõõdetud EMV suuruste tasemed. Viimase protseduuri tulemuseks tuleb esitada EMV tasemed olukorras, kus ülekandeahel talitleb projektis sellele ette nähtud tingimustel.

Mõõtetulemuse töötlemisel ohutushinnangu andmisel tuleb lähtuda eeskätt järgmistest juhistest arvutuste sooritamisel:

- EVS-EN 50413:2019 Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz);
- EVS-EN IEC 62311:2020 Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz);
- CIGRE\_WG C4-28. Ref. 795. REPORT--TB 795 – Extrapolation of measured values of power-frequency magnetic fields in the vicinity of power links;
- CIGRE WG 36-01. Ref 021 - 1980. Electric and magnetic fields produced by transmission systems. Technical Brochure;
- CIGRE WG 36-01. Ref 074 - 1993. Electric power transmission and the environment - Fields, noise and interference;
- CIGRE WG C4-204. Ref 373 - 2009. Mitigation Techniques of Power Frequency Magnetic Fields originated from Electric Power Systems. Technical brochure;
- CIGRE WG C3-19. Ref. 806 - 2020. Responsible management of electric and magnetic fields (EMF). Technical brochure.

Ohutushinnang tuleb esitada koos selles kasutatud mõõtetulemuste mõõtemääramatusega. Määramatuse hinnang tuleb esitada ka ohutushinnangu koondtulemusele.

Ohutushinnangul tuleb osutada ka täiendavatele asjaoludele, mis võivad mõjutada ohutushinnangu tulemust. Sealhulgas tuleb anda lausung ülekandesüsteemide talitlussuuruste harmoonikute tasemetele, võimalikele mõjudele seoses keskkonningimustega (sh õhuniiskusest ja temperatuurist tingitud asjaoludele, kui neid on).

Mitmel sagedusel esinevate EMV komponentide arvestamisel mõjuhindangus tuleb lähtuda komponentide summeerimisreeglitest, mis on esitatud näiteks EVS-EN 50413 ja EVS-EN IEC 62311 dokumentides. Rakendatud summeerimisreeglid tuleb esitada aruandes koos viitega nende allikale.

## 10. Kõrgsageduslikud häiringud ja EMV komponendid

Ülekandevõrkudes kasutatavad seadmed ja komponendid, samuti tüüpilised koormusolukorrad on kujundatud tööks süsteemi talitlussagedusel 50 Hz. Ülekandesüsteemis kasutatavate komponentide ja sellega ühendatud seadmete talitluse tõttu esineb ülekandeliinidel talitlussagedusest kõrgemate sagedustega pinge-, voolutugevuse- ja ka EMV komponente. Nende suhteline suurus võrreldes 50 Hz talitlussagedusel esinevate suurustega on madal. Võttes arvesse erinevate tehniliste süsteemide tundlikkuse, võib ka suhteliselt madala tasemega suurus tuua kaasa tehniliste süsteemide häirumist.

Kõrgsageduslikke elektriliste suuruste ja EMV komponente vaadeldakse nii nende tekitajate kui ka neile vastuvõtlikele sõlmedele avaldatava mõju alusel.

- *Kõrgemad harmoonikud* on üldises plaanis talitlussagedusest (50 Hz) kordsetel sagedustel esinevad pinge- ja voolutugevuse komponendid. Sellised komponendid kirjeldavad tegelike pinge- ja voolutugevuse lainekujude kõrvalekallet ideaalsest siinuslainekujust. Kõrgemad harmoonikud kaasnevad võrku ühendatud pooljuhtseadmetel põhinevate muundurite talitlusega (sh taastuenergiapaigaldistes töötavad muundurid), kuid ka erinevate magnetahelatega komponentide küllastumise tõttu. Samuti võib kõrgemaid harmoonikuid põhjustada pöörleva generaatori magnetahela kujundusviis. Kõrgemate harmoonikutena vaadeldakse sageduskomponente kuni 2 kHz sageduseni.
- *Üliharmoonikud* on sageduskomponendid, mille sagedus on vahemikus 2 kHz...150 kHz. Üliharmoonikud kaasnevad võrku ühendatud pooljuhtseadmetel põhinevate muundurite talitlusega (sh taastuenergiapaigaldistes töötavad muundurid) ja kirjeldavad näiteks nende pinge- ja koormusvoolutugevuse pulsatsiooninähtuseid. Ülekandevõrkudega ühendatud pooljuhtmuundurid töötavad lülitustalitluses, seejuures juhitakse pidevalt lülituste kestvust. Põhilülitussagedusega 4 kHz...30 kHz töötavate muundurite lülitustalitluse parameetrite moduleerimise tulemusena esinevad sageduskomponendid võivad esineda märkimisväärsel tasemel, mistõttu on sageli nende vältimiseks esitatud nõuded filtrite paigaldamiseks sellise muunduri ja ülekandevõrgu vahele.
- *Kõrgsageduslikud häiringukomponendid* (valdkonnas töötajate poolt kasutatakse ka lihtsamalt „häiringud“) on sageduskomponendid, mis esinevad sagedustel üle 150 kHz. Nimetatud komponentide põhjustajateks võivad olla nii ülekandevõrguga ühendatud lülitustalitluses muundurid, kuid ka kõrgepingeisolatsiooni komponentidel toimuvad korona- ja osalahendusnähtused, lülitamisprotsessid sh sellega kaasnev sädelus- ja kaarlahendus. Lülitustalitlustes muunduritega kaasnevad oodatavalt kõrgsageduskomponendid kuni sageduseni u 30 MHz.

Kõrgepinge isolatsioonil esinevate nähtuste ja koroonanähtuse sagedusriba ulatub mitmesaja MHz-ni ja võib põhjustada raadiohäiringuid, mistõttu on viimane erialases terminoloogias tuntud ka kui raadiohäiringupinge (i.k. *radio interference voltage*, RIV).

Kirjeldatud kõrgsageduskomponentide intensiivsus on oodatavalt sedavõrd madalal tasemel, et inimese ega looduse jaoks täiendavat ohtlikkuse komponenti ei kujuta. Oluline on aga tagada ülekandeliinide läheduses elektromagnetilise ühilduvuse tingimused. Kõrgsageduslike komponentide hindamise ja ohje puhul tuleb lähtuda asjaoludest, et nimetatud komponendid ei hakkaks põhjustama häiringuid ülekandeliinide vahetus läheduses talitlevatele süsteemidele.

## 10.1. Harmoonikud ja üliharmoonikud

Kõrgemad harmoonilise sagedusega komponendid e harmoonikud kirjeldavad mingi korduva protsessi (nt võrgupinge võnketsükkel) erinevust ideaalsest siinusvõnkumise kujust. Pingesuuruse korral kirjeldatakse võrgupinge hetkväärtuseid nn lainekujuna, mis tähistab ajalisel vaates muutumises olevate pingesuuruste kogumit. Vahelduvvoolutoitevõrgu elektriliste talitlussuuruste, sh pinge- ja voolutugevuste protsessikujud on oodatavalt ideaalset siinust järgivad. Tegelikud esinevad suurused aga erinevad mõnevõrra siinuskujust, kuid nende kordussagedus on püsivalt 50 Hz. Harmoonikute kaasamine analüüsi, sh mõõtetulemustesse aitab esitada mittesiinuselisust ja annab küllalt edasi ka moonutuskomponentide füüsikalise sisu ja iseloomuliku toime.

Harmoonikute tugevused on ülekandevõrkudes suhteliselt madalad, ning nii pinge- kui voolutugevuses esinevad 50 Hz talitlussageduse täisarv-kordsel sagedusel harmoonikud ulatuvad enamalt paari protsendini 50 Hz talitlussageduslike põhisuuruste tasemetest. Harmoonikud võivad omada mõju ka inimesele mõjuva EMV seisukohast, kuid sellise olukorra esinemine on tavaliselt nähtav 3., 5. ja 7. järku harmoonikute esinemise taseme alusel (vt 9.3 Harmoonikud ja kõrgema sagedusega komponendid).

Kõrgemad harmoonikud esinevad märgatava tugevusega sageli lülitustalitluses muundurite töö tulemusena. Nimetatud muundurites jäljendatakse protsesside siinuskuju muundurite ahelate sisse- ja väljalülituste ajastuse reguleerimisega. Tulemuseks saadav väljund- või sisendsuurus erineb mõnevõrra siinuskujust ja see kõrvalekalle avaldab mõju ülekandevõrgu laiemale osale.

Üliharmoonikute poolt põhjustatud EMV mõju võib potentsiaalselt avalduda tänu nende märkimisväärsele sagedusele. Juhtmekontuurides indutseeritud elektromotoorjõu suurus, mis võib mõjutab mingi juhtmetega kontuuri tööd, on magnetvoo muutumise kiirusega lineaarses sõltuvuses. Näiteks kui 50 Hz korral indutseerib magnetvoo tiheduse komponent 10 mV suuruse pinget, siis 50 kHz korral on sama efektiivväärtusega komponendi tõttu indutseeritud pingeks 10 V. Seetõttu on vaja silmas pidada, et

lülitustalitluses pooljuhtmuunduritega ühendatud ülekandevõrgus võivad ka suhteliselt väikese voolutugevusega aga kõrge sagedusega komponendid tuua kaasa seadmete potentsiaalse häirimise. Üliharmoonikuid saab suhteliselt tõhusalt filtreerida nende tekitaja juures, lisades sobilikud LC-filtrid.

Üliharmoonikute mõjul võib esineda tööstussüsteemide häirimine eeskätt andurite signaaliahelates ja sideahelates. Näiteks 63 ja 74 kHz sagedusega komponendid võivad põhjustada Eestis kasutatavate elektrienergia arvestite jaoks andmeedastusprobleeme.

Üliharmoonikute tasemete üldiseks piiramiseks, ega ka ülekandeliinidega seotud aladel nendest põhjustatud EMV tasemetele nõuete esitamiseks üldtunnustatud praktikat ei ole. Sarnaste tehniliste aspektidega on seotud aga näiteks raudtee elekterveotaristu. Kontaktliinidega ühendatud seadmete tiheduse ja liinide ulatusega seotud probleemide kerkimisel on raudtee veoliinide ja veoalajaamadega seoses kehtestatud standarditeseeria EVS-EN 50121, millest võib probleemide ilmnemisel juhinduda. Siiski, sagedusvahemiku alla 150 kHz kontekstis ei ole nimetatud sobilikke mõõtemetodeid, ega ka piirtasemeid, millele keskkonnas esinev EMV tase peaks kohalduma.

## 10.2. Kõrgsageduslikud häiringukomponendid

Kõrgsagedusliku jäljega häiringunähtused tulenevad mh mistahes füüsikalistest protsessidest, mida iseloomustab väga kiire elektri- ja magnetvootiheduse muutus. Kõrgepinge- ja ülikõrgepinge tasemetel töötavate elektriülekanalüsteemide komponentide juures esinevad erinevad lahendusnähtused (nt koroon, osalahendus, sädelus) on oma toimumise sisus ülilühiajalise kestusega protsessid. Nendes laengukandjad liiguvad gaasis (õhus) piiratud teekonna mille järel laengukandjate liikumine lakkab. Langukandjate iga liikumine on elektrivool, millega kaasneb magnetvälja tekkimine. Laengukandjate ümberpaiknemine samas muudab nende asukohas lokaalselt elektrivälja tugevust. Seega erinevad elektrilahendused tingivad elektri- ja magnetvälja lühiajaliste impulss-tüüpi suuruste esinemise.

Sarnaselt ajas perioodiliselt korduvate, kuid siinuskujust erinevate suuruste kirjeldustele läbi kõrgemate harmooniliste sageduskomponentide, kehtivad samad põhimõtted ka impulss-protsesside kohta. Mida järsemad on impulsside siirdekarakteristikud ja mida lühemaajalisem on nende kestus, seda kõrgema sagedusega komponendid nendega kaasnevad. Koroonnähtused on ühed püsivamalt esinevad ja märkimisväärse intensiivsusega protsessid elektriliinidel, mis kõrgsagedushäiringute ilmnemist kaasa toovad. Seetõttu on ka nendele pühendatud suuremat tähelepanu.

Kõrgsageduslike häiringukomponentide esinemine seoses ülekandeliinidega on leidnud käsitlust erinevates juhendites ja normatiivides. Eestis kehtivad kõrgepingeliste vahelduvvoolu-ülekanalide projekteerimise põhinõudeid esitav *EVS-EN 50341-1:2013*<sup>7</sup> kirjeldab nõudeid koroonakadude ohjeks punktis 5.10. Õhuliinide komponentide

---

<sup>7</sup> EVS-EN 50341-1:2013 Elektriõhuliinid vahelduvpingega üle 1 kV. Osa 1: Üldnõuded. Ühised eeskirjad.

valimiseks ja raadiohäiringute tasemete vähendamiseks saab lähtuda tehnilistest aruannetest:

- CIGRE 36.01 / 1974 - Interferences Produced by Corona Effect of Electric Systems. Description of Phenomena. Practical Guide for Calculation;
- CISPR TR 18-1:2017. Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 1: Description of phenomena;
- CISPR TR 18-3:2017. Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise.

Raadiohäiringute mõõtmise ja tasemete kontrolli kirjeldused on esitatud CISPR 18-2 dokumendis toodud juhiste alusel:

- CISPR TR 18-2:2017. Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits.

Tähelepanu tuleb juhtida asjaolule, et nimetatud dokumendid ei ole Eesti Vabariigi standarditena harmoneeritud. Samuti ei ole tegemist normatiividega, vaid tehniliste aruannetega, mis hõlmavad kasutatavaid parima praktika kirjeldusi ja üldiseid võtteid nendes käsitletud nähtuste hindamiseks ja mõõtmiseks. Loetletud dokumentide eesmärgiks on pakkuda erinevatele osapooltele sarnane arusaamine nähtuste sisust, nende tekkemehhanismidest ja meetoditest käsitletavate kõrgsagedussuuruste hindamiseks.

# LISA A

Analüüsi aluseks rakendatud kandemastide põhiandmed

## A.1 Kandemasti tüüp 3S0G

Joonise nimetus: Masti joonis - 3S0G-üldvaade

Joonise nr: ES\_EL-7-02001

Joonise kuupäev: 30.04.2025

Failinimi: 10771K3\_ES\_EL-7-02001\_3xSxG-uldvaade.dwg

## A.2 Kandemasti tüüp 3S0F

Joonise nimetus: Masti joonis - 3S1G-uldvaade

Joonise nr: ES\_EL-7-02002

Joonise kuupäev: 30.04.2025

Failinimi: 10771K3\_ES\_EL-7-02001\_3xSxG-uldvaade.dwg

## A.3. Isolaatorkett

Joonise nimetus: Single suspension string 330kV for 3 x ACSR CONDOR Ø27,7mm

Joonise nr: 330S-0182

Joonise kuupäev: 23.06.2021

Failinimi: 626K0\_TP\_EL3-7-02-001\_330-kandekett-3K-160-34\_v3

## A.4. Kaheahelaline kandemast 31S0GD

Joonise nimetus: Mastid. Vant kandemast 31S0GD - üldjoonis

Joonise nr: EL-7-01-02-01-3

Joonise kuupäev: 05.01.2018

Failinimi: 10013K1\_PP\_EL-7-01-03-2\_v01\_Mast-31S0GD-uldjoonis.pdf

## A.5. Kaheahelaline kandemast 31S0P

Joonise nimetus: Mastid. Vabaltseisev portaal kandemast 31S0P - üldjoonis

Joonise nr: EL-7-01-02-02-1

Joonise kuupäev: 05.01.2018

Failinimi: 10013K1\_PP\_EL-7-01-05-2\_v01\_Mast-31S0P-uldjoonis.pdf