Elektriliini-andmeside häiringukindluse analüüs Elektrilevi Oü madalpinge-jaotusvõrgus

06.2020

Uuringu tellija nimi: Elektrilevi OÜ

Uuringu autorid:

- **Lauri Kütt, professor, lauri.kutt@taltech.ee**
- **Martin Parker, insener, martin.parker@taltech.ee**
- **Marek Jarkovoi, insener, marek.jarkovoi@taltech.ee**
- **Heigo Mõlder, insener, heigo.molde@taltech.ee**
- **Martin Jaanus, vanemlektor, martin.jaanus@taltech.ee**
- **Joosep Niinemägi, tehnik, joosep.niinemagi@taltech.ee**

Autorite tänu

Autorid tänavad praktilist sisendit ja kommentaare andnud osapooli:

- *Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet*
- *Imatra Elekter AS*
- *Ericsson Eesti AS*
- *VKG Elektrivõrgud AS*
- *Caruna Networks Oy*
- *Vantaan Energia OY*
- *KH Energia-Konsult AS*
- *Inspecta Estonia OÜ*
- *Thinnect OÜ*
- *Telia Eesti AS*
- *Agatark OÜ*
- *Elektrilevi OÜ*

Tallinna Tehnikaülikool
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
Telefon: 620 3750
E-post: ee@taltech.ee
Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

SISUKORD

Tabelite loetelu 3
Jooniste loetelu 4
Lühendid 10
Standardite loetelu 15
Koondülevaade 16
1. Sissejuhatus 20
1.1 Üldist 20
1.2 Elektriliiniside Elektrilevi võrgus 20
1.3 Uurimistöö aruande ülevaade 21
2. Arvestite andmeedastuse ja elektriliiniside põhimõtted ja eeldused 23
2.1 Digitaalsete andmete pakettedastus 24
2.2 Töökindla andmeside põhimõtted 26
2.3 Elektriliiniside füüsikalise kihi üldine talitlus ja ülesanded 27
2.4 Andmesideks kasutatavad füüsikalised suurused ja müra 28
2.5 Müra veaallikana elektriliiniside kontekstis 29
2.6 ELS-sagedusriba ja sellega seotud tingimused 31
2.7 EM-keskkonnad 32
2.8 Nõuded tarvititele ja seadmetele 33
2.9 Jaotusvõrgu teenuste ja funktsioonidega seotud andmeside perspektiivid 34
3. Olemasoleva ELS- tehnoloogia ülevaade 35
3.1 Elektriliini-andmeside füüsikalise kihi talitlus 36
3.2 Andmesignaalide moduleerimine, saatmine ja vastuvõtt 40
3.3 Signaliseerimissuuruste tasemed ja piirtingimused 42
3.4 Andmevahetusignaali sumbumus ja nõrgenemine 45
3.4.1 Jaotusvõrgu Madalsageduslik ja kõrgsageduslik aseskeem 45
3.4.2 Signaali nõrgenemine 47
3.5 ELS kõrgema taseme funktsionaalsed piirangud 50
3.6 Kokkuvõte ja täiendusvõimalused 50
4. Jaotusvõrguettevõtete kogemused ELS-tehnoloogiatega 54
4.1 Elektrilevi OÜ 54
4.2 Imatra Elekter OÜ 55
4.3 VKG Elektrivõrgud 56

4.4 Caruna 56
4.5 Vantaan Energia 57
4.6 Kokkuvõte ja kommentaarid 58
5. Elektriliiniside elektromagnetilise ühilduvuse aspektid 60
5.1 Elektromagnetilise ühilduvuse printsiipide ülevaade 61
5.2 EMÜ terminid ja määratlused 61
5.3 Toiteliinikommunikatsiooni süsteemidele rakendatud nõuded 64
5.4 ELS andmesideks kasutatavaid piire kirjeldavad dokumendid 66
5.5 Sagedusalas 9 … 150 kHz juhtivuslikult levivaid häiringuid / ELS mürasid kirjeldavad standardid ja nõuded 67
5.6 EM-keskkonnad ja nendes kasutatavate seadmete EM-häiringutasemete piirnormid ELS vaates 68
5.7 Tootestandardid ja sagedusribas 9 kHz … 150 kHz esitatavad nõuded 73
5.8 Elektripaigaldised ja EMÜ/kõrgsagedus-aspektid 85
5.9 Kokkuvõte ja järeldused 86
6. Seadusandlus ja regulatsioonid 89
6.1 Üldine raamistik 90
6.2 Kommentaarid regulatiivsele alusele 99
6.3 Varasem seadusandlus 101
6.4 Standardid ja hea inseneritava 102
6.5 EL Elektromagnetilise ühilduvuse direktiiv 103
6.6 Riiklik järelevalve ja kontroll 105
6.7 Elektripaigaldiste projekteerimine ja ehitamine 108
6.8 Elektripaigaldise audit 113
6.9 Lepingutingimused 119
6.10 Kokkuvõte ja järeldused 123
7. Praktiline hinnang ELS süsteemile 126
7.1 Katsed praktilises laboratoorses keskkonnas 126
7.2 Katsed ELS-häirivate seadmete EM-emissiooni taseme ja nõuetele vastavuse määramiseks 130
7.3 Paigaldiste, juhistikesüsteemidega ja materjalidega seotud ELS talitlusaspektid 135
7.4 välikatsed ELS-probleemsetes paigaldistes. Korterelamu, mürisev toiteallikas .. 135
7.5 välikatsed ELS-probleemsetes paigaldistes. Ridaelamu, mürarikas sagedusmuundur. 139
8. Filtrilahenduste analüüs 146
8.1 Sagedusfiltrite karakteristikud 146
8.2 ELS signaalide filtreerimise lähteülesanne 147

8.3 Sümmeetrilised ja asümmeetrilised (samafaassed ja erifaassed) süsteemid 150
8.4 ELS-süsteemide filtrite ülevaade 151
8.5 Filtrite parameetrite määramine..... 155
8.6 Kaubanduslike EM-häiringufiltrite analüüs 159
8.7 EM-häiringufiltrite parameetrite katsed 164
8.8 Maandusühenduse mõju filtri tööle ELS sagedusalas..... 167
8.9 Filtrite rakendamise analüüs ja suure vooluga fiidritel filtrite rakendamine 170
8.10 Kokkuvõte..... 175
9. Elektrilevi OÜ potentsiaalsete sidetehnoloogiate analüüs 177
9.1 Ootused andmesidetehnoloogiatele 178
9.2 Side kriitilisuse aspektid 179
9.3 Andmeedastuskiirus ja andmesidekindlus..... 180
9.4 DLMS/COSEM 181
9.5 ELS andmesidemeediumina..... 185
9.5.1 ELS kandevsagedused ja signaliseerimistasemed kõrgemate põlvkondade ELS süsteemides..... 186
9.5.2 ELS kitsaribalised, madala andmeedastuskiirusega tehnoloogiad (NB-LDR). 190
9.5.3 ELS kitsaribalised, kõrge andmesidekiirusega tehnoloogiad (NB-HDR)..... 193
9.5.4 ELS tehnoloogiate võrdlus 197
9.6 Lokaalne raadioside kohaliku andmeside meediumina..... 199
9.6.1 Füüsiline kiht, raadiokanalid 203
9.6.2 Spontaanvõrgud (ad-hoc networks) 204
9.6.3 Zigbee 204
9.6.4 Z-wave 205
9.6.5 Thread 206
9.6.6 Bluetooth mesh..... 207
9.6.7 Kokkuvõte ja võrdlus 207
9.7 Madala võimsustarbega kaug-raadioside võrgud 208
9.8 Avalikud laiaribalised raadioteenusvõrgud 212
9.8.1 2. põlvkonna mobiilse andmeside tehnoloogiad 215
9.8.2 3. põlvkonna mobiilside tehnoloogiad..... 216
9.8.3 4. põlvkonna mobiilside tehnoloogiad..... 216
9.8.4 5. põlvkonna mobiilside tehnoloogiad..... 217
9.8.5 4. põlvkonna tehnoloogiad seadmete-vaheliseks andmeedastuseks 219
9.9 Elektrilevi OÜ kommunikatsioonilahenduste võimalused..... 222
9.9.1 Süsteemi hinnakomponendid 222

9.9.2 Hetkeolukord ja perspektiiv (ELS: CENELEC A/EN 61334 GPRS) 224
9.9.3 Perspektiiv 1: Täiustatud ELS + mobiilside 226
9.9.4 Perspektiiv 2: Laialdane mobiilside 228
9.9.5 Perspektiiv 3: Kohalik raadioside mesh-võrk + mobiilside 230
9.9.6 väljapakutud struktuuride võrdlus 232
9.10 Kokkuvõte ja kaalutlused perspektiivse süsteemi rakendamisest 234
LISA 1. Avaliku võrgu kasutusreeglid ja sellest tulenevad täiendused kliendiga seotud lepingutesse 236
LISA 2. Läbi viidud toodete vastavustingimuste katsete tulemused 243
Kohalduvad ja võrreldavad standardid ja piirnormid 243
Katseseadmed, meetodid ja katseskeem 243
Katsete aruanne (ENG 3A-122WT12) 245
Mõõtmistulemuste ülevaade 245
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 245
Katsete aruanne (First Electronics) 248
Toote info 248
Mõõtmistulemuste ülevaade 248
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 248
Katsete aruanne (Linearity 1) 251
Toote info 251
Mõõtmistulemuste ülevaade 251
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 251
Katsete aruanne (LinkSys) 254
Toote info 254
Mõõtmistulemuste ülevaade 254
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 254
Katsete aruanne (LY1203) 257
Toote info 257
Mõõtmistulemuste ülevaade 257
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 257
Katsete aruanne (SBE SP3012A) 260
Toote info 260
Mõõtmistulemuste ülevaade 260
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 260
Katsete aruanne (SBE SP3012A) 263
Toote info 263

Mõõtmistulemuste ülevaade 263
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 263
Katsete aruanne (SUN-1200300) 266
Toote info 266
Mõõtmistulemuste ülevaade 266
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 266
Katsete aruanne (Sunny SYS1428-2412-W2E) 269
Toote info 269
Mõõtmistulemuste ülevaade 269
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 269
Katsete aruanne (XWY-060-20-C) 272
Toote info 272
Mõõtmistulemuste ülevaade 272
Mõõtmistulemuste võrdlev analüüs 272
LISA 3. Otsustuspuu kasutatavate seadmete Elektrilevi OÜ avalikku jaotusvõrku ühendamise lubamise tingimustest 3

TABELITE LOETELU

Tabel 2-1. Lubatud suurim bitivea tõenäosus BER_max, kui nõutud on tõenäosusega $p_{PakettOK}$ pakettide edukas edastamine. 26
Tabel 5-1. Erinevate sisendite jaoks kehtestatud emissiooni piirtasemed OKVT ja TKK keskkondadele, samuti immuunsusnõuded. KT- kvaasitipp-väärtus. 71
Tabel 5-2. CISPR11 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55011:2016, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel. 75
Tabel 5-3. CISPR14-1 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55014-1:2017, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel. 77
Tabel 5-4. CISPR 15 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55014-1:2017, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel. 79
Tabel 5-5. CISPR 32 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55032-1:2015, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel. 80
Tabel 5-6. IEC 61204-3 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN IEC 61204-3:2018, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel. 82
Tabel 6-1. Elektriapigaldise auditi läbiviija akrediteerimisulatuse klassid võimekuse alusel [EAK JV7]. 115
Tabel 6-2. Akrediteeritud elektripaigaldiste auditi läbiviijad 2019. aasta lõpu seisuga [EAK akrediteeritud inspekteerimisasutuste andmebaas]..... 115
Tabel 7-1. ELS andmeside esmaste mürasignaalide parameetrid 128
Tabel 7-2. Katsetustel rakendatud müratasemete ja ELS edukuse tulemused..... 129
Tabel 7-3. Toiteallikate katsetulemuste koondtabel. 134
Tabel 8-1. Filtrite jada-aseskeemi parameetrite hinnangud koondina. Induktiiv- ja näivtakistuse väärtused on esitatud 50 Hz sagedusel. 156
Tabel 8-2. Katsetel kasutatud filtrite ülevaade ja filtrite parameetrid. 162
Tabel 8-3. Filtrite katsetel selgitatud jada-näivtakistuste väärtused. 167
Tabel 8-4. Fiidrite ja liitumispunktide lühisvoolude määramise kontekstis kasutatavad näidis-alusandmed hinnangulise näivtakistuse näitajatega [ELV aruanne]. 171
Tabel 8-5. Uuringus vaadeldud ELS-filtrite parameetrite mõju lühisvoolude kujunemisele. 172
Tabel 8-6. Suurema vooluga fiidrite jaoks filtri piirinduktiivsuse määramine. 174
Tabel 9-1. Näiteid tarkadest funktsioonidest ning nende vajadustest ja nõuetest andmesidele [LWPA]..... 178
Tabel 9-2. ELS funktsioonde jaoks piiratud kasutusega sagedusalad [50561-1]..... 187
Tabel 9-3. ELS tehnoloogiate võrdlus, mis töötavad Euroopa sagedusalas[ACCESS, CX1] [IJDSN] 198
Tabel 9-4. EK rakendusotsuses (EL) 2017/1483 esitatud piirangud avalikuks kasutuseks mittespetsiifiliste lähitoimeseadmete raadiosagedusribades. NB! Ühik Weik tähistab efektiivset isotroopset kiirgusvõimsust vattides. 201
Tabel 9-5. Spontaanvõrkude tehnoloogiate võrdlus [Adhoc1]..... 208
Tabel 9-6. Mobiilsidevõrkude üldised tehnilised parameetrid. 214
Tabel 9-7. Jaotusvõrgus potentsiaalselt kasutatavate lahenduste võrdlus. 233

JOONISTE LOETELU

Joonis 1-1. Tüüpiline ELS seadmestiku struktuur Elektrilevi madalpinge-jaotusvõrgus.. 21
Joonis 2-1. Pakettkommuteeritud andmeside pakettide koostamine ja eri kihtide rollid paketi ülesehitusse ISO/OSI mudeli näitel [1]. 25
Joonis 2-2. Üks võimalik konfiguratsioon, kuidas edastatakse ELS IEC 61334-5 pakett 45 baidi pikkusena [2]. 25
Joonis 2-3. Andmete ülekanne ELS-süsteemis arvestist võrgukontsentraatorisse, läbi jaotusvõrgu. 27
Joonis 2-4. ELS printsiibi näide: kõrgsageduslikku 63,3 kHz pingekomponendi pealdamine 50 Hz toitesageduslikule pingesuurusele. 28
Joonis 2-5. Näide mürade rollist ELS-signaalile ajalises vaates (alus vt Joonis 2-4). 29
Joonis 3-1. ELS-kontsentraatori ühendusskeem alajaama lattidel. 36
Joonis 3-2. 1f-arvesti ELS ahelad. 36
Joonis 3-3. 3f-arvesti ELS-ahelad 36
Joonis 3-4. ELS-ahelad ja füüsilise kihi komponendid TI AFE031 näitel [5]. 38
Joonis 3-5. FSK modulatsiooni põhimõte 1 biti edastamiseks, kui kasutatakse Manchesteri kodeeringut [2]. Ülemine olukord kajastab andmebiti väärtuse „1" edastamist, alumine andmebiti väärtuse „0" edastamist. Märkus: Elektrilevi OÜ võrgus on kasutusel kodeerimissagedused 63,3 kHz ja 74 kHz. 40
Joonis 3-6. EN 61344-5-1 ühilduva andmepaketi ülesehituse näide [3]. 41
Joonis 3-7. Bitivea tõenäosused sõltuvalt signaal-mürasuhtest SNR modemikiibi ST7570 tootjapoolsete andmete näitel [3]. 1/SNR näitab siin, kui mitu korda peaks signaali intensiivsus olema suurem müratasemest. 42
Joonis 3-8. EVS-EN 50065-1 kohaselt lubatud ELS-signaalipinge tasemed. 43
Joonis 3-9. ELS süsteemi tööks vajalike signaalitugevuste tähendus [6]. 43
Joonis 3-10. ELS-signaliseerimise ja müratasemete piirnormide võrdlus. 45
Joonis 3-11. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpinge-jaotusvõrgu skeemi näide. 46
Joonis 3-12. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpingevõrgu (vt Joonis 3-11) madalsageduslik aseskeem. 46
Joonis 3-13. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpingevõrgu (vt Joonis 3-11) ELS-kandevsageduslik aseskeem [7]. 47
Joonis 3-14. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpingevõrgu (vt Joonis 3-11) ELS-kandevsageduslik aseskeem. 48
Joonis 3-15. Näivtakistus jaotusvõrgus (mõõtmistulemused Euroopas läbi viidud uuringust) [CIRED19]. 48
Joonis 5-1. Erinevad seadmega seotud sisendid IEC TR 61000-2-5 näitel. 70
Joonis 5-2. CISPR 11 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 ja 61000-6-4 keskkondade lubatud tasemetega. 76
Joonis 5-3. CISPR 14-1 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega. Samuti esitatud võrdlus EN 50065-1 standardis kirjeldatud ELS signaliseerimistasemetega. 78
Joonis 5-4. CISPR 15 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega. 79

Joonis 5-5. CISPR 32 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega. 81
Joonis 5-6. IEC 61204-3 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega. 83
Joonis 5-7. IEC 61800-3 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega. 85
Joonis 6-1. Toote katsetamine, et kontrollida selle vastavust EMÜ kriteeriumidele [EMCA], viidetega kehtivatele reeglitele ja normidele. 104
Joonis 7-1. Liini sobitusahela skeem [AFE032]. 127
Joonis 7-2. ELS andmeside ja mürakindluse laboratoorne katseskeem. 127
Joonis 7-3. Katsetel selgitatud SNR ja andmeside edukuse tasemed ning võrdlus ST7570 modemi antud tunnustega (vt Joonis 3-7). 130
Joonis 7-4. Toodete nõuetele vastavuse katsete läbiviimise katseskeem. 131
Joonis 7-5. Foto katsesüsteemist ja katse ülesehitusest. 132
Joonis 7-6. Müraallikana tuvastatud toiteallikas. 135
Joonis 7-7. Kõrgsageduslike müratasemete registreerimiseks rakendatud seadmestik. 136
Joonis 7-8. Registreeritud sagedusspekter ilma ja koos probleemse toiteallikaga võrgus. Eraldi alana on tähistatud ELS-sagedustega seotud sagedusvahemik. 137
Joonis 7-9. Registreeritud müratasemе kasv võrgus, rikkega toiteallika mõjul. Eraldi alana on tähistatud ELS-sagedustega seotud sagedusvahemik. 137
Joonis 7-10. Registreeritud sagedusspekter sagedusribas 150 kHz … 30 MHz, toiteallika normidele vastavuse analüüsiks, registreeritud mõõtepunkti juures. Võrdluseks lisatud mõõteriista kuvale ka kohalduva tootestandardi piirnormide tunnusjooned. 138
Joonis 7-11. Sagedusmuunduri sildiandmed. 139
Joonis 7-12. Kõrgsagedus-müratasemete registreerimiseks rakendatud seadmestik. . 139
Joonis 7-13. Sagedusmuunduri asukoht ja erinevad kilbid tehnoruumis (vasakul) ning vaade peajaotuskilbile, milles paikneb arvesti (paremal). 140
Joonis 7-14. Esialgne paigaldise skeem, kui ELS andmesideühendus 3f arvestiga oli võimatu. 140
Joonis 7-15. Paigaldises registreeritud müratase, arvesti klemmidel, enne (MP1) ja peale (MP2) ELS-mürafiltrite paigaldamist (EMIKON). 142
Joonis 7-16. Paigaldise skeem peale 3x ELS-filtri paigaldamist. ELS andmeside talitlus 3f arvestiga oli edukas. 142
Joonis 7-17. Müratasemete võrdlus mõõtepunktides MP2, MP3 ja MP4 (vt Joonis 7-16). 143
Joonis 7-18. Filtrite summutustegurite võrdlus 144
Joonis 8-1. Filtri ülekandekarakteristiku selgitus 146
Joonis 8-2. Filtri ülekandekarakteristiku olulisimad tunnussuurused. 147
Joonis 8-3. Tüüpiliste filtrite aseskeemid. Vasakul: T-aseskeem; paremal: Π-aseskeem. 148
Joonis 8-4. Asümmeetrilise ja sümmeetrilise süsteemi kirjeldus ja filtri rakendamine. 150
Joonis 8-5. Toiteliinil rakendatav EMI-filter ja selle peamised komponendid [Murata]. 150
Joonis 8-6. Filtri Spica Strike tootja poolt esitatud ühendusskeem [SPICA]. 151
Joonis 8-7. Ühefaasiline filter Spica Strike. 152
Joonis 8-8. Ühefaasiline filter NF71.3 – 1 153
Joonis 8-9. Kolmefaasiline filter NF73.3 – 1 153
Joonis 8-10. NF71.3 – 1 filtri skeem 153

Joonis 8-11. NF71.3 – 1 filtri lihtsustatud aseskeem 154
Joonis 8-12. Ühefaasiline EMIKON filter..... 154
Joonis 8-13. Tüüpiline filtri LCR-aseskeem..... 155
Joonis 8-14. Filtri aseskeem koos mõõteahelaga. 155
Joonis 8-15. Katseskeem võrguga sidestuse määramiseks..... 158
Joonis 8-16. Katseskeem filtri ülekandeteguri määramiseks..... 158
Joonis 8-17. ELS-filtrite sumbumustegurite väärtuste tunnusjooned. 159
Joonis 8-18. ELS-filtrite ülekandetegurite väärtuste tunnusjooned..... 159
Joonis 8-19. Sümmeetrilist (common mode, CM) ja asümmeetrilist (differential mode, DM) häiringukomponenti summutavate osadega filtri tüüpskeem. NB! „PE" klemm ei tähenda, et maandamine peab toimuma võrgu poolelt. „PE" klemm on ühine nii elektrivõrgu-poolseks ühenduseks, kui ka seadme-poolseks ühenduseks; kokku ühendatakse seadme korpus, seadme maandus ja elektrivõrgu maandusjuhid. 161
Joonis 8-20. Filtri reeglitekohane ühendusskeem elektrivõrguga, milles juhistikusüsteem on TN-S. 162
Joonis 8-21. EM-häiringufiltrite parameetrite selgitamise katseteks kasutatud skeem. 165
Joonis 8-22. Filtrite katsestsenaariumidel mõõdetud tegelik müratase võrgus. Eraldi alana märgitud ELS seisukohast kriitiline sagedusvahemik. 166
Joonis 8-23. Filtrite katsete mõõdetud tegelik summutustegur. Eraldi alana märgitud ELS seisukohast kriitiline sagedusvahemik..... 166
Joonis 8-24. Filtri PE-ühenduse mõju uurimiseks rakendatud katseskeem. 168
Joonis 8-25. Toiteallika PE-ühenduse mõju uurimiseks rakendatud katseskeem. 168
Joonis 8-26. Toiteallika PE-ühenduse mõju uurimise katsete tulemused. 168
Joonis 8-27. Filtri PE-ühenduse mõju uurimise katsete tulemused. 169
Joonis 8-28. Toiteploki ja filtri summutusvõimekuse erinevused, kui PE on ühendatud vs PE ühendamata. Positiivne väärtus näitab PE ühendamisega saadavat tõhusamat tulemust. 169
Joonis 9-1. DLMS/COSEM eesmärgiks olev toimivuse tagamise üldskeem [dlms.com].182
Joonis 9-2. DLMS/COSEM standardite struktuuri üldiseloomustus [dlms.com, certsi] . 183
Joonis 9-3. Näide DLSM/COSEM protokollikihtide rollist G3-PLC sideprotokolli-kihistus [Dev mon man th] ning seda kirjeldavad standardid [DLMS__EU M-441]. 184
Joonis 9-4 ELS sagedusribad ja juhtivuslike suuruste emissioonipiirangud eri sagedustel, Euroopas sätestatud reeglistiku kohaselt..... 189
Joonis 9-5. Faasimodulatsiooni skeemid: binaarne faasimodulatsioon (BPKS) ja kvadraduurne faasimodulatsioon (QPSK)..... 190
Joonis 9-6. Kvadraduur-faasimodulatsiooni esitus I- ja Q-teljel. 191
Joonis 9-7. 16 võimaliku väärtuse e. 4 biti ülekandmiseks sobilik 16-QAM amplituud-sagedusmodulatsiooni näidis-konstellatsioonid..... 191
Joonis 9-8. Erinevate faasimodulatsioonide tüüpide veakindlus, sõltuvalt kanali mürasuhtest. 192
Joonis 9-9. Mitmekandjalises süsteemis erinevate sageduskomponentide pöörd-Fourier teisendus [Keysight]..... 193
Joonis 9-10. OFDM süsteemi struktuur saatja ja vastuvõtja struktuuri näitega. 194
Joonis 9-11. G.hnem võrguhalduse põhimõtted domeenidesse korraldatud sõlmedega. 195
Joonis 9-12. G3-PLC füüsilise kihi andmetöötluse ja moduleerimise struktuur [PRIME_G3_COMP1]..... 196

Joonis 9-13. PRIME füüsilise kihi andmetöötlus ja moduleerimise struktuur [PRIME_G3_COMP1]. 197
Joonis 9-14. Zigbee mesh-võrgu osapoolte vaheliste sidemete ülesehitus. 205
Joonis 9-15. Näide Z-Mesh topoloogiagraafist 206
Joonis 9-16. Thred mesh-võrgu topoloogia ülevaade. 207
Joonis 9-17. Sigfox tehnoloogia arhitektuur. 210
Joonis 9-18. LoRaWAN võrgu täht-topoloogia ja struktuuri näide [LORA1]. 211
Joonis 9-19. DASH7 arhitektuuri ülevaade. 212
Joonis 9-20. Avaliku mobiilside põlvkonnad ja neid kirjeldavad tehnoloogiad [RS_Rfund]. 213
Joonis 9-21. Elektrilevi OÜ kasutuses olev arvestite kauglugemissüsteemi struktuur. . 224
Joonis 9-22. Elektrilevi OÜ poolt võimalik rakendatav skeem 2G/3G ja ELS tehnoloogia vahetamisel arvestite kauglugemise süsteemis. 227
Joonis 9-23. Arvestite kauglugemise süsteemi arhitektuur, kasutades arvestite juures NB IoT modemeid. 229
Joonis 9-24. Avaliku raadioside-sagedusala mesh-võrgu kasutamisele põhinev arvestite näitude edastamise süsteemi struktuur. 231
Joonis 0-1. Selgitused erinevate piirnormide rakendamise kontekstist, mis on seotud kõrgsageduslike mürade emissiooni piirangute ja häiringutaluvusega. 236
Joonis 0-2. Erinevused IEC 61000-6-4 (tööstuskeskkonna) ning IEC61000-6-3 (avaliku madalpingelise jaotusvõrgu) emissiooninormise suhtes. 242
Joonis 0-1. Toote foto 245
Joonis 0-2. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 246
Joonis 0-3. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 246
Joonis 0-4. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 247
Joonis 0-5. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 247
Joonis 0-6. Toote foto 248
Joonis 0-7. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 249
Joonis 0-8. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 249
Joonis 0-9. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 250
Joonis 0-10. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 250
Joonis 0-11. Toote foto 251
Joonis 0-12. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 252
Joonis 0-13. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 252
Joonis 0-14. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 253

Joonis 0-15. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 253
Joonis 0-16. Toote foto 254
Joonis 0-17. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 255
Joonis 0-18. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 255
Joonis 0-19. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 256
Joonis 0-20. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 256
Joonis 0-21. Toote foto 257
Joonis 0-22. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 258
Joonis 0-23. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 258
Joonis 0-24. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 259
Joonis 0-25. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 259
Joonis 0-26. Toote foto 260
Joonis 0-27. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 261
Joonis 0-28. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 261
Joonis 0-29. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 262
Joonis 0-30. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 262
Joonis 0-31. Toote foto 263
Joonis 0-32. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 264
Joonis 0-33. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 264
Joonis 0-34. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 265
Joonis 0-35. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 265
Joonis 0-36. Toote foto 266
Joonis 0-37. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 267
Joonis 0-38. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 267
Joonis 0-39. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 268
Joonis 0-40. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 268

Joonis 0-41. Toote foto 269
Joonis 0-42. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 270
Joonis 0-43. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 270
Joonis 0-44. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 271
Joonis 0-45. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 271
Joonis 0-46. Toote foto 272
Joonis 0-47. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L. 273
Joonis 0-48. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L. 273
Joonis 0-49. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N. 274
Joonis 0-50. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N. 274

LÜHENDID

Lühend	Selgitus
ELS	Elektriliiniside
JVE	Jaotusvõrgu ettevõte
EM	Elektromagnetiline
EL	Euroopa Liit
CE	Tähis, millega varustatakse tooted, millised vastavad täielikult EL-s kehtivatele tooteregulatsioonidele
JV	Jaotusvõrk
EMI	Ik *Electromagentic Interference*, elektromagnetiline häiring
TCP/IP	Ik *Transfer Control Protocol/Internet Protocol*, üks levinuimaid andmesidekihistuid
BER	Ik *Bit Error Rate*, bitivea tõenäosus
SNR	Ik *Signal to Noise Ratio*, signaal-müra suhe
S-FSK	Ik *Spread spectrum Frequency Shift Keying*, *hajaspektriga sagedusmodulatsioon*
FSK	Ik *Frequency Shift Keying*, *sagedusmodulatsioon*
CENELEC	Prk *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*, Euroopa elektrotehnika-alaste standardiseerimise organisatsioon
EMÜ	Elektromagnetiline ühilduvus
EMC	Ik *Electromagnetic compatibility*, elektromagnetiline ühilduvus
LED	Ik *Light Emitting Diode*, valgusdiood
OSGP	Ik *Open Smart Grid Protocol Alliance*, kitsaribalise ELS spetsifikatsioon
ETSI	Ik *European Telecommunications Standards Institute*, Euroopa Telekommunikatsiooni Standardite Instituut
OKVT	Olme-, kommerts- ja väiketööstuskeskkond
TKK	Tööstuskeskkond

Lühend	Selgitus
CISPR	Prk *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques*, rahvusvaheline raadiohäiringute erikomitee
ISM	Ik *Industrial, Scientific and Medical*, tööstuslike, teaduslike ja meditsiinislite (seadmete) üldnimetus
AMN	Ik *Artificial Mains Network*, tehisvõrk, mida rakendatakse juhtivuslike kõrgsageduslike komponentide mõõtmiseks madalsagedus-madalpingevõrgust
UV	Ultraviolett
IR	Ik *Infrared*, infrapuna
PDS	Ik *Power drive system,* (suure võimsusega) ajamisüsteem
ELTS	Elektrituruseadus
SEOS	Seadme ohutuse seadus
TNVS	Toote nõuetele vastavuse seadus
KS	Kõrgsagedus(lik)
TTJA	Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet
LLTS	Liitumislepingu tüüptingimused
VLTT	Võrgulepingu tüüptingimused
DSO	Ik *Distribution system operaator*, jaotusvõrguoperaator
MP	Madalpinge
CM	Ik *Common mode*, samafaasne/sümmeetriline komponent
DM	Ik *Differential mode*, erifaasne/asümmeetriline komponent
AMI	Ik *Advanced Measurement Infrastructure*, täiustatud mõõtemisfunktsioonide(ga) infrastruktuur
WLAN	Ik *Wireless Local Area Network*, traadita kohalik andmesidevõrk
DLMS/COSEM	Ik *Device Language Message Specification /Companion Specification for Energy Metering*, tarkvõrgu andmevahetuse vastastikust toimivust tagav andmeside protokollikihid
SMITP	Ik *Smart Metering Information and Telecommunication Protocol*, kitsaribaline ELS-protokoll
ITU	Ik *International Telecommunication Union*, Rahvusvaheline Telekommunikatsiooni Liit

Lühend	Selgitus
IEEE	Ik *Institute of Electric and Electronic Engineers*, Rahvusvaheline Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut
MAC	Ik *Medum Access Control*, meediumi juurdepääsukiht
NB-LDR	Ik *Narrowband Low Data Rate,* kitsaribaline madala andmeedastuskiirusega andmesidetehnoloogia
PSK	Ik *Phase Shift Keying*, faasimodulatsioon
BPSK	Ik *Binary Phase Shift Keying*, binaarne faasimodulatsioon
QPSK	Ik *Quadrature Phase Shift Keying*, kvadraduurne faasimodulatsioon
QAM	Ik *Quadrature Amplitude Modulation*, kvadraduur-amplituud-modulatsioon
NB-HDR	Ik *Narrowband High Data Rate,* kitsaribaline kõrge andmeedastuskiirusega andmesidetehnoloogia
OFDM	Ik *Orthogonal frequency-division multiplexing*, mitme kandevsagedusega faasimodulatsioon
IFT	Ik *Inverse Fourier Transform*, Fourier' pöördteisendus
PRIME	Ik *PoweRline Intelligent Metering Evolution*, ELS tehnoloogia
AMC-SS	Siemensi poolt arendatav ELS tehnoloogia
BLE	Ik *Bluetooth Low Energy*, madala energiatarbega kohaliku ulatusega raadiosidevõrk
LPWA(N)	Ik *Low Power Wide Area (Network),* madala võimsustarbega kaug-andmesidevõrgud
RFTDMA	Ik *Random Frequency and Time Division Multiple Access*, kanali haldusmeetod mitmik-juurdepääru tagamiseks
LoRa	Ik *Long Range*, „kauge leviga"; madala võimsustarbega kaugvõrgu spetsifitsioon
VoLTE	Ik *Voice Over LTE*, 4. põlvkonna mobiilside juures kvaliteetseks kõneedastuseks kasutatav rakenduskiht
2G	Ik *Second Generation*, 2. põlvkonna mobiilsidetehnoloogiate üldtähis
3G	Ik *Third Generation*, 3. põlvkonna mobiilsidetehnoloogiate üldtähis

Lühend	Selgitus
4G	Ik *Fourth Generation*, 4. põlvkonna mobiilsidetehnoloogiate üldtähis
5G	Ik *Fifth Generation*, 5. põlvkonna mobiilsidetehnoloogiate üldtähis
GSM	ik *Global System for Mobile communication*, 2. põlvkonna mobiilsidetehnoloogia kõnesideks
GPRS	Ik *General Packet Radio Services*, 2. põlvkonna mobiil-andmesidetehnoloogia
EDGE	Ik *Enhanced Data for GSM Evolution*, 2. põlvkonna mobiil-andmesidetehnoloogia GPRS edasiarendus
UMTS	Ik *Universal Mobile Telecommunication System*, 3. põlvkonna mobiilsidetehnoloogia
HSPA	Ik *High-speed Packet Access*, 3. põlvkonna mobiil-andmesidetehnoloogia
LTE	Ik *Long Term Evolution*, 4. põlvkonna mobiilside tehnoloogia
mMTC	Ik *Massive Machine Type Communications,* 5. põlvkonna mobiilside tehnoloogia alus-kasutusjuhtum, eesmärgiga ühendada arvukalt väikeseadmeid andmesidevõrku
eMBB	Ik *Enhanced Mobile broadband,* 5. põlvkonna mobiilside tehnoloogia alus-kasutusjuhtum, eesmärgiga tagada paindlik kiire andmesideteenus
URLLC	Ik *Ultra-Reliable Low Latency Communications,* 5. põlvkonna mobiilside tehnoloogia alus-kasutusjuhtum, eesmärgiga tagada ajakriitiline reaalajasüsteemide andmesideteenus
NR	Ik *New Radio*, „uus raadio"; 5. põlvkonna mobiilside tehnoloogia madalamate andmesidekihtide üldnimetus
5G SA	Ik *Standalone*, „iseseisev"; 5. põlvkonna tuumvõrgu-põhine mobiilsideteenus
5G NSA	Ik *Non-Standalone*, „iseseisev"; 5. põlvkonna mobiilsideteenus, mis põhineb 4. põlvkonna mobiilsideteenuse tuumvõrgul
IoT	Ik *Internet of Things*, „asjade internet", seadmete iseseisev osalemine andmevahetusfunktsioonides
(LTE) NB IOT	Ik *LTE Narrowband Internet of Things*, 4. põlvkonna mobiilsidetehnoloogial põhinev seadmete andmesidesüsteem

Lühend	Selgitus
LTE-M	Ik *Long term evolution for machines*, 4. põlvkonna mobiilsidetehnoloogial põhinev seadmete andmesidesüsteem
SIM	Ik *Subscriber Identification Module*, mobiilsidesüsteemides kasutaja identifitseerimist teostav süsteem
IP	Ik *Internet Protocol*, üks levinuimaid kõrgema taseme andmesidekihistuid

STANDARDITE LOETELU

Antud dokumendis viidatakse mitmetele standarditele ja normatiivsetele dokumentidele. Nimetatud dokumentidele viidatakse otseselt läbi dokumendi numbri, kuid standardid ei ole esitatud kirjanduse loetelus.

Mõiste	Selgitus

KOONDÜLEVAADE

Lähteolukord. Elektriliiniside (ELS)-süsteemid võimaldavad laialdast ja odavat andmevahetust erinevate teenuste realiseerimiseks rakendades juba olemasolevaid jaotusvõrgu elektriliine. Antud hetkel on Elektrilevi OÜ võrgus rakendatud ELS-süsteem, mis rakendab toitepingele pealdatud pingesignaali sagedustel 63,3 kHz ning 74 kHz, et andmevahetuskiirusel 2400 b/s lugeda klientide elektrienergiaarvestite poolt registreeritud tarbitud elektrienergia näidud, millised edastatakse Elering AS poolt hallatavasse andmelattu.

Kirjeldatud näidud tuleb arvestitelt kokku koguda vastavalt võrguettevõtjale seadusandluses seatud kohustustest. ELS-side rakendamine omab selleks tegevuseks eeliseid, kuna arvestite hulk võrgus on väga suur ning erinevate arvestitega ühendumine muud meediat/teenuseid kasutades oleks seotud märksa suurema finantskuluga. Teisalt, ELS-süsteemi funktsioonidest ja eripäradest tingituna on kompromissiks vähenenud andmesidekindlus ja ajakriitilisus.

Elektrilevi OÜ võrgus on antud hetkel ELS-süsteemi töökindlus suhteliselt hea, kuid väga suur hulk arvesteid on siiski ilma pideva usaldusväärse andmesideühenduseta ning märkimisväärne hulk ka ELS-süsteemile kättesaamatud.

Probleemide põhjused. Taustauuringutest Elektrilevi OÜ ning ka teiste võrguettevõtete (JVE) kogemuste osas annavad märku põhilistest ELS-andmesideprobleemide põhjustajatest, ning need on otseselt seotud kõrgendatud kõrgsageduslike mürade tasemega:

- kõrge müratasemega tarbijad;
- kõrge müratasemega eraldiseisvad toiteplokid;
- sagedusmuunduriga paigaldised, mis on varustamata piisava filtriga.

Ka põhilised probleemide lahendamise viisid on eri JVE-de jaoks samad:

- Mürarikaste seadmete eemaldamine võrgust;
- Filtrite paigaldamine võrgu põhiosa ja mürarikka seadme vahele.

Kõrgendatud müratasemete allikate põhjustest saab välja tuua

- Rikked toiteplokkides, millise lahenduseks on toiteplokkide vahetus või parandamine;
- Avalikku jaotusvõrku ühendamiseks mitte ette nähtud seadmete ühendamine ja kasutamine paigaldistes.

Viimane asjaolu vajab täiendavat selgitamist, sest antud hetkel jõusoleva seadusandliku reeglistiku kuid ka teenuselepingute suhtes ei ole tingimata tegemist reeglite rikkumisega, kuna nimetatutes on esitatud vaid „nõuetele vastavuse" nõue

- „Nõuetele vastavuse" mõiste on väga lai; aktsepteeritakse ja eristatakse erinevaid nõudeid tööstus- ja avaliku jaotusvõrgu elektromagnetilisele (EM)-keskkonnale[1], kuid erinevate parameetrite vahemik (nt võrgupinge harmoonikute, juhtivuslikud kõrgsageduslikud mürade tasemed) on erinevates keskkondades väga erinevad; seejuures on avaliku jaotusvõrgu kontekstis kirjeldatud keskkonna nõuded oluliselt madala müratasemega ja rangemad, kui muudes EM-keskkondades;
- Avaliku jaotusvõrgu keskkonnale kehtestatud tingimuste täitmise konkreetne nõue on täpsustamata, seetõttu täidavad võrgus kasutamise nõudeid ka mistahes muude tingimuste jaoks ette nähtud tarbija seadmed. Näiteks märkimisväärset müratasemet omav toode täidab tingimuse „vastab nõuetele" ka juhul, kui on ainult tööstuskeskkonnale kriteeriumidele vastav. Elektrilevi OÜ jaotusvõrku ühendamiseks ei ole tingimustena selgelt esitatud seda, et seadme siht-keskkond peaks olema avalik jaotusvõrk.

Antud hetke reeglistik. Seadusandluses ning ka lepingutes kõige üldisemalt sõnastatud „nõuetele vastavuse" kriteeriumid on kõige laiemalt määratletud läbi EL regulatsioonide, kuid nende sisustamine on suuresti iga tootja enda vastutusalas. Tootja võib osutada vastavuse läbi enda poolt valitud normdokumentides esitatu täitmise. Seetõttu on otstarbekas täpsustavalt sätestada, millised on minimaalsed nõuded, milliste täitmine on tingimata vajalik, et seade võiks Elektrilevi OÜ avalikus jaotusvõrgus töötada. Selle saavutamise üks viis on läbi konkreetsete normdokumentide nimetamise, lepingute ja tehniliste tingimuste tasemel.

Seadmetele esitatavate nõuete aluseks saaks kehtestada konkreetsemad nõuded mh seadmete poolt emiteeritavale kõrgsageduslikule müratasemele. Selliste nõuete täitmist saaks kontrollida nt seadme CE-vastavusdeklaratsiooni jälgimisega. Kuigi ELS-sagedusribas on toodetele standarditega kehtestatud müraemissiooni nõuded antud hetkel suhteliselt piiratud, saab eeldatavalt rakendada printsiipi, et mis on madalama müratasemega kõrgematel sagedustel, see on ka madalama müratasemega madalamatel sagedustel.

Reeglistiku täiendamise vaade. Kõrgsagedusmürade vähendamise ja sellest tulenevalt ELS-töökindluse vaates tuleks nõuda kõikidelt seadmetelt, millised potentsiaalselt võrku ühendatakse ning mis võivad potentsiaalselt omada kõrget müratasemet, sh

- sagedusmuundurid,
- päikese-energia inverterid,
- keevitusseadmed
- soojuspumbad

et need vastaksid tingimata avaliku jaotusvõrgu EM-keskkonna nõuetele, omades kinnitust vastavate normdokumentidele vastamisest; või oleksid täiendavalt varustatud filtritega,

[1] Elektromagnetiline keskkond tähistab parameetreid ja määratlusi, mis on seotud elektriliste suuruste väärtuste ja mõju(de)ga teatud asukohas, sh pinge- ja voolusuurused, elektri-, magnet- ja elektromagnetväljasuurused.

millised tagaksid jaotusvõrku emiteeritava müra taseme allpool avaliku jaotusvõrgu EM-keskkonna piiride.

Tehnilised tingimused. Kõrgsageduslike mürade ja nende levikuga seoses on otstarbekas kehtestada nõuded juba paigaldiste projekteerimise ajal, mis võimaldaks paigaldise projekteerijal juba algfaasis määratleda seadmete valiku ja filtrite paigaldamise tingimused. Antud hetkel on paigaldiste projekteerimine ja väljaehitamine lubatud läbi sisustamise „hea inseneritava" reeglistikuga. Hea inseneritava pakub spetsialistile vabaduse otsustada, millised tingimused ja nõuded kuuluvad arvesse võtmisele. Elektripaigaldiste puhul on prioriteetseimaks ohutus elule ja varale; elektromagnetilise ühilduvuse nõudeid, millised oleksid kõrgsageduslike mürade puhul kriitilised, ei ole nii kindlalt arvestatud. Sõnastades viimati nimetatud nõuded paigaldiste projekteerimise tehnilistesse tingimustesse, peab projekteerija ja ka ehitaja neid arvesse võtma või siis põhjendama kirjalikult, miks neid antud paigaldises ei arvestata. See võimaldaks ka asjakohaste filtrite projekteerimise paigaldistesse.

Teenuseleping. Hetkel on võrguteenuse osutamise teenuselepingutes nimetatud tingimus, et kliendi poolt võrgus kasutatavad seadmed peavad vastama kehtivatele nõuetele. Need tuleks sõnastada kliendi jaoks selgelt ning viia võrguteenuse lepingusse täpsustusega selliselt, et oleks võimalik jälgida konkreetsetele tingimustele (näiteks normdokumentidele) vastavust. Samuti tuleb nimetada kliendi vastutus nõutele mittevastavate seadmete kasutamise korral.

Tuleb silmas pidada, et kõrgsagedusliku müra tase on mh jaotusvõrgu töökindluse tingimuseks. Juhul, kui jaotusvõrgus oleva kõrgsagedusliku müra tase ületab sinna ühendatud tarvitite häiringutaluvuspiiri, ei saa tarvitid enam töökindlalt talitleda. Seetõttu tuleks ka kõrgsagedusliku müra emissiooni vaadelda sarnaselt muude töökindlusnäitajatega, näiteks pingekvaliteediga sama olulisena.

Vahendid ja võimalused. Elektrilevi OÜ poolt rakendatav ELS-süsteem töötab heal tasemel ning teiste JV-ettevõtete analoogsetele kogemustele ja näidetele tuginedes saab öelda, et antud süsteemi kõrgema töökindluse saavutamine on võimalik. Et mürahäiringutega seotud probleemid jäävad, siis ei ole nende (äärmisel juhul) ühekaupa lahendamisele alternatiivi.

Elektrilevi OÜ poolt rakendatav ELS-süsteem on tööpõhimõttelt küllaltki robustne, samas on väga paljud erinevad funktsioonid ja andmeside võimalusi määravad tegevused tarkvaralised. Siiski, süsteemi enda printsiibid andmeside kõrgemal tasemel halduses võivad seada täiendavaid piiranguid, mida süsteemi arendajal võiks olla võimalik lahendada ka ilma riistvaralist lahendust vahetamata.

Elektrilevi OÜ poolt kasutatavad filtrilahendused on igati asjakohased ja sooritavad ELS-süsteemi töö seisukohast kriitiliste mürade tõhusa eemaldamise. Katsetatud filtrite juures on võetud arvesse ka filtrite töös olulised kriteeriumid – näivtakistuse ja aktiivtakistuse väike väärtus, mistõttu saab neid filtreid ühendada jaotusvõrku ilma rikkesilmuse takistust oluliselt kompromiteerimata. Seega ei põhjusta ka selliste filtrite lisamine täiendavaid piiranguid kaitseaparaatide rakendumisele.

Kaubanduslikes lahendustes laiemalt kasutuses olevate ja müüdavate EM-häiringufiltrite (nn EMI-filtrid) toime mürade vähendamisel ei ole tingimata ELS-sagedusribas tõhus.

Seetõttu tuleks süsteemid, milles on täiendavalt vaja rakendada EM-häiringufiltrit, varustada vajadusel täiendava filtriga, mis on ELS-süsteemi filtreerimiseks ette nähtud. Filtrite ja filtreerimise vajaduse saab määratleda ka filtrite minimaalse mahasurumisteguri tasemega, teatud sagedusvahemikus.

Andmeside arenduse perspektiivne vaade võtab arvesse, et erinevate nn tarkvõrgu-lahenduste arendamisel on vältimatu Elektrilevi OÜ poolse andmesidekanali olemasolu; arvestite näitude edastamiseks sobilik süsteem on väga sarnaste põhiparameetritega, milline on ka tarkvõrgu-funktsioonidele vajalik.

Ajalise vastupidavuse tagamiseks ei ole olemasolev ELS tugev, kuna ei suuda tagada (tarkvara)uuenduste ja kaughalduse töökindlust. Selleks on olemasoleva ELS andmeedastuskiirus ning mürakindlus väike. Samas on turul olemas küpseid kiiremaid ELS süsteeme, millised on rakendatavad mh antud hetkel Elektrilevi OÜ võrgus töötava ELS sõltumatult ja selliselt, et olemasolev ELS jääks tööle.

Kohalike raadiovõrkude kasutamine lühimaasideks on hea alternatiiv, kuid selle ülesehitamisel ei ole üldiselt aktsepteeritud spetsifikatsiooni andmeside kõrgemate kihtide osas. Samas füüsiline kiht on suhteliselt universaalne, mille põhjale saab rakendada tarkvaraliste muudatustega väga erineva võimekusega perspektiivseid spetsifikatsioone.

Kaug-andmeside madala võimsustarbega tehnoloogiate (LoRa, SigFox) rakendamine ei ole perspektiivne, kuna andmeside kiirus ja –kindlus ei ole piisaval tasemel.

Mobiilsidevõrkudes toimuvate arengute tõttu on oodata 2G ja 3G süsteemide peatset toe lakkamist. Samade sageduste kasutamise osas on plaanis üle minna 4G ja 5G mobiilsidetehnoloogiatele. Perspektiivseim on üleminek 5G tehnoloogiatele, kuid hetkel ei ole 5G süsteemide arendamine jõudnud piisava küpsuse tasemele. Samas on küpsusesse jõudmas LTE NB IoT ja LTE CAT M1 spetsifikatsioonidele tuginevad tehnoloogiad. Oluline alamosa 5G füüsilisest kihist töötab sarnaselt 4G süsteemidele. Antud hetkel on deklareeritud ka seda, et 5G tehnoloogia juures on alati olemas tagasiühiduvus 4G LTE süsteemidega. Viimane tagab ka LTE-põhiste süsteemide perspektiivse pikaealisuse. Käesoleval hetkel on sellegipoolest soovitus oodata LTE NB IoT ja LTE CAT M1 süsteemide rakendamisega mõni aasta, kuni kõik Eesti mobiilsideoperaatorid hakkavad vastavaid teenuseid pakkuma ja süsteemid odavnevad.

Perspektiivseima lahendusena saab lähisides välja pakkuda edasiarendatud võimekusega ELS-süsteemid, mis on mürakindlamad ja ühtlasi kiirema andmeedastuskiirusega. Kaugsidelahendusena on perspektiivseimad LTE NB IoT ja LTE CAT M1.

1. SISSEJUHATUS

1.1 ÜLDIST

Antud aruanne kajastab Tallinna Tehnikaülikoolis teostatud uuringu tulemusi, mis valmis Elektrilevi OÜ tellimusel. Uuringu lähteülesandeks oli kaugloetavate arvestite andmesidetõrgete põhjuste analüüs, mis keskendus otseselt elektriliinisidet (edaspidi *ELS*) andmevahetuseks rakendavate arvestitega seotud teemadele. Antud töö kontekstis on eesmärgiks analüüsida

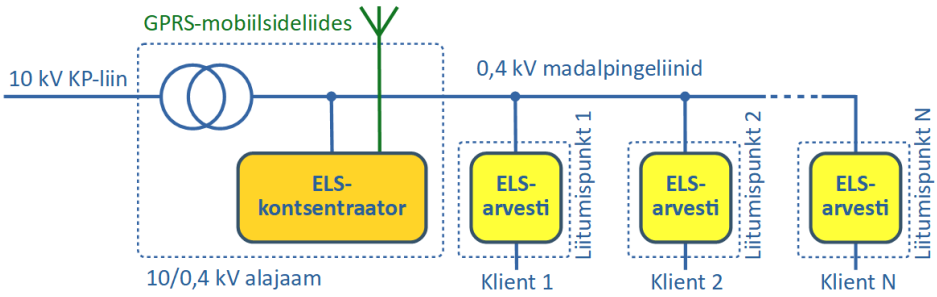
- Häiringute esmast olemust, mis selgitatakse reaalsetel mõõtmistel;
- Standardeid ja norme, sh nende tegelikku rakendamist;
- Kasutatava süsteemi tööd ja hinnata selle talitluse aspekte;
- Analüüsida parenduste võimalusi häiringute vähendamiseks ja/või välistamiseks;
- Kajastada teiste võrguettevõtete kogemusi, sarnaste probleemide kontekstis;
- Kaugloetavate arvestite juure sobilike kommunikatsioonilahendusi tuleviku vaates.

1.2 ELEKTRILIINISIDE ELEKTRILEVI VÕRGUS

Elektriliinisidet (ELS) rakendatavate kaugloetavate arvestite ülesseadmine Elektrilevi OÜ võrgus oli ellu kutsutud eesmärgiga ehitada välja automaatne ja operatiivne energiakasutuse monitooring-süsteem. Elektrienergia tarbimise/tootmise koguse mõõtmine toimuks liitumis- või mõõtepunktis, milles paiknevast arvestist edastatakse digitaalsed andmed alajaamas või mõnes sõlmpunktis asuvasse kommunikatsiooni-keskseadmesse, milline omakorda edastaks näidud üle andmesidekanalite.

Elektriliini-andmeside (ELS) kasutab andmevahetuse füüsikaliseks meediumiks (so andmesidevahend, mis ühendab saatja ja vastuvõtja) olemasolevaid elektriliine (vt Joonis 1-1).

- Alajaamas või mõnes muus keskses asukohas talitleb kontsentraator, mille eesmärk on ELS signaalide liinile andmine ja vastuvõtt; kontsentraator töötab kui võrgu keskseade ning korraldab andmesidet temaga füüsiliselt elektriliinide kaudu ühenduses olevate arvestitega; kontsentraator suhtleb andmete sihtkohaks oleva keskserveriga GPRS-mobiilside kaudu.
- Igas arvestis on ELS-ahelad, mille eesmärk on ELS signaalide liinile andmine ja vastuvõtt; arvesti vahetab andmeid otseselt kontsentraatoriga.



Joonis 1-1. Tüüpiline ELS seadmestiku struktuur Elektrilevi madalpinge-jaotusvõrgus.

1.3 UURIMISTÖÖ ARUANDE ÜLEVAADE

Antud aruanne keskendub järgmistele aspektidele

Peatükk **2 Arvestite andmeedastuse ja elektriliiniside põhimõtted** ja eeldused annab ülevaate lähteprobleemist ja kirjeldab, millistel tingimustel ja parameetrite vahemikel on kvaliteetne elektriliini andmeside võimalik ja selle töökindlus tagatud. Antud peatüki eesmärgiks on kirjeldada üldiseid Elektrilevi OÜ võrgus kasutatavate tehnoloogiate tunnuseid ja kõige üldisemaid parameetreid.

Peatükk **3 Olemasoleva ELS- tehnoloogia ülevaade** annab üksikasjaliku ülevaate Elektrilevi OÜ poolt rakendatavale ELS-süsteemile. Käsitletakse selle tehnilisi üksikasju, millised on kriitilise tähtsusega nii andmevahetuse üldises kontekstis, kui ka tehnilisi detaile, milliste teadmine aitaks selgitada antud uuringu kontekstis hilisemas tekstis esitatud parameetreid, suurusi, tingimusi jm. Peatükk ei käsitle mõõdetud suurusi, vaid seal kasutatava tehnoloogia komponente üldiselt, nende rolli ja tausta, et mõista ja sisse juhatada järgnevate peatükkide konteksti.

Peatükk **4 Jaotusvõrguettevõtete kogemused ELS-tehnoloogiatega** keskendub erinevate jaotusvõrguettevõtjate kogemustele ja nende poolt kasutatavate kaugloetavate arvestitega seotud ELS-süsteemi tutvustamisele. Võrreldavateks andmeteks on mh erinevate ELS-süsteemide andmeside edukuse parameetrid ning ELS-süsteemide töökindluse suurendamiseks kasutatavad võtted.

Peatükk **5 Elektriliiniside elektromagnetilise ühilduvuse aspektid** kirjeldab ELS tehnoloogiatega seonduvaid piirnorme, samuti jaotusvõrgu kui avalikus kasutuses oleva elektromagnetilise keskkonna põhimõtteid. ELS piiritingimused, sh võimalikud kasutatavad signaliseerimistasemed ja oodatav müratase jaotusvõrgus, on otseselt seotud elektromagnetilise ühilduvuse standardite ja põhimõistetega.

Peatükk **6 Seadusandlus ja regulatsioonid** annab ülevaate hetkel Eestis jõus olevast seadusandlusest ja inseneripraktika põhimõtetest. Välja toodud seadusandlike aktide sisust tulenevalt ei ole paljud ELS tööd mõjutavad aspektid piisavalt reguleeritud. Kuigi inseneripraktika rõhutab elektripaigaldiste ohutuse tagamisele, on muudes osades vabadusastmete hulk suur, nii projekteerimisel kui ka ehitamisel. Peatüki kokkuvõttes on

esitatud ettepanek muuta Elektrilevi OÜ tehnilisi tingimusi ja teenuslepingute sisu selliselt, et tagada õiguslik alus täiendavate KS-müra vähendavate asjaolude arvesse võtmisele läbi paigaldise arendus- ja kasutustsükli, millega on võimalik parandada ELS töökindlust suures plaanis.

Peatükk **7 Praktiline hinnang ELS süsteemile** keskendub laboratoorsetel katsetel ja väliobjektidel teostatud mõõtmiste tulemustele. Hinnatud on nii Elektrilevi OÜ poolt antud hetkel kasutuses oleva ELS töökindlust, sh andmeside edukust kõrge müratasemе talitluses. Põhjalikumalt on uuritud kahte olukorda reaalsetes paigaldistes klientide juures, kus on olemas selge müra-allikas ja millised on tüüpilisimad ELS töökindluse probleemjuhtumid. Vaadeldakse nii rikkega toiteploki kasutusest tingitud häiringuolukorda kui ka pumpla sagedusmuundurist tingitud müra tõttu esinevaid andmesideprobleeme ning talitluse taastamise võimalusi.

Peatükk **8 Filtrilahenduste analüüs** selgitab praktilises vaates võimalike ELS-sagedusriba filtrite parameetreid ja talitlust. Esimesena on vaadeldud spetsiifilisi ELS-filtreid, millised on ette nähtud spetsiifiliselt ELS-kandevsagedustel EM-mürade vähendamiseks. Peale parameetrite selgitamist analüüsitakse ka filtrite paigaldamise mõju fiidrite lühisvooludele ja kaitselülitite rakendumisele. Täiendavalt vaadeldakse erinevate kaubanduslike EMI-filtrite kui odavamate alternatiivide parameetreid ja nende sobivust ELS sagedusribas tööks. Peatüki kokkuvõttena kinnitatakse ELS-filtrite sobilikku toimet, ohutut iseloomu ning samas EMI-filtrite mittesobivust ELS jaoks probleemsete mürakomponentide mahasurumisel.

Peatükk **9 Elektrilevi OÜ potentsiaalsete sidetehnoloogiate** analüüs esitab ülevaate võimalikest andmesidelahendustest, millised võiksid parandada arvestite näitude edastamisel andmesidekindlust. Kaalutavad aspektid on täiendavalt võimalik perspektiivsus ja pikaealisus, sõltumatus teenusepakkujatest ja hind. Vaadeldakse mh ELS edasiarendatud spetsifikatsioone, kohalikke raadiosidelahendusi avalikuks kasutamiseks olevatel sagedustel, madala võimsustarbega kaug-raadiosidesüsteeme, mobiilside-tehnoloogiaid. Teema aktuaalsus on seda olulisem, et seni ELS süsteemide juures kasutatav 2G tehnoloogial põhinev GPRS-andmeside ning 3G tehnoloogial põhinev UMTS ja HSPA töötavad teenustena umbes 2020. aastate keskpaigani, mille järel tuleb kaug-mobiilandmesideks valida uus süsteem. Peatüki kokkuvõttena pakutakse välja, et perspektiivne on ehitada uus andmesidesüsteem välja selliselt, et see tugineks täiustatud ELS-tehnoloogiatele, ning kaug-andmesideks kasutataks NB-IoT / LTE Cat M1 süsteeme.

2. ARVESTITE ANDMEEDASTUSE JA ELEKTRILIINISIDE PÕHIMÕTTED JA EELDUSED

Andmesidesüsteemi, milliseks on sh elektriliiniside (ELS), ülesanne on vahendada andmeid klientide arvestite ja nende arvestite näite koondavate ja edastavate andmeside-kontsentraatorite vahel (vt Joonis 1-1). Käesolev uuring on läbi viidud ELS süsteemi andmesidekindluse vaates, milline puudutab peamiselt füüsikaliste suuruste (eeskätt elektripingega seotud) rolli andmevahetuse edukuse mõjutajana. Antud peatükk seab eesmärgiks kirjeldada ELS kontekst ja alusmõisted, et siduda ja sisustada omavahel võrreldavas kontekstis andmevahetuse põhimõtted, kasutatud ühenduskanali kui kesk-konna ja piirnormide temaatika rollid.

Käesolevas peatükis on selgitatud põhjalikumalt süsteemi, millises vaates on defineeritud ka ELS talitlusüksused, parameetrid ja erinevate osade rollid.

- **Arvestitega suhtlemine toimub läbi** kindlalt määratletud terviklike **andmepakettide**, millistega edastatakse arvestile päringuid ja korraldusi, samuti milliste kaudu toimub arvestist erinevate andmete (sh elektrienergia tarbimise andmete) lugemine. Kasulikud andmed, millised tuleb edastada (nii arvesti suunas kui ka arvestilt lugedes) paigutatakse andmepaketi *koormusesse* (ik *payload*), milline on küll üks osa andmepaketi pikkusest.

- Andmeedastuse **baaskriteerium on terviklike korrektsete pakettide edastamine**. Kui pakett koosneb *N* bitist (binaarne andmeühik võimalike väärtustega „0" ja „1"), siis need *N* bitti edastatakse ajaliselt üksteisele järgnevalt. Ajalises vaates kulub paketi edastamiseks *N* x [1 *biti aeg*]. Terviklik ja korrektne pakett võetakse vastu juhul, kui kõik bitid tuvastatakse korrektselt kogu paketi ulatuses, st ka teatud pikkusega ajavahemiku jooksul.

- Üheks kriitilisemaks **andmeedastuse piirajaks võib olla** kasutatava **kanali müratase**. See tähendab, et lisaks edastatavaid andmeid esindavale signaalile esineb kanalis tuntava mõjuga suurus, mis võib varjutada andmesideks kasutatud signaali. Et andmeid vahetada, peaks müratase olema piisavalt madal, kogu andmepaketi edastamiseks vajaliku ajavahemiku jooksul.

- **Müra olemasolu** füüsilises kanalis **on paratamatu**, selle reguleerimiseks on ka **teatav reeglistik**. Üldise töökindluse reeglistiku alusel ei saa ületada teatud piirtingimusi ka ELS. Müratase ja ELS, nagu ka muud (elektrilised) suurused peavad alluma elektrilise keskkonna poolt seatud tingimustele, sh piirsuurustele.

- **Elektriline keskkond jaotusvõrgus** on määratud liinide ja sinna ühendatud võrgukomponentide ja klientide tarvitite omaduste ja parameetritega. Jaotusvõrgu jaoks on antud vaates **nimetatud terve rida elektriliste suuruste piirtasemeid**, millised on seatud **normdokumentidega**. Mistahes parameetrite

piirmäärade ületamisel tarvitid ja komponendid ei oma enam töökindluse taset, millistes nende tootjad oleksid veendunud.

2.1 DIGITAALSETE ANDMETE PAKETTEDASTUS

Digitaalse andmeside ülesehituses ja põhimõtetes, eriti, mis puudutab multipunkt-andmesidet, rakendatakse andmete edastamiseks *pakettkommutatsiooni*. Selle aluseks on andmete edastamine **kindla ülesehitusega andmepakett**idena, mida edastatakse **jaotatud võrguressursi kaudu** (siin: ühine füüsiline andmeedastusliin).

Selline andmesideprotokolli rakendamine pakub hulganisti eeliseid, eriti juhtumitel, mis puudutavad füüsiliselt mittekindla ühendusega andmevahetust:

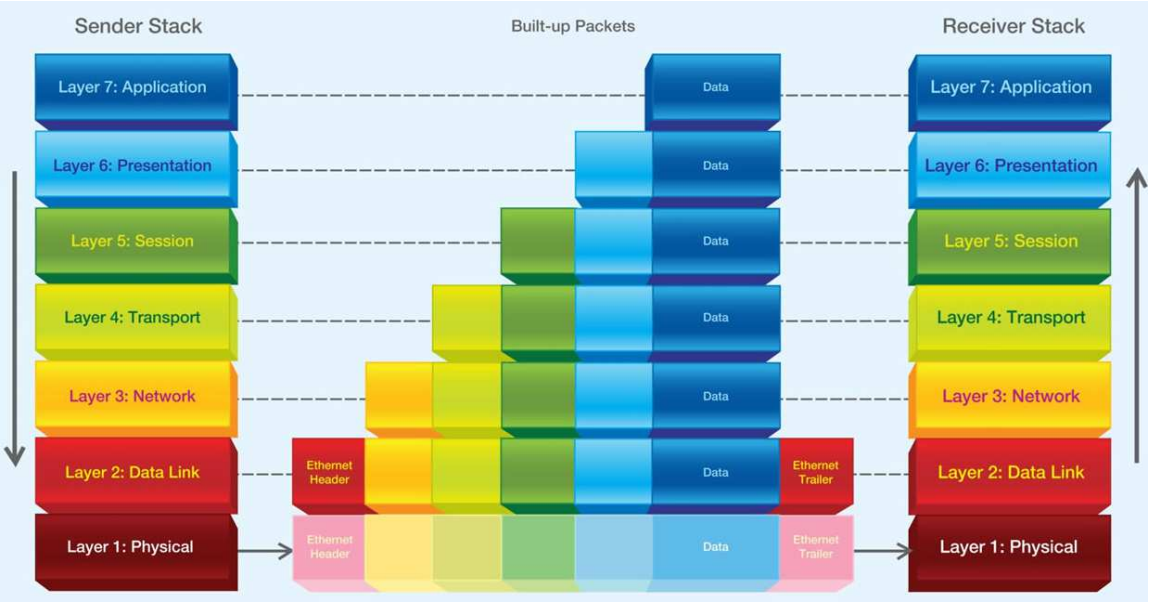
- Pakettide kaudu saab kasutada sama võrguressurssi suure hulga erinevate seadmete liitmiseks;
- Võimaldab operatiivselt ühendada samas võrgus väga erinevaid andmesidekiiruseid rakendavaid seadmeid;
- Võimaldab tuvastada andmevahetusel tekkivaid vigu ja osadel juhtudel ka neid parandada;

Pakettkommutatsiooni korral vahetatakse andmeid ainult terviklike pakettidena. See on tingitud asjaolust, et pakettide ülesehituses on sagedaseimalt kasutatud eri andmesidekihtide poolt lisatud kriitilise tähtsusega andmeid antud andmesidekihi toimimise jaoks. Kommunikatsioonitehnoloogilises käsitluses on infoedastus jagatud erinevate kindlate rollidega kihtide vahel, seda nii edastatava info töötlemise kui ka spetsiifiliste infoedastus-operatsioonide teostuse juures. Eduka andmevahetuse jaoks on vaja üle kanda andmed, mis ei vii nende töötlemise tõrgeteni mistahes kihis. Seega lähevad arvesse ainult korrektsed ja terviklikud paketid.

Andmesidepakett loetakse korrektseks, kui

- Vastuvõtjasse jõuavad tuvastatult kõik andmeühikud, millised olid vajalikud teatud tüüpi paketi koosseisus; näiteks kõik bitid N-bitisest paketist;
- Vastuvõetud pakett läbib edukalt vastuvõtja juures teostatud korrektsuste kontrolli.

Pakettide sisu korrektsuse kontrolliks liidetakse paketile *ühenduse kihis* (*data link layer*) kontrollsumma (näiteks: *CRC – cyclic redundancy check*), mis kujutab endast paketis sisalduvate andmebiti väärtuste teatud viisil arvutatud koondväärtust. See summa arvutatakse saaja poolel, lisatakse paketile, ja peale paketi vastuvõtmist arvutatakse ka vastuvõtja poolel. Kui vastuvõtja saab sama tulemuse, mis on paketis, loetakse pakett korrektseks. Kui ei ole teada, milline bitt paketist riknes, ning ei ole võimalik viga parandada, siis pakett hüljatakse kogu ulatuses. See on andmeside usaldusväärsuse ja töökindluse põhimõte, mis on vältimatu kriitilise tähtsusega andmete edastamiseks ja veendumiseks, et andmete väärtus on korrektne. Sarnane põhimõte on rakendatud näiteks ka TCP/IP võrkudes.

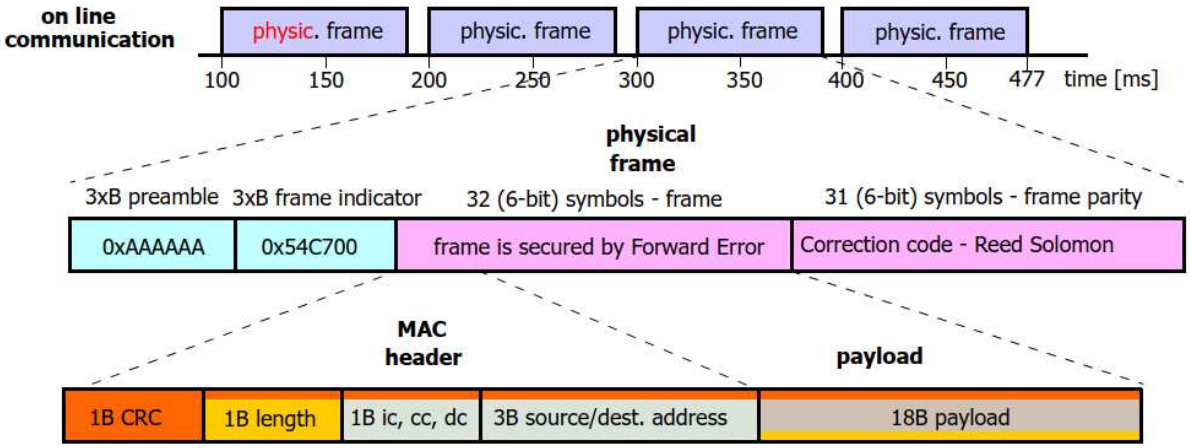


Joonis 2-1. Pakettkommuteeritud andmeside pakettide koostamine ja eri kihtide rollid paketi ülesehitusse ISO/OSI mudeli näitel [1].

Pakettide riknemise e paketivea esinemise tõenäosus on tingitud selles sisalduvate andmebittide vea tõenäosusest, vt 2.2 „Töökindla andmeside põhimõtted" ning 3.2 „Andmesignaalide moduleerimine, saatmine ja vastuvõtt".

Üks võimalik konfiguratsioon ELS süsteemis kasutatavast paketist pikkusega 45 B (1 bait = 1B = 8 bitti = 8 b) on kirjeldatud [2] alltoodud joonisel (vt Joonis 2-2). Sellise paketi struktuuris on osutatud nii kontrollsumma väärtuse paiknemisele (vt Joonis 2-2, „CRC") kui ka teatava veaparanduskoodi olemasolule (vt Joonis 2-2, „Correction code"). ELS andmesideks kasutatavad andmed, sh juhul, kui need on krüpteeritud, paikneksid paketi andmekoormuse osas (vt Joonis 2-2, „Payload").

Andme-koormus moodustab siin näites (vt Joonis 2-2) andmepaketist 18 B e 40%. Ülejäänud 60% paketist on otseselt andmeside juhtimise ja kontrolliga seotud väärtused.



Joonis 2-2. Üks võimalik konfiguratsioon, kuidas edastatakse ELS IEC 61334-5 pakett 45 baidi pikkusena [2].

2.2 TÖÖKINDLA ANDMESIDE PÕHIMÕTTED

Paketi edastamiseks tuleb terve paketi pikkuse arvus bitte üle kanda selliselt, et kõikide bittide väärtused oleksid korrektsed. Reaalsetes oludes, sh mürade tõttu, esineb erinevatel ajahetkedel paratamatult olukordi, kus vastuvõetud biti väärtust ei ole võimalik selle tegeliku väärtusena tuvastada. Sellisel juhul esineb bitiviga (ingl. k *bit error*), millise esinemisel vastu võetud biti väärtust ei saa tõeseks pidada. Sageli ei ole ka võimalik tuvastada, et bitiviga esines. Bitivigade esinemist saab hinnata tõenäosuslikult, st on võimalik hinnata, mitme biti kohta esineb üks bitiviga.

Et ühe biti vea esinemise tõenäosus on BER, siis tema korrektse vastuvõtu tõenäosus on (1-BER) ning 1 B üle kandmisel on vea esinemise tõenäosus

$$p_{BaitOK} = (1 - BER)^8.$$

Terve andmepaketi edukaks ülekandmiseks on tarvilik tingimus, et kõik paketi moodustavad bitid võeti vastu ilma ühegi bitiveata. Et need bitid edastatakse üksteise järel, ning nende kohale jõudmist saab vaadelda sõltumatute sündmustena, saab ka bitivea tõenäosuse kaudu kirjeldada paketi eduka vastuvõtu tõenäosust. Kui pakett koosneb *N* baidist, siis paketi eduka üle kandmise tõenäosus on

$$p_{PakettOK} = {p_{BaitOK}}^N,$$

kus *N* – baitide arv paketis.

Paketi eduka üle kandmise eelduseks tõenäosusega $p_{PakettOK}$ on bitivea tõenäosus

$$BER = \sqrt[8 \cdot N]{1 - p_{PakettOK}}$$

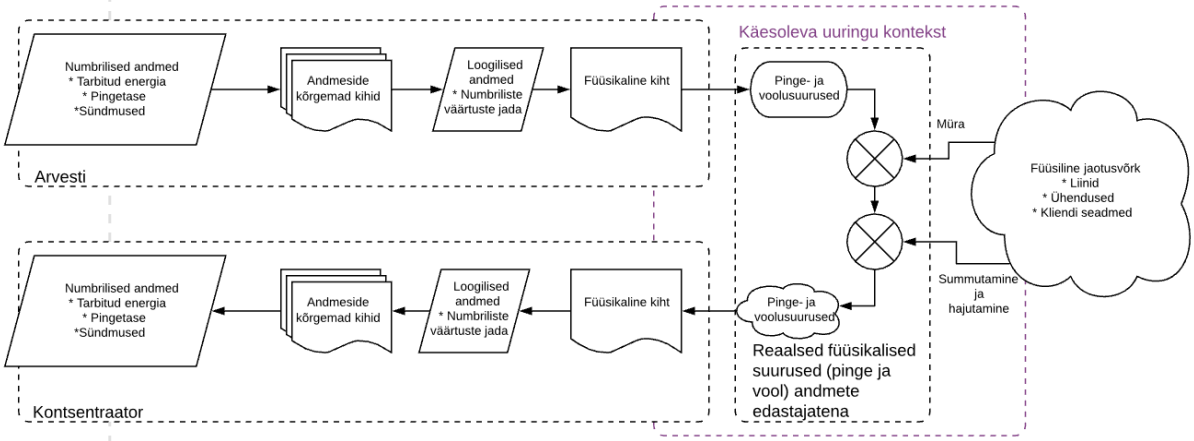
Näidetena pakettide pikkuse alusel määratud minimaalsed bitivea tõenäosused on kirjeldatud allolevas tabelis (vt Tabel 2-1).

Tabel 2-1. Lubatud suurim bitivea tõenäosus BER_max, kui nõutud on tõenäosusega $p_{PakettOK}$ pakettide edukas edastamine.

Paketi pikkus, B	*BER*_max, kui $p_{PakettOK}$ >5%	*BER*_max, kui $p_{PakettOK}$ >20%	*BER*_max, kui $p_{PakettOK}$ >80%	*BER*_max, kui $p_{PakettOK}$ >95%
30	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$6{,}7 \cdot 10^{-3}$	$9{,}3 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$
45	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$
60	$6{,}2 \cdot 10^{-3}$	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
100	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$	$6{,}4 \cdot 10^{-4}$
200	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$3{,}2 \cdot 10^{-4}$

2.3 ELEKTRILIINISIDE FÜÜSIKALISE KIHI ÜLDINE TALITLUS JA ÜLESANDED

Kui nn „kõrgemad" andmeedastuskihid on tegevad loogliste ja numbriliste andmete korraldamisega, siis füüsikaline kiht on see, mis seab teatud infosuurusele vastavusse füüsikalise elektrilise suuruse (pinge või vool) või siis tuvastab füüsilisest suurusest info väärtuse (vt Joonis 2-3).



Joonis 2-3. Andmete ülekanne ELS-süsteemis arvestist võrgukontsentraatorisse, läbi jaotusvõrgu.

Füüsikalise kihi funktsioonide eesmärgiks on välja saata pinge- ja voolusuurused, millised esindavad teatud andmeid; samamoodi on eesmärgiks registreerida pinge- ja voolusuurused, millised esindavad sihtotstarbelisi andmeid, need tuvastada ning dekodeerida.

Füüsiline kiht antud kontekstis on andmevahetussüsteemi funktsionaalsust hõlmav osa, milles andmete edastaja / saatja poolel:

- Sisendisse antakse andmebittide väärtuste jada diskreetsete suurustena;
- Väljundiks on füüsikaline pinge- ja voolusuurus, milline kajastab edastatavate bittide väärtuseid;

ning vastuvõtja poolel vastavalt:

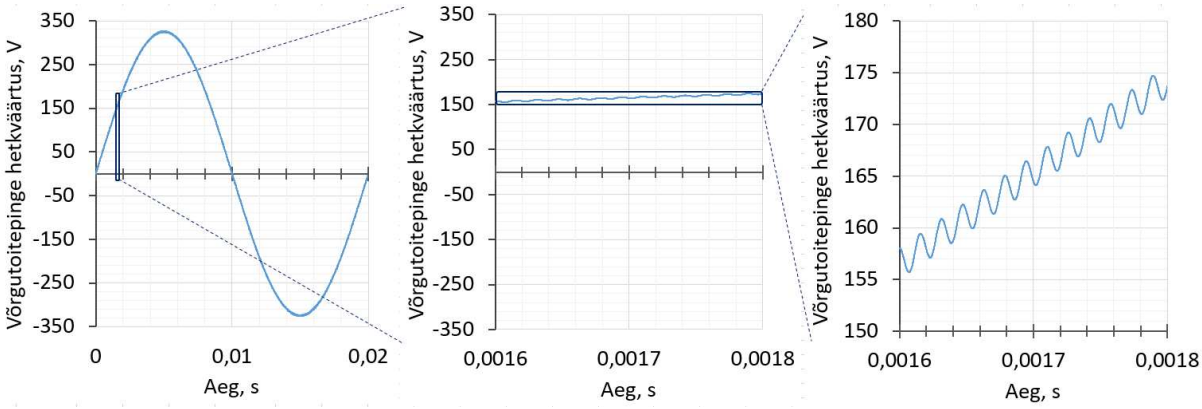
- Sisendisse antakse füüsikaline pinge- ja voolusuurus, milline kajastab edastatavate bittide väärtuseid;
- Väljundiks on andmebittide väärtuste jada diskreetsete suurustena.

Vastuvõtja füüsilise kihi väljundiks on konkreetsed andmed, mis suunatakse edasiseks töötluseks teistele üksustele konkreetsete suurustena. Tänapäevaste tehnoloogiate kvaliteedi kontekstis saame käsitleda vastuvõetud suuruste demoduleerimise järel saadud tulemust lõplikuna, st antud kontekstis ei ole oodata märkimisväärset väärtuste riknemist või vigu andmete töötlemisel diskreetsel kujul. Seega põhimõtteliselt kõik andmevahetusel esinenud vead on tingitud eelkõige füüsikalise kihi talitlusest, sh ka kanali omadustest.

2.4 ANDMESIDEKS KASUTATAVAD FÜÜSIKALISED SUURUSED JA MÜRA

Elektroonilise side üheks võtmealuseks on teatud tüüpi modulatsiooni kasutamine, mille abil tähistatakse edastatavaid suurusi/andmeid. Modulatsioon tähendab side kontekstis teatud kindlal viisil muudetavat füüsikalist suurust, millise muutumise abil edastatakse infot. ELS-andmesides on moduleerija andmete saatja, kes teatud numbrilisele suurusele (siin kahevalentne bitiväärtus „0"/"1") seab vastavusse teatava füüsikalise signaali muutuse (Elektrilevi OÜ ELS näitel: muudetakse pinge andmesignaali komponendi sagedust ja seda teatava ajalise sammuga, vt. Joonis 3-5).

Elektrilevi OÜ poolt kasutatud ELS süsteem rakendab andmete ülekandmiseks elektriliinidel pingesuurust, milline on suurusjärke kõrgemal sagedusel võrreldes jaotusvõrgu toitesagedusega (50 Hz). Elektrilevi OÜ poolt rakendatakse andmesideks pinge võnkumist sagedusel 63,3 kHz ning 74 kHz (vt 3.2 „Andmesignaalide moduleerimine, saatmine ja vastuvõtt"), milline on liidetud võrgupingelisele suurusele (vt Joonis 2-4).



Joonis 2-4. ELS printsiibi näide: kõrgsagedusliku 63,3 kHz pingekomponendi pealdamine 50 Hz toitesageduslikule pingesuurusele.

Elektroonilist sidet pärssivaks asjaoluks on erinevate täiendavate füüsikaliste suuruste või nende muutuste, millised ei esinda edastatavaid suurusi/andmeid, olemasolu sidemeedial. Sellist mitteotstarbelist füüsikalist suurust nimetatakse **müraks**. Müra võib ühe sidesüsteemi vaates olla ka mõne muu sidesüsteemi talitluse poolt põhjustatud suurus, kui seda vaadeldakse segavana ja mittekasulikuna.

Näiteks ELS süsteemi jaoks, milline rakendab pingesuuruste kasutamist andmete ülekandmise eesmärgil (sh Elektrilevi OÜ ELS) jaoks on

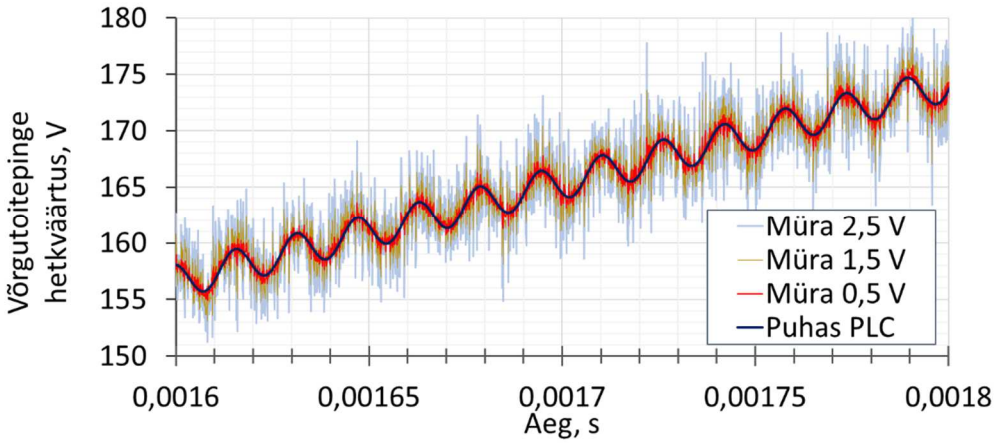
- **Kasulik**, väärtuseid/andmeid ülekandev **signaal** on pingesuurus, mis on otseselt väljastatud ELS andmesidesaatjast otseselt selliselt moduleerituna, milline esindab kokkulepitud viisi; siin on selleks pingevõnkumine sagedusel 63,3 kHz ning 74 kHz (vt 3.2 „Andmesignaalide moduleerimine, saatmine ja vastuvõtt")
- **Müra** on nimetatud sagedustel esinev pingesuuruse mistahes komponent, mis ei ole väljastatud võrku ELS andmesidesaatjast. Sellise müra esinemine ei tähenda,

et võrgus oleks ajalises esituses märgatav täpselt samal sagedusel võnkuv pingesuurus, vaid selline sageduskomponent võib olla üks paljudest, mis teatud pingesuuruse muutumist koos kirjeldavad (Fourier' meetodi vaade).

Müra on reaalses süsteemis, milles on suur hulk komponente, pigem **tõenäosuslik suurus.** Jaotusvõrgu ja vahelduvpingevõrgu kontekstis võib see olla ka teatud määral deterministlik, põhjustatuna näiteks erinevate süsteemide talitluse eripäradest seoses vahelduvpinge perioodilisusega võib see olla ka korduva tasemega iga 50 Hz perioodi järel. Madalpinge-jaotusvõrgus (sh Elektrilevi OÜ) võrgus on mürad olulisel määral põhjustatud näiteks sinna ühendatud tarvitite iseloomust. ELS ja tarvitite konteksti on vajalik täpsustada ka kasutatava sagedusriba kontekstis (vt 2.6 „ELS-sagedusriba ja sellega seotud tingimused").

Müra tõenäosuslikkus avaldub aegesituses (so igas ajaühikus füüsikalise suuruse taset jälgides) füüsikalise suuruse väärtuse juhusliku varieerumisega. Samuti, on oodata konkreetse sageduskomponendi vaatlemise puhul mürana esineva täiendava suuruse kiiret ja juhuslikku muutumist, eriti, kui vaatleme tegelikke sageduskomponentide võnkumisi ühe võnkeperioodi kaupa, milline raskendab vastuvõtja poolt pingekomponendi selget tajumist.

Mürade konteksti ajalises esituses võib näitena vaadelda lisatuna põhi-ELS suurusele, millele on lisatud juhusliku suurusena aegesituses normaaljaotusega mürakomponent (vt Joonis 2-5). Sellisel mürakomponendil on mistahes sagedusel komponentide esinemine võrdse tõenäosusega.



Joonis 2-5. Näide mürade rollist ELS-signaalile ajalises vaates (alus vt Joonis 2-4).

2.5 MÜRA VEAALLIKANA ELEKTRILIINISIDE KONTEKSTIS

ELS (Elektrilevi OÜ poolt kasutatava süsteemi) kontekstis tähendab ülaltoodu, et andmebittide eduka ning korrektse väärtusega vastuvõtu eelduseks on see, et vastuvõtja eristab selgelt andmesideks kasutatavaid sageduskomponente ja nende vaheldumist,

milline on saatja poolt edastatud andmesuuruste tunnusteks läbi kasutatava modulatsiooni.

Andmete edastamiseks kasutatava moduleerimise viis on teada nii andmete edastajale/saatjale kui ka vastuvõtjale. Eduka side tingimuseks on see, et edastatavaid andmeid esindavad moduleeritud füüsikalised suurused, näiteks pingekomponendid, on reeglipäraselt selgelt ja korrektselt tuvastatavad vastuvõtja juures. See tähendab et

- vastuvõtja poolt on tuvastatavad selgelt need modulatsioonitunnused, millised olid kasutuses saatja poolt andmete esindamiseks füüsikalise suuruse kaudu;
- vastuvõtja selgitab vastuvõetud füüsikalise suuruse kaudu täpselt samad andmed, millised saatja moduleerimise aluseks võttis.

Juhul, kui vaadeldavat sideühendust mitteesindavad mürakomponendid on kõrgel tasemel, ei ole paljudel juhtudel võimalik teostada andmete edukat ülekannet selliselt, et sihtotstarbeliselt moduleeritud füüsikaline suurus oleks selgelt eristatav vastuvõtja juures. See tähendab, et kui liinil on tuntav müratase, ei suuda süsteem tuvastada

- kas saatja taotles suuruse „1" või „0" edastamist;
- kas demoduleeritud väärtuse selgitamine toimus korrektselt.

Elektrilevi OÜ poolt rakendatav ELS süsteem rakendab andmete ülekandeks kirjeldatud sageduste vahelisi selgeid diskreetseid üleminekuid (sagedushüppeid), vt ka 3.2 „Andmesignaalide moduleerimine, saatmine ja vastuvõtt". Andmete tuvastamiseks peab vastuvõtja selgelt tajuma, et muutus 63,3 kHz -> 74 kHz toimus, mis avaldub tema juures nimetatud sageduskomponentide tasemete muutumisega. Kõrge müratase võrreldes signaaliga nimetatud sagedustel tähendab, et

- Sageduse muutumist ei tuvastata, kuna kirjeldatud sagedustel komponentide intensiivsuses ei ole märgatavat muutust;
- Sageduse muutumine tuvastatakse vale väärtusega, sest müra sageduskomponentide tasemed muutuvad mingil hetkel väga sarnaselt tegeliku andmesignaali sageduskomponentide oodatava käitumisega.

Seega on andmesuuruste vastuvõtt otseselt seotud vastuvõtjani jõudva kasuliku signaali tasemega mittevajaliku suuruse osa (müra ja selle fooni) suhtes, edaspidi kui signaal-müra suhtega

$$SNR = \frac{U_{signaal}}{U_{müra}} ,$$

kus $U_{signaal}$ on signaali pinge vastuvõetud tase ning $U_{müra}$ on mürakomponendi keskmine pingenivoo. Siin on oluline märkida, et vaadelda tuleb signaal-müra konkreetsetel sagedustel, Elektrilevi OÜ ELS süsteemi näitel sagedustel 63,3 kHz ja 74 kHz.

Signaal-mürasuhe määrab ära tõenäolise bitivea esinemise, st biti vastuvõtmisel vale väärtuse lugemise või väärtuse selgitamata jätmise. Bitivea tõenäosuse BER (*bit error rate*) väärtuse saab määrata katseliselt, või siis modulatsiooniteooria lähtealustest. Sageli annavad ka tootjad omalt poolt modemikomponentide võimekuse näitajate hulgas ka bitivea esinemise tõenäosuse väärtused (vt Joonis 3-7).

2.6 ELS-SAGEDUSRIBA JA SELLEGA SEOTUD TINGIMUSED

Elektriliiniside kasutamise ja rakendamise võtmepõhimõteteks andmevahetuse füüsilise kihi tasemel on:

1) Rakendatud sagedusriba(d) on kasutamispiiranguteta;
2) Rakendatud sagedusribades on elektrilise iseloomuga müra tase oodatavalt mittekõrge;
3) Rakendatud pealdatud andmesidesignaali tasemed on sellised, et need ei häiri muude võrku juba ühendatud seadmete tööd.

Kui põhimõtet 1) võib vaadelda kõrg- või raadiosageduslikku kanali määratluste tasemel, siis põhimõtted 2) ja 3) kuuluvad või on väga lähedalt seotud elektromagnetilise ühilduvuse valdkonnaga.

Vastavalt kasutatavate sageduste võimalikele väärtustele liigitatakse sidemeetodeid kas kitsaribalisteks (EVS-EN 50065-1 kohaselt on kandevsageduse muutumise ulatus väike, 5000 Hz) või laiaribalisteks. Elektrilevi OÜ ELS rakendab kandevsageduse diskreetse sammuga väärtuseid (sagedused kas 63,3 kHz või 74 kHz), milliste korral on nende sagedus püsiv ja ei haju spektris; sellistel tingimustel on Elektrilevi OÜ poolt rakendatav ELS kitsaribaline (kaks kitsaribalist süsteemi).

Märkus: Elektrilevi OÜ kasutab ELS kontekstis diskreetseid kandevsignaali sagedusi 63,3 kHz ja 74 kHz ja nende vaheldumist. ELS edukaks toimimiseks peab müratase olema madal just nimetatud sagedustel. Siiski, tegemist on kahe kitsaribalise süsteemiga.

Laiaribaline süsteem rakendab sideks teatud sagedusribas (so sagedusvahemikus) signaale, kusjuures sellises ribas kasutatavad sageduskomponendid on kõik edukaks sidepidamiseks vajalikud.

Müratasemе seisukohast tuleb kindlustada, et ELS-süsteemide poolt kasutatav sagedusriba oleks madala müratasemega. Elektrilevi OÜ poolt kasutatud ELS sagedustel üldiselt võib eeldada, et müratase püsib suhteliselt madal; selle aluseks on ootus, et nimetatud sagedustel ei ole töös üldiselt ringhäälingusüsteeme ega raadiosidesüsteeme. Siiski on antud sagedusribas oodata, et mürasid põhjustavad erinevad muundurid jm toiteseadmed, mille talitluse määravaimad parameetrid (sh lülitussagedus) jäävad tihtipeale seotuks sagedustega alla 150 kHz. Sellisteks seadmeteks on näiteks

- Mootorite juures olevad sagedusmuundurid, mille lülitussagedus on tüüpiliselt 8 … 40 kHz;
- Väiketoiteallikad (toiteplokid), mille lülitussagedus on tüüpiliselt alla 100 kHz;
- Taastuvenergiaallikate vaheldid (nn inverterid), mille lülitussagedus on tüüpiliselt 8 … 40 kHz.

Mürad ELS-sagedusribas on tingitud sageli otseselt kirjeldatud seadmete lülitamisega seotud nähtustest; või siis nimetatud lülitussageduste kordsete sagedustega.

- Nimetatud mürad võivad olla väga suure intensiivsusega ning püsivad pikema aja jooksul

- Nimetatud mürade tasemed on sõltuvuses seadmete ja süsteemide kasutamise ja konkreetsete koormustega.

Loetletud tingimused põhjustavad märkimisväärse juhuslikkuse ka müratasemes ja seega ka ELS-sideks kasutatavate kanalite saadavuses. Viimane tähendab olukorda, kus võrgus ning seadmete poolt põhjustatud müratase on piisavalt madal, ja ELS-andmeside oleks võimalik. Kanali mittesaadavus tähendab olukorda, kus andmete edukas ülekanne on võimatu.

2.7 EM-KESKKONNAD

EM-keskkond jaotusvõrgu seisukohast kujutab nii võrgu talitlust määravaid muutujaid kui ka nendega vahetult seotud ja kaasnevaid elektrilisi nähtuseid. Talitlusparameetritena võib nimetada näiteks võrgu pinget ja vahelduvpinge sagedust, siis seadmete talitlusega kaasnevad erinevad näiteks paratamatud mittelineaarsusest tingitud moonutused ja kõrgsagedusmürad. Müra iseenesest on samasugune elektriline suurus (nt pinge), milline on võrgus ka talitlus-suurusena.

- Elektriseadmed ja jaotusvõrku ühendatavad tarvitid on kujundatud ja ühendatud tööks eelkõige 50 Hz sagedusega vahelduvpingel, mis tagab seadmete ja tarvitite varustamise elektrienergiaga, mis on vajalik nende põhitalitluseks;
- Müra on näiteks kõrgemal sagedusel esinev pingesuurus, mis ei ole seotud elektrienergia varustamisega ja millele erinevad seadmed on tõenäoliselt suhteliselt tundetud.

Madalpinge-jaotusvõrgu seadmed on ühendatud vahetult ja jäigalt elektrilise suuruse ülekandemeediaga (heast elektrit juhtivast materjalist juhtmed ja kaablid), milline on hea juht ka erinevatele seadmetest tingitud müradele.

Tuleb arvestada, et madalpinge-jaotusvõrku on ühendatud erinevad seadmed, millised on väga erinevate põhiomaduste ja talitlusparameetritega ja sealhulgas ka väga erineva müraemissiooniga ja müratundlikkusega. Seadmeid ühendatakse suures hulgas, kõikide jaotusvõrku kasutavate klientide ootus on, et nende seadmete põhiline funktsioon töötaks võrku ühendamise järel laitmatult. Eriti kaasaegsete elektroonilist juhtimist sisaldavate seadmete puhul on oht, et võrgust seadmesse jõudev kõrge müratase põhjustab nende seadmete funktsioonide jaoks ebatavalise olukorra, mis päädib seadme funktsionaalsuse kaoga. Kirjeldatud funktsionaalsust häiriva olukorra võib esile kutsuda ka ELS-andmesidesignaalide olemasolu võrgus (nt puutetundlike lampide lülitumise juhtumid).

Võrku ühendatud seadmete funktsionaalsuse tagamiseks tuleb seega rõhku pöörata jaotusvõrguga seotud elektromagnetilise ühilduvuse (EMÜ) olukorra tagamisele. EMÜ tähistabki seadmete koostoime tingimusi ühises EM-keskkonnas. EMÜ kriteeriumide juures käsitletakse nii kõrgsagedusliku müra emissioone kui ka häiringukindlust EM-keskkonnast seadmetesse jõudvatele KS-müradele.

ELS rakendab signaliseerimiseks samuti teatud intensiivsuste vahemikku, mis oleks eeldatavalt seadmete jaoks kui müra, seejuures tasemel, milline seadmete

funktsionaalsusele häirivalt ei mõju. Teisalt, ELS eduka toimimise eelduseks on, et seadmetest tulenev EM-müra, mis jõuab jaotusvõrku, on piisavalt madalal tasemel, nii et ELS-signaal oleks selgelt tuvastatav müraga võrreldes.

2.8 NÕUDED TARVITITELE JA SEADMETELE

Üldisesse kasutusse ette nähtud tarvitid ja seadmed peavad võimaldama nende jaotusvõrku ühendamist selliselt, et nende ühendamine ja talitlus ei häiriks teisi jaotusvõrku ühendatud seadmeid. Selleks on Euroopa Liidu (EL) tasemel määratletud ühisturule juurdepääsu reeglid, millega reguleeritakse ka nõudeid mistahes seadmetele. Elektriseadmed peavad vastama EL ühisturu direktiividele, mille hulka kuulub näiteks ka Elektromagnetilise ühilduvuse direktiiv (2014/30/EL). Ühisturu tingimusi täitvad seadmed peavad omama CE-vastavusdeklaratsiooni, millisega tohib seadmeid tähistada alles peale veendumist, et kõikide seadmele kohalduvate direktiivide nõuded on täidetud. Selliste direktiivide tingimustele vastavuse jälgimiseks on alusdokumendid, mis on esitatud näiteks direktiivide lisas. Elektriseadmetele kohalduvad direktiivid on näiteks ohutusalane madalpingedirektiiv (2014/35/EU), Elektromagnetilise ühilduvuse direktiiv (2014/30/EL), Raadioseadmete direktiiv (2014/53/EL) jt.

CE-vastavusdeklaratsioon on dokument, milline osutab ka konkreetsetele normdokumentidele, millele seade vastab. Siiski tuleb vahet teha, et CE-märgis on üldine turule sisenemise valmisolekut kinnitav märgis. CE-märgisega varustatakse ka mistahes tööstusseadmeid ja eriseadmeid, millele võivad kehtida erinevad tingimused. Sealhulgas sisaldavad erinevaid nõutud piirtasemeid ka paljud normdokumendid ise, kusjuures enamasti on piirtasemed nimetatud lähtudes EM-keskkonna iseloomust. Seetõttu tuleb erinevate seadmete võrku ühendamisel tingimata jälgida, et need oleksid ette kohalduvad normidega, mis on ette nähtud avalikus kasutuses oleva jaotusvõrgu tingimustega.

Reaalse olukorra ja normidele vastavuse võrdluse teeb keerulisemaks see, et avaliku jaotusvõrguga seotud keskkonna normid on ühed karmimad. See tähendab seadmete juures tõhusamate filtrite ja täpsemini kohandatud talitlusprintsiipide rakendamist, mis tähendab ühtlasi suuremat kulu komponentidele. Näiteks tööstuskeskkonna leebemate normide täitmine (siin kõrgema müraemissiooni) võimaldab saavutada hinnas kokkuhoiu, kuid jaotusvõrgule võib see tähendada lubamatult kõrget müratasset.

Ülaltoodust lähtudes on tingimata vajalik tagada võrku ühendatavate seadmete EM-müraemissiooni tasemed selliselt, et need oleksid vastavad avaliku jaotusvõrgu jaoks ettenähtud normidele. Regulatiivselt Eestis nimetatud asjaolu selgelt määratletud ei ole; kuigi nõutakse „nõuetele vastavust", ei ole sätestatud, millised nõuded on vajalikud näiteks jaotusvõrgu puhul. Selliste sätete sisseviimine erinevatel tasemetel (sh teenuslepingu tingimused, tehnilised tingimused jm) võimaldaks tagada mürade madala taseme jaotusvõrgus ka tulevikus.

Kirjeldatud nõuete täpsustamine on seotud ka tuleviku perspektiivsete seadmetega, millised ühendataks oodatavalt Elektrilevi OÜ jaotusvõrguga. On oodata, et talitlusel kõrgsagedusmürasid põhjustavate seadmete hulk kasvab; kindlasti on lisandumas järjest

suuremal määral erinevad päikesepaneelide muundurid-vaheldid (inverterid), kodumasinate sagedusmuunduritega ajamite levik laieneb, valgustusseadmete juurde tulevad pooljuhtmuundurid (nt LED-valgustid) jpm. Lisanduvate müra-allikate perspektiivis, võib võrgu jaoks kujuneda KS-mürade kõrge tase ka töökindlusprobleemiks. Sellega seoses on järjest enam vaja jälgida, et võrku lisatavate süsteemide müratasemed oleksid piisavalt madalal, et ka suurema hulga seadmete lisamisel ei kujuneks müratase liialt kõrgeks nii sinna ühendatud seadmetele ega ka ELS-süsteemidele.

2.9 JAOTUSVÕRGU TEENUSTE JA FUNKTSIOONIDEGA SEOTUD ANDMESIDE PERSPEKTIIVID

Kaasaegse elektrijaotusvõrgu funktsioonid on seotud nii energia edastamise kui ka nn targa võrgu funktsioonidega, viimasteks on potentsiaalselt näiteks tarbimise juhtimine, koduse akusüsteemi juhtimine, taastuvenergia optimeeritud jaotamine jpt. Kõik sellised funktsioonid tuginevad täiendavale andmevahetusele kliendi seadmete, liitumispunkti, alajaama ja operaatori vahel. Sellisel tasemel andmevahetuse teostamiseks on üks parimaid võimalusi täiendava andmevahetusvõimekuse tagamine jaotusvõrgus, kas ELS või muu andmesidetehnoloogia baasil.

ELS-süsteemide tundlikkus jaotusvõrgu müratasemetele on paratamatu, kuid võrreldes Elektrilevi OÜ poolt kasutatud süsteemiga, on võimalus ka süsteemide rakendamiseks, millised omavad suuremat kindlust võrgus esineva müratasemе suhtes. Jaotusvõrgu füüsilised liinid on andmesidemeediumina jaotusvõrguettevõttele kõigest hoolimata üks perspektiivsemaid lahendusi, milline on ettevõtte haldusalas ning milline ei too kaasa suuremaid lisakulusid.

Süsteemi jaoks usaldusväärset andmesidet tagab ka avaliku mobiilsideteenusvõrgu kasutamine, sh tuleviku vaates perspektiivsed tehnoloogiad LTE NB IoT, LTE Cat M1. Teisalt on oodata, et selliste tehnoloogiate püsikulud on suured, samuti on nendega seotud modemilahendused oodatavalt kallid.

Seetõttu saab ka tuleviku vaates soovitada lahenduseks kahetasemelist andmesidet, kus kohaliku ulatusega andmevahetus näiteks arvesti ja alajaama/andmesidesüsteemi sõlme vahel toimub ELS-süsteemil põhineva lahendusega; kesksüsteemi ja andmesidesüsteemi sõlme vahel toimub liiklus kasutades mobiilside-teenust.

3. OLEMASOLEVA ELS- TEHNOLOOGIA ÜLEVAADE

Käesolev peatükk kirjeldab eeskätt EVS-EN 50065-1 signaliseerimise tingimustega ja S-FSK modulatsiooniga töötavat IEC 61334-5 ühilduvat elektriliini-andmeside (ELS) süsteemi, milline on kasutuses Elektrilevi OÜ avalikus madalpingevõrgus arvestite näitude kauglugemise rakenduses.

- Andmete ülekandmise kriitilisus seisneb piisava töökindlusega andmeühikute (bittide) üle kandmist, mille rikke tõenäosust iseloomustab suurus *BER* – bitivea tõenäosus;
- Väikese BER tagamiseks peab moduleeritud andmesidesignaal olema selgelt eristatav taustamürast, so muust füüsikalisest suurusest, mis samal ajal andmesignaaliga registreeritakse; taustamürast eristumist kirjeldab signaal-mürasuhe SNR;
- Tervikliku paketi edukaks edastamiseks on vajalik BER selline tase, et paketi pikkuse arvus bittide edastamisel oleks edukate bitiedastuste tõenäosuste (1 - BER) korrutis suurem kui 5%;
- Teades süsteemi komponentide suutlikkust, on võimalik määrata selline andmesignaali tase taustamüra suhtes (SNR), millest alates andmepakettide edukas ülekanne on tõenäoline;
- Teades süsteemi nõutud SNR väärtust, on võimalik leida
    1) minimaalne vajalik signaalitase vastuvõtja juures, millest alates edukas andmeside võimalik on, võrgu taustamürataseme alusel;
    2) maksimaalne müratase vastuvõtja juures, millest väikesemal tasemel edukas andmeside võimalik on.

Elektriliiniside, sh Elektrilevi OÜ võrgus rakendatav kitsaribaline jada-andmesidekanal, mille füüsilise kihi andmeside-signaalide parameetrid on antud vastavalt dokumendile EVS-EN 50065-1, korral rakendatakse andmete ülekandmiseks täiendavat, võrgu põhisuurusele pealdatud pingesuurust. Avalikus madalpinge-jaotusvõrgus tähendab see, et 50 Hz 230 V pingesuurusele on aritmeetiliselt liidetud täiendav kõrgemal sagedusel töötav pingekomponent, mille amplituudväärtus võib olla

- kuni 1,5 V sagedusel 74 kHz ning
- kuni 1,65 V sagedusel 63,3 kHz.

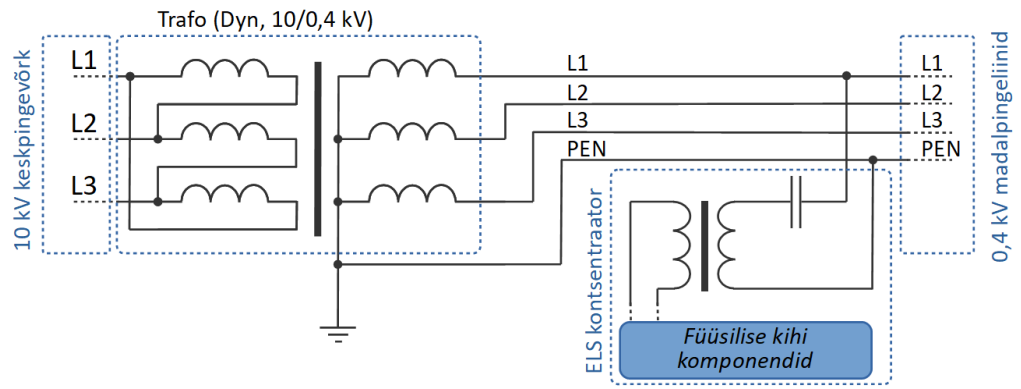
Sellised piirtasemed kehtivad ka Elektrilevi OÜ jaotusvõrgus, ning on otseselt maksimaalsed väärtused, mis on lubatud dokumentides EVS-EN 50065-1 ning IEC 61000-3-8. Antud suurustele vastavuse korral on võimalik kasutada ELS-süsteemi selliselt, et see ei häiri teiste võrku ühendatud seadmete tööd.

3.1 ELEKTRILIINI-ANDMESIDE FÜÜSIKALISE KIHI TALITLUS

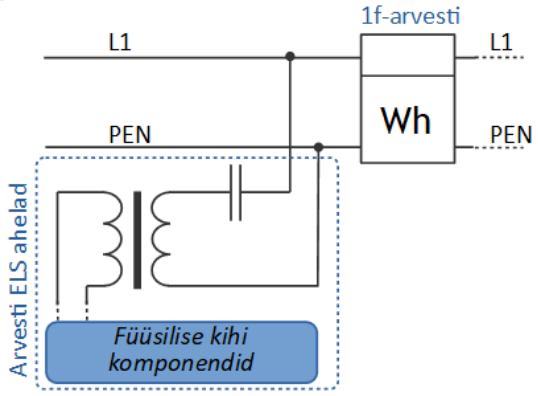
Madalpinge-jaotusvõrku ühendatud tarbijateni viib tüüpiliselt vähemalt 2 juhti ühefaasiliste tarbijate puhul:

- Faasijuht (edaspidi ka L-juht)
- Neutraaljuht (edaspidi ka N-juht)

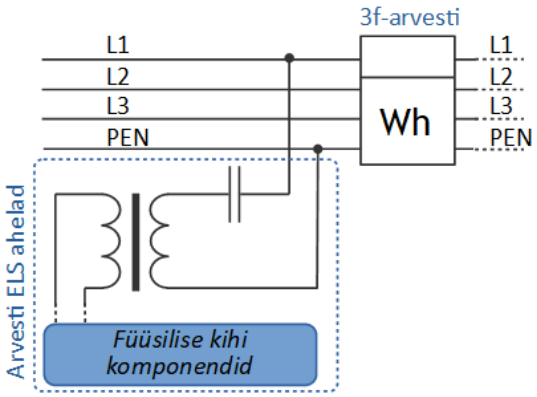
3- faasiliste tarbijate puhul on tegemist olukorraga, kus tarbija on ühendatud 3 faasijuhi ja 1 neutraaljuhiga. ELS talitlus on nii 1f- kui ka 3f- ahelate korral seotud signaliseerimisega ühe faasijuhi ja neutraaljuhi vahel (vt Joonis 3-1, Joonis 3-2 ja Joonis 3-3) [2] [3] [4].



Joonis 3-1. ELS-kontsentraatori ühendusskeem alajaama lattidel.



Joonis 3-2. 1f-arvesti ELS ahelad.



Joonis 3-3. 3f-arvesti ELS-ahelad

Tarbijatega ühenduse tagava madalpinge-jaotusvõrgu ülesehitus on teostatud vastavalt elektrivõrkude elektrienergia ülekande esmasele funktsioonile. Selleks rakendatakse madalpinget ning küllatki suurt voolutugevust (siiski tegu märkimisväärse pingega nimitasemel 230 V (L - N), nimisagedusega 50 Hz, liitumised nimivoolul 10 A, 16 A, 20 A, 25 A jne, edaspidi kõik need *toitesuurused*). Sellistele toitepinge suurustele on liidetud täiendav kõrgsageduslik mitte-energeetilise funktsiooniga pingekomponent, mis on kasutuses andmete ülekandmiseks.

Lihtsaim viis kõrgema sagedusega töötava andmeedastuse realiseerimiseks oleks kasutada „signaal on kõrge, signaal on madal" -tüüpi modulatsiooni – andmete vastavusse seadmist teatud füüsikalise suuruse käitumisest. ELS puhul rakendatakse sellest müra- ja häiringukindlamat sagedusmodulatsiooni, mille puhul andmete diskreetsed väärtused edastatakse kindlate sagedus-komponentide olemasoluga. Sellised andmesideks kasutatavad sagedused on tuntud ka kui *kandevsagedused*.

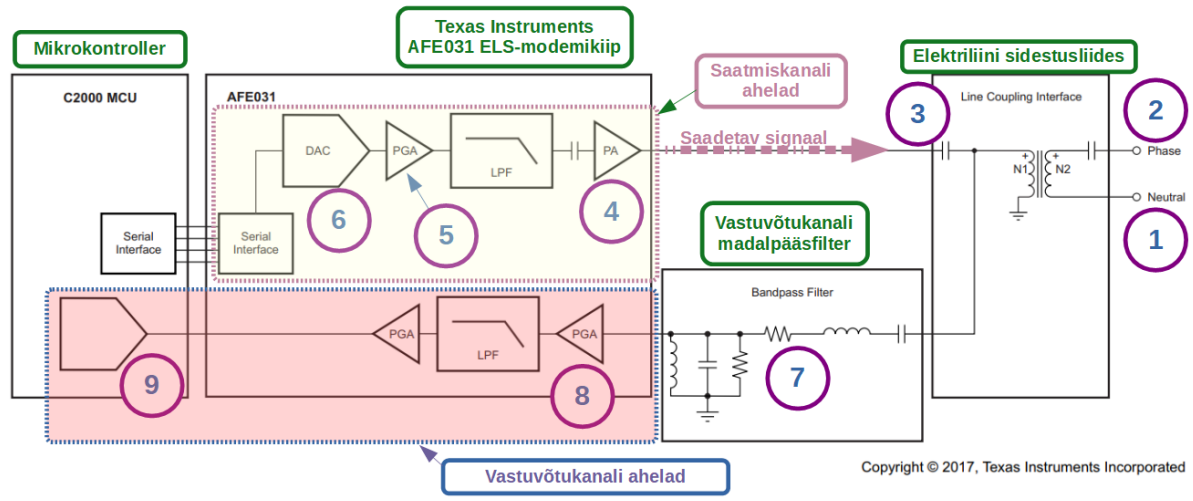
Selleks, et toitesuurustele pealdatud andmesidesignaali eristada, on võimalik rakendada sageduseristuslikku filtreerimist arvestis sees. Et kasutatavad kandevsagedused on üle 1000 korra erineva sagedusega võrreldes energiaülekandeks asutatava suurusega (50 Hz), on selline eristamine suhteliselt tõhus ka suhteliselt lihtsate filtritega. ELS-andmesidemodemites on kasutuses lülitused, mis töötlevad kandevsageduslikke pingekomponente ainult nende andmeedastus-nivoode tasemel, välistades 50 Hz toitesuuruste jõudmise signaalitöötlusahelateni.

Samuti, ELS modemi juures on oluline tuua välja, et ka andmesidesuuruste väljastamine nende lisamiseks 50 Hz toitesuurustele, toimub kõrgel sagedusel ainult nende sageduskomponentide pingesuuruste tasemel, <u>välistades 50 Hz sagedusel esineva toitesuuruse</u>. See tähendab, et

- Kõrgsageduslikku andmesidesignaali pealdamine, selle koormus ja resulteeruv pinge ei sõltu madalpingevõrgus esinevast 50 Hz toitesuuruste väärtusetest;
- Kõrgsageduslikud pinge- (ja voolu-)komponendid ei sõltu jaotusvõrgu 50 Hz toitesuuruste ülekandmiseks vajalike toitesuuruste parameetritest, kuni need ei määra midagi täiendavat kõrgsageduslike suuruste jaoks.

Arvestid ja võrgukontsentraatorid osalevad andmevahetusprotsessides füüsilisel tasemel võrdsetena, seda ka Elektrilevi OÜ jaotusvõrgus. See tähendab, et nii arvesti kui ka kontsentraatori poolt väljastatav andmevahetussignaal on põhimõtteliselt sama tugevusega. Kommunikatsiooniahelate skeemis on nii võrgukontsentraatori kui ka iga arvesti kommunikatsiooniüksuse ahelad enam-vähem identsed. Ühtlasi tähendab see, et andmesidekindluse tagamiseks peab

- võrgukontsentraatori poolt edastatud/väljastatud signaal, mis väljastatakse tasemel 1,65 V (@ 63,3 kHz) ning 1,5 V (@ 74 kHz) jõudma arvestini selliselt, et signaalikomponendi nivoo on vähemalt nõutud SNR väärtuse võrra kõrgem;
- arvesti poolt edastatud/väljastatud signaal, mis väljastatakse tasemel 1,65 V (@ 63,3 kHz) ning 1,5 V (@ 74 kHz) jõudma võrgukontsentraatorini selliselt, et signaalikomponendi nivoo on vähemalt nõutud SNR väärtuse võrra kõrgem.



1 – Ühendus madalpingevõrgu faasijuhiga

2 – Ühendus madalpingevõrgu neutraalijuhiga

3 – Madalsageduslikku suurust blokeeriv kondensaator

4 – Saatja-võimsusvõimendi, mis tagab piisava tugevusega ELS-liidese signaali, et saavutada faasi ja neutraali vahel küllaldane pinge andmete edastamiseks

5 – Saatja signaali tugevust reguleeriv võimendi

6 – Saatja analoogsignaali allikaks olev digitaal-analoogmuundur; selle sisendisse antud numbriline väärtus on aluseks ELS signaali kujundamiseks

7 – Vastuvõtja kandevsageduslik ribafilter, mis eraldab muud sageduskomponendid peale ELS-kandevsagedustel olevate

8 – Vastuvõetud signaali tugevuse alusel reguleeritav võimendi

9 – Mikrokontrolleri juures olev signaali vastuvõetud signaali analoog-digitaalmuundur

Joonis 3-4. ELS-ahelad ja füüsilise kihi komponendid TI AFE031 näitel [5].

Olulisimad funktsionaalsed osad, mis on vajalikud ELS süsteemi realiseerimiseks [5] (vt Joonis 3-4), on järgmised:

Mikrokontroller, mis sooritab

- digitaalse signaalitöötluse funktsioone,
- korraldab andmete dekodeerimist vastuvõtul ja kodeerimist saatmisel
- pakettide koostamist, lahtipakkimist jpm.
- kõrgemate andmesidekihtide funktsioone, sh adresseerimise, andmete krüpteerimise jms seotud toiminguid.

Kommunikatsioonikontroller juhib andmesidesignaalide kuju tüüpiliselt läbi analoog-digitaalmuundamise; samuti jälgitakse vastuvõetud signaali analoog-digitaal-muundamisele järgnevalt.

Digitaal-analoogmuundur, mis mikrokontrolleri poolt ettevalmistatud ja sünteesitud numbrilise suuruse muundab füüsikaliseks suuruseks. Selline numbriline suurus esindab füüsikalise signaali hetkväärtuse taset. Igal hetkel varustab mikrokontroller digitaal-analoogmuunduri uuele tasemel vastava uue väärtusega.

Andmeedastus-(saate-)**ahelas** on digitaal-analoogmuundurile järgnevalt võimsus-võimendid ehk draiverid, mille võimendustegur on muudetav. Sellega tagatakse paindlik sidestamine toiteliiniga, kui toiteliini näivtakistus-koormus on erinevates asukohtades süsteemi jaoks erinev.

- Süsteem on tagasisidestatud ja jälgib, milline on sisestatud pinge tase võrgus.
- Vastavalt näivtakistusele muudetakse väljunddraiveri võimendustegurit selliselt, et võrgu jaoks suurimad pinge lubatud tasemed ei oleks ületatud. Seda kasutatakse mh selle tõttu, et võrgu näivtakistus antud sagedustel võib olla isegi päeva lõikes väga erinev.

ELS modemi füüsilise kihi saateahela väljundiks on toiteliinile tekitatav täiendav pinge, mis on moduleeritud vajaliku sagedusega.

Vastuvõtuahel on filtreeritud selliselt, et sinna lastakse läbi ainult andmeside-kandevsagedusega komponent, eraldades nii 50 Hz põhisageduse kui ka muudel sagedustel esinevad signaalikomponendid. Andmete vastuvõtu ahelas rakendatakse muudetava võimendusteguriga võimendeid, et

- tagada piisav signaalitase analoog-digitaalmuundamise sisendi kontekstis. Silmas tuleb pidada, et vastuvõtmisel võimendatakse nii andmesidesignaal kui ka mürad, kuid võimendus määratakse nende summa alusel. See tähendab, et kui müratase on võimendi sisendis kõrge, võimendatakse suuremaks nii kasuliku signaali osa kui ka müraosa, ning signaali ja müra suhe jääb ikkagi nõrgaks.

Kogu vastuvõetud signaali tuvastamine toimub peale **analoog-digitaalmuundurit**. Selle väljundiks on numbriline suurus, mis kirjeldab vastuvõetud signaali füüsikalise suuruse tasemel hetkväärtust.

Andmevahetuse edukuseks on vaja tagada signaali vastuvõtja juures selline moduleeritud signaali tugevus, milline on vastuvõtjale tuvastatav üheselt dekodeeritava andmesidesignaalina. Juhul, kui signaal-müra suhe on piisavalt kõrge, siis on vastuvõtja võimeline tuvastama saadud signaali korrektse bitiväärtusena.

Toiteliiniga sidestamiseks (ingl. k line coupling) kasutatakse 1:1 kuni 4:1 keerdude suhtega eraldustrafot. Sellega eraldatakse jaotusvõrk ELS-süsteemist galvaaniliselt [4].

Reaalses skeemis toimuvad saatmine ja vastuvõtt eri aegadel, ning saatja ja vastuvõtja-osa täidavad rolle reeglina teineteisest sõltumatult.

Ülaltoodud struktuuris on andmevahetuse füüsikalise kihi juhtimine sooritatud järgmiselt:

- Füüsikaliste pingesuurustega töötavad sidestustrafo, vastuvõtuahela filtrid ja võimendid, saatjaahela võimendid
- Numbriliste suurustega töötavad analoog-digitaal ja digitaal-analoogmuundurid, mis on ühendatud mikrokontrolleri numbriliste andmete üleandmise siinidega.

Struktuuri eripäraks on ulatuslik tarkvaralisel põhjal töötav

- signaali süntees andmete edastamisel, millega põhimõtteliselt luuakse kogu füüsikaline andmesignaal numbrilistest väärtustest;
- signaali ulatuslik töötlemine vastuvõtmisel, millega selgitatakse andmesidet esindavate tunnuste olemasolu vastuvõetud signaalist.

Tarkvaraline signaalide käsitlemine on süsteemi seisukohast kasulik, kuna võimaldab suhteliselt suure osa füüsikalise kihi tööst defineerida läbi tarkvarakoodi, mida saab potentsiaalselt uuendada ilma riistvaramuudatusteta.

3.2 ANDMESIGNAALIDE MODULEERIMINE, SAATMINE JA VASTUVÕTT

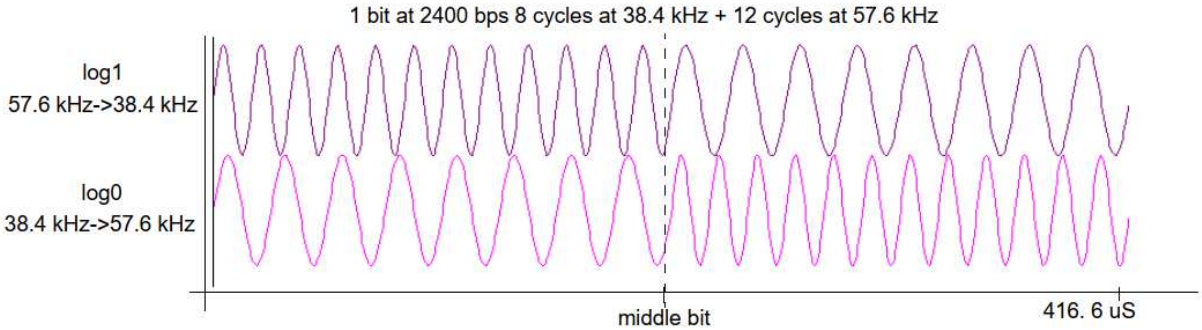
Elektrilevi OÜ ELS rakendab elektriliini andmeside eesmärgil CENELEC A-sagedusriba, et jaotusvõrgu olemasolevate liinide kaudu lugeda keskse IT-süsteemi abil perioodiliselt (tüüpiliselt vähemalt kord päevas ja tihedamini) võrgus töötavatest arvestitest tarbimisandmed. Andmesidesignaalid kasutavad oluliselt kõrgemat sagedust info edastamiseks, kui võrgu põhisagedus 50 Hz, näiteks on Elektrilevi OÜs kasutusel modulatsiooni-kandevsagedused 63,3 ja 74 kHz.

Sagedusribas 3 … 148,5 kHz on toiteliini-andmeside reguleerimiseks füüsilisel tasemel esitatud reeglistik, mis on esitatud mh EVS-EN 50065- seeria dokumentides. Kirjeldatud sagedusriba on jaotatud alamlõikudeks

- 3 … 95 kHz on nn CENELEC A-sagedusriba
- 95 … 125 kHz on nn CENELEC B-sagedusriba
- 125 … 140 kHz on nn CENELEC C-sagedusriba
- 140 … 148,5 kHz on nn CENELEC D-sagedusriba

Sagedusriba 3 … 95 kHz on määratletud kui spetsiifiline riba, mida ei tohi rakendada muuks, kui toitevõrgu juhtimise ja seal tehtavate mõõtmistega seotud kommunikatsiooniks (EVS-EN 50065-1:2011). Teisi sagedusribasid (95 … 148,5 kHz) on lubatud samuti kasutada piirangutega, sh koduautomaatika ja hoonesisene kommunikatsioon, või siis hooneväliste madalpingevõrku ühendatud süsteemide juhtimine ja jälgimine (sh tänavavalgutus, elektriautode laadimine jms).

Elektrilevi võrgus toimub andmete edastamine signaali S-FSK modulatsiooniga vastavalt dokumendis IEC 61334-5 sätestatule ja kiirusega 1200 või 2400 b/s (bitti sekundis). See on üks kõige tüüpilisim modulatsioon, mida ELS juures kasutatakse.



Joonis 3-5. FSK modulatsiooni põhimõte 1 biti edastamiseks, kui kasutatakse Manchesteri kodeeringut [2]. Ülemine olukord kajastab andmebiti väärtuse „1" edastamist, alumine andmebiti väärtuse „0" edastamist. Märkus: Elektrilevi OÜ võrgus on kasutusel kodeerimissagedused 63,3 kHz ja 74 kHz.

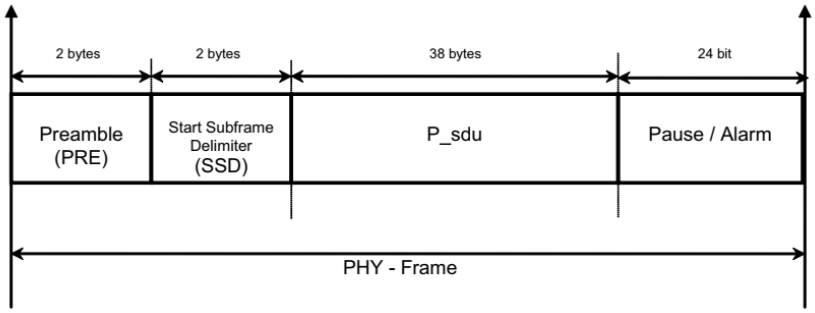
S-FSK modulatsiooni korral on kasutuses 2 erinevat sagedust, millest ühe sageduse rakendamine tähistab olekut „kõrge" ja teine olekut „madal". Rakendatakse nn Manchesteri kodeerimist, siis ühe biti edastamine toimub kahe järjestikuse oleku saatmisega, millega tagatakse kandevsagedusliku signaali nii kõrges ja madalas olekus

viibimine ühe biti saatmise jooksul (vt näide Joonis 3-5). Sellise andmeedastuse kodeerimise eelis on see, et bitiväärtuse vahetus toimub iga biti saatmise käigus ja seda on potentsiaalselt kergem süsteemide jaoks märgata.

Signaali edastamiseks kasutatakse võrgupinge nullist läbiminekuga sünkroniseerimist. Nt kiirusel 2400 b/s kulub 1 baidi (1 B = 8 b (bitti)) edastamiseks aega u. 3,3 ms. Ühe võrgusagedusliku pingevõnkumise poolperioodi (10 ms) jooksul edastatakse kuni 3 baiti.

Ühe andmebiti edukaks vastuvõtmiseks peab ELS-modemini jõudma signaal, milles on selgelt eristatav püsiv kindlate sagedusetega pingekomponendi olemasolu, piisavalt pikaajaliselt. Ühe biti edastamiseks rakendatakse kokku u. 417 μs pikkust ajavahemikku (kiirusel 2400 b/s). Seejuures edastatakse järjestikuseid bitte ka ajaliselt teineteisele järgnevalt, ilma pausideta. Andmebittide edastamine toimub sünkroniseerituna võrgu põhisagedusliku komponendi (50 Hz) nullist läbimineku hetkedega [3].

IEC 61334-5 kohaselt edastatakse ELS süsteemis andmed pakettidena, mille pikkuse näitena on 45 baiti (360 bitti) (vt Joonis 3-6) [3].



PRE – sünkroniseeriv päis, püsiva väärtusega AAAAh, pikkus 2 baiti

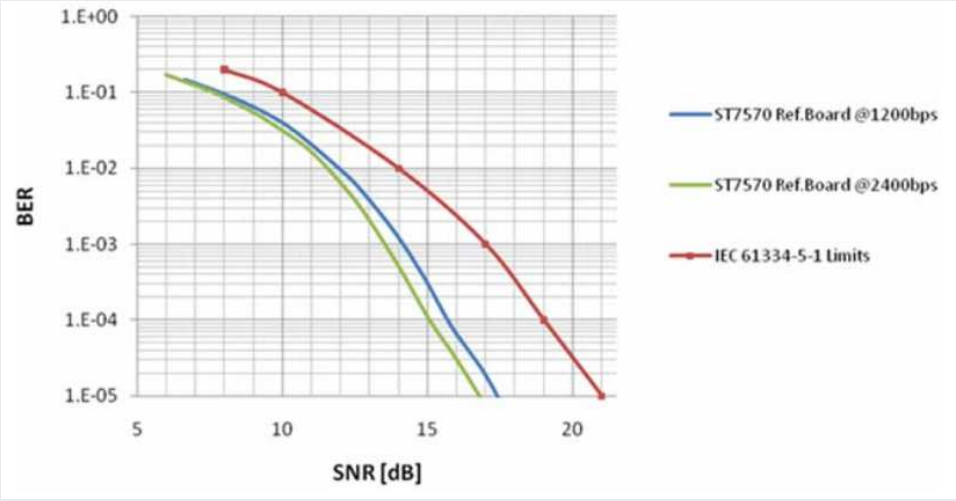
SSD – paketi algsümbol, püsiva väärtusega 547Ch, pikkus 2 baiti

P_sdu – üle kantavad andmed, pikkus 38 baiti

Pause/alarm – täiendav signaliseering, pikkus 3 baiti

Joonis 3-6. EN 61344-5-1 ühilduva andmepaketi ülesehituse näide [3].

Sellise paketi edastamiseks, andmeside edukuse baaslävendi paketi edukuse tõenäosusega $p_{PakettOK}$ > 5% jaoks on vaja tagada bitivea esinemise tõenäosus BER < $8{,}3 \cdot 10^{-3}$. ST7570 ELS modemi näitajate juures on selleks vaja tagada signaal-mürasuhe tasemel SNR > 12 dB.



Ligikaudsed signaal-müratasemed	SNR, dB	SNR, (abs.)	1/SNR (abs)
$p_{PakettOK}$ > 5%: BER < 8,3 · 10^{-3}	12	0,25	4,0
$p_{PakettOK}$ >20%: BER < 4,5 · 10^{-3}	13	0,22	4,5
$p_{PakettOK}$ >95%: BER < 1,4 · 10^{-4}	16	0,16	6,3

Joonis 3-7. Bitivea tõenäosused sõltuvalt signaal-mürasuhtest SNR modemikiibi ST7570 tootjapoolsete andmete näitel [3]. 1/SNR näitab siin, kui mitu korda peaks signaali intensiivsus olema suurem müratasemest.

Tuleb silmas pidada, et signaal-mürasuhe tuleks leida mõlemale kasutatud sagedusele eraldi. Siin tähendab see seda, et elektriliinisides kasutatavatele 63,3 kHz sagedusega komponendile kui ka 74 kHz komponendile tuleb leida SNR sõltumatult. Eduka side eelduseks on mõlemal sagedusel oleva pingekomponendi jaoks hea SNR näitaja, see tähendab, et müratase nii 63,3 kHz kui ka 74 kHz sagedustel on piisavalt madal.

Antud uuringu raames on katseliselt selgitatud ka tõenäolisi SNR tasemeid, mis oleksid eduka andmeside eelduseks. Elektrilevi OÜs kasutatavaid seadmeid kajastava katse tulemused on esitatud antud aruande peatükis „7.1 Katsed praktilises laboratoorses keskkonnas".

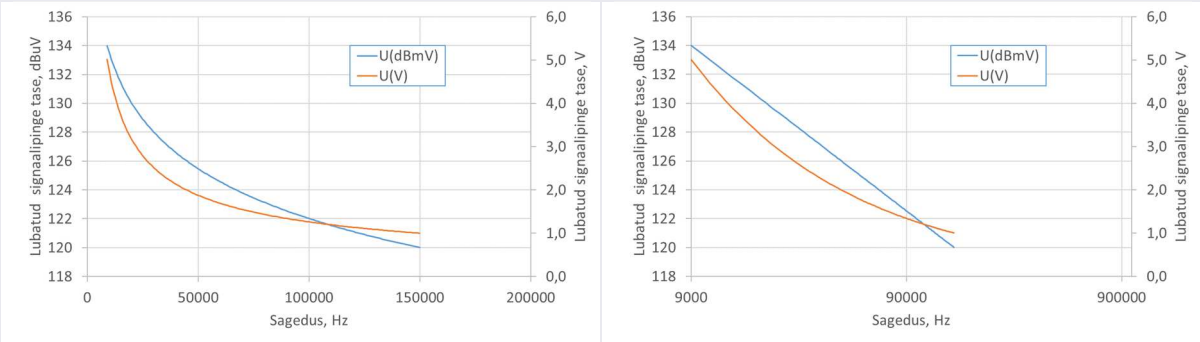
Andmebiti moduleerimine ja demoduleerimine, sh saadetavale andmebitile vastava füüsikalise signaalikuju ettevalmistamine (kodeerimine), ja vastuvõetava andmebiti eristamine ja väärtuse dekodeerimine toimub tarkvaraliselt, kuid on füüsilise kihi osa.

3.3 SIGNALISEERIMISSUURUSTE TASEMED JA PIIRTINGI-MUSED

Elektriliiniside-süsteemide (ELS) poolt kasutamiseks lubatud signaliseerimistase on antud dokumendis EVS-EN 50065-1. Täiendavalt on sama sisu kajastatud mh ka avalikus elektrivõrgus rakendamiseks, kus signaliseerimispingete tasemete väärtus on täiendavalt sätestatud EVS-EN 50160 standardis.

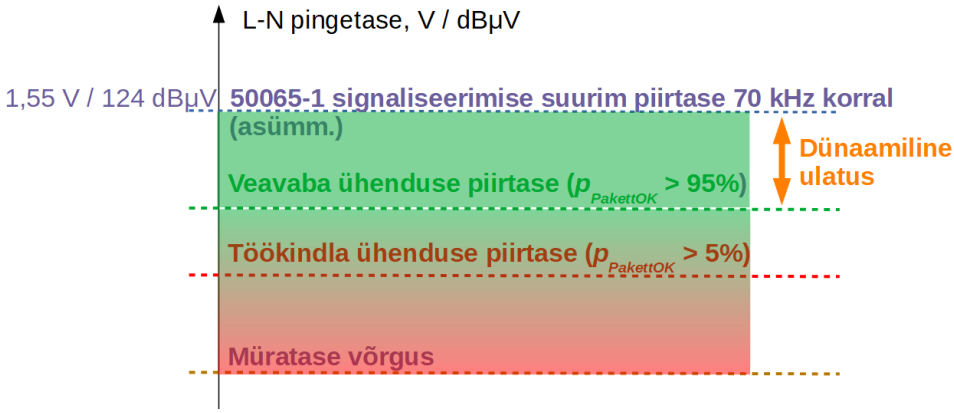
EVS-EN 50065-1 kohaselt on andmevahetuseks lubatud rakendada signaliseerimispingeid sagedusribas 9 … 95 kHz alljärgnevalt:

- Ühefaasilistel seadmetel 134 –> 120 dBµV (5 V –> 1 V)
- Kolmefaasilistel seadmetel, samaaegsel andmeedastusel kolme faasi- ja neutraaljuhi vahel 128 -> 114 dBµV (2,5 V –> 0,5 V).
- Kolmefaasilistel seadmetel muudel juhtumitel 134 –> 120 dBµV (5 V –> 1 V)



Joonis 3-8. EVS-EN 50065-1 kohaselt lubatud ELS-signaalipinge tasemed.

Andmeside töökindluse tingimused, nagu eelnevalt kirjeldatud, võtavad aluseks signaal-mürasuhte SNR väärtused. Teades lubatud signaliseerimispingete tasemeid, on võimalik kirjeldada oodatavad talitlusstsenaariumid.



Joonis 3-9. ELS süsteemi tööks vajalike signaalitugevuste tähendus [6].

Praktilises talitluses võib eristada teatud piirmäärasid, mis iseloomustavad signaali tugevuse taset ja side edukust (vt Joonis 3-9). Ülaltoodud joonisel on võrdlevalt esitatud erinevad tasemed, mis märgivad signaliseerimispingete võimalikke väärtuseid ja nende tasemete rolle.

1) „ELS suurim võimalik signaliseerimise tase" on maksimaalne piirnormide kohane kommunikatsioonipinge.
   - Määratud EVS-EN 50065-1:2011 standardis tooduga, mille alusel võib see olla kuni u 1,55 V sagedusel 70 kHz. (1,64 V sagedusel 63,3 kHz ning 1,50 V sagedusel 74 kHz)
2) „ELS veavaba piirtase" on selline kandja signaali tase, millest alates paketivead on vähetõenäolised (100% > $p_{pakettOK}$ > 95%);
   - Selleks peab andmesidesignaali tase olema vähemalt 16 dB (6,3 korda) kõrgem kui müratase võrgus (ülaltoodud ST7570 näitel [3]);

3) „ELS töökindel piirtase" kajastab kandja signaali taset, millega edukalt edastada terviklikke pakette (95% > $p_{pakettOK}$ > 5%);
   - Selleks peab andmesidesignaali tase olema vähemalt 12 dB (4 korda) kõrgem kui müratase võrgus (ülaltoodud ST7570 näitel [3]);
4) „ELS ebatöökindel nivoo" on selline kandja signaali tase, millega ei ole võimalik sooritada töökindlat andmete ülekannet (5% > $p_{pakettOK}$ > 0%).
   - Sellisel juhul on andmesidesignaali tase vähem kui 12 dB (4 korda) kõrgem kui müratase võrgus (ülaltoodud ST7570 näitel [3]);
5) „Müratase" on võrgus esinev tegelik müratase;
   - Kuigi müratase võib olla väga erinev, siis müratasemе oodatavate tasemete kirjeldamisel saab lähtuda teatud määral erinevate tootestandardite poolt kehtestatud piiridest (kui need on sätestatud).

Alljärgnevalt vaatleme hinnangut süsteemile numbrilisest perspektiivist.

Müratasemе baasväärtuse kohta on lähtealuseid võimalik leida tootestandarditest, millised määratlevad konkreetse standardi toodetele sätestatud nõuded. Kuigi ELS sagedusvahemikes (alla 150 kHz, vt ka EMÜ peatükk) ei ole piiranguid kehtestavaid standardeid palju, siis võib aluseks võtta EVS-EN 55014-1 (induktsioon-kuumutuspliidid) ja EVS-EN 55015 (valgustid) piirnormid, mis on põhimõtteliselt 1:1 omavahelises vastavuses. Tuleb siiski rõhutada, et võrgus mitmete samal ajal koos talitlevate seadmete müraemissioon võib olla ka kordades kõrgem. 70 kHz sagedusel on nimetatud standarditele vastava müratasemе suurim lubatud tase u. 86 dBμV ~ 0,02 V (20 mV).

Töökindla andmevahetuse piirtase on signaal-mürasuhte võrra müratasemest kõrgem andmesidesignaali tase, mille korral on võimalik realiseerida usaldusväärne pakett-andmeside ($p_{pakettOK}$ > 5%). Ülaltoodud ST7570 [3] näite alusel peab see olema 12 dB ~ 4 korda müratasemest kõrgem, see on 98 dBμV ~ 0,08 V (80 mV). Sellise tugevusega signaali jõudmisel ELS vastuvõtjasse peaks olema tagatud paketi vastuvõtt selliselt, et vähemalt 5% andmepakettidest jõuab terviklikult kohale.

Veavaba andmevahetuse piirtase on signaal-mürasuhte võrra müratasemest kõrgem andmesidesignaali tase, mille korral on võimalik realiseerida usaldusväärne pakett-andmeside ($p_{pakettOK}$ > 95%). Ülaltoodud ST7570 [3] näite alusel peab see olema 16 dB ~ 6,3 korda müratasemest kõrgem, see on 102 dBμV ~ 0,12 V (120 mV). Sellise tugevusega signaali jõudmisel ELS vastuvõtjasse peaks olema tagatud paketi vastuvõtt selliselt, et vähemalt 95% andmepakettidest jõuab terviklikult kohale.

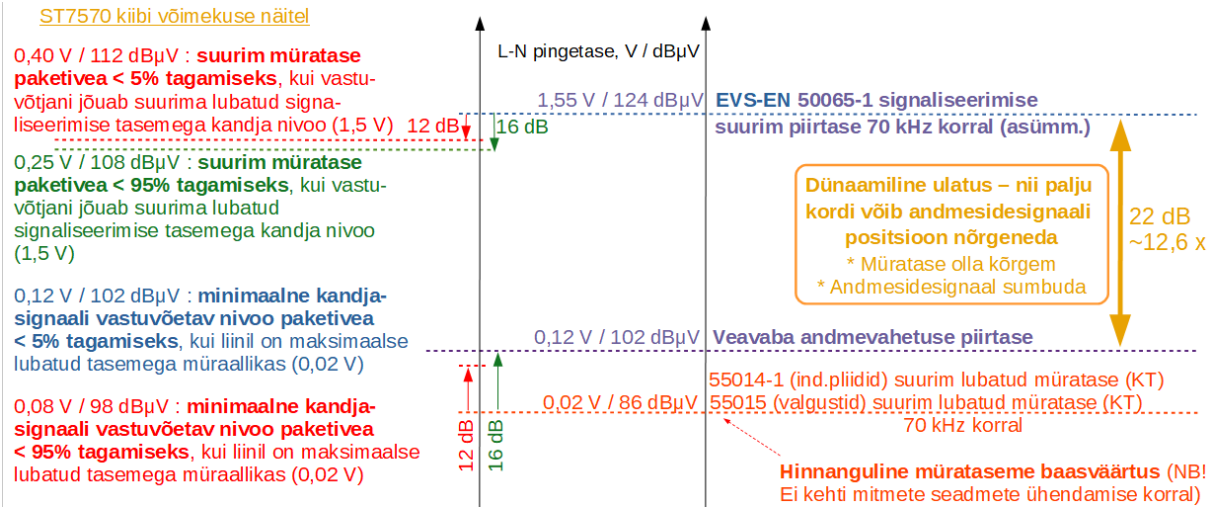
Antud uuringu raames on müra- ja signaalitasemeid, millised määravad andmevahetuse edukuse, kajastatud praktiliste katsete tulemustena peatükis „7.1 Katsed praktilises laboratoorses keskkonnas".

Vaatleme järgnevalt lähemalt vahemikku, mis ülaltoodud graafikul (vt Joonis 3-9) on tähistatud kui „Dünaamiline ulatus". Siin tähistab see talitlusvahemikku, mille korral on tagatud probleemideta andmeside ($p_{pakettOK}$ > 95%). See tähistab suuruste vahemikku, millises võib andmeside-kandevsignaali olukord nõrgeneda ilma tagasiminekuta andmeside kvaliteedis. See tähendab, et

- Normikohase madala müratasemega võrgus võib kandevsignaal nõrgeneda/sumbuda teekonnal saatjast vastuvõtjasse kuni 22 dB / u. 12,6 korda, et säiliks väga hea andmeside töökindlus;

- Väga hea signaalitugevusega ahelas, milles ei esine märkimisväärset signaalitugevuse nõrgenemist, võib müratase olla kuni 22 dB / u. 12,6 korda kõrgema tasemega võrreldes näites esitatud normide EVS-EN 55014-1 / EVS-EN 55015 piirtasemetega, ilma et toimuks märkimisväärset andmeside töökindluse nõrgenemist.

Loetletud piirid ja tasemed on kajastatud ka alloleval diagrammil (vt Joonis 3-10).



Joonis 3-10. ELS-signaliseerimise ja müratasemete piirnormide võrdlus.

Võrdluseks, hinnanguline signaali kogumarginaal (müra->signaliseerimise piir) on 45 … 50 dB tasemel 9 … 95 kHz ning 52 – 56 dB ribas 95 … 148,5 kHz [6]. Elektrilevi OÜ võrgus ei ole müratasemet ning sellest tingitud bitivea tõenäosust statistiliselt hinnatud.

Antud uuringu raames on katseliselt selgitatud ka tõenäolisi SNR tasemeid ja müra ja signaalitasemete absoluutväärtuseid, mis oleksid seadmete võimekusest lähtuvalt eduka andmeside eelduseks. Elektrilevi OÜs kasutatavaid seadmeid kajastava katse tulemused on esitatud antud aruande peatükis „7.1 Katsed praktilises laboratoorses keskkonnas".

3.4 ANDMEVAHETUSIGNAALI SUMBUMUS JA NÕRGENEMINE

3.4.1 JAOTUSVÕRGU MADALSAGEDUSLIK JA KÕRGSAGEDUSLIK ASESKEEM

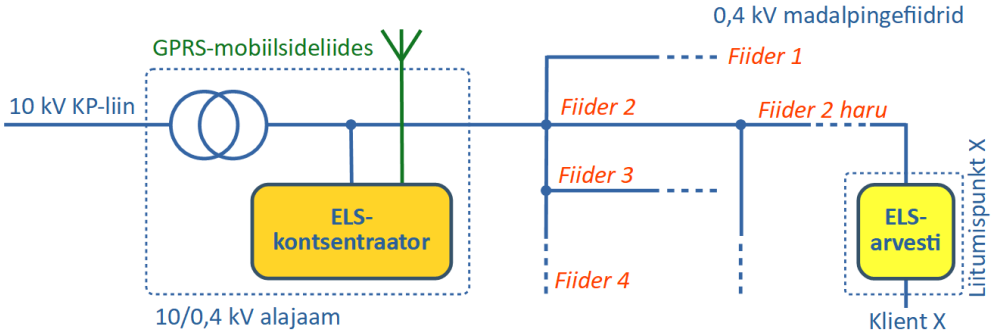
Madalpinge-jaotusvõrgu vaade alajaamaga ühendatud liinidele ja fiidritele on esitatud alloleval skeemil (vt Joonis 3-12). Selle aluseks on lihtsa radiaalvõrgu topoloogia (vt Joonis 3-11), milles alajaamast väljuvate toitefiidritele andmeedastust tagav kontsentraator on paigaldatud otse alajaama lattidele. Iga süsteemi koosseisus olev fiider ja liin kujutab süsteemi jaoks endast koormust, mida saab esindada lihtsaimas aseskeemis kui kompleks-näivtakistust.

Füüsikaliste printsiipide vaates on järgnevalt jagatud esitus kahte ossa: üks puudutab jaotusvõrgu, milline on sarnane näiteks Elektrilevi OÜ madalpingevõrgule, toitesageduslikku aseskeemi ja teine ELS-sagedusribas vastavat aseskeemi. Selliste skeemide koostamise alused on allikate jm sagedussõltuvate parameetrite käsitlemine läbi nende vaatlemise allikatena. Aseskeemis olevad (ideaalsed/ideaalilähedased) allikad on kirjeldatavad järgmiselt:

1) Pingeallikad on sagedustel, millistel neil on elektromotoorjõu toime, kajastatavad pingeallikatena. Muudel sagedustel on need kajastatavad kui lühised.
2) Vooluallikad on sagedustel, millistel neil on voolu tagav toime, kajastatavad vooluallikatena. Muudel sagedustel on need kajastatavad kui katkestus/lühis.

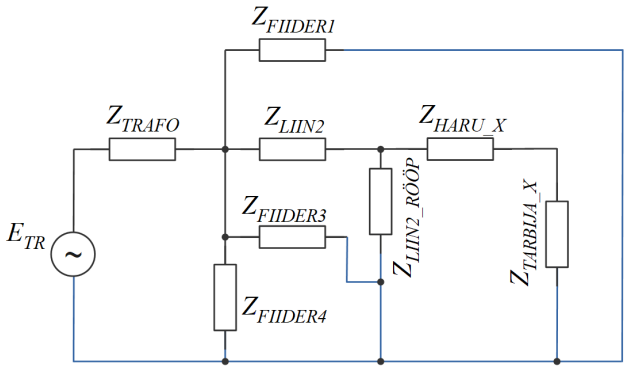
3.4.1.1 JAOTUSVÕRGU TOITESAGEDUSLIK (50 HZ) ASESKEEM

50 Hz sageduse jaoks toimivas aseskeemis on toiteks faasi ja neutraali vahel töötav trafo, mille allikatakistust kajastab Z_{trafo}. Sellel sagedusel on liine kirjeldavad näivtakistused sagedamini induktiivse iseloomuga. Tähelepanu tuleb juhtida asjaolule, et kõikide kajastatud näivtakistuste Z ja ka allikate väärtused on sagedussõltuvad.



Joonis 3-11. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpinge-jaotusvõrgu skeemi näide.

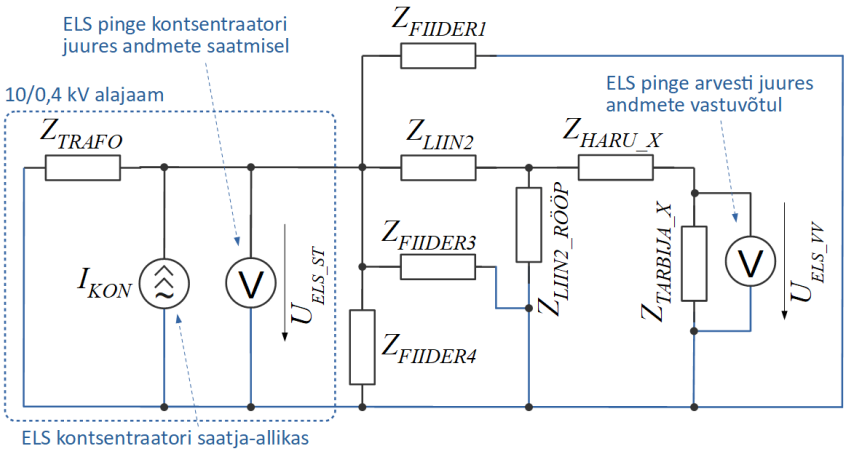
Ülaltoodust lähtuvalt, ei ole 50 Hz madalsageduslikus aseskeemis kajastatud ELS-kontsentraatorit ega ka arvestit, nende ELS-talitlusega seotud osade vaates. Viimased on esitatud alles aseskeemil, mis kirjeldab tööd kõrgematel sagedustega (50+ kHz).



Joonis 3-12. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpingevõrgu (vt Joonis 3-11) madalsageduslik aseskeem.

3.4.1.2 JAOTUSVÕRGU ELS-SAGEDUSLIK (50+ KHZ) ASESKEEM

Kõrgemate sageduste jaoks (sh võttes arvesse, et 50+ kHz sagedustel töötava ELS kandevsagedus on üle 1000 korra kõrgem põhisagedusest 50 Hz) on aseskeemi ülesehitus aga ka parameetrite väärtused olulisel määral erinevad. Siin ei ole võrgutrafo enam töös allikana, vaid esindab enda kõrgsageduslikku käitumis-aseskeemi lühisega. Ahelas on tähtsal kohal kontsentraator, kuna tema toime avaldub nimelt kõrgetel sagedustel (vt Joonis 3-13).



Joonis 3-13. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpingevõrgu (vt Joonis 3-11) ELS-kandevsageduslik aseskeem [7].

Ülaltoodud joonisel (vt Joonis 3-11) esitatud aseskeemiga on võimalik kajastada ELS-andmesidekomponentide jaoks talitlevat ahelat Elektrilevi OÜs rakendatud ELS-süsteemi vaates.

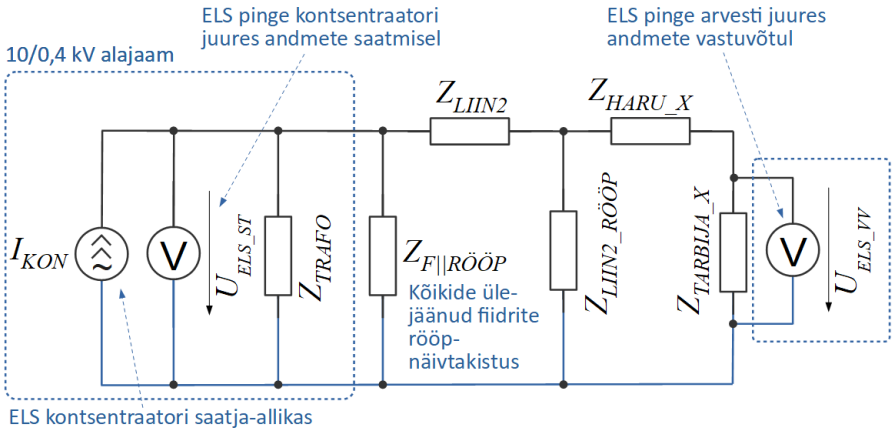
3.4.2 SIGNAALI NÕRGENEMINE

Signaali nõrgenemist teekonnal allikast vastuvõtjani saab vaadelda hargnevate ühendustega liinidel kui

- Sumbumist läbi kadude, kus andmesidesignaalile rakendub aktiivkadu, milline vähendab signaali taset;
- Signaali hajumist erinevatesse harudesse, milline jaotab andmesidesignaali pinge/voolusuuruse vastavalt harude elektrilistele parameetritele.

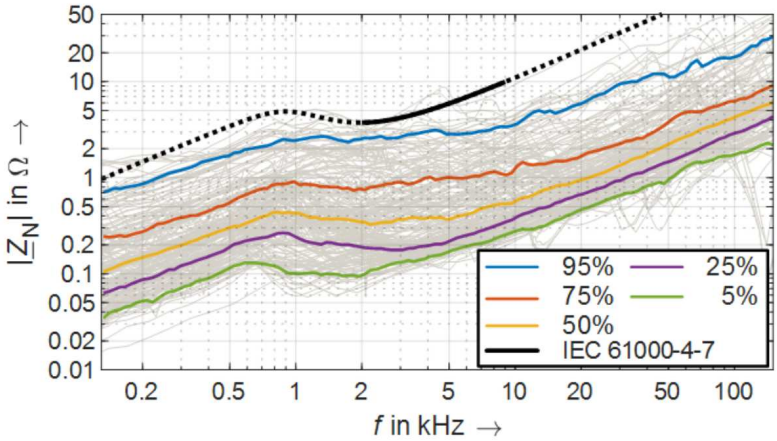
Sumbumist ei ole kirjanduses otseselt suuremate probleemide hulgas loetletud, kuigi seda nimetatakse koostoimelise signaali nõrgenemise üheks osaks.

Hajumist saab vaadelda aseskeemis kui andmeside kandevsageduslikku signaalipinge jagunemist pingejaguritel. Iga pingejagur moodustub liini ja sellega ühendatud haru näivtakistustel (vt Joonis 3-14).



Joonis 3-14. Lihtsa radiaaltopoloogiaga madalpingevõrgu (vt Joonis 3-11) ELS-kandevsageduslik aseskeem.

Kuigi siin on samuti keeruline määratleda hajuvust määravate näivtakistuste suhteid, saab aluseks võtta uuringute tulemusi. Näiteks on [8] esitatud alajaamast kontsentraatori jaoks nähtav näivtakistuskoormus, seda ka laias sagedusribas. Uuringu tulemused toetuvad mitmetes riikides läbi viidud sarnastele uuringutele ja lubavad eeldada, et samasugune olukord on ka Elektrilevi OÜ madalpingevõrgu kontekstis. Tegelikus elektrivõrgus on näivtakistus 70 kHz sagedusel oodatavalt 2 … 5 Ω, laiendatult 1 … 10 Ω (vt Joonis 3-15).



Joonis 3-15. Näivtakistus jaotusvõrgus (mõõtmistulemused Euroopas läbi viidud uuringust) [CIRED19].

Sellise näivtakistuse korral on võrgu kontsentraatorile rakendumas ühest küljest oluliselt suurem koormus, kui EVS-EN 50065-1 alusel võiks eeldada. Kõnealune standard pakub välja ka liini näivtakistuse suurused, millised oleksid kehtivad võimalikult suurele hulgale jaotusvõrkude liinidele ja fiidritele. Nii on ELS seadmete võimekuse katsetamiseks koormusena ühendatavaks etalonväärtuseks sätestatud mõõtevõrk takistusega 50 Ω ‖(50 μH + 5 Ω) (vt CISPR16-2-1, EVS-EN 50065-1). Osutub, et ELS standardijärgse mõõtevõrk-koormuse näivtakistus on suhteliselt kõrge, võrreldes väärtusega, mis jaotusvõrgus tegelikult tõenäoliselt ELS väljundi jaoks esineb, lähtudes viimastest laiaulatuslikest uuringutulemustest (vt Joonis 3-15). Kui sagedusel 70 kHz oleks CISPR16-2-1 kirjeldatud mõõtevõrgu näivtakistus ligikaudu 20 Ω (vt ka EVS-EN 50065-1), siis

katsete järgselt on väga tõenäoline ka see, et tegelik takistus alajaamas on 2 Ω (vt Joonis 3-15).

Kirjeldatud väikese näivtakistusega võivad kaasneda järgmised probleemid:

- Liini andmeside draiveri võimekus ei pruugi enam olla piisav selleks, et tagada nõuetekohane signaliseerimispinge oma väljundi asukohas. Kui draiverid ja *frontend*-liidese komponendid tagavad u 1,5 A väljundvoolu, oleks 74 kHz juures see täpselt piisav näivtakistus-koormuse 1 Ω korral, et tagada lubatud signaalipinge tase 1,5 V. Madal näivtakistus-koormuse väärtus võib olla madalat signaliseerimispinge taset selgitav aspekt juhtudel, kus viimane osutub oluliselt madalamaks lubatud piiridest ja seadistustest hoolimata.
- Liinil olevast arvestist saabuv signaal võib jääda viimases osas „kaablile", kuna alajaama näivtakistus on kaabli takistusega samas suurusjärgus. Pingejaguri reeglite alusel, on võrdsete takistustega komponentidel jagunemine võrdeline komponentide takistustega. Suure näivtakistus-koormus olukorras peaks kaabli jadatakistus olema tühiselt väike võrreldes koormuseks oleva näivtakistuse väärtusega; seetõttu kaablite ühenduste pingejaguri-efekt peaks olema väike.

Kaugus alajaam-tarbija ei ole üldiselt lühike; alajaamast esimese tarbijani fiidril võib vahemaa olla sadades meetrites. See tähendab juba tõenäoliselt märkimisväärset signaali nõrgendavat efekti liini/kaabli näivtakistusel teekonnal esimese tarbijani. Kuigi ühe lahendusvariandina võiks kaaluda võrgukontsentraatorite rakendamist punktides, mis on arvestitele topoloogiliselt lähedaseimad (sh kasutada mitut kontsentraatorit liinil), siis piirab seda võimalust antud hetkel andmeside kõrgema taseme (haldussüsteemi) printsiip, mis näeb ette ühe arvesti registreerimise ainult ühe kontsentraatori juures (vt 3.5 ELS kõrgema taseme funktsionaalsed piirangud).

3.4.2.1 PIKA LIINI NÄHTUSED

Kandevsagedusliku signaali lainepikkuse saab leida valemiga

$$\lambda = \frac{f}{c}$$

kus f – signaali sagedus, c – valguse kiirus ülekandekeskkonnas (õhuliinil $c \sim 3 \cdot 10^8$ m/s; kaablites $c \sim (1{,}5 \ldots 2) \cdot 10^8$ m/s).

- Sagedusel 63,3 kHz on lainepikkus $\lambda_{63300} \sim 7{,}4$ km õhuliini jaoks ning ~ 3,7 km kaabelliini jaoks;
- sagedusel 74 kHz on lainepikkus $\lambda_{74000} \sim 4{,}1$ km õhuliini jaoks ning ~ 2,1 km kaabelliini jaoks.

Tuleb rõhutada, et pika liini nähtused, sh

- peegeldumised liinide lõpust, mille raames pinge/voolusuuruste muutused peegelduvad liinide lõpust/lainetakistuse muutumise asukohast ning tulemusena esinevad korduvad dünaamilised protsessid, mille läbi esinevad signaali moonutused ning täiendavad sageduskomponendid;
- seisevlaine olukorrad liinil, kus erinevate võnkumiste peegelduste tulemusena keset liini esinevad teatud madalama ja kõrgema signaalitasemega asukohad liini geomeetrilisel pikkusel;

muutuvad tõenäoliselt oluliseks alates liinide pikkusest u. λ / 4. See võib hakata ELS-signaali kvaliteeti mõjutama pikemate liinide korral.

Elektrilevi OÜ jaotusvõrgus on ka liine, mille pikkuse korral hetkel kasutatavatel ELS-kandevsagedustel võib esineda peegeldusi või seisevlainenähtusi, millised võivad osutuda ELS-andmeside jaoks segavateks.

3.5 ELS KÕRGEMA TASEME FUNKTSIONAALSED PIIRANGUD

Elektrilevi OÜ poolt kasutatava ELS-süsteemi teatud funktsionaalsus määrab reeglid ja põhimõtted kõrgematel andmesidekihtidel, millised otseselt mõjutavad ELS madalamate kihtide tööd, sh andmesidekindluse näitajaid.

S-FSK PLAN+ ning IEC 61334-5 kohastes süsteemide jaoks on andmevahetust korraldav lüli ELS-kontsentraator, milliseid saab korraga samal fiidril olla töös üks. Selline ülesehitus tähendab, et iga arvesti vahetab korraga andmeid ühe konkreetse kontsentraatoriga. Haldussüsteemi automaatsete toimingute võimaluste piirangute tõttu ei ole võimalik ühele fiidrile ühendatud mitut ELS-kontsentraatorit ka ajaliselt vaheldumisi tööle seada.

- Arvestite haldussüsteemi jaoks tähendab selline ülesehitus, et iga arvesti on registreeritud konkreetse kontsentraatoriga. Haldussüsteem hoiab üleval ka andmebaasi, milline arvesti kuulub millise kontsentraatori suhtlusalasse. Käsitsijuhtimisega on seevastu võimalik lülitada ELS-kontsentraatoreid töösse ja välja, kuid selline tegevus on kohmakas, haldussüsteemil automaatsete toimingute poolt mittetoetatud ning aeglane (arvestite uus „avastamine" jms funktsioonid).

Ühe konkreetse arvesti ja ELS-kontsentraatori andmeside-paari automaatse halduse toiming tähendab samas seda, et pikematel liinidel, kus on märgatav ELS-signaali sumbumus, ei ole võimalik rakendada mitmes liini punktis täiendavat ELS-kontsentraatorit. Viimane omaks sellele lähemate arvestite jaoks paremat S/N näitajat. Mitut ELS-kontsentraatorit omava liini jaoks peavad selle erinevad arvestid olema paigutatud selliselt, et üks ELS-kontsentraator ei oleks võimeline suhtlema teiste sellel liinil olevate kontsentraatoritega.

Kirjeldatud ühe ELS-kontsentraatori ja arvesti omavahelise suhtluspaari fikseerimine ja jäikus on tingitud otseselt kõrgema taseme haldussüsteemi funktsionaalsusest. Sellise funktsionaalsuse määrab ära tarkvara ülesehitus.

3.6 KOKKUVÕTE JA TÄIENDUSVÕIMALUSED

Elektrilevi avalikus madalpingevõrgus kasutatav lahendus pakub kasutatavatel kandevsagedustel järgmiseid omadusi:

1) Lubatud signaalipinge sagedusel 63,3 kHz – 1,64 V ning sagedusel 74 kHz – 1,50 V;

Signaalipingete määratlus standardist EVS-EN 50065-1, kuid piiratud mitte ainult standardiga. Nimelt peab signaliseerimispinge tase jääma oluliselt alla seadmete häiringukindluspiiri, mis uuema dokumendi EVS-EN 61000-4-19 kohaselt on sagedusel 63,3 kHz 4,0 V, sagedusel 74,4 kHz 3,4 V.

2) Lubatud kandevsignaali sumbumus, lähtudes võimalikust dünaamilisest ulatusest, on siin näites u 22 dB, mis on u. 12,6 korda. Nii palju võib andmesidesignaal sumbuda teekonnal saatjast vastuvõtjasse, et andmeside kvaliteedis ei oleks erinevusi.
3) Lubatud baasmürataseme reaalne tase, lähtudes võimalikust dünaamilisest ulatusest ja tootestandarditega määratud väärtustest, on siin näites u 22 dB, mis on u. 12,6 korda. Nii palju võib tegelik müratase võrgus olla kõrgem, kui standardijärgne väärtus, et andmeside kvaliteedis ei oleks erinevusi. Viimane eeldab siiski minimaalset sumbuvust signaali ülekandel.
4) Sumbumuse määrab olulisel tasemel liini eri harude näivtakistuste suhe ELS kandevsagedustel. Olemasolevad allikad annavad alust oletuseks, et oodatav näivtakistuse väärtus on väga väike. See esitab piirangud nii kontsentraatori poolt välja saadetavale signaalile kui ka arvestist ELS-kontsentraatorini jõudvale signaalile.

ANDMESIDE TÖÖKINDLUSE PARENDAMISE KAALUTLUSED

1) ELS-kontsentraatorite paigaldamine väljapoole alajaama

- ELS-signaalide sumbumine ja nõrgenemine on eeldatavalt igast hargnemispunktist tingitud nähtus. Alajaam toimub väljuvate fiidrite vaates eeldatavalt samamoodi, kui mingi muu, samal hulgal hargnemisi ning koormusi omav punkt. Juhul, kui alajaamast väljuvad liinid on väga suurte hargnemiste arvuga, siis on otstarbekam kaaluda ELS-kontsentraatori paigaldamist alajaamast välja, hargnemiste alusel vaadeldavasse muusse asukohta.
- Täpse asukoha määratlus on siiski keeruline ja sõltub võrgu ühendustopoloogiast, kasutatavate kaablite pikkustest jms. Antud lahendus võib pakkuda ELS-side kindlusele märgatavat paranemist, kui näiteks alajaamast väljub vähe fiidreid, ja mõni neist on eriti suurte hargnemiste arvuga. Sellisel juhul tuleks kaaluda ELS-kontsentraatori paigaldamist punkti, mis on suurema hargnemiste arvuga liinil, kuid suhteliselt alajaama lähedal.

2) Täiendav diagnostikameetod tugeva müra olemasolu, mis on põhjustatud rikkega toiteseadmete tööst, määramiseks ja allika kindlakstegemiseks

Antud meetodi selgituse taust põhineb peatükile „7.2 Katsed ELS-häirivate seadmete EM-emissiooni taseme ja nõuetele vastavuse määramiseks"

- Rikete tõttu tugevat müratasset omavate seadmete poolt põhjustatud andmesidehäiring ei ole hetkeliselt ilmnev, vaid selleni viib seadme jätkuv müraemissiooni taseme kasv. Kuigi mürataseme ja andmeside edukuse trend on järsk ja mittelineaarne (vt Joonis 3-7), siis enne andmeside täielikku katkemist on suure tõenäosusega märgata ELS-arvesti saadavuse olulist nõrgenemist. Selle tunnistuseks on andmesidevõimekuse kontrolli (nn pingimise) tulemuste märkimisväärne nõrgenemine. Näiteks sooritades iga arvestiga 10 *pingi*, on suure tõenäosusega märgata, et seadme sisemise rikke tõttu kerkiva mürataseme tõttu kahaneb pingide edukus süsteemselt 100%-lt mingi aja jooksul, 0% lähedale.
- Andmeside edukuse langemisel on võimalik planeerida ennetav hooldus ja selgitada mürarikas seade veel enne, kui andmeside arvestiga täielikult katkeb.

- Antud funktsionaalsuse täiendus oleks teostatav täielikult kõrgema taseme tarkvara funktsionaalsuse täiendamisega, ja ei nõuaks võrku ühendatud seadmete täiendamist.

3) Mitme ELS-kontsentraatori töö lubamine samal fiidril

- Antud hetkel on igal fiidril võimalik rakendada ühte ELS-kontsentraatorit, milline on ette nähtud suhtlema kõigi selle fiidri ELS-arvestitega. Kõrge hargnemise ja sumbumuse olukorras saaks andmesidesignaali tugevust ELS-arvestite juures parandada, kui rakendada fiidrite kaugemates otstes või määratud asukohtades täiendavaid ELS-kontsentraatoreid. Kontsentraatorid töötaksid põhimõttel „üks kontsentraator korraga", st hoolimata sellest, et neid oleks samal fiidril paigaldatud mitmeid, oleks töösse lülitatud neist korraga ainult üks.
- Funktsionaalsuse täiendamine on vajalik kõrgematel tarkvaralistel kihtidel, millega võimaldada sama aadressiga arvesti lugemist mitme ELS-kontsentraatori poolt. Näiteks, vajadusel dubleeritud andmete eemaldamist ja arvestiga teostatud toimingute juhtimist (nt, kui ühe arvesti andmed on juba alla laetud edukalt, siis selle arvestiga täiendavat andmeedastust ei sooritata).
- Antud funktsionaalsuse täiendus oleks teostatav täielikult kõrgema taseme tarkvara funktsionaalsuse täiendamisega, ja ei nõuaks võrku ühendatud seadmete täiendamist.

4) Liialt tõhusa andmesignaali nõrgenemisega ahelas, täiendav dünaamiline seadistamine

- Täiendav diagnostiline funktsioon, mis määraks signaali tugevuse fiidrite alajaamale lähimatel arvestitel, ühtlasi ka signaali nõrgenemise esimese vastuvõtjani. Selle signaali taseme võrra oleks võimalik tõsta signaalitugevust ilma, et rikutaks kliendi liitumispunktis tarvitite häiringukindlustingimusi. Näiteks kui ELS-kontsentraatori (standardiga kooskõlas) väljundpinge 1,5 V korral määratakse parimates tingimustes töötava ELS-arvesti juures sisendpingeks 1,35 V, tähendab see signaali nõrgenemist 0,15 V võrra (10%). Kui tõsta ELS-kontsentraatori andmesignaali pingetase 1,65 V-ni, siis jõuaks esimese arvestini tasemel 1,5 V, samuti teiste arvestiteni u 10% kõrgem andmesignaali pinge.
- ELS-kontsentraatori tegevus andmeseansi alguses oleks järgmine: kontsentraator küsitleks lähimat arvestit ja selgitaks selleni jõudnud signaalipinge taseme. Kontsentraator leiaks vastuseks saadud tulemuse alusel suhtarvu, mitu korda madalam signaalipinge jõuab arvestini võrreldes kontsentraatori poolt saadetud signaali tasemega. Seejärel võiks kontsentraatori väljund-signaliseerimispinge seadistada selliselt, et see oleks sama suhtarvu korda kõrgem kui seni rakendatud väljundpingesuurus. Siin on eelduseks, et arvesti oskab määrata temani jõudnud signaalipinge taseme. Selline seadistamine tuleks läbi perioodiliselt, kuna võrgu parameetrid (eriti näivtakistus) võib oodatavalt muutuda.
- Antud funktsionaalsuse täiendus oleks teostatav ainult juhul, kui ELS-arvestitel oleks rakendatud andmesidesignaali taseme mõõtmise funktsionaalsus. Sellisel juhul oleks selline täiendus võimalik realiseerida täielikult kõrgema taseme funktsionaalsuse täiendamisega, ja ei nõuaks võrku ühendatud seadmete täiendamist. Kui ELS-arvestitel andmesidesignaali taseme mõõtmise funktsionaalsus puudub, siis oleks vajalik ka arvestite võimekuse täiendamine (märkus – see vajaks eeldatavalt süsteemi pakkuja väga suuremahulist

arendustööd), samuti võib osutuda, et arvestite juures sellise funktsionaalsuse tagamine ei ole teostatav.

5) **Tugeva müra tõttu üldine andmesidepaketi pikkuse lühendamine**
   - Kaaluda võiks andmepaketi pikkuse lühendamist. Antud juhul kasvaks paketi edukaks edastamise eelduseks oleva nõutud bitivea minimaalne suurus. Kui näiteks standardse paketi pikkus oleks hetkel 45 baiti, siis paketi pikkuse lühendamine näiteks 35 baidi tasemele võiks pakkuda eeldust suuremaks andmesidekindluseks kõrgema müratasemel korral.
   - Andmepaketi pikkuse muutmine saab toimuda ainult paketi kasuliku koormuse arvelt. Seega ei oleks praktiline kõikide pakettide pikkuse muutmine, vaid ainult andmeside olukorras selle konkreetse arvestiga, milline muul juhul ühendust ei võimalda.
   - Kirjeldatud funktsionaalsuse täiendamine nõuaks põhjalikku süsteemi arendamist ning eeskätt ELS-arvestite ja ELS-kontsentraatorite sisemise tarkvara uuendamist. See vajaks eeldatavalt süsteemi pakkuja väga suuremahulist arendustööd, samuti võib osutuda, et arvestite juures sellise funktsionaalsuse tagamine ei ole teostatav.

4. JAOTUSVÕRGUETTEVÕTETE KOGEMUSED ELS-TEHNOLOOGIA-TEGA

Antud peatükk käsitleb erinevate jaotusvõrgu-ettevõtete kogemusi ELS tehnoloogiatega ning üldisi põhimõtteid seoses ettevõtete ELS tehnoloogiate töökindlusega ja eeskätt probleemidega, mis on seotud füüsilise kihi signaalidega.

4.1 ELEKTRILEVI OÜ

Elektrilevi OÜ omab Eestis hinnanguliselt 645 000 mõõtepunkti, millest kõik on üle viidud pidevale näitude kauglugemisele.

Kasutatav ELS-tehnoloogia: Cenelec A 63,3 + 74 kHz, S-FSK: EVS-EN 50065, IEC 61334-5.

Probleemsete mõõtepunktide arv: u. [redacted] arvestil ([redacted]%) näidud edastamata üle [redacted] päeva; [redacted] mõõtepunkti probleemsed.

Probleemide allikad: tööstustarbijate ajamid, impulss-toiteallikad, kommertsobjektid (poodide külmikud), LED-lambid.

Kommentaarid: Tuntud müraallikad on telekommunikatsiooniteenuste pakkujate toiteallikad, mis on väga laialdaselt levinud ja mis on väga sarnase mürapildiga. Viimane asjaolu võimaldab neid suhteliselt hästi kogemuslikult tuvastada. Tehnikutel kaasas asendustoiteallikad, mida välja vahetatakse – kiirem kui telekomi firmade tegevus. Ettevõtete puhul tegemist EMI-filtrite mittepaigaldamisega – tuleb tuvastada ja meelde tuletada.

Arvestite tootja ja tüüp: Landis+Gyr E450. Tootja poolt nimetatud andmeside nimi-töökindlus on 95%.

Ressurss ja tegevused probleemide lahendamiseks: [redacted] inimest võrguettevõtja poolelt, lisaks u [redacted] inimest lepingupartnerite juures. Hetkel pikad teenindusajad, alla [redacted] nädala tavaliselt ei lahendata ja keskmine aeg [redacted] päeva. Kliendid üldiselt mõistvad, kuigi väga palju ressurssi kulub nendega sobivate kellaaegade ja tegevuste kokku leppimiseks.

Vahendid probleemide tuvastamiseks ja analüüsiks: MFA-400 analüsaatorid, sideanalüsaatorid. Lepingupartnertitel ka muud tööriistad.

Filtrilahendused: Paigaldatakse Spica ja Emicon filtreid. Enamikul juhtudest tegemist ühefaasiliste filtritega. Filtrite paigaldamise juures probleemiks ruum ja ka kaitselülitite rakendumise kriteeriumid peavad silme ees olema.

4.2 IMATRA ELEKTER OÜ

Imatra Elekter omab Eestis hinnanguliselt 26 000 mõõtepunkti, mis on kõik üle viidud kauglugemisele.

Kasutatav ELS-tehnoloogia: CENELEC A 75 kHz, S-FSK: EVS-EN 50065, IEC 61334-5.

Probleemsete mõõtepunktide arv: kuu näitude põhjal ~[redacted]%.

Probleemide allikad: näiteks LED-valgustid, impulss-toiteallikad. Paigaldised kortermajades, sh kaablite ja ühenduste kvaliteet, suured silmuste pindalad.

Kommentaarid: näiteks on selgitanud, et koduse andmeside ja digitaaltelevisiooni pakkujate toiteallikad on kasutuses pikka aega ja nendes kasutatud komponentide kvaliteet madal. Võrgu-silukondensaatori vahetamisel toiteallikas jätkab tööd mürata.

On olnud ridamisi probleeme vanemate korrusmajadega, kus kaablid suurte silmustega faaside-neutraaljuhtmete vahel, seejuures erinevalt paigutatud.

Perspektiivid: Kaalutud on raadioside-kauglugemise võimekust, 433 või 866 MHz sagedusel. Arvestid on potentsiaalselt võimelised selleks. Kaalutud on keskpingel 10 kV tasemel ELS-kauglugemist.

Arvestite tootja ja tüüp: ADD (Moldaavia). Tootja poolt nimetatud andmeside edukuse tase ~99,7%.

Modemite vananemine ja arvestite sees olevad patareid probleemiks süsteemi suurima vanuse seisukohast. Taatlemisväl 12 a, aga selleni veel arvestitel minna, samas modemi komponentidega juba hetkel näha kitsaskohti. Ilmselt saab olemasoleva süsteemi uuendamise vedajaks sh sidekiirus, sest silmapiiril terendab 15-minuti tarbimisandmete lugemine.

Ressurss ja tegevused probleemide lahendamiseks: [redacted] töötajat, töö pidev. Üldiselt saavad probleemid lahenduse, samas on keerulisem korteriühistutega. Pumplad ja tööstus üldiselt koostööaldis ja lubatakse filtrite paigaldamist.

Kasutatavad filtrid: arvesti tootja ADD on välja pakkunud 50 A nimivooluga 1f- ja 3f- filtrid, arvesti suurused, aga suhteliselt kallid. Üldiselt filtreid vähe, hetkel paigaldatud kokku vähem kui 20 filtrit. Pikkade liinide korral on filtritega ettevaatlikud, et mitte segada kaitselülitite tööd (suurenenud rikkesilmuse takistuse tõttu).

Vahendid probleemide tuvastamiseks ja analüüsiks: lihtsam spektrianalüsaator, samuti sideanalüsaator.

Täiendavad kommentaarid: Kontsentraatoreid automaatrežiimil mitu tükki samale liinile ei ole neil võimalik tööle panna. Arvestid võivad ise töötada ka repiiteritena. Kui mitu kontsentraatorit on töös siis käsitisiotsing lülitatakse välja. On ka probleem, kui kontsentraator räägib liiga kauge maisnaga: viletsa sidega masina küsitlemine ei tohi minna probleemiks ja nõuda liialt aega. Prioriteedid: kõrgeim on kuunäit, keskmine päevanäit ja madalaim tunninäit. Süsteem ise ajastab ja küsitleb, millises päeva osas saab näidud kätte.

4.3 VKG ELEKTRIVÕRGUD

VKG Elektrivõrgud omab Eestis hinnanguliselt 37 000 mõõtepunkti, mis on kõik üle viidud kauglugemisele. Neist u. 300 on otselugemisel GPRS-i kaudu (talud, pikkade liinidega võrgud).

Kasutatav ELS-tehnoloogia: CENELEC A 63,3 + 74 kHz, S-FSK: EVS-EN 50065, IEC 61334-5.

Probleemsete mõõtepunktide arv: kuu näitude põhjal [redacted]%. Varieerub väga suures ulatuses, eri päevadel võib olla [redacted]% ja isegi [redacted]%

Probleemide allikad: kodulahenduse süsteemi impulss-toiteallikad, sagedusmuundurid.

Ressurss ja tegevused probleemide lahendamiseks: [redacted] töötajat, töö pidev, aga kõik ei tegutse andmeside-teemadega. STV vahetab ka ise toiteallikad. Kliendid üldiselt mõistvad, aga kui ei saa teisiti siis paigaldatakse filtrid.

Perspektiivid: arvestite eluiga on 12 aastat (1f-) ja 8 aastat (3f-). Uute tehnoloogiatega ei taha kindlasti pioneerid olla, kuid hoiavad silmad lahti. Aktiivseid plaane süsteemi ümberehituseks hetkel ei ole.

Arvestite tootja ja tüüp: ADD, neid kasutatakse S-FSK ja GPRS-tüüpidena.

Vahendid probleemide tuvastamiseks ja analüüsiks: MFA-400 analüsaator, samuti arvesti ja kontsentraatori tootja enda poolt pakutud vahendid. Suur roll tööl arvutiga eemalt, kogemuste baasilt saavad paljud probleemid lahendatud.

Kasutatavad filtrid: ADD filtrid, MFA filtrid. Kasutanud ka firma Premo filtreid. On olnud erandjuhtumeid, kus rakendatakse pikendusjuhtmele otse paigaldatud filtrit. Filtri paigaldamisel paljuski kogemuslik ja pragmaatiline kaalutlus, müratasemе ja müra iseloomu alusel tehakse otsus meetme kohta.

Täiendavad kommentaarid: on juhtumeid, kus alajaama on ühendatud ka enam kui üks kontsentraator. Arvestite andmeside plaani struktuuri ja kontsentraatorite asukohtade suhtes koostab mõõteosakond, reeglina üks kontsentraator alajaamas.

Klientidele esitatavad nõuded lähtuvalt arvestite ELS-ist: läbi vaatamisel on teenuse tüüptingimuste uuendamine, kuhu lisataks kogemustel põhinev info.

Klientidele esitatavatest nõuetest lähtutakse kõrgsageduslikest müradest: juriidilistele isikutele - jah. Praegu eraisikute mitte, kuigi tulevikus võiks olla lisatud.

4.4 CARUNA

Caruna Networks OY on Soome Espoo piirkonnas tegutsev jaotusvõrgu-operaator, kellel on kokku umbes 675 000 mõõtepunkti väikese suurusega klientide juures ja u. 13 000 tööstustarbija-mõõtepunkti. Kõik mõõtepunktid on kauglugemisel.

Kasutatav ELS-tehnoloogia: FSK 75 kHz ja 87 kHz OSGP ETSI TS 103 908, ISO/IEC 14908

Arvestite tootja ja tüüp: väikekliendid NES (Networked Enery Services), suurkliendid Landis+Gyr otsese punkt-punkt andmeside kaudu (GPRS andmeside)

Probleemsete mõõtepunktide arv: alla [redacted]%.

Probleemide allikad: sagedusmuundurid, alaldid, kiudoptilise muunduri toiteplokid (interneti-ühenduse juures), veepump, LED-prožektor; samuti kinnistu remont, võrgu remont, peakaitse väljas.

Vahendid probleemide tuvastamiseks ja analüüsiks: kliendiga ühendusevõtt, mürade korral kasutavad koha peal sh MFA 400 seadet (3 – 150 kHz).

Ressurss ja tegevused probleemide lahendamiseks: On välja töötatud kindel protseduur, kuid kõigepealt selgitatakse välja, kas on tegemist arvesti veaga/remondiolukorraga/müraga, seda siis CIS ja GIS-süsteemidega. Samuti selgitatakse kliendiga kõigepealt välja olukord, mis muutus, enne kui tehnik kohale saadetakse.

Perspektiivid: arvestite eluiga on 15-18 aastat, on lahendusega rahul. Järgmiste tehnoloogia põlvkondade kohta plaane ei ole, kuigi järgivad arenguid.

Klientidele esitatavad nõuded lähtuvalt arvestite ELS-ist: tegevus käib läbi tava-liitumis- ja teenuslepingute. Lisaks on allhankijatele erinevad protseduurireeglid ELS seisukohast.

Arvestite planeering: Esimeses järjekorras planeeritakse kontsenstraatorid peamiselt alajaamadesse. Kui oli tehnoloogia paigaldamine suurkasutuseks, siis viidi kontsentraatorid teinekord ka kohe arvesti kõrvale.

4.5 VANTAAN ENERGIA

Vantaan Energia on Soome Vantaa piirkonnas tegutsev jaotusvõrgu-operaator, kellel on kokku umbes 130 000 kauglugemisel mõõtepunkti.

Kasutatav ELS-tehnoloogia: Echelon LonTalk, raadioside

Arvestite tootja ja tüüp: Aidon 5635, Landis+Gyr E70, E120 ja ZCF

Probleemsete mõõtepunktide arv: alla [redacted]% ja üldiselt kuni [redacted]% järgmise päeva andmetega

Perspektiivid: arvestite eluiga 12 aastat ja 15 aastat. Komponentide vead on need, mis on endast tunda andnud.

Probleemide allikad: komponentide vead, master-mõõteüksuste rikked, on ka toiteallikate mürasid.

Ressurss ja tegevused probleemide lahendamiseks: tavaprotseduur näeb ette, et viga minnakse parandama 5 päeva sidekatkestuse järel – selline ajavahemik on valitud seoses

juhuvigadega, mis iseenesest mõne päevaga paranevad. Üldiselt arvestite tarnijaga käib koostöö ja nemad ka parandavad.

Kommentaar: Vantaan Energia rakendab firma Aidon süsteeme, mis rakendavad raadiosidet (sh mobiilisüsteemid) ning koha pealset andmete kogumist kas läbi eraldi RS-485 ahelate (kortermajades) või siis kohaliku raadiovõrgu tagava kesksüsteemiga (MeshNet, eramajade piirkondadel).

4.6 KOKKUVÕTE JA KOMMENTAARID

Antud juhul on kõige laialdasemad kogemused S-FSK ja Cenelec A ribalaiuste kasutamisega Eesti jaotusvõrguoperaatoritel. Lähimatest välisriikidest Lätis on samuti kasutatud S-FSK ja Cenelec A süsteeme, Soomes on kasutusel ka teised süsteemid.

Kogemustest peegeldub, et üks tüüpilisemaid probleemide allikaid on erinevad impulss-toiteallikad, mis on seotud näiteks koduste andmeside-digitaaltelevisiooni seadmetega. Kuigi funktsionaalselt selliste toiteallikate näitel ei ole probleeme erinevate kodulahenduste süsteemidega, siis tegelikult on need jaotusvõrgu seisukohast suured müraallikad. Täiendavalt on osutatud, et sellised toiteallikad ei pruugi olla mitte algselt/müüki/avalikku kasutusse antud seadmetena müra-allikad, vaid nende endi komponendid on vananenud ja seetõttu on ka toiteallikate talitlus muutunud sedavõrd, et nende poolt võrku emiteeritud müratase on reeglitest oluliselt kõrgem ja häirib otseselt ELS-andmeside tööd. Selliste toiteallikate kõrge müraemissioon ei ilmu hetkega ja teatud määral oleks sellist müra võimalik monitoorida perioodiliselt, näiteks kord päevas, arvesti andmesideedukuse (näiteks edukad vastused *ping*-idele) suhtes. Andmesideedukuse järjepidev kahanemine annaks märku, et konkreetse arvesti juures on kasvamas müratase, mis ühel hetkel enam edukat ELS-andmevahetust ei võimalda.

Teine müra-allikate pool on tööstuslikud/suurseadmed, milles on kasutusel suure võimsusega pooljuhtmuundurid, sh sagedusmuundurid ja inverterid. Siin võiks paljud probleemid olla lahendatud mh täiendavate filtrite lisamisega, siis tegelikkuses kas teadmatusest või hoolimatusest häiringufiltrid on sageli paigaldamata, isegi kui kasutus-/paigaldusjuhendid seda nõuavad. Valdav enamus selliseid juhtumeid on juriidiliste isikutega, sellisel juhul on võimalik rakendada ka TTJA. Teisalt, tuleb senisest täpsemalt kirjeldada paigaldise omaniku kohustused ja piirangud. Siin on abi sellest, kui määratleda täpselt võrku ühendatavate eri EM-emissiooni klassi tarvitite nõuded.

Teisalt on eduka ELS-andmeside tase määratud ilmselt otseselt ka inimtööjõu koguse rakendamisega müraprobleemide arvu kohta. Kui antud juhtumitel on müra-allikad mittetahtlikud, siis kõrgete müratasemetega seotud probleemid lahendatakse konkreetsete müraallikate tuvastamisel kas nende eemaldamise või parandamisega. Erinevate ettevõtete ressurss probleemide lahendamiseks (võttes arvesse, et iga spetsialist ei tegele 100% tööajast üheski ettevõttes ainult müraprobleemidega):

- Elektrilevil – kuni [redacted] spetsialisti 645 000 arvesti kohta, ~ [redacted] spetsialist 40 000 arvesti kohta

- Imatra – kuni [redacted] spetsialisti 26 000 arvesti kohta, ~ [redacted] spetsialist 13 000 arvesti kohta
- VKG elektrivõrgud – kuni [redacted] spetsialisti 37 000 arvesti kohta, ~ [redacted] spetsialist 10 000 arvesti kohta.

5. ELEKTRILIINISIDE ELEKTRO-MAGNETILISE ÜHILDUVUSE ASPEKTID

Antud peatükk läheneb elektriliiniside aspektidele elektromagnetilise ühilduvuse (EMÜ) seisukohtadest. EMÜ määratleb samas elektromagnetilises (EM) keskkonnas töötavate seadmete koostöökriteeriumid, tingimused ja piirangud.

Elektriliinisides kirjeldavad EMÜ aspekte ja põhimõtteid järgmised lähtealused:

1) **Kasutatavad signaalitasemed**
   Et ELS-tehnoloogia on lisanduv uus tehnoloogia eelnevalt juba võrku ühendatud seadmetele, sh täiendav EM-keskkonna määraja varasemate seadmete jaoks, siis ELS peab töötama selliselt, et ei häiri teisi võrgus juba töötavaid seadmeid. Selleks ei tohi ELS poolt kasutatavad signaalitugevused ületada väärtuseid, mis on määratud seadmete häiringutaluvus- e immuunsuskriteeriumidega, täpsemalt peab ELS signaalitugevus olema väiksem, kui seadmetelt nõutud häiringutaluvus piirnivoo väärtus.

2) **Taustamüratasemed**
   ELS-tehnoloogia suutlikkuse hindamisel tuleb arvestada muuhulgas võrgus oodatavat müratasset. Selleks annavad aluse erinevad EM-emissiooni standardid. Samuti määratlevad standardid selle, millistel tingimustel võib võrku erinevaid seadmeid ühendada.

3) **Kõrgsageduslike ja laiaribaliste suurustega arvestamine leviteedel**
   Elektripaigaldiste ja ehituse standardid üldiselt ei sätesta seda, mil moel peaks paigaldis/kaabeldus olema teostatud, et tagada kõrgsageduslike EM-suuruste (sh mürade) arvestamine ehitamise ja planeerimise ajal. Paigaldistele kehtivate juhiste juures on toodud mh soovitused mürade vähendamise planeerimise kohta, millised aitavad vähendada paigaldise kui terviku müratasset.

4) **Sumbumus ja hajumine**
   Kuigi üldises plaanis on EMÜ kriteeriumide täitmine rangelt soovitatav, siis paigaldistele kehtivad standardid annavad ülevaate ka konkreetsetest ehitusjuhistest, millega tagatakse kõrgsageduslike signaalide jõudmine ettenähtud viisil/teekonna kaudu filtritesse või liikumine läbi ettenähtud kontuuride.

Järgnevas peatükis on esitatud ülevaade, mis kajastab EMÜ kriteeriume lähtudes Elektrilevi OÜs rakendatud ELS tehnoloogiatest (sh ribalaiused).

5.1 ELEKTROMAGNETILISE ÜHILDUVUSE PRINTSIIPIDE ÜLEVAADE

EMÜ regulatsioonide alla kuuluvad mh määratlused seadmete vastupidavusest ja emissioonist järgmistes kontekstides:

1) Madalsageduslikud nähtused
   - Toitevõrgu harmoonikud (kuni 2 kHz) ja üliharmoonikud (kuni 9 kHz)
   - Toitepinge muutused, pingelohud ja katkestused
   - Kolmefaasilises süsteemis ebasümmeetria
   - Toitesageduse muutus
   - Indutseeritud pinged ja liigpinged
   - Elektri- ja magnetväljad kuni sageduseni 9 kHz
2) Kõrgsageduslikud nähtused
   - Indutseeritud pinged ja voolud
   - Siirdeprotsessid ja võnkumised
   - Juhtivuslikul teel levivad häiringud
   - Kiirguslikud elektri-, magnet- ja elektromagnetväljad
3) Elektrostaatilised nähtused
4) Elektromagnetimpulss

Oluline on rõhutada, et EMÜ kontekstis on kirjeldatud ka EM-keskkondade ühilduvuspiirid, st oodatavad erinevate EM-nähtuste intensiivsuse ja korduvuse näitajad.

Sellised EMÜ valdkonda kuluvad nähtused, mis võiksid kirjeldada piiravaid tingimusi ELS süsteemi töö jaoks Elektrilevi OÜ võrgus, on eelduslikult püsiv intensiivne EM-häiringute emissioon, mille tunnusteks on

- juhtivusliku iseloomuga, kuna nii ELS kandevsagedusega signaal kui ka mürad esinevad koos samal liinil;
- pikaajaline, st esineb kõrgel tasemel intensiivsusega tunde ja päevi;
- korduv ja seejuures igal kordusel intensiivne.

ELS andmevahetus-häiringute kontekstis on asjakohaseks teemaks EM-mürad ja EM-häiringute emissioon, mis on tingitud erinevate seadmete (püsi)talitlusest. Antud uurimistöö kontekstis seepärast teisi EMÜ alla kuuluvaid teemasid ei käsitleta.

5.2 EMÜ TERMINID JA MÄÄRATLUSED

5.2.1.1 EM-HÄIRING

Eranditult kõik elektrinähtusi rakendavad seadmed ja süsteemid on nende endi talitluses seotud kahe tingimusega:

1) Põhimõtteliselt iga elektrinähtusi rakendav seade/süsteem põhjustab teda ümbritsevas EM-keskkonnas teatud EM-mõjutuse, mis on tingitud kas
   - seadme/süsteemi enda talitluse eesmärkidest (tahtlik emissioon), või
   - kaasneb seadme/süsteemi talitluse eesmärkide saavutamiseks rakendatud nähtustega (tahtmatu emissioon);

EM-mõjutuse põhjustamine/algatamine EM-keskkonnas selliselt, et see levib teiste seadmete/süsteemideni, on tuntud ka kui EM-emissioon.

2) Põhimõtteliselt iga elektrinähtusi rakendav seade/süsteem on tundlik teda ümbritsevat EM-keskkonnast lähtuvale EM-mõjutusele.

   EM-keskkonnast lähtuva EM-mõjutuse suhtes tundlikkuse omamist, milline võib viia seadme talitluse muutumiseni, on tuntud ka kui EM-vastuvõtlikkus.

EM-vastuvõtlikkuse esinemine viisil, et seadme/süsteemi talitlus muutuks oluliselt, teatud tasemega EM-mõjutuse intensiivsuse korral, võrreldes tavatalitlustingimustest ning sõltumata talitlustingimusi määravatest sisendite olekutest, on tuntud ka kui **häirumine**.

Sellisel tasemel ja viisil esinev EM-emissioon, mis võib potentsiaalselt viia seadme/süsteemi häirumiseni, on terminina tuntud ka kui **EM-häiring**.

5.2.1.2 EM-KESKKOND JA HÄIRINGU LEVITEE

EM-keskkond on laiemas kontekstis mistahes levitee, mille kaudu võib EM-emissioon jõuda teise seadme/süsteemini. Üldises plaanis liigitatakse leviteed kaheks:

1) Juhtivuslik ehk juhtme juhitud levitee, mis tähistab ühte või mitut allolevat

- EM-emissioon seadmest/süsteemist toimub juhtmete kaudu
  - EM-emissiooni tase, mida seade/süsteem põhjustab, määratakse seadme/süsteemi piiril sellega ühendatud juhtmetelt;
- EM-mõjutuse ülekanne toimub juhtmete kaudu
  - EM-mõjutuse tase määratakse teatud süsteemi osas olevate juhtmete jaoks, millega võib potentsiaalselt ühendada teisi seadmeid;
- EM-mõjutuse jõudmine seadmesse/süsteemi toimub juhtmete kaudu
  - EM-mõjutuse tase, mis seadmeni/süsteemini jõuab, määratakse seadme/süsteemi piiril sellega ühendatud juhtmetelt;

2) Kiirguslik ehk läbi ruumi, sõltumata otseselt elektrijuhtidest kahe seadme/süsteemi vahel, kulgev EM-väljade levitee

- EM-emissioon seadmest/süsteemist toimub vahetult EM-väljade kaudu keskkonda
  - EM-emissiooni tase, mida seade/süsteem põhjustab, määratakse seadme/süsteemi piirist teatud vahekaugusel mõõtes EM-väljade intensiivsust ruumis;
- EM-mõjutuse jõudmine seadmesse/süsteemi toimub vahetult EM-väljade kaudu keskkonnast
  - EM-mõjutuse tase, mis seadmeni/süsteemini jõuab, määratakse seadme/süsteemi piiriks olevate osade või korpuse seisukohast.

Elektrilevi OÜ ELS-süsteemi talitluse häirimise kontekstis tuleb vaadelda juhtivuslikke EM-suurusi. Juhtivuslikult kantakse üle ELS-süsteemis edastavate andmete signaalipinged ning viimast häirivad juhtivuslikult levivad mürad.

EMÜ piirtasemete käsitluses rakendatakse järgmiseid tasemete (nivoode) kirjeldusi:

5.2.1.3 EMISSIOONINIVOO

Emissiooninivoo on mingi seadme/süsteemi EM-emissiooni tegelike väärtuste kogum. Antud nivoo on aluseks toote EMÜ vastavuse kontrollil.

Emissiooninivoo määratakse tüüpiliselt katsetel, milles seadme rakendusolukord (seega ka talitlusolukord) ja mõõteviis on üheselt määratud. Mõlemad seejuures võivad erineda sõltuvalt seadme iseloomust, talitluse eripäradest jpm, samuti võib EM-emissiooni mõõtmiseks kasutada mitmeid samaväärseks loetud protseduure.

- Emissiooninivoo määramine on tootja vastutusel ja tootja peab selleks kasutatud meetodid piisavalt täpselt kirjeldama. Vajadusel peab olema võimalik korrata EM-emissiooni määramiseks sooritatud katseid.
- NB! Tähelepanu tuleb juhtida sellele, et tegemist on tüüpilisel talitlusel oodatava tasemega. Tegelikkuses on tootjate huvides kajastada olukordi, mis oleksid suhteliselt väikese emissiooniga; standardite ja määruste väljatöötajate seisukohast on emissioonitaseme mõõtmisel seatud loetud olukorrad, mille ühene korratavus on lihtsamalt saavutatav.

5.2.1.4 EMISSIOONI PIIRNIVOO

Emissiooni piirnivoo on lubatud suurim oodatav EM-emissioonitase, st EM-mõjutuse emissiooni selline tase, mille puhul on eeldatavalt tagatud teiste süsteemide ja nende osade häirimatu talitlus.

- Juhul, kui emissiooninivoo on tuvastatud väikesemana, kui emissiooni piirnivoo, loetakse seadme emissioonitase direktiiviga vastavaks. See on konkreetseim viis kontrollida, et seadmest lähtuvate emissioonide tasemed oleksid kontrolli all.
- Tegemist on tõenäosusliku olukorra võrdlemisega; eeldatakse, et emissioonikatsetel rakendatud olukord katab enamiku võimalikest antud seadme füüsiliste sõlmede talitlusviisidest, millised võiksid kaasa tuua EM-emissiooni. Erinevatel seadmete klassidel on EM-emissiooni põhjustavad talitlusolukorrad erinevad, seetõttu ka nende emissioonide ajalist esinemist kirjeldavad tõenäosusjaotused.
- Erinevatel seadmegruppidel on erinevad lubatavad emissiooni piirnivood, mis ühelt poolt võimaldavadki arvesse võtta eri seadmete EM-emissiooni tõenäosuslikku oodatavat jaotust.

5.2.1.5 ÜHILDUVUSNIVOO

Ühilduvusnivoo on EM-mõjutuse teatud tase, mille puhul on tegeliku EM-emissiooni selle taseme ületamine väga väikese tõenäosusega; sageli on selleks piiriks 95. protsentiili väärtus häiringute võimalikust tasemest. Seda taset rakendatakse häiringukindlus- ehk immuunsusnõuete planeerimisel ja lubatud häiringutasemete suurimate väärtuste planeerimisel.

- Emissiooni piirnivoo kehtestatakse sellest väärtusest mõnevõrra allapoole, millega võetakse arvesse tegeliku emissiooninivoo mõõtemääramatus ja võimalus, et teatud ulatuses ajast võib esineda ka tavatalitlusolukorraga võrreldes tugevam emissioon;
- Nõutava immuunsuse piirnivoo kehtestatakse sellest väärtusest mõnevõrra ülespoole, võttes arvesse immuunsuse võimalikku vähenemist seoses talitluse eripäradega, samuti seadme kasutusjuhtumist tingitud fluktuatsioone.

5.2.1.6 IMMUUNSUSE (HÄIRINGUKINDLUSE) PIIRNIVOO

Immuunsuse e häiringukindluse piirnivoo on vähim nõutud EM-mõjutuse kindluse nivoo, st EM-mõjutuse selline tase, millest väikesema tasemega EM-mõjutus ei mõjuta eeldatavalt seadme/süsteemi ja nende alamosade talitlust.

- Immuunsuse piirnivoo kirjeldab katsetuste aluseks olevat taset. Seadmetelt oodatakse, et tüüpilistes oodatavates talitlusolukordades oleksid tundetud vähemalt EM-häiringute tasemele, mis ulatub intensiivsuselt immuunsuse piirnivooni. Juhul, kui seadme talitlusest kõrvalekaldeid eeskirjakohase EM-häiringu emissiooni korral ei esine, loetakse seade vastavaks EMÜ direktiivi nõuetele vastavaks.
- Immuunsuse piirnivoo võib olla määratletud erinevate stiimulite alusel. Üks levinuimaid seadmete immuunsuse katsemeetodeid on pakettide kaupa pidevvõnkumine (CW), milles jäljendatakse pikema (kõrge) sagedusega võnkumist.

5.2.1.7 IMMUUNSUSE NIVOO

Immuunsuse nivoo – tegelik EM-mõjutuse tase, millest alates esineb seadmel märkimisväärseid talitluse kõrvalekaldeid, sh talitluse halvenemist. Seadmete tegelik immuunsuse nivoo jääb sageli selgitamata, kuna see eeldaks tüüpiliselt ülipikkade katseseeriate läbiviimist.

- Tegelik immuunsuse nivoo on samuti tõenäosuslik suurus, mis sõltub seadme talitlusolekust, rakendusskeemist jpm. On võimalik, et mingil talitlusest ja rakendusskeemist tingitud juhtumil on seadmel, mis eelnevalt määruste kohastel testidel näitas immuunsuse piirnormi ulatuses EM-häiringu tundetust (st selle seadme immuunsustase oli kõrgem kui immuunsuse piirnorm), on tegelik immuunsuse nivoo selline, et jääb oluliselt alla immuunsuse piirnormi.

Jaotusvõrgu teenuse kvaliteedi ning seadmete ja süsteemide töökindluse seisukohast on siin oluline jälgida printsiipe, et

- Iga ühendatud seadme/süsteemi häiringutaluvus oleks vähemalt tasemel, mis vastab antud seadmeklassi nõuetele.
- Ükski võrku ühendatud seade ei tohi omada sellist EM-müraemissiooni taset, mille korral oleks ületatud teistele sinna võrku ühendatud seadmete häiringutaluvuspiir.
- Võrgu talitluse suhtes kriitilistel süsteemidel on rangelt soovitatav omada kõrgemat häiringutaluvusvõimekust, kui muudel olmeseadmetel. Sellisel juhul on võrgul võimalik säilitada oma töökindlus ka juhul, kui mõni müraallikas hakkab juba häirima muid seadmeid.

Elektrilevi OÜ poolt kasutatava ELS-süsteemi seisukohast on siinkohal vaja eristada ka terminitena andmeside funktsioonide töökindlus ning muude süsteemide töökindlus. Andmeside ELS süsteemide kaudu on käsitletav kui täiendav funktsioon, mille talitlus ei tohi ühest küljest häirida muude seadmete tööd.

5.3 TOITELIINIKOMMUNIKATSIOONI SÜSTEEMIDELE RAKENDATUD NÕUDED

Antud peatükk loetleb täiendavad piirangud, mis on seotud ELS süsteemide rakendamisega, mitte enam kommunikatsioonitehnoloogia vaid EMÜ põhimõtete

käsitluses, sh Elektrilevi OÜ võrgus töötava ELS-süsteemi kontekstis. Mitmed ELS signaliseerimistasemeid ja muud kirjeldavad standardid ja normid on tuletatud viitega EMÜ standarditele ja aluspõhimõtetele. See on õigustatud, kuna

- **tegemist on jaotusvõrgu täiendava/uue funktsiooniga, mille juures varasemalt sinna tööle kohaldatud seadmed ja süsteemid peavad olema võimelised tegevust jätkama.**
- EMÜ põhiseisukohtade ja juba rakendatud piirnormide, sh elektriliiniside lubatud signaalipingete tasemete alusel, on sellisel juhul oodata raadioside häiringuvabaduse põhimõtete täitmist.

Toiteliini kommunikatsiooniseadmed on võrku paigaldatud täiendavate seadmetena. Võimaldamaks jätkata talitlust juba sinna ühendatud seadmete jaoks, tuleb silmas pidada

1) Vanemate seadmete jaoks kehtinud piirnormid on kehtivad samade õigustega nagu praegused alusstandardid. Seega ELS kui uus tehnoloogia peab hea seisma selle eest, et varasemad süsteemid funktsionaalsust kaotamata tööle jäävad.

2) Üldiste normidega seatud piirid EM-emissioonile ja EM-immuunsusele on jäänud intensiivsuselt samaks viimaste aastakümnete jooksul. Täpsustatud on mh mõõtemeetodeid ja sätestatud juhised/nõuded kaasaegsetel tehnoloogiatel põhinevate seadmete katseteks, kuid EMÜ ühilduvusnivoosid ja nende alusel välja töötatud piirnivoosid, samuti keskkonna iseloomu kirjeldavate standardite nõudeid ei ole viimase paarikümne aasta jooksul rangemaks muudetud (dokumentide IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3, IEC 61000-6-4 kontekst).

3) Üldine toiteliiniside põhimõte on püsinud sellel, et kommunikatsiooniks rakendatakse sagedusala, mis muuks funktsionaalseks eesmärgiks kasutuses ei olnud. Sarnaselt juhtivuslikult levivate EM-häiringute jaoks piirnormide seadmisega, on ka ELS andmesideks kasutatavad signaliseerimistasemed seatud mittehäirivate piiride alusel mh erinevate raadiosidesüsteemide tööd arvestades. **Tuleb silmas pidada, et juba kasutatavate elektrivõrkude juures ei saa ELS signaliseerimiseks ka seetõttu rakendada oluliselt kõrgema tugevusega signaale**. Vastasel juhul võib kerkida põhjendatud nõue tõestada ELS neutraalsust raadiosidesüsteemidele või viia sisse täiendavad leevendusabinõud. See on seetõttu, et üldtunnustatud emissiooni ja ühilduvuse piirnormid on seatud võttes arvesse parimat praktikat erinevate süsteemidega; kuigi tööstuskeskkonnas on häiringukindlusnõuded kõrgemad, siis olme-, kaubandus- ja kergtööstuse EM-keskkonnas on võrgu ulatus oodatavalt suurem ja sellega ühendatud seadmeid enam, mis potentsiaalselt tähendada EM-emissioonidest tingitud probleeme laiemal alal.

4) Toiteseadmete poolt toiteühenduste kaudu juhtivuslikult emiteeritavate EM-häiringute standardid piirduvad sageli sagedusalade, alumise piiriga 150 kHz ja ülemise piiriga 30 MHz, käsitlemisega. **Väga mitmetel juhtudel eeldatakse (dokumenteeritult), et juhul, kui kõik on korras sageduspiiril üle 150 kHz, siis tõenäoliselt ei esine probleeme ka sellest allpool olevatel sagedustel**. Näiteks on selline konkreetne määratlus kirjeldatud toiteallikate EM-häiringute emissiooni piirnorme kirjeldavas dokumendis EVS-EN 61204-3, mis mainib ka sama eelduse. Antud töös leitud katsete käigus selgus samuti, et neil toiteallikatel, millistel esines ELS andmesidet häiriv intensiivne EM-emissioon sagedustel alla 150 kHz, ei olnud tagatud ka standardi piirnõuetele vastav emissioon sagedustel üle 150 kHz.

5) ELS eduka töö aluseks on eeldus, et selleks kasutatav kandevsagedus-ribalaius on suhteliselt kasutuseta, samuti ei ole olulisel tasemel selles sagedusribas seadmete talitlusega kaasnev täiendav EM-emissioon. Siiski, lähtudes vajalikest SNR tasemetest eduka andmeside tagamiseks, tuleks ELS-tehnoloogia seadmete võrku paigaldamise eel teostada seire võimaliku müratasememe kohta. Viimane annaks infot tehnoloogia sobivuse kohta, millisega oleks võimalik tagada töökindel andmeside.

5.4 ELS ANDMESIDEKS KASUTATAVAID PIIRE KIRJELDAVAD DOKUMENDID

Elektriliinisidesüsteemid, mille puhul andmeedastus toimub võrgu toitesuurusele pealdatud kõrgsagedusliku andmesidesignaaliga, on kavandamisel ja diskussioonides olnud aastakümneid. Antud hetkel Elektrilevi OÜ poolt kasutuses oleva EN 50065-ühilduva süsteemi aluseks olevad dokumendid on osaliselt seetõttu muutumatuna olnud kirjeldatud juba kohati kümneid aastaid, ilma et tehnoloogilised uuendused oleksid toonud kaasa märkimisväärset survet nende muutmiseks. Elektrilevi OÜ poolt kasutatavale ELS-süsteemile olulised dokumendid on loetletud alljärgnevalt.

IEC 61000-3-8: 1997. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 8: Signalling on low-voltage electrical installations - Emission levels, frequency bands and electromagnetic disturbance levels.

> Antud dokumendi verisoon on käesolevaks hetkeks küll üle 20 aasta vana, kuid sellel põhinevad järgmised dokumendid, millega reguleeritakse ELS jaoks kehtestatud signaliseerimispiire. Sellel põhineb EVS-EN 50065-1 standardi määratlus, milles EVS-EN 50065-1 kirjeldatud piirid on kontekstis üheselt üle võetud IEC 61000-3-8 dokumendist.

EVS-EN 50065-1:2011. Madalpingelistes elektripaigaldistes kasutatav signalisatsioon sagedusalal 3 kHz kuni 148,5 kHz. Osa 1: Üldnõuded, sagedusalad ja elektromagnetilised häiringud.

> Füüsilise kihi signaliseerimispingete tasemete definitsioonid sagedusvahemikus 3 kHz … 148,5 kHz. Kirjeldatud ka käesolevas dokumendis eespool.

EVS-EN 50561-1: 2013. Power line communication apparatus used in low-voltage installations - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement -- Part 1: Apparatus for in-home use.

> Antud dokument käsitleb lühikese sidekaugusega süsteeme, näiteks koduautomaatika vaates. Käsitlusalas on sagedusriba 1,6 … 30 MHz, kuid sisaldab juhiseid ka mõõtmiste vaates sagedusribas 9 kHz-st kuni 400 GHz-ni. Kuigi tegemist on majasiseste süsteemidega, võib siin toodud piire pidada kehtivateks ka avalike võrkude juures.

FprEN 50561-2: 2015. Powerline communication apparatus used in low voltage installations - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement - Part 2 : Apparatus for access-network use.

Nimetatud dokument peaks defineerima üldised reeglid avaliku võrgu toiteliini-kommunikatsiooni poolt põhjustatud emissioonidele, ulatudes üli-laiaribaliselt 9 kHz-st kuni 400 GHz-ni. Võib siiski oletada, et sarnaselt muudele dokumentidele, ka see dokument annaks üldised juhised teatud sagedusribades, millest väljumise korral eeldatakse, et kõik on nõuetele vastav antud sagedusribade kontekstis.

NB! Dokumendiga on töö peatunud alates aastast 2016, juurdepääs töödokumentidele piiratud. Antud kontekstis ei saa seda dokumenti pidada perspektiivseks juhendiks, mille ilmumine muudaks hetkel muudes dokumentides seatud piire ja/või võimalusi.

IEC 61334-3-1:1998. Distribution automation using distribution line carrier systems - Part 3-1: Mains signalling requirements - Frequency bands and output levels

Põhineb IEC 61000-3-8: 1997 alusel ja viimasele olulist ei lisa.

5.5 SAGEDUSALAS 9 ... 150 KHZ JUHTIVUSLIKULT LEVIVAID HÄIRINGUID / ELS MÜRASID KIRJELDAVAD STANDARDID JA NÕUDED

Käesolev alapeatükk kirjeldab neid juhtivuslikult levivate EM-emissioonide ja EM-immuunsust, mis on eeskätt sätestatud sagedusala 9 … 150 kHz osas, mis puudutab Elektrilevi OÜs kasutatavat ELS sagedusriba (63,3 kHz ning 74 kHz).

Nõuded, mis on kirjeldatud standardites ja normides, pürgivad reeglina võimalikult laiale üldistusele. Teisalt sisaldavad need ikkagi suurel hulgal määratlusi, mis adresseeriksid spetsiifilisi erisusi. Näiteks on esitatud rohkelt erisusi

- vastavalt erinevatele kasutusjuhtumitele,
- samuti seadmete endi talitluse keerukusest tingitud kriteeriumidele.

Tähelepanu tuleb juhtida, et kategooriatesse, klassidesse, või liikidesse jagatakse nii seadmeid ja süsteeme kui teisalt ka nende paigaldus- ja rakenduskeskkondi. Olukorrast selge ülevaate saamist takistab see, et normdokumentides puudub selge ja ühene kategooriate/klasside/liikide käsitlus – pea iga IEC standardikomitee töögrupp on rakendanud enda seisukohast asjakohaseid määratlusi.

EVS-EN 61000-2-2: 2002 + A1:2017 + A2:2019, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.

Antud standard on põhistandardiks mh avalikus kasutuses olevatele jaotusvõrkudele. Kuigi suurem osa sellest on pühendatud võrgu põhisageduslike ja selle harmooniliste komponentidega seotud häiringu-suurustele, sisaldab see ka kindlaid viiteid kõrgematel sagedustel kui 2 kHz esinevatele häiringusuurustele ja

pingetele. Standardi lisa A1:2017 pakub kindlas võtmes välja EMÜ ühilduvusnivood, mh sagedusalas 9 kHz …. 148,5 kHz.

EVS-EN 61000-2-4:2002, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.

Antud standard on aluseks tööstuslike paigaldistega seotud juhtivuslike EM-mõjude ühilduvusnivoode piiritlemisele ja kirjeldab mh. sagedusalas 2 kHz … 9 kHz esinevate häiringute ühilduvustasemeid.

EVS-EN 61000-4-19:2014, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-19: Testing and measurement techniques - Test for immunity to conducted, differential mode disturbances and signalling in the frequency range 2 kHz to 150 kHz at a.c. power ports.

Antud dokument kirjeldab immuunsuskatsete nõudeid diferentsiaalsetele sisendsuurustele, milliste rakendumisel toitesisendisse peab seade/süsteem säilitama oma talitlusvõime. Sellistel alustel katsed tuleb läbida erinevatel võrku ühendatavatel seadmetel. Selle standardi käsitluses kuuluvad tüüpilised olme-, kommerts- ja kergtööstussektori (OKVT) seadmed klassi „3", mille seadmete omaduste hulka kuuluvad: 1) seade on ühendatud otse avalikku madal- või keskpingevõrku; 2) elektroonikaseadmed on ühendatud paigaldise maandussüsteemiga; 3) kasutatavad toiteseadmed sisestavad maandusjuhtidesse voolu. Standardi lisades on tutvustatud mh ka kommertsarvestite katsetamise skeeme.

Klass „3" katsetamise tasemed peavad olema immuunsed pakett-siinussignaalidele, mille amplituud sagedusribas 9 … 95 kHz on 12 … 2,4 V (efektiivväärtus), lineaarselt kahanev logaritmilises sõltuvuses sagedusest.

Antud standardi informatiivne lisa „A" annab ülevaate ka hetkel kehtivate asjakohaste standardite poolt defineeritud lubatavatest emissiooninivoodest.

Viimase standardiga on analoogne standard EVS-EN 61000-4-16, kuid see kirjeldab süsteemidega seotud samafaasse/sümmeetrilise häiringu immuunsuskatset. Elektrilevi OÜ poolt rakendatav ELS-süsteem kasutab diferentsiaal-signaliseerimist, seepärast jääb hetkel samafaasse häiringu käsitlus sellest kontekstist välja. EVS-EN 61000-4-19 on oluline, kuna rõhutab diferentsiaalses skeemis mõjuvaid suurusi ning kajastavad ka nõudeid mh ELS-signaalidele vastupidavusele.

5.6 EM-KESKKONNAD JA NENDES KASUTATAVATE SEADMETE EM-HÄIRINGUTASEMETE PIIRNORMID ELS VAATES

EM-keskkondade emissioonitasemete määratlused on aluseks erinevate seadmete ja süsteemide emissiooni- ja immuunsusnäitajate nõuete kehtestamiseks. Selle tõttu on

erinevatele seadmetele ette nähtud standardites antud piirnormid vähemalt sama ranged, kui üldised EM-keskkonna määratlused.

- Tuleb tagada, et ka väga paljude seadmete koostalitlemisel samas EM-keskkonnas, ei oleks rikutud/ületatud EM-keskkonna üldiseid ühilduvustasemeid;
- Koostalitlemise hindamisel lähtutakse mh ka nende samaaegse töö tõenäosusest: näiteks tööstuskeskkonnas võetakse aluseks ka see, et väga paljud samasugust EM-emissiooni põhjustavad seadmed on töös samal ajal; olmekeskkonnas eeldatakse olulisemalt väikesemat samasugust-aegsust.

EM-keskkonna kvaliteedi üks kriteerium on EM-müratasemе hoidmine, mis ei põhjusta erinevate võrku ühendatud seadmete häirumist. See tähendab, et rõhku pööratakse tarvitite ühendamisele ja nende müradele vahetult nende juures. Madala kumulatiivse müratasemе saavutamine on lihtsam suletud süsteemis, mis on nii tarvitite kui ka võrgu ülesehituse seisukohast kindlalt määratletud. Avalik madalpingevõrk on samas keeruline süsteem, mis ühendub erinevate tarvitite ja eri nõuete ja ootustega klientidega. Seetõttu on avaliku madalpinge-jaotusvõrgu seisukohast ka mõistlik pöörata rõhku täpsematele tingimustele, milliseid tuleks arvesse võtta klientide tarvitite juures. **Antud hetkel leitav regulatiivne ja lepinguline alus on paraku üldsõnaline ja ei määratle nõudeid kindlas võtmes, mistõttu jätab ka avara tõlgendamisvõimaluse reeglitele ja painduva vastutuse mõiste.**

EM-keskkondade pikem kirjeldus on esitatud ka dokumendis IEC TR 61000-5-2. EMÜ piirnormide kontekstis olulise EM-keskkonna käsitluses on välja pakutud keskkondade käsitlemine eri kategooriates:

- Klass 1: Vaikne keskkond, milles on toiteallikad sidestatud avaliku võrguga; võrgu häiringutest - kasutatakse spetsiifilisi filtreerimislahendusi, et vältida häiringute jõudmist seadmesse;
- Klass 2: Olme, kaubandus- ja väiketööstuskeskkond (edaspidi **OKVT**), milliste jaoks on seal töötavate seadmete jaoks kehtestatud piirid standardiga EVS-EN 61000-6-3:2007+A1:2011. Samas keskkonnas kehtestatud EM-immuunsuspiirid on määratletud standardiga EVS-EN IEC 61000-6-1:2019.
- Klass 3: Tööstuskeskkond (edaspidi **TKK**), millise jaoks on seal töötavate seadmete jaoks kehtestatud piirid standardiga EVS-EN 61000-6-4:2019. Antud keskkonnas kehtestatud EM-immuunsuspiirid on määratletud standardiga EVS-EN IEC 61000-6-2:2019.

Antud klassifikatsioon on indikatiivne; selle järgimise teeb keeruliseks asjaolu, et keskkondade klassideks jaotamine võib olla iga standardi kontekstis erinev. Samas, tüüpiliselt on esitatud klassidest/tüüpidest üks klassifitseeritav keskkond (OKVT / avaliku toitevõrgu ühendusega) ja üks (TKK).

OKVT keskkonna definitsioon lähtub kolmest asjaolust:

- Antud keskkonna jaoks defineeritud piirväärtusi rakendatakse siis, kui vastava toote või tootesarja kohta ei ole oma emissioonistandardit.
- **Kõiki paiku, mis on ühendatud madalpingel vahetult avalikku elektrivõrku, loetakse olme-, kaubandus- või väiketööstuspaikadeks.**

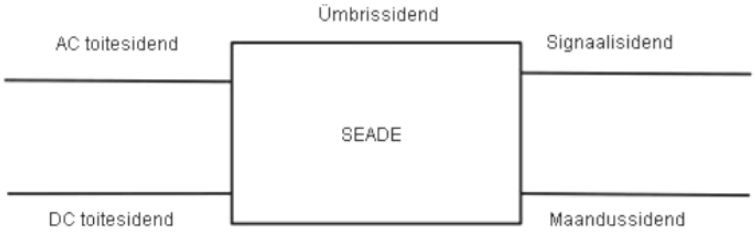
- OKVT keskkonnas vaadeldakse töötavana seadmeid, mis on ette nähtud ühendamiseks avalikku madalpingevõrku või mis on ühendatud avalikku madalpingevõrku toiteplokkide kaudu.
- Standard kehtib ka seadmete kohta, mida toidetakse mitteavalikust, kuid mitte tööstuslikust madalpingelisest jaotussüsteemist, sh akudest ja patareidest (piiratud asukohtades).

Seega avaliku jaotusvõrgu jaoks kehtestatud reeglistik peab lähtuma OKVT EM-keskkonna tingimustest. **Antud hetkel Eestis kehtiv regulatiivne alus paraku ei sisalda konkreetseid alusviiteid, mille kohaselt peaks avalikku jaotusvõrku ühendatavatele tarvititele rakendama OKVT-alustingimusi.**

TKK piirnormid lähtuvad kõrgemast tolerantsist emissioonile, kuid eeldavad ka tugevamat immuunsust. TKK näideteks on suurt võimsust kasutavad seadmed ja paigaldised, mis töötavad samal ajal ja on omavahel ühendatud, toidetuna mitteavalikust madalpingevõrgust. Koormused on muutlikud ja võivad olla suurte kõikumistega.

Mõlemate keskkondade määratluses on kehtestatud erinevad normid ja protseduurid, mis puudutavad erinevaid seadme- ja keskkonna kokkupuutepunkte. Viimasteks on IEC TR 61000-5-2 näidetel (vt Joonis 5-1).

- Ümbrissisend (kest, korpus);
- Jõu-/ toitesisend (mh vahelduvvoolu-toitesisend), võib eristada nii alalis- kui vahelduvvoolusisendeid; see on sisend, mis on ette nähtud kas seadme toiteenergia või ka väljundenergia edastamiseks.
- Signaali-/ juhtimis-/ telekommunikatsioonisisend, mis on ette nähtud signaalide edastamiseks ja vastuvõtmiseks; sh sisend-väljundliinid, antenniliinid jpm.
- Maandussisend, so ühenduspunkt, mis on ette nähtud talitlus- või kaitsemaanduse ühendamiseks;



Joonis 5-1. Erinevad seadmega seotud sisendid IEC TR 61000-2-5 näitel.

Dokumentides 61000-6-1, 61000-6-2, 61000-6-3, 61000-6-4 esitatud tingimused on üldised suunised erinevate keskkondade piiritingimuste määramiseks. Olulisimad näitajad siin on lubatud EM-emissiooni suurimad väärtused ja seadmetelt oodatav immuunsustase.

Tabel 5-1. Erinevate sisendite jaoks kehtestatud emissiooni piirtasemed OKVT ja TKK keskkondadele, samuti immuunsusnõuded. KT- kvaasitipp-väärtus ingl. k quasi-peak); keskv. - keskväärtus. Olulisimate suuruste absoluutühikuline suurus esitatud sinisega.

	Emissioon		**Immuunsus**	
	IEC 61000-6-3 OKTV	IEC 61000-6-4 TKK	IEC 61000-6-1 OKTV	IEC 61000-6-2 TKK
VV jõusisend, juhtivuslik häiring	**0,15 … 0,5 MHz:** - 66 … 56 dBµV KT **2 … 0,63 mV KT** - 56 … 46 dBµV keskv. **0,5 … 5 MHz:** - 56 dBµV KT - 46 dBµV keskv. **5 … 30 MHz:** - 60 dBµV KT - 50 dBµV keskv.	**0,15 … 0,5 MHz:** - 79 dBµV KT **8,9 mV KT** - 66 dBµV keskv. **0,5 … 30 MHz:** - 73 dBµV KT - 60 dBµV keskv.	**0,15 … 80 MHz:** - **3,0 V**	**0,15 … 80 MHz:** - **10 V**
Telekom. ja võrgusisend, juhtivuslik häiring	**0,15 … 0,5 MHz:** - 84 … 74 dBµV KT **16 … 5 mV KT** - 74 … 64 dBµV keskv. **0,5 … 30 MHz:** - 74 dBµV KT - 64 dBµV keskv.	**0,15 … 0,5 MHz:** - 97 … 87 dBµV KT **71 … 22 mV KT** - 84 … 74 dBµV keskv. **0,5 … 30 MHz:** - 87 dBµV KT - 74 dBµV keskv.	**0,15 … 80 MHz:** - **3,0 V**	**0,15 … 80 MHz:** - **10 V**
AV jõusisend, juhtivuslik häiring	**0,15 … 0,5 MHz:** - 79 dBµV KT **8,9 mV KT** - 66 dBµV keskv. **0,5 … 30 MHz:** - 73 dBµV KT - 60 dBµV keskv.	**0,15 … 0,5 MHz:** - 89 dBµV KT **28 mV KT** - 76 dBµV keskv. **0,5 … 30 MHz:** - 83 dBµV KT - 70 dBµV keskv.	**0,15 … 80 MHz:** - **3,0 V**	**0,15 … 80 MHz:** - **10 V**
Ümbrissisend, kiirguslik väli, võrdluseks	**30 … 230 MHz:** 30 dBµV/m - KT / 10 m **230 … 1000 MHz:** 37 dBµV/m - KT / 10 m	**30 … 230 MHz:** 40 dBµV/m - KT / 10 m **230 … 1000 MHz:** 47 dBµV/m - KT / 10 m	**80 – 1000 MHz:** - **3,0 V/m**	**80 – 1000 MHz:** - **10 V/m**
Märkused:				

1. KT tähendab kvaasitipp-väärtust (ingl. k *quasi-peak*), mis annab lühiajalistele intensiivsetele nähtustele suurema kaalu mõõtetulemustes, võrreldes keskväärtus-mõõtetulemusega. Seetõttu on ka KT lubatud piirnormid kõrgema tasemega.
2. Piirarvude suure ulatuse tõttu on siin tabelis ja normdokumentides kajastatud erinevad suurused ühikutes dBμV, mis tähistab „detsibelli mikrovoldi suhtes". Selle ühiku alusel leitav SI-absoluutühiksuurus on leitav kasutades tehet
   $U_{[V]} = 1\,\mu V \cdot 10^{U_{[dB\mu V]}/20}$,
   milles olulisimad $U_{[V]}$ on suurus põhiühikus „volt" (V) ning $U_{[dB\mu V]}$ on suurus ühikus dBμV „detsibelli mikrovoldi suhtes".
   Olulisimad seosed:
   0 dBμV = 1 μV
   20 dBμV = 10 μV
   40 dBμV = 100 μV
   60 dBμV = 1 mV
   80 dBμV = 10 mV

Ülaltoodud näitajad kirjeldavad

- Erinevatel liidestel ja sisenditel, sõltuvalt nende rollist, võivad olla väga erinevad nõuded. Kui eeldatakse, et sarnase emissioonitasemega seadmeid seatakse ühises EM-keskkonnas tööle suurema arvukusega, on ka neile esitatud emissiooninõuded rangemad (vt VV jõusisend ja telekom. sisend võrdlus). Silma tuleb pidada, et erinevatele liidestele ja sisenditele seatud immuunsustaseme nõuded on identsed, erinevus on vaid OKVT ja TKK vahel.
- Eri sagedusvahemikes esinevad EM-emissiooni piirsuurused on erinevad. Seepärast tuleb rõhku pöörata täpsemale sageduseristusele.

Tuleb rõhutada, et nii OKVT kui ja TKK puhul on vastavalt dokumentides IEC 61000-6-3 ja IEC 61000-6-4 selgelt välja toodud tolerantsile viitavad asjaolud:

> *„Emissioonipiiramisnõuded hõlmavad sagedusvahemikku 0 Hz kuni 400 GHz. Sagedustel, mille puhul mingeid nõudeid ei esitata, ei ole mõõtmisi vaja sooritada."*

> *„Seadmed, mis rahuldavad nõudeid … [piirangute detaile kajastavate tabelite loetelu] … esitatud sageduspiirkondade korral, loetakse nõuetele vastavateks kogu sageduspiirkonnas 9 kHz kuni 400 GHz".*

Piirangute detaile kajastavad tabelites esitatud sagedusvahemikud on kajastatud ka ülaltoodud tabelis. **Sellest tulenevalt nimetatud EM-keskkonnastandardid ei reguleeri ühelgi juhul selliste EM-häiringute emissiooni, mis langeksid Elektrilevi OÜ ELS poolt kasutatavasse sagedusalasse (60 … 80 kHz) ja võiksid mõjuda ELS andmesidet häirivalt.** Regulatiivsel tasemel võib siiski leida abi üleüldiselt kehtivatest standarditest, näiteks EVS-EV 61000-2-2 / AC1:2017 / AC2:2019 kehtestab ühilduvuspiirid ka sagedusvahemikule 9 kHz … 150 kHz. Sellised piirid kehtivad mistahes keskkonnas järgmiselt:

- EM-emissiooninivoo peab olema vähemalt mõnevõrra madalam, kui kehtestatud ühilduvusnivoo;

- EM-piirimmuunsusnivoo peab olema vähemalt mõnevõrra kõrgem, kui kehtestatud ühilduvusnivoo.

Märkusena, et EVS-EV 61000-2-2 / AC2:2019 sätestab ühilduvusnivood 30 kHz … 150 kHz sagedusvahemikus alates 2019. aastast. Teisalt, selle standardi ühilduvusnivoode esitamine ei tähenda tootestandardite automaatset uuendamist; tootestandardis olev klausel, mis nõuab mõõtmist alates sagedusest 150 kHz elimineerib madalamatel sagedustel esinevate nõuete vaatlemise nõude.

Teisalt võib suurel määral eeldada, et seadmete tugevate emissioonide korral sagedustel alla 150 kHz esinevad tuntavad häiringuid ka sagedustel üle 150 kHz. Sellise eelduse paikapidavus vajab täiendavat kontrolli, kuid võib olla viisiks, mil moel piirata nende seadmete kasutust, mis võiksid ELS tööd häirida. Üle 150 kHz piire ületavate tasemetega häiringute emissiooniga seadmete kasutamist on võrgus võimalik piirata ning 150+ kHz juhtivuslike häiringute piirtasemed on kirjeldatud erinevates standardites. Üle 150 kHz juhtivuslike emissioone kirjeldavad standardid on laialt rakendatud ja ranged.

NB! Tulenevalt erinevast emissioonipiirmäärade tasemest OKVT ja TKK vahel, ei saa mingil juhul eeldada, et TKK vastavusnõudeid täitev seade/süsteem oleks kasutatav OKVT keskkonnas selliselt, et see seade/süsteem ei halvendaks OKVT kvaliteeti. Kuna OKVT immuunsuse piirnormid on madalamad TKK piirnormidest, siis TKK seadmed iseeneselt talitleksid OKVT korral eeldatavalt probleemideta. Selleks, et tagada TKK seadmete/süsteemide töö OKVT keskkonnas selliselt, et säiliks OKVT kui EM-keskkonna madala müratasemega kvaliteet, tuleb TKK seadmete ühendamisel OKVT keskkonnaga:

1) **Rakendada filtreid**, millega vähendatakse TKK seadme juhtivuslikult levivaid EM-emissioone vähemalt 10 dB võrra sagedusvahemikus 0,15 … 80 MHz.
2) **Rakendada täiendavat varjestust**, millega vähendatakse TKK seadme kiirguslikult levivaid EM-emissioone vähemalt 10 dB võrra sagedusvahemikus 30 … 1000 MHz.

Antud tingimused on vajalik lisada ka konkreetsesse juhendmaterjali, millisel juhtumil on TKK seadmeid lubatud avaliku jaotusvõrguga (sh Elektrilevi OÜ võrk) ühendada. Detailsemad ettepanekud juhendmaterjali sisu kohta on esitatud antud aruande lisas.

5.7 TOOTESTANDARDID JA SAGEDUSRIBAS 9 KHZ ... 150 KHZ ESITATAVAD NÕUDED

Järgnevalt on esitatud tüüpilisemate tootestandardite ülevaade, mis määratleb lubatud EM-emissiooni tasemed juhtivuslikele häiringutele, millised on mõõdetavad toodete võrgusidenditest. Erinevad standardid loetlevad ka toote klassid, millised on ette nähtud ühendamiseks avalikku madalpingevõrku ja millised ei ole ette nähtud avalikku madalpingevõrku ühendamiseks. Siin esitatud standarditega nimetatud kontekst annab ülevaate:

- **millised peaksid olema spetsifitseeritud nõuded, milliseid seadmeid lubada klientidel otse Elektrilevi OÜ madalpinge-jaotusvõrku ühendada;**
- milliste seadmete klasside korral on vaja rakendada täiendavaid leevendusmeetmeid võimalike EM-mürade piiramiseks.

5.7.1.1 EN 55011 (CISPR 11)

Eesti standardina: EVS-EN 55011:2016. Tööstus-, teadus- ja meditsiiniseadmed. Raadiosageduslike häiringute tunnussuurused. Piirväärtused ja mõõtemeetodid.

Standardiga reguleeritavad seadmed: Standard kirjeldab tööstus-, teadus-, ja meditsiiniseadmetele esitatavad nõuded (ingl. k *industrial, scinetific, medical* – ISM), millised oma funktsioonide täitmiseks kasutavad või mingil viisil emiteerivad raadiosageduslikku EM-välja. Siia kuuluvad näiteks signaaligeneraatorid, numbrinäiduga sagedusmõõturid, kaalumisseadmed, elektroonilised mikroskoobid, impulsstoiteblokid ja pooljuhtmuundurid (kui ei ole seadme osad), plasma- ja huumlahendus-kütteseadmed, röntgendiagnostikaseadmed, kompuutertomograafia seadmed, ultraheli diagnoosi ja -teraapia seadmed, reguleerivad lülitid jpm.

Standardis käsitletav sagedusvahemik: Standard katab EM-häiringute emissioonile esitatavad nõuded, mis on seotud sagedusvahemikuga 9 kHz kuni 400 GHz. Mõõtmised tuleb teha ainult sagedusvahemikes, mille kohta on selles dokumendis kirjeldatud nõuded arvuliste väärtustena.

Sagedusvahemikus 9 kHz kuni 150 kHz ei ole piirväärtused määratletud.

Määratlused ja kasutatud klassifikatsioon: CISPR 11 jaotab seadmed nende kasutus-sihtkeskkonna alusel kahte klassi (klassid A ja B) ning täiendavalt nende funktsioonist tulenevalt kahte gruppi (grupid 1 ja 2).

- CISRP 11, klassi A seadmed on seadmed, mida ei ole lubatud kasutada elukeskkondades. **CISRP 11, klassi A kuuluvaid seadmeid ei ole ette nähtud otse avalikku madalpinge elektrivõrku ühendada**.
- CISPR 11, klassi B seadmed on seadmed, mis on sobilikud kasutamiseks elukeskkonnas ja majapidamistes, ja mis on ette nähtud ühendamiseks otse avalikku madalpinge elektrivõrku.
- CISPR 11, grupp 1: kõik antud standardis kirjeldatud seadmed, mis ei kuulu antud standardi gruppi 2.
- CISPR 11, grupp 2: ISM-seadmed, mille raadiosageduslik EM-emissioon sagedusvahemikus 9 kHz kuni 400 GHz on tahtlikult genereeritud ja kasutatud või ainult kasutatud koha peal EM-kiirguse vormis, sh induktiiv- ja/või mahtuvuslik sidestus, materjali töötlemiseks kontrollimise/analüüsi eesmärkidel või EM-energia ülekandeks.

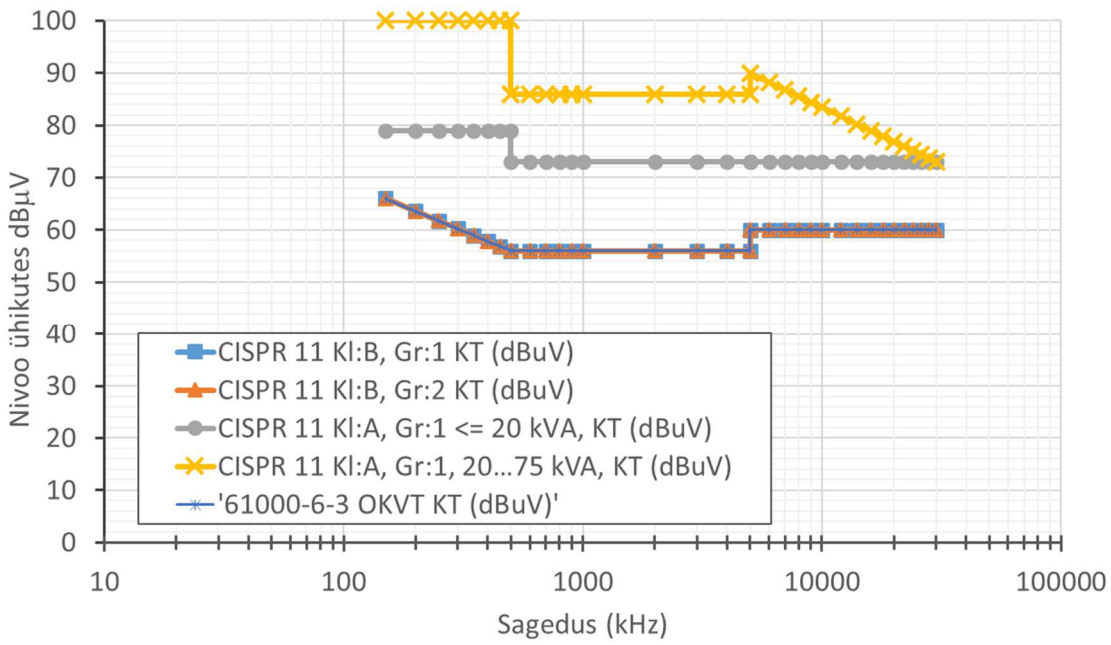
Juhtivuslike häiringute mõõtemeetod: AMN CISPR 16-2-1 50 Ω/50 μH (0,15 … 30 MHz).

Juhtivuslike häiringute emissiooni piirnormid: Vahelduvvoolu toiteportides kvaasitipp- (KT) detektoriga mõõtmisel on piirnormid esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 5-2) ning võrdlus OKVT keskkonna lubatud tasemetega (61000-6-3) on esitatud graafikul (vt Joonis 5-2).

Tabel 5-2. CISPR11 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55011:2016, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel.

Klass ja grupp	**Lubatud EM-emissioni suurim tase, dBμV**	**Sagedusvahemik, MHz**				
		0,009 … 0,05	**0,05 … 0,15**	**0,15 … 0,5**	**0,5 … 5**	**5 … 30**
CISPR 11: klass B, grupp 1 ja grupp 2		-	-	66 -> 56*	56	60
CISPR 11: klass A, grupp 1, ≤ 20 kVA		-	-	79	73	73
CISPR 11: klass A, grupp 1, 20…75 kVA		-	-	100	86	90 -> 73*
CISPR 11: klass A, grupp 1, > 75 kVA				130	125	115
CISPR 11: klass A, grupp 2, ≤ 75 kVA				100	86	90 -> 73*
CISPR 11: klass A, grupp 2, > 75 kVA				130	125	115

Tähelepanu! Need seadmed, mis kuuluvad CISPR11 alla, kuid mitte CISPR 11 klassi A, ei ole ette nähtud ühendamiseks avalikku madalpinge elektrivõrku. Kuigi need on potentsiaalselt võrku ja võrguga seotud keskkonna häiringuid põhjustavad seadmed, siis ei ole antud tootestandardi kohaselt neid vaja eraldi tähistada hoiatusega, mis viitaks kõrgendatud müraemissioonidele ja sellest tulenevatele potentsiaalsetele häiringuolukordadele.



Joonis 5-2. CISPR 11 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 ja 61000-6-4 keskkondade lubatud tasemetega.

5.7.1.2 EN 55014-1 (CISPR 14-1)

Eesti standardina: EVS-EN 55014-1:2017. Elektromagnetiline ühilduvus. Nõuded majapidamismasinatele, elektrilistele tööriistadele ja nende sarnastele seadmetele. Osa 1: Emissioon.

Standardiga reguleeritavad seadmed: Laiemas plaanis käsitletakse majapidamis- ja olmeseadmeid, mis ei ole reguleeritud muude regulatsioonidega (nt CISPR 15 valgustid, CISPR 32 multimeediaseadmed, sh IT seadmed, CISPR 11 alla kuuluvad seadmed jt). Standardi reguleerimisalas on näiteks toiduvalmistamis- ja säilitusseadmed, tööriistad, mänguasjad, samuti nende seadmetega seotud toiteallikad.

Standardis käsitletav sagedusvahemik: Standard katab EM-häiringute emissioonile esitatavad nõuded, mis on seotud sagedusvahemikuga 9 kHz kuni 400 GHz. Osadele seadmetele esitatakse nõuded ka sagedusvahemikus alates 9 kHz ülespoole, tüüpiliselt on esitatud nõuded 150 kHz kõrgematele sagedustele.

Määratlused ja kasutatud klassifikatsioon: CISPR 14-1 vaatleb eraldi järgmiseid seadmete alamgrupeeringuid:

- Tööriistad
- Induktsioon-toidukuumutusseadmed
- Elektrikarjused
- Mänguasjad (alamkategooriad A …. E)

Juhtivuslike häiringute mõõtemeetod: AMN CISPR 16-2-1; 9 kHz … 150 kHz: 50 Ω/50 µH + 5 Ω; 150 kHz … 30 MHz: 50 Ω/50 µH.

Antud standard sisaldab suurel määral täpseid katsetingimusi, mille korral eri tüüpi seadmetega viiakse läbi EM-häiringute emissiooni mõõtmise katsed.

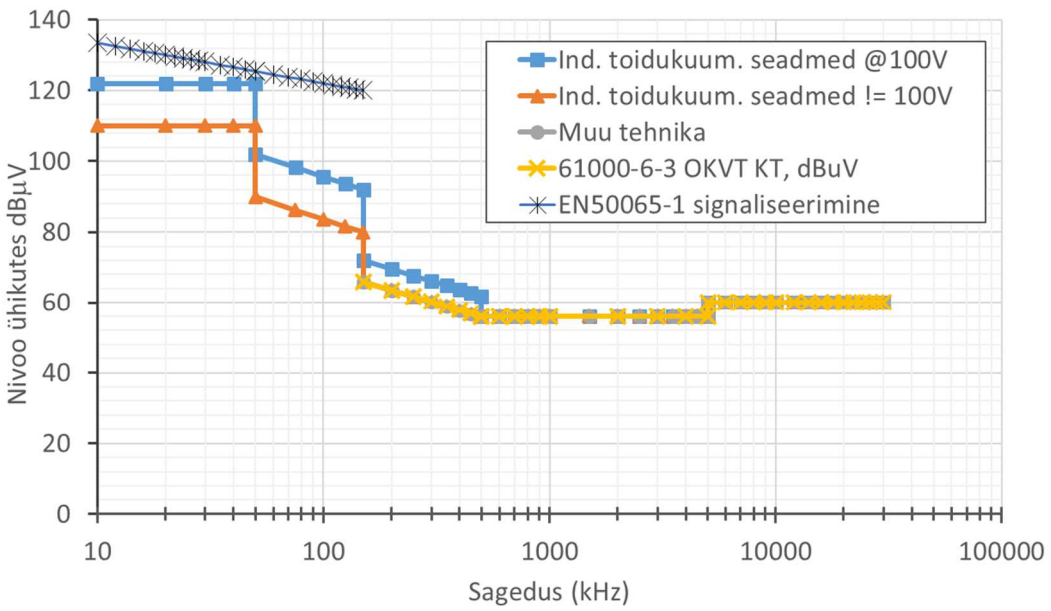
Juhtivuslike häiringute emissiooni piirnormid: Vahelduvvoolu toiteportides kvaasitipp- (KT) detektoriga mõõtmisel on piirnormid esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 5-3) ning võrdlus OKVT keskkonna lubatud tasemetega (61000-6-3) on esitatud graafikul (vt Joonis 5-3). Juhul, kui ei ole muul viisil kirjeldatud, tuleb lähtuda CISPR 14-1 üldistest piiridest.

Tabel 5-3. CISPR14-1 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55014-1:2017, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel.

Klass ja grupp	**Lubatud EM-emissioni suurim tase, dBμV**	**Sagedusvahemik, MHz**				
		0,009 … 0,05	**0,05 … 0,15**	**0,15 … 0,5**	**0,5 … 5**	**5 … 30**
CISPR 14-1: induktsioon-toidukuumutusseadmed, mille nimipinge on 100 V ja mis on maandamata		122	102 -> 92*	72 -> 62*	56	60
CISPR 14-1: induktsioon-toidukuumutusseadmed, väljaspool ülemise rea tingimusi		110	90 -> 80*	66 -> 56*	56	60
CISPR 14-1: üldised piirid		-	-	66 -> 56*	56	60

CISPR 14-1 kirjeldatud seadmetest on avaliku jaotusvõrgu kontekstis ette nähtud keskkonna parameetreid ületav ainult nõuete osa, mis puudutab 100 V nimipingega ja maandamata induktsioon-kuumutusseadmeid. Teisalt kirjeldatud seadmeid ei ole võimalik 230 V nimipingega madalpinge-jaotusvõrguga niikuinii vahetult otse ühendada.

CISPR 14-1 nõuetele vastavad seadmed vastavad tingimustele (va ainult ülal kirjeldatud erand), mis on esitatud avalike madalpingevõrkude EM-keskkonna kontekstis, vt EVS-EN 61000-6-3. CISPR 14-1 tingimustele vastavad seadmed on seega ette nähtud ka ühendamiseks avaliku madalpinge-jaotusvõrguga.



Joonis 5-3. CISPR 14-1 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega. Samuti esitatud võrdlus EN 50065-1 standardis kirjeldatud ELS signaliseerimistasemetega.

5.7.1.3 EN 55015 (CISPR 15)

Eesti standardina: EVS-EN 55015:2013. Elektrivalgustite ja nende sarnaste seadmete raadiohäiringu-tunnussuuruste piirväärtused ja mõõtemeetodid

Standardiga reguleeritavad seadmed: mistahes valgustid ja valgustussüsteemid, sealhulgas madalpingevõrgust toidetavad seadmed ja akutoitel seadmed, tänavavalgustus välikasutuseks. Standard ei hõlma valgusteid, mis on näiteks lennuväljadel ja lennujaamades, mille kohta kehtivad muud normdokumendid.

Standardis käsitletav sagedusvahemik: Standard katab EM-häiringute emissioonile esitatavad nõuded, mis on seotud sagedusvahemikuga 9 kHz kuni 400 GHz. Madalpingevõrkudega ühendatud seadmete jaoks esitatakse juhtivuslike EM-emissioonide tasemete nõuded sagedusvahemikus alates 9 kHz … 30 MHz.

Määratlused ja kasutatud klassifikatsioon: Dokumendis on erinevad tingimused kirjeldatud mh järgmistele seadmetüüpidele:

- Sisevalgustid
- Valgustusseadmetega koos kasutamiseks ette nähtud sõltumatud lisaseadmed (nt hämardid)
- Sisseehitatud ballastiga valgustid
- Välisvalgustid
- UV ja IR kiirgurid
- Transpordivahendite sisevalgustid
- Iseseisvad avariivalgustusseadmed
- Leed-valgusallikad

  jt.

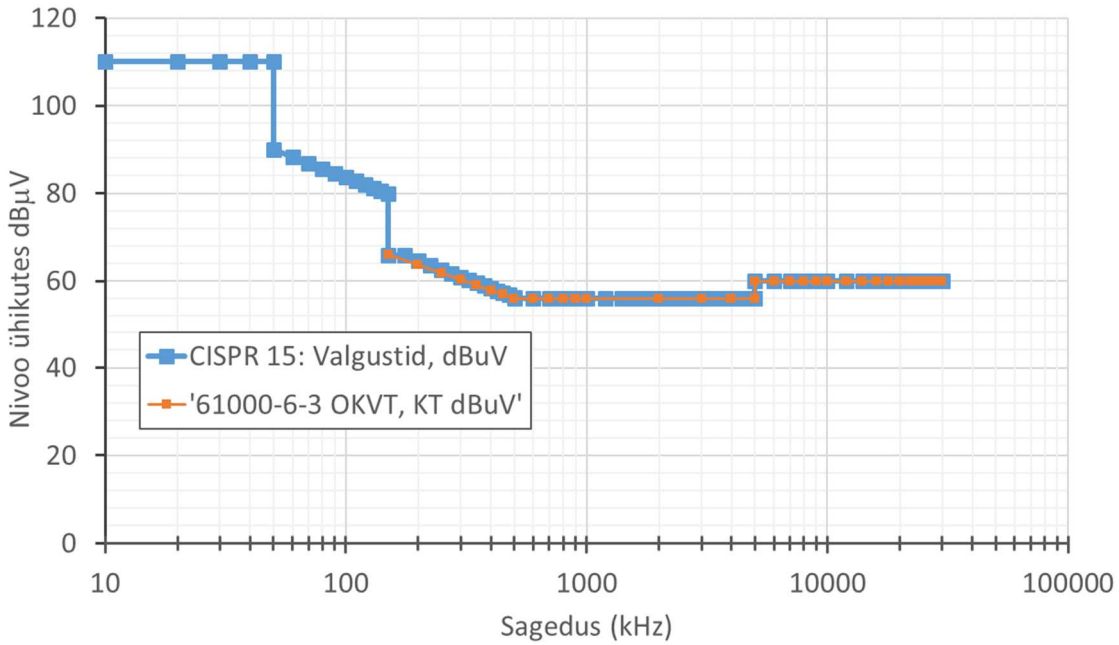
Juhtivuslike häiringute mõõtemeetod: AMN CISPR 16-2-1; 9 kHz … 150 kHz: 50 Ω/50 µH + 5 Ω; 150 kHz … 30 MHz: 50 Ω/50 µH.

Juhtivuslike häiringute emissiooni piirnormid: Vahelduvvoolu toiteportides kvaasitipp- (KT) detektoriga mõõtmisel on piirnormid esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 5-3) ning võrdlus OKVT keskkonna lubatud tasemetega (61000-6-3) on esitatud graafikul (vt Joonis 5-2).

Tabel 5-4. CISPR 15 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55014-1:2017, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel.

Klass ja grupp	Lubatud EM-emissioni suurim tase, dBµV	Sagedusvahemik, MHz				
		0,009 … 0,05	0,05 … 0,15	0,15 … 0,5	0,5 … 5	5 … 30
CISPR 15: vahelduvvoolu-toitepordi piirangud		110	90 -> 80*	66 -> 56*	56	60

CISPR 15 nõuetele vastavad seadmed vastavad tingimustele, mis on esitatud avalike madalpingevõrkude EM-keskkonna kontekstis, vt 61000-6-3. CISPR 15 tingimustele vastavad seadmed on seega ette nähtud ka ühendamiseks avaliku madalpinge-jaotusvõrguga.



Joonis 5-4. CISPR 15 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega.

5.7.1.3.1 EN55032 (CISPR 32)

Eesti standardina: EVS-EN 55032:2015. Multimeediaseadmete elektromagnetiline ühilduvus. Kiirgusnõuded.

Standardiga reguleeritavad seadmed: CISPR 32 koondab EM-häiringute emissiooni regulatsioonid, mis käsitlevad nii IT-seadmeid (end CISPR22) ja ka audio- ja videoseadmeid (end CISPR 13).

Standardis käsitletav sagedusvahemik: Standard katab EM-häiringute emissioonile esitatavad nõuded, mis on seotud sagedusvahemikuga 9 kHz kuni 400 GHz. Mõõtmised tuleb teha ainult sagedusvahemikes, mille kohta on selles dokumendis kirjeldatud nõuded arvuliste väärtustena.

Sagedusvahemikus 9 kHz kuni 150 kHz ei ole piirväärtused määratletud. Seade, mis vastab standardis määratletud sagedusvahemike kohta kehtestatud nõuetele, loetakse nõuetele vastavaks kogu sagedusvahemikus 9 kHz kuni 400 GHz.

Määratlused ja kasutatud klassifikatsioon: Standard käsitleb seadmeid kahes klassis, sõltuvalt nende rakenduskeskkonnast.

- CISPR 32 klass A: **mitte-elukeskkonnas kasutamiseks mõeldud seadmed**;
- CISPR 32 klass B: peamiselt elukeskkonnas kasutamiseks ette nähtud seadmed.

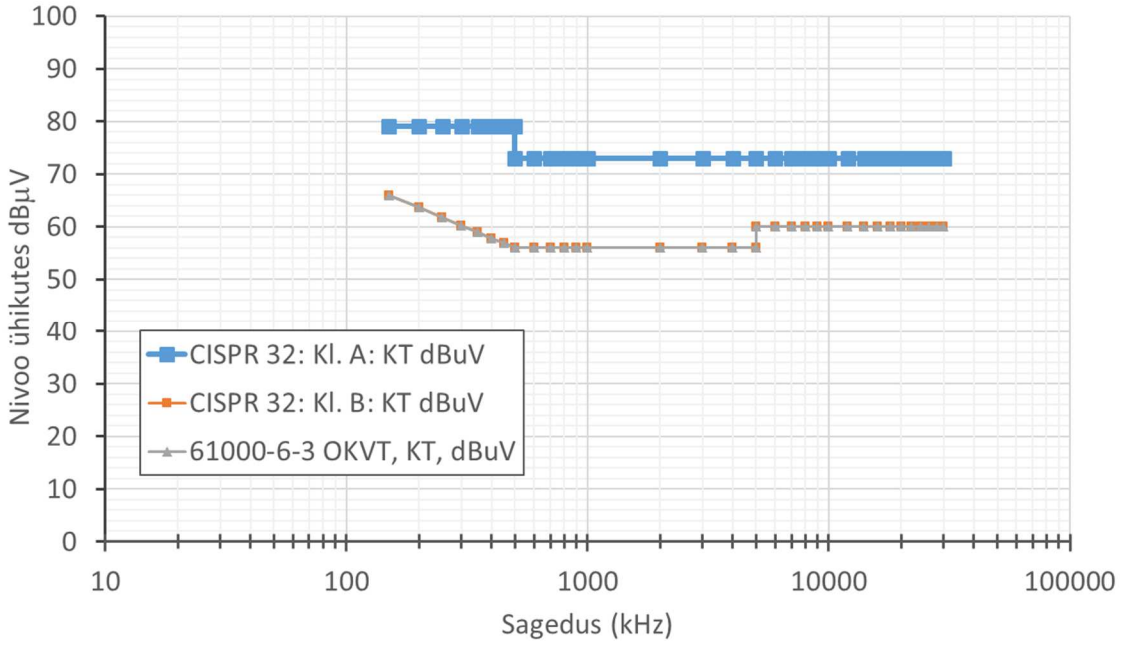
Seadmete klassifikatsiooni aluseks on määratletud selliselt, et klassi B nõuete täitmisel on võimalik tagada piisav ringhäälinguteenuste kvaliteet elukeskkonnas.

Juhtivuslike häiringute mõõtemeetod AMN CISPR 16-2-1 50 Ω/50 µH (0,15 … 30 MHz).

Juhtivuslike häiringute emissiooni piirnormid: Vahelduvvoolu toiteportides kvaasitipp- (KT) detektoriga mõõtmisel on piirnormid esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 5-5) ning võrdlus OKVT keskkonna lubatud tasemetega (61000-6-3) on esitatud graafikul (vt Joonis 5-5).

Tabel 5-5. CISPR 32 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN 55032-1:2015, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel.

Klass ja grupp	**Lubatud EM-emissioni suurim tase, dBµV**	**Sagedusvahemik, MHz**				
		0,009 … 0,05	**0,05 … 0,15**	**0,15 … 0,5**	**0,5 … 5**	**5 … 30**
CISPR 32, klassi A kuuluvad seadmed		-	-	79	73	73
CISPR 32: klassi B kuuluvad seadmed		-	-	66 -> 56*	56	60



Joonis 5-5. CISPR 32 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega.

CISPR 32 klass A seadmed ei ole ette nähtud ühendamiseks otse avaliku madalpinge jaotusvõrguga. Antud tootestandardile vastavatel seadmetel, millised vastavad selles standardis määratletud klassi A nõuetele, peab kasutusjuhendis olema hoiatus raadiohäirete tekitamise kohta. Näiteks:

Hoiatus: seadme kasutamine elukeskkonnas võib tekitada raadiohäireid.

5.7.1.4 IEC 61204-3

Eesti standardina: EVS-EN IEC 61204-3:2018. Madalpingelised alalisvooluväljundiga toiteallikad. Osa 3: Elektromagnetiline ühilduvus.

Standardiga reguleeritavad seadmed: Impulss-toitemuundurid (ingl. k *switch mode power supply*, SMPS), mida toidetakse kuni 1 kV vahelduv-madalpingevõrgust või 1,5 kV alalispingevõrgust. Inverterid, mille väljund ühendatakse madalpingevõrku, ei kuulu antud standardi käsitlusalasse.

Standardis käsitletav sagedusvahemik: 150 kHz … 1 GHz

Määratlused ja kasutatud klassifikatsioon: Antud standard nimetab toiteallikad kahe tüübina:

- Eraldiseisvad toiteallikad, mille puhul neid käsitletakse eraldi seadmetena ja nende tootja on vastutav nende EMÜ kriteeriumidele vastavuse eest. Siia kuuluvad tüüpiliselt näiteks seadmetest väljaspool paiknevad toiteallikad ja akulaadijad.
- Toiteallikad kui komponendid mingile teisele seadmele/paigaldisele, mis jagunevad kategooriatena:

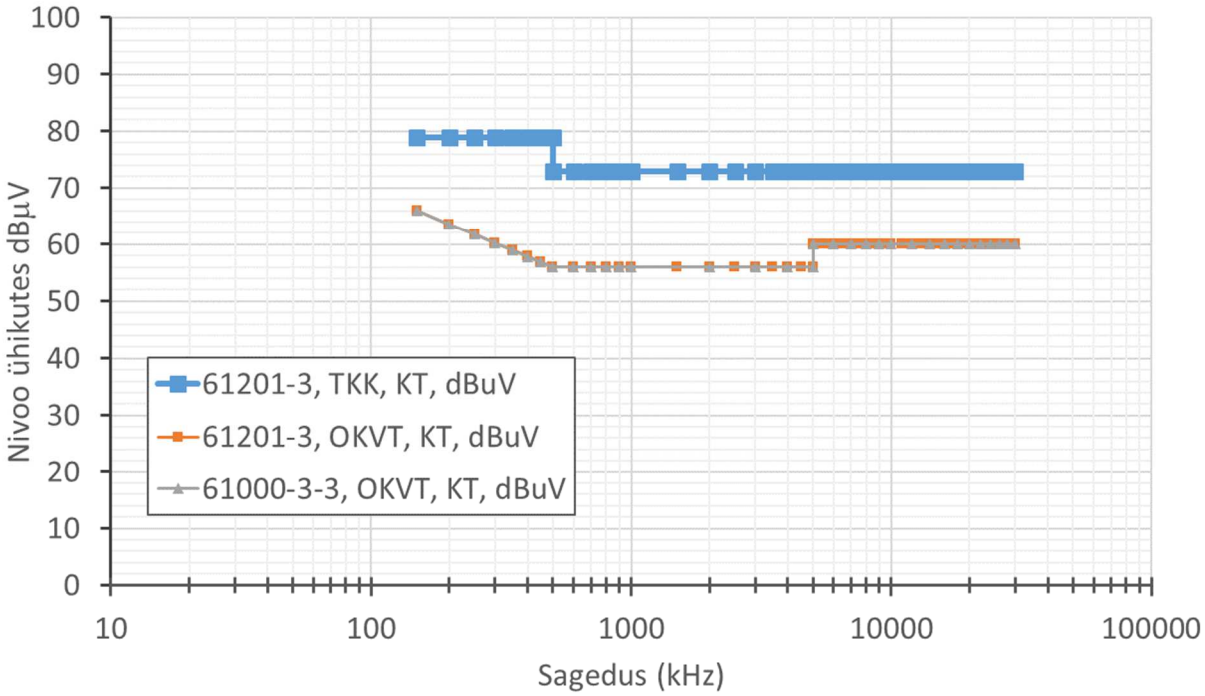
- Käsitletavad kui eraldiseisvad toiteallikad, mille EMÜ kriteeriumid on sarnased teistele eraldiseisvatele allikatele; samas nende täiendavaid EMÜ vastavuse kontrollkatseid ei sooritata.
- Komponendid professionaalsele paigaldajale, mis on ette nähtud kasutamiseks teistes seadmetes; kasutussihtkohaks olevatel süsteemidel võib olla oma tootestandard, millele vastavust EMÜ kriteeriumide osas eraldi kontrollitakse, kogu seadme kohta.

Juhtivuslike häiringute mõõtemeetod: AMN CISPR 16-2-1 50 Ω/50 μH (0,15 … 30 MHz).

Juhtivuslike häiringute emissiooni piirnormid: Vahelduvvoolu toiteportides kvaasitipp- (KT) detektoriga mõõtmisel on piirnormid esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 5-3) ning võrdlus OKVT keskkonna lubatud tasemetega (61000-6-3) on esitatud graafikul (vt Joonis 5-2).

Tabel 5-6. IEC 61204-3 emissiooni piirnormid vastavalt EVS-EN IEC 61204-3:2018, kvaasitipp-detektoriga mõõtmisel.

Klass ja grupp	**Lubatud EM-emissioni suurim tase, dBμV**	**Sagedusvahemik, MHz**				
		0,009 … 0,05	**0,05 … 0,15**	**0,15 … 0,5**	**0,5 … 5**	**5 … 30**
EVS-EN IEC 61204-3:2018 piirnormid mitte-OKVT jaoks		-	-	79	73	73
EVS-EN IEC 61204-3:2018 piirnormid OKVT jaoks		-	-	66 -> 56*	56	60



Joonis 5-6. IEC 61204-3 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega.

5.7.1.5 IEC 61800-3

Eesti standardina: EVS-EN IEC 61800-3:2017. Reguleeritava kiirusega elektriajamisüsteemid. Osa 3: Elektromagnetilise ühilduvuse nõuded ja erikatsetusmeetodid

Standardiga reguleeritavad seadmed:

Standardis käsitletav sagedusvahemik: 150 kHz … 1 GHz

Määratlused ja kasutatud klassifikatsioon: Seadmed jaotatakse vastavalt nende kasutus-sihtkoha keskkonna ja seejärel täiendavatesse kategooriatesse.

- Esimest tüüpi keskkond hõlmab olme- ja elamualasid, millised saavad oma toite otse avalikust madalpingevõrgust, ilma vahepealseid trafosid rakendamata.
- Teist tüüpi keskkond hõlmab kõiki muid seadmeid, mille puhul madalpingevõrgu tasemel otseühendus ülejäänud olme-jaotusvõrguga puudub.

Kategooriad: kasutatakse terminit *power drive system* (PDS)

C1 - PDS nimipingel alla 1 000 V, esimeses keskkonnas kasutamiseks;

C2 - PDS nimipingega alla 1 000 V, mis ei ole pistikühendusega ega teisaldatav; kui sellist kasutatakse esimest tüüpi keskkonnas, tuleb seda taha ainult eriala spetsialistiga;

C3 - PDS nimipingega alla 1 000 V, mis on ette nähtud kasutamiseks teist tüüpi keskkonnas ja mitte esimest tüüpi keskkonnas;

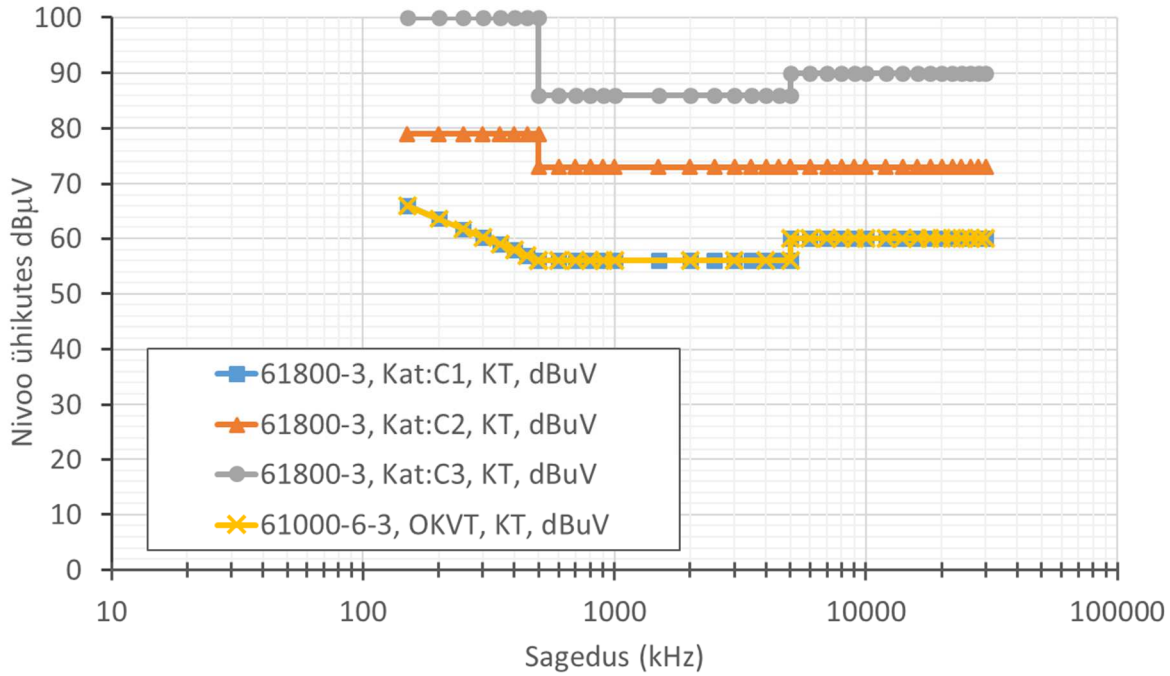
C4 - PDS nimipingega 1 000 V või üle, või nimi-toitevooluga 400 A või kõrgem, mis on ette nähtud kasutamiseks keerulistes süsteemides teist tüüpi keskkonnas.

Juhtivuslike häiringute mõõtemeetod: AMN CISPR 16-2-1 50 Ω/50 μH (0,15 … 30 MHz).

Juhtivuslike häiringute emissiooni piirnormid: Vahelduvvoolu toiteportides kvaasitipp- (KT) detektoriga mõõtmisel on piirnormid esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 5-3) ning võrdlus OKVT keskkonna lubatud tasemetega (61000-6-3) on esitatud graafikul (vt Joonis 5-2).

Klass ja grupp	**Lubatud EM-emissioni suurim tase, dBμV**	**Sagedusvahemik, MHz**				
		0,009 … 0,05	**0,05 … 0,15**	**0,15 … 0,5**	**0,5 … 5**	**5 … 30**
EVS-EN IEC 61800-3:2017 piirnormid: kategooria C1		-	-	66 -> 56*	56	60
EVS-EN IEC 61800-3:2017 piirnormid: kategooria C2		-	-	79	73	73
EVS-EN IEC 61800-3:2017 piirnormid: kategooria C3, I ≤ 100 A		-	-	100	86	90 -> 73*
EVS-EN IEC 61800-3:2017 piirnormid: kategooria C3, I ≤ 100 A		-	-	130	125	115

NB! Kirjeldatud dokument sätestab üheselt, et juhul, kui tegemist ei ole EVS-EN IEC 61800-3 kategooria C1 seadmega, **tuleb see seade varustada selge markeeringuga**, mis hoiatab: „olmekeskkonnas võib antud toode tuua kaasa raadiosageduslikud häiringud, millisel juhul võib vaja olla rakendada täiendavaid leevendusvõtteid“. **Sellised seadmed ei ole ette nähtud ühendamiseks otse avaliku madalpinge-jaotusvõrguga.**



Joonis 5-7. IEC 61800-3 EM-häiringute emissiooni piirnormid ning nende võrdlus 61000-6-3 keskkonna lubatud tasemetega.

5.8 ELEKTRIPAIGALDISED JA EMÜ/KÕRGSAGEDUS-ASPEKTID

Elektripaigaldised ise ei ole täiendava müra allikad, kui vaatleme juhistikku ilma seadmeteta. Mürade ja ELS-signaalide kontekstis saab elektripaigaldisi käsitleda kahest aspektist:

- **Mürade liikuvus „liiga suures ulatuses" – filtrite paigutuse vastu eksimine; filtrite ja seadmete kõrgsagedus-tagasivoolujuhi (maandusjuhi) liiga suur näivtakistus müra sagedusel; ahelate ebasobiv kujundus. Tuleb tagada, et mürad püsiksid kindlas ahela allika- ja filtrialas, mitte ei läheks kaugemale.**
- **Signaali sumbumus – kõrgsagedus-aseskeemis ahelate elementide ebasobiv ühendamine, komponentide kõrge näivtakistus kõrgetel sagedustel.**

Elektripaigaldiste EMÜ aspekte kirjeldavad IEC 61000-5 –seeria dokumendid, mis on peegeldatud ka dokumendis **EVS-HD 60364-4-444:2010 Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-444:** Kaitseviisid. Kaitse pingehäiringute ja elektromagnetiliste häiringute eest.

Siiski, paigaldiste ehitamise ja planeerimise seisukohast on tegemist soovitustega ja mitte nõuetega. Selliselt on võimalus valida, lähtudes tehnilistest tingimustest, probleemi olemusest ja vahendite valikust lähtuvalt, millist võtet kasutada ja kuidas ahelaid planeerida. Kõiki dokumendis planeeritud tegevusi ja võtteid ei ole otstarbekas alati koos

rakendada, kuna maksumus, ehitusaeg, ruumilised võimalused jpm ammenduksid selliselt kiirelt.

Siiski üks oluline aspekt – dokumendid annavad hea inseneritava põhijooned. Samuti on regulatsiooni kohaselt vajalik dokumenteerida hea inseneritava kasutamine. **See tähendab, et insener peaks läbi mõtlema ja kaaluma ning seejärel paberile kandma need asjaolud, mille alusel on paigaldises nõutud teatud EMÜ aspektide jälgimine ja mille jaoks.** Sealhulgas on siis võimalik kontrollida, kas füüsikalis-tehnilised tingimused on piisavalt hästi arvesse võetud.

Kuigi heaks tavaks on peetud seda, et viimasena võrguga liitunu hoolitseb, et tema enda seadmed ja paigaldis töötaksid, on sellise määratluse seisukohast problemaatiline nii vaade avaliku jaotusvõrgu töökindluse kui ka võrdse kohtlemise põhimõtetel.

- **Avaliku jaotusvõrgu müratase jõuab kõikide klientideni**. Kõrgsageduslike mürade seisukohast tähendab probleemide ilmnemine nõuetekohastel seadmetele seda, et **müratase ületab seadmete häiringukindluspiire**. Kui kellegi seadmed on häiringukindluse poolest (miinimum)nõuetest tugevamad, ning ei häiru ka märkimisväärse mürataseme olukorras, **siis probleemi tekkimiseks ei saa pidada olukorda, kus nõuetekohase häiringukindlusega seade ühendatakse võrku ning see on esmakordne häiruja**.
- **Avaliku jaotusvõrgu häiringukindlusvaru ei saa pidada ressursiks, mida pidevalt ja reeglitepäraselt sisustada.** *Juhul, kui täiendava seadme kasutusele võtja peab hakkama filtreerima teiste poolt emiteeritud müra, mille tase ületab immuunsuspiiri, samal ajal kui kõrge mürataseme emissiooniga klientidel lubatakse ilma filtrita ühenduda jätkuvalt võrguga, on tegemist ka võrdse kohtlemise printsiibi rikkumisega.*

Olukorra lahendamiseks tuleb sätestada selgelt nõuded võrku ühendatavatele seadmetele, mille korral rikkumiseks saab lugeda kõiki olukordi, kus müratase ületab avalikku jaotusvõrku ühendamiseks ette nähtud olme-, kommerts- ja kergetööstuse EM-keskkonna piirnorme. Selliselt on vastutus mürade piiramise eest kõrge müraemissiooniga klientidel.

Mürade seisukohast on vajalik sätestada selgelt, millises mahus meetmeid tuleb rakendada ja millise hulga neist peaks tegema klient/tarbija. Samuti saaks need nõuded esitada koos konkreetse viitega, mida tuleks arvestada paigaldise planeerimise juures ja mida oleks hiljem võimalik ka auditeerida. Lähtekoht tugeva EM-emissiooniga klientide ühendamiseks ja teenindamiseks on mõistlik kajastada Elektrilevi OÜ tehnilistes tingimustes ja teenuslepingutes.

5.9 KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

Kuivõrd mürade ja kõrgsageduslike komponentide määratluses on tegemist vahetu ohutusega otseselt mitte seostuva alusega, siis normdokumentide tasemel on siin veidi

erinevaid teemade käsitluse aluseid. See tähendab ka mitmeid katmata alasid, mis alles ELS-ga seoses on üles kerkinud probleemidena. Üks nendest on kõrgsageduslike emissioonide ja häiringukindluse tasemete määratlused, mis sisaldab siiamaani auke sagedusvahemikel 9 kHz … 150 kHz katmisel.

EVS-EN 50065-1 standardis esitatud suurused on esitatud konservatiivsetena ning on mõeldud eelkõige selles vaates, et ELS ei segaks olemasolevaid seadmeid. Kuivõrd häiringukindluspiirid on enamvähem paigas, sagedussõltumatutena sagedustest 150 kHz … 1 GHz, siis on mõistlik neid immuunsuspiire oletada ka madalamal sagedusel, lisaks 2019. aastast jõustunud IEC 61000-4-19 näitab ära täiendavad immuunsusnõuded alla 150 kHz.

- ELS ei tohi segada olemasolevaid seadmeid, st kliendi valduses juba talitlevaid elektritoitevõrku ühendatud seadmeid;
- Regulatiivselt ei ole seni peetud 9 kHz … 150 kHz sagedusvahemikus toimuvat määravaks ja üldine lähenemine on olnud, et kui 150 kHz üles jäävatel sagedustel on kõik korras, siis eelduslikult ka madalamal, kui 150 kHz sagedustel on kõik korras.
- Hetkel on pakiline probleem Elektrilevi OÜ näitel mitte ainult ELS sagedusribas mürisevate allikatega, vaid tegemist on allikatega, mis ületavad rikke vms tagajärjel ka seni 150+ kHz kehtinud suurused. **Välja tuleb töötada juriidiline raamistik, mis kohustaks klienti ja võimaldaks ettevõttel tõhusalt tekkinud probleemid kõrvaldada, sh sätestama kliendi vastutuse täiendavate probleemi leevendavate meetmete kasutuselevõtu eest.**

Elektrilevi OÜ madalpinge-jaotusvõrk on avalik elektrivõrk, mille teenuse osas on tellijal põhjendatud ootus, et kliendi seadmed töötavad mistahes juhtumitel, kui need näiteks olmevõrgus kasutamiseks ette nähtud on, ja need võrku ühendada.

- Elektrivõrk peab olema sedavõrd madala kõrgsagedus-müratasemega (juhtme juhitud suurused), et seadmete häiringukindluspiir ei oleks ületatud.
- Samal ajal peab jaotusvõrguga ühendatud seade olema suhteliselt vaikne, et mitte tekitada müratasset, mis võiks erinevatel kokkusattumustel häirida jaotusvõrgu tööd ja/või võrku ühendatud seadmete tööd.

Rõhutada tuleb EM-keskkonna definitsiooni rolli. EMÜ alusdokumentide järgi on suhteliselt selgelt piiritletud avaliku elektrivõrgu (so olme-, kommerts- ja väiketööstus keskkonna - OKVT) kui keskkonna püsimise jaoks vajalikud tingimused – mürade emissiooni lubatud piirtasemed ja nõutud häiringukindlustasemed. **Erinevates dokumentides ja spetsifikatsioonides on vaja selgemini esitada ka nõue, et Elektrilevi OÜ võrk on eeskätt OKVT keskkond, sinna liidetavad seadmed peavad vastama OKVT keskkonnas töötamise tingimustele** (EVS-EN 61000-6-3 dokumendile vastavalt). Konkreetsemad ettepanekud on esitatud järgmise peatüki lõppjäreldustes.

Paigaldiste puhul, mis oleksid juba kavandamisel mürakindlad, saab lähtuda seejärel samuti sellest, et filtreerimise ja lisa-abimeetmete läbi oleks tagatud OKVT keskkonnale

vajalikud tingimused. **Selliselt on võimalik ka sätestada nõuded väiketööstus-paigaldistele, näiteks pumbajaamad, telekommunikatsioonisõlmed, tänavavalgustus, mille läbi viimased oleksid kohustatud lepingutingimuste järgi paigaldama filtrid, millised oleksid tõhusad sh ELS töökindluse tagamiseks.**

6. SEADUSANDLUS JA REGULAT-SIOONID

Hetkel on elektrivarustuse tagamisel vastutusrikkaimas rollis jaotusvõrguettevõtja, kellelt seadusandlikus vaates nõutakse kõrget varustuskindlust ja teenuse kvaliteeti (EVS-EN 50160). Siin võib olla oma osa teataval ajaloolisel kontekstil, kus minevikus sagedasti esines jaotusvõrgu liitumispunktides toitekatkestusi ning võrgupinge kvaliteet (eriti võrgupingetase) oli madal. Seevastu seadusandlikult on kõige kaugemal nõuded võrguteenuse tarbijale ja tarbija seadmetele, milliste kohta tegelikult ei sätesta detaile ei kehtiv seadusandlus ega lepingute sisu.

- **On leitavad küll nõuded tarbija elektripaigaldisele, kuid mitte sellele, milliseid tarviteid ja seadmeid tarbija võrku võib ühendada. Tarbija enda elektripaigaldis peab olema eeskätt ohutu, kuid täiendavaid nõudeid tarbija poolt kasutatavatele tarvitite ühendamise nõuetele ei ole esitatud.**
- Kehtivatele nõuetele vastavuse kinnituseks võib deklareerida mistahes vastavuse kinnituse dokumendi, milline on näiteks loetletud vastavas regulatiivses dokumendis (kui on; näiteks EL teatajas EMÜ direktiiviga esitatud nõuded). **Siiski, nimetatud dokumendid võivad sisaldada alamosi, millele vastavus ei taga suuruste järgimist, millised oleks vastuvõetav Elektrilevi OÜ jaotusvõrgu talitluse seisukohast**.

Regulatiivsete nõuete paindlikkus jätab ka suure tõlgendamisruumi, mis tuleneb ka tegelikus elus rakendatavatest praktikatest, sh heast inseneritavast. Hetkel on suur roll ka paigaldise kasutajal, kellel on vastutus ja vabadus valida endale sobilikud seadmed. Samas ei ole lõpptarbija suure tõenäosusega see osapool, kes oskaks tuvastada ise nõuetele vastavust, peale CE-märgise jälgimist.

Toote vastavusele viitava CE-märgise kinnitamine tootele võib tähendada, et toode küll vastab kehtivatele normdokumentidele, kuid võib vastata mingi muu dokumendis loetletud keskkonna tingimustele EM-müra vaates.

Regulatiivse aluse analüüsi tulemusena on perspektiivne pakkuda välja Elektrilevi OÜ tehniliste tingimuste, liitumislepingu või teenuse lepingute tasemel nõuded, mis sätestaksid mh piirangud ja kohustused kliendile. See võimaldaks:

- **Pakkuda tegevusjuhiseid olukordades, kus võrgu teenuse kvaliteet on kahjustatud kliendi poolt näiteks liialt intensiivse kõrgsagedusmüra tõttu.**
- **Seada kliendi vastutusalasse kohustusi andmesidesignaali häirivate mürade eemaldamiseks, samuti planeerida kliendi suhtes andmevahetust segavate mürade eemaldamise kulusid ja nende jagamist.**

6.1 ÜLDINE RAAMISTIK

Kõige suurema üldistusega võib nimetada võrguettevõtte poolt tema poolt pakutud võrguga liitumisele ootusi ohutuse ja kvaliteetse teenuse osas. Raamistik jaotusvõrgu ettevõtja jaoks (eeskätt kohustused) on kirjeldatud:

1) Seadustes – Riigikogu poolt vastu võetud seadused:

- Elektrituruseadus (ELTS),
- Seadme ohutuse seadus (SEOS),
- Toote nõuetele vastavuse seadus (TNVS)

2) Määrustes – Vabariigi valitsuse või valdkonna ministeeriumi poolt koostatud täpsustavad sätted:

- Vabariigi Valitsuse määrus „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri"
- Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus „Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral"
- Majandus- ja taristuministri määrus „Elektriseadmele esitatavad ohutuse nõuded ning elektriseadmele ja elektripaigaldisele esitatavad elektromagnetilise ühilduvuse nõuded ja vastavushindamise kord"

Üldiselt võrguettevõtete kommertstegevuse raamistikus sisaldavad seadused ja määrused viiteid edasi konkreetsematele lepingutingimustele, sh liitumislepingule.

Alljärgnevalt on esitatud väljavõtted seadustest, mis otseselt reguleerivad võrguettevõtja rolli, teenuseid ja vastutust seoses temaatikaga, mis puudutab tarbija elektripaigaldisi, tarviteid, ning konteksti, mis võiks omada seost ELS arvestite kauglugemis-süsteemi füüsilise kihiga.

6.1.1.1 ELEKTRITURUSEADUS

Elektrituruseadus (ELTS) on Riigikogu poolt vastu võetud seadus, mille antud aruande kontekstis kehtiv redaktsioon jõustus 01.10.2019.

§ 3. Terminid.

29) võrk – elektripaigaldis või selle osa, mis on ette nähtud elektrienergia edastamiseks tarbija või tootja liitumispunktini;
30) võrgueeskiri – käesoleva seaduse §-s 42 nimetatud õigusakt;

(kommentaar: Vabariigi Valitsuse määrus 27.04.2019 „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri")

31) võrguteenus – käesoleva seaduse § 65 lõikes 1 nimetatud teenus;
32) võrguühendus – elektriline ühendus võrgu ja muu elektripaigaldise vahel;

§ 65. Võrguteenuse osutamine

(1) Võrguettevõtja osutab oma teeninduspiirkonnas tarbijale, tootjale, liinivaldajale või teisele võrguettevõtjale järgmisi võrguteenuseid:

1) asjakohase taotluse alusel ühendab liitumispunktis võrguga tema teeninduspiirkonnas asuva nõuetekohase elektripaigaldise;
2) asjakohase taotluse alusel muudab tarbimis- või tootmistingimusi;

3) võimaldab kasutada võrguühendust liitumispunktis;
4) edastab oma võrgus elektrienergiat liitumispunktini või alates liitumispunktist;
*5) tagab õigusakti nõuete kohase **mõõteseadme paigaldamise tema võrgus edastatud elektrienergia koguste kindlaksmääramiseks**;*
*6) **tagab mõõteandmete kogumise ja töötlemise**;*
7) osutab käesoleva lõike punktides 1–6 nimetatud võrguteenustega otseselt seotud lisateenuseid.

*(2) **Võrguettevõtja järgib** võrguteenust osutades **turuosaliste võrdse kohtlemise põhimõtet**.*

(3) Võrguettevõtjal on õigus keelduda võrguteenuse osutamisest, kui:

*1) võrguteenuse kasutaja **elektripaigaldised ei ole kooskõlas õigusaktide nõuete** või võrguettevõtja poolt võrguga ühendamiseks esitatud tehniliste tingimustega;*
*2) võrguteenust ei ole võimalik osutada **võrguteenuse kasutajast tuleneva muu asjaolu tõttu**;*
3) võrguteenust ei ole võimalik osutada võrguettevõtjast sõltumatutel põhjustel;
4) võrguettevõtja võrgus puudub võrguteenuse osutamiseks vajalik edastamisvõimsus;
4[1]) tootmisseadme liitumiseks või tarbimis- ja tootmistingimuste muutmiseks puudub võrguettevõtja teeninduspiirkonnas asuvas üliväikeses eraldatud võrgus võrguteenuse osutamiseks vajalik tarbimisnõudlus;
5) selline õigus tuleneb käesolevas seaduses sätestatud muust alusest.

Elektripaigaldise õigusaktidega kooskõlastamine lähtub paljuski paigaldise projekteerija ja paigaldise omaniku teadmistest ja põhjendustest. **Näiteks, kui paigaldise osaks on kavandatud ja välja ehitatud sagedusmuunduriga ajam, siis selle kohta tuleb rõhutada reeglistikku juba projekteerimise faasis. Juhul, kui omanikule jätta vabad käed, siis suure tõenäosusega eelistab ta sagedusmuunduriga seotud filtrit mitteomavat skeemi, milline võib potentsiaalselt põhjustada täiendavaid kõrgsagedusmürade probleeme võrgus.** Selline olukord on tõenäoline, kui seadmete valiku kriteeriumide juures ei ole loetletud tingimust vastata avalike elektrivõrkude jaoks ettenähtud normdokumentidele. Kaubanduslikele ja ohutusnõuetele vastavad ka tööstuskeskkonna EM-müratasemetega seadmed.

(4) Võrguettevõtja põhjendab võrguteenuse osutamisest keeldumist. Keeldumist põhjendades tuleb viidata keeldumise õiguslikule alusele. Käesoleva paragrahvi lõike 3 punktis 4 või 4[1] sätestatud alusel keeldumisest teatab võrguettevõtja Konkurentsiametile.

Märkus: ELTS muutmiseelnõu seletuskirjas viidatakse siin keeldumisele võrguteenuse osutamisest, „[…] *kui eraldatud võrgus puudub võrguteenuse osutamiseks vajalik tarbimisnõudlus. Selline õigus on vajalik juhul, kui eraldatud võrguga soovitakse liita rohkem tootmisseadmeid, kui selles võrgus tarbimis-nõudlust on*“.

(5) Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused nimetatud nõuete rikkumise korral kehtestab valdkonna eest vastutav minister.

Viimase tähenduses on ühene viide Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrusele „Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral“, kehtiv redaktsioon jõustunud 24.10.2016.

Määrusega kehtestatakse võrguettevõtja teeninduspiirkonnas tarbijale, tootjale, liinivaldajale või teisele võrguettevõtjale (edaspidi turuosaline) osutatavate võrguteenuste kvaliteedinõuded ning võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral.

§ 6. Pingekvaliteedi nõuded: Jaotusvõrgu pingekvaliteedi tagamisel ***on soovitatav lähtuda standardist EVS-EN 50160***.

Antud viitamine sisaldab ka automaatselt sh uusima standardi versiooni hõlmamise. Siiski, tuleb rõhutada täiendavalt sõnale „soovitatav". Teiseks, tuleb rõhutada, et EVS-EN 50160 on teenuse, millise peab tagama võrguettevõtja tarbijale, kvaliteedi standard.

Täiendavalt on ELTS tõstnud esile võrgueeskirja, hetkel kehtiv on Vabariigi Valitsuse määrus „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri", jõustunud 27.04.2019.

§ 27. Võrguühenduse tagamine

(1) Võrguettevõtja tagab liitumislepingu kohase võrguühenduse olemasolu, kui võrguühenduse kasutamise kohta on sõlmitud kehtiv võrguleping ega esine võrguteenuse osutamisest keeldumise aluseid.

(3) Kui seadme ohutuse seaduse § 9 lõike 4 punktide 1–4 alusel kehtestatud elektripaigaldise nõuete määruse kohaselt ei ole elektripaigaldise kasutusele võtmisele eelnev audit vajalik, pingestab võrguettevõtja võrguühenduse pärast seda, kui ta on saanud eelnimetatud määruses sätestatud kinnituse elektripaigaldise nõuetele vastavuse ja kasutamise ohutuse kohta.

Antud määruse seletuskiri sõnastab: *„Võrguühendus tagatakse vaid juhul* ***kui elektripaigaldis on nõuetekohane ning tarbija ei riku liitumislepingust tulenevaid kohustusi***". See on juurtega eelnevalt kehtinud võrgueeskirja määruses (kehtis kuni 26.04.2019, § 35. Võrguühenduse tagamine (1) *„Võrguettevõtja tagab liitumislepingu kohase võrguühenduse olemasolu, kui võrguühenduse kasutamise kohta on sõlmitud kehtiv võrguleping ega esine võrguteenuse osutamisest keeldumise aluseid, eelkõige siis, kui liituja elektripaigaldis vastab nõuetele*". Teisalt kopeerib see oma sõnastuses ka ELTS §65 lg 3 punkte 1 ning 2, sõnastus *„tagatakse vaid juhul*" on rangem, kuid see on ainult seletuskirja tasemel.

Tarbitud energia näitude kogumine ja edastamine on märgitud ära „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskirja" paragrahvis 29.

§ 29. Elektrienergia mõõtmisele kohaldatavad nõuded

(1) Võrguettevõtja või suletud jaotusvõrgu valdaja mõõdab turuosalise tarbitud aktiivenergiat kilovatt-tundides (edaspidi kWh) juhul, kui turuosalisega sõlmitud lepingus on ette nähtud elektrienergia võrgust võtmise võimalus.

(2) Võrguettevõtja või suletud jaotusvõrgu valdaja mõõdab turuosalise võrku antud aktiivenergiat kWh juhul, kui turuosalisega sõlmitud lepingus on ette nähtud elektrienergia võrku andmise võimalus.

[…]

(5) Lõigetes 1–3 kirjeldatud mõõtmine peab toimuma kauglugemisseadmega. Kauglugemisseadmega mõõtmise nõuet ei kohaldata juhul, kui tarbimiskohas ei ole elektrienergiat tarbitud alates 1. jaanuarist 2013. a, seni, kuni elektritarbimine taastub.

§30

(5) Kauglugemisseade peab võimaldama järgmist:

1) andmesidevõrgu kaudu edastada võrguettevõtjale vähemalt üks kord ööpäevas igal kauplemisperioodil registreeritud mõõteandmeid;

2) tagada turuosalise ja võrguettevõtja vahel kokkulepitud isiku juurdepääs punktis 1 nimetatud mõõteandmetele.

Elektripaigaldise ja elektriseadme terminites reguleerib nõudeid Seadme ohutuse seadus (SeOS).

6.1.1.2 SEADME OHUTUSE SEADUS

Seadme ohutuse seadus (SeOS) on Riigikogu poolt vastu võetud seadus, mille antud aruande kontekstis kehtiv redaktsioon jõustus 15.03.2019.

§ 2. Seaduse kohaldamisala

*(1) Käesolevat seadust kohaldatakse seadmele, seadme kasutusele võtmisele ja kasutamisele ning seadmetööle, kui seadmest lähtub **oht inimese elule või tervisele, asjale või keskkonnale (edaspidi oht)** ning kui selle ohu vältimine ei ole reguleeritud muu õigusaktiga.*

(2) Käesolevast seadusest tulenevaid nõudeid isiku kompetentsusele ja selle tõendamisele, seadmetööle ning auditile kohaldatakse järgmiste seadmete puhul:

[…]

***4) elektriseade**.*

§ 3. Käesolevas seaduses kasutatavad terminid

*(4) Elektriseade on elektrienergia tootmiseks, muundamiseks, edastamiseks, jaotamiseks või kasutamiseks mõeldud ja elektrilisi või elektroonilisi komponente sisaldav seade või seadmetest koosnev talitluslik kogum, sealhulgas **elektripaigaldis elektrituruseaduse tähenduses**.*

§ 4. Ohutuse tagamine

(1) Seadme kasutamisel ja seadmetööl tuleb tagada inimese elu ja tervise, asja ning keskkonna ohutus. Ohutuse tagamiseks tuleb rakendada vajalikke abinõusid ohu ennetamiseks, väljaselgitamiseks, tõrjumiseks ja kõrvaldamiseks ning õnnetusjuhtumi korral negatiivsete tagajärgede vähendamiseks.

*(2) **Kui õigusaktis ei ole sätestatud täpseid nõudeid rakendatava abinõu kohta, hinnatakse abinõu sobivust hea inseneritava kohaselt. Eeldatakse, et abinõu vastab heale inseneritavale, kui seda soovitatakse Eesti, Euroopa või rahvusvahelises standardis. Standardite puudumise korral hinnatakse abinõu sobivust toote nõuetele vastavuse seaduse § 6 lõikes 3 sätestatud kriteeriumite kohaselt. Abinõu hõlmab ka seadmele esitatavaid nõudeid**.*

Kommentaar: siin on oluline rõhutada **hea inseneritava** kui mõiste seadusesse kantud mõtet. Antud seaduse (SeOS) seletuskiri täpsustab:

> *„Lõikes 2 sätestatakse põhimõte, mille kohaselt tuleb tugineda heale inseneritavale, kui puuduvad õigusakti täpsed nõuded. Hea inseneritava on määratlemata õigusmõiste ja tähendab antud valdkonnas üldiselt aktsepteeritud lahendusi. Hea inseneritava sisustamisel on võimalik isikutel tugineda standardites kirjeldatud abinõudele. Hea inseneritava allikad võivad olla väga erinevad, vähendamaks subjektiivsust ja sellest johtuda võivaid vaidlusi ja erinevaid lahendusi, on lisatud ka selge vihje standarditele. See säte ei piira isikute vabadust ka muid lahendusi rakendada. Seejuures tuleb arvestada, et muude lahenduste kasutamise korral on paratamatult probleemiks tõendamiskoormus ja võimalik subjektiivsus. Standardites on seevastu kajastatud üldiselt aktsepteeritud parim teadmiste ja kogemuste tase (state of the art).*
>
> *Kui seade vastab sellele kohalduvatele kehtivatele Eesti standardi nõuetele, tuleb seadme nõuetele vastavust eeldada.* ***See viide ei muuda standardi järgimist kohustuslikuks. Kuivõrd standardid on siiski vabatahtlikku kohaldamist eeldavad, ei saa standardid asendada õigusakte, kuid neid saab edukalt kasutada hea inseneritava sisustamisel."***
>
> *§ 5. Seadme kasutusele võtmine*
>
> *(1) Seadme võib kasutusele võtta, kui:*
>
> *1) see vastab nõuetele, on tehniliselt korras ning ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamiseks ohutu, sealhulgas on varustatud kasutamiseks vajalike töökindlate ja -korras juhtimis-, kontroll- ja kaitseseadistega;*
> *2) see on paigaldatud kasutamiskohale ja seadistatud nii, et seadmest lähtuv oht on minimaalne ning seadme kasutamine, korrashoid ja kontrollimine ei ole takistatud;*
> *3) ettenähtud juhul on tehtud audit, mille järeldusotsuse kohaselt on seade tehniliselt korras ja seadme ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamine on ohutu.*
>
> *(2) Seade on kasutusele võetud hetkest, kui seda hakatakse ettenähtud otstarbel ja viisil kasutama.*
>
> *(3) Valdkonna eest vastutav minister võib määrusega kehtestada seadmele esitatavad ohutusnõuded*

(kommentaar: Majandus- ja taristuministri määrus 22.02.2019 „Elektriseadmele esitatavad ohutuse nõuded ning elektriseadmele ja elektripaigaldisele esitatavad elektromagnetilise ühilduvuse nõuded ja vastavushindamise kord")

> *§ 6. Seadme kasutamine*
>
> *(1) Seadet tuleb kasutada ettenähtud otstarbel ja viisil, järgides seadme kasutusele võtmisele kehtestatud nõudeid.*
>
> *(2) Seadme kasutamisel tuleb tagada, et:*
>
> *1) seadme* ***nõuetekohaseks kasutamiseks*** *ja korrashoiuks on loodud vajalikud tingimused, sealhulgas* ***on olemas asjakohane teave, mis on seadmega kokku puutuvatele isikutele teatavaks tehtud ja kättesaadav****;*
>
> *[…]*

4) seadme kasutamise ja korrashoiu (käidu) nõudeid täidetakse;
[…]

6) ettenähtud juhul on tehtud audit, mille järeldusotsuse kohaselt on seade tehniliselt korras ja seadme ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamine on ohutu.

(3) Valdkonna eest vastutav minister võib kehtestada määrusega seadme korrashoiule esitatavad nõuded

(kommentaar: Majandus- ja taristuministri määrus „Elektripaigaldise käidule ja elektritööle esitatavad nõuded")

§ 8. Audit

(1) Audit käesoleva seaduse tähenduses on tehniline kontroll, mille eesmärk on tuvastada seadme tehniline korrasolek ning ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamise ohutus ning võimalikud olulised puudused.

§ 9. Auditi kohustusega seadmed ja auditile esitatavad nõuded

(1) Audit tuleb teha käesoleva seaduse § 2 lõikes 2 loetletud ja käesoleva paragrahvi lõike 4 alusel kehtestatavas õigusaktis sätestatud täpsematele kriteeriumitele vastava seadme kasutusele võtmisel ja kasutamisel teatud ajaperioodi möödumisel ning muudel õigusaktis ettenähtud juhtudel.

(4) Valdkonna eest vastutav minister kehtestab määrusega:

1) kriteeriumid auditi kohustusega seadmete täpsemaks määramiseks;
2) auditile, sealhulgas auditi meetoditele ja enesekontrollile, esitatavad nõuded;
3) kasutusele võtmisele eelneva, korralise ja erakorralise auditi juhud;
4) auditi tulemuste esitamise nõuded.

(kommentaar: Majandus- ja taristuministri määrus „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele").

Terminoloogiliselt võib alustada Majandus- ja taristuministri määrusest „Elektripaigaldise käidule ja elektritööle esitatavad nõuded" (antud aruande kontekstis kehtiv redaktsioon jõustunud 01.07.2015). Siin on esitatud muuhulgas ka määratlus elektripaigaldise termini sisu kohta:

§ 2. Terminid

Käesoleva määruse tähenduses:

elektripaigaldis on elektrienergia tootmiseks, edastamiseks, muundamiseks, mõõtmiseks, müügiks või tarbimiseks kasutatavate seadmete, juhtide ja tarvikute paigaldatud talitluslik kogum;

§ 3. Elektripaigaldise käidule ja elektritööle esitatavad üldnõuded

(*3) Õigusaktides sätestatud konkreetsete nõuete puudumisel tuleb elektripaigaldise käidu- ja elektritööd teha hea tava kohaselt. Eeldatakse, et head tava on järgitud, kui käidu- ja elektritöödel järgitakse standardis EVS-EN 50110-1 kirjeldatud nõudeid.*

Tuleb märkida, et antud sõnastus on viide standardile tuginevale reeglistikule. Sõnastus „Eeldatakse, et head tava on järgitud […]" on siiski mittekohustav, kuid viidatu järgimisel piisav.

Majandus- ja taristuministri määrus „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele (antud aruande kontekstis kehtiv redaktsioon jõustunud 11.07.2015).

§ 1. Kohaldamisala

(1) Käesolevas määruses määratletakse auditi kohustusega elektripaigaldised, esitatakse nõuded nende auditile, sealhulgas auditi meetoditele ja enesekontrollile, kehtestatakse kasutusele võtmisele eelneva, korralise ja erakorralise auditi juhud ning nõuded auditi tulemuste esitamisele.

(2) Käesoleva määruse nõudeid kohaldatakse kõigile käesoleva määruse kohaselt esimesse, teise ja kolmandasse liiki kuuluvatele ja üle 50 V nimipingega elektripaigaldistele. Auditi kohustus ei hõlma teisaldatavaid elektriseadmeid.

***(3) Käesoleva määruse kohane audit ei hõlma elektripaigaldise elektromagnetilise ühilduvuse hindamist**.*

Taust sellise lõike antud määrusese toomiseks lähtub sellest, et elektripaigaldise audit antud määruse käsitluses on eelkõige ohutuskriteeriumide kontrolliga seotud toiming. EMÜ aspektide osas sisaldub määruses ka järgmine kohustava iseloomuga viide, millest antud kontekst (ohutus või muu) täpsemaks saab:

§ 4. Üldnõuded auditile

(4) Auditi tegija teeb kindlaks, kas elektripaigaldis vajab pärast kõigi seadmete paigaldamist ja pingestamist elektromagnetilise ühilduvuse lisahindamist selleks akrediteeritud asutuse poolt, ning teeb vastava soovituse kontrolliaruandesse.

Antud määruse seletuskirjast: „[…] *peab auditi tegija andma hinnangu ka selle kohta, kas elektripaigaldis vajab elektromagnetilise ühilduvuse alast hindamist. Elektromagnetiline ühilduvus <u>ei ole ohutuse küsimus ning seda elektripaigaldise auditiga ei hinnata</u>. Liiatigi ei ole enamik elektripaigaldise auditi tegijaid elektromagnetilise ühilduvuse alaseks hindamiseks pädevad*."

Seega ei ole ka elektripaigaldise auditi tegevuste kavas seda, mida või kuidas täpsemalt elektromagnetilise ühilduvuse kriteeriumide all hinnataks. Samas võib elektripaigaldiste EMÜ-vastavushindamise määrusest **leida viiteid, mida EMÜ-audit sisaldada võiks**.

Majandus- ja taristuministri määrus „Elektriseadmele esitatavad ohutuse nõuded ning elektriseadmele ja elektripaigaldisele esitatavad elektromagnetilisele ühilduvuse nõuded ja vastavushindamise kord", esitamisele (antud aruande kontekstis kehtiv redaktsioon jõustunud 22.02.2019).

§ 11. Kohaldamisala

(1) Käesolevas peatükis sätestatud nõudeid kohaldatakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2014/30/EL elektromagnetilist ühilduvust käsitlevate liikmesriikide õigusaktide ühtlustamise kohta (ELT L 96, 29.3.2014, lk 79–106) kohaldamisalas olevatele elektriseadmetele ja -paigaldistele.

(2) Elektriseadmele, mis on turule lastud ja mida võidakse ühendada elektripaigaldisega, kohaldatakse kõiki elektriseadmele sätestatud nõudeid.

(3) <u>Elektriseadmele, mis on ette nähtud ühendamiseks konkreetse elektripaigaldisega ja mis ei ole kaubanduslikult kättesaadav</u>, ei kohaldata

käesoleva määruse §-des 13 ja 14 ning käesolevas peatükis elektriseadme vastavushindamise suhtes kehtivaid nõudeid.

(4) Käesoleva paragrahvi lõikes 3 sätestatud juhul tuleb elektriseadmega kaasnevates dokumentides määratleda elektripaigaldise ja selle elektromagnetilise ühilduvuse omadused ning viidata elektriseadme elektripaigaldisega ühendamisel võetavatele ettevaatusabinõudele, et mitte rikkuda asjaomase paigaldise nõuetele vastavust.

Lõige 3 tähendab siin seda, et kui jaotusvõrgus võtta kasutusele näiteks elektriliinisidet (ELS) rakendavad seadmed, siis need ei tohi muuta olemasolevate paigaldiste EMÜ-kriteeriumidele vastavust.

§ 12. Terminid käesoleva peatüki tähenduses

(1) Elektriseade on mis tahes lõppseade või lõppseadmete kombinatsioon, mis on lõppkasutajale mõeldud ühtse funktsionaalse üksusena tehtud turul kättesaadavaks ja võib tekitada elektromagnetilisi häiringuid või mille toimimist võivad sellised häiringud mõjutada. Elektriseadmena käsitatakse ka koostisosa või alakoostu, mis on kavandatud ühendamiseks elektriseadmega lõppkasutaja poolt ning mis võib tekitada elektromagnetilise häiringu või mille toimimist selline häiring võib mõjutada, ning teisaldatavat seadet, mis on määratletud elektriseadme või asjakohasel juhul muude seadiste kogumina ning mida saab vajaduse korral liigutada ja kasutada paljudes asukohtades.

(2) Elektripaigaldis on eriomane kombinatsioon mitut tüüpi elektriseadmest ja, kui see on asjakohane, muudest seadistest, mis on kokku pandud ja paigaldatud ning mõeldud alaliseks kasutamiseks eelnevalt kindlaks määratud asukohas.

Märkus: antud määruse kontekstis mõistetakse terminit „elektripaigaldis" ka erinevalt, kui seda näiteks muude (elektripaigaldise ohutusele viitavate) määruste kontekstis. Antud määruse seletuskirjast:

***Elektromagnetilise ühilduvuse nõuete puhul on vastavushindamine ette nähtud üksnes elektriseadmetele, mis lastakse eraldi turule**. Elektromagnetilise ühilduvuse nõuetega on hõlmatud nii aparatuur kui ka paigaldised. Paigaldiste osas on siiski tehtud erisus vastavushindamise küsimustest. Seda seepärast, et aparatuur kui selline võib liidu sees vabalt liikuda, samas kui paigaldised on paigaldatud alaliseks kasutamiseks eelnevalt kindlaks määratud asukohta ja koosnevad eri liiki aparatuurist ja vajaduse korral muudest seadistest. Selliste paigaldiste ülesehitus ja toimimine vastavad enamikel juhtudel nende kasutajate konkreetsetele vajadustele. Paigaldistele vastavushindamise ja CE märgi nõuet ei kohaldata. Teatavaid koostisosasid või alakooste peaks teatavatel tingimustel käsitlema aparatuurina, kui need tehakse kättesaadavaks lõppkasutajale.*

Antud selgitus rõhutab konteksti, mille kohaselt elektripaigaldisega seotud EMÜ kriteeriumide, sh EM-müraemissioonide ja häiringutaluvuse nõuded pigem ei ole määratletud laiemas seadusandluses. Näiteks kõrgsageduslike mürade tasemete vaates, sh Elektrilevi OÜ ELS-süsteeme potentsiaalselt häirivate olukordade kontekstis on teatud reeglite kehtestamine kohane, kuid peaks siit lähtuvalt olema sõnastatud muul viisil ja ei saa otsest tuge EL regulatsioonist. Kasutaja konkreetsetele vajadustele vastavusele viidet saab mõista ka läbi eeldatavate nõuete komplekti, millised võimaldaksid võrku ühendatavaid seadmeid piiranguteta kasutada – kasutaja vajadus. Selliseks on näiteks vaja piirata KS-müratase jaotusvõrgus selliselt, et

see ei ületaks elektripaigaldise kaudu üle kandudes olmekasutuseks mõeldud seadmete häiringutaluvuspiiri jms.

§ 13. Elektromagnetilise ühilduvuse nõuded

(1) Arvestades tehnika taset, peab elektriseade ja -paigaldis olema kavandatud ning valmistatud nii, et selle ettenähtud otstarbel kasutamise korral oleks tagatud, et:

1) tekitatavad elektromagnetilised häiringud ei ületa taset, millest kõrgema taseme korral ei saa raadio- ja telekommunikatsiooniseadmed või teised elektriseadmed või -paigaldised talitleda ettenähtud viisil;

2) neil oleks eesmärgipärasel kasutamisel eeldatava elektromagnetilise häiringu kindlus, mis võimaldab neil talitleda ilma eesmärgipärase kasutamise kvaliteedi vastuvõetamatu halvenemiseta.

*(2) Arvestades käesoleva paragrahvi lõikes 1 sätestatud nõudeid, **ehitatakse elektripaigaldis hea inseneritava kohaselt** ja võttes arvesse teavet selle koostisosade eesmärgipärase kasutamise kohta. **See hea inseneritava dokumenteeritakse ja dokumentatsiooni tuleb hoida kättesaadavana kogu elektripaigaldise eluea vältel**.*

*(3) Eeldatakse, et elektriseade ja -paigaldis vastab elektromagnetilise ühilduvuse nõuetele, kui see **vastab harmoneeritud standardites sätestatud asjakohastele** elektromagnetilist ühilduvust käsitlevatele nõuetele.*

Antud määruse seletuskirjast:

Üheks võimaluseks ohutusnõuete täitmiseks on kasutada elektriseadme tootmisel standardeid. Madalpingeseadmetele esitatavate nõuetega ja standarditega seondub ka selline mõiste nagu "harmoneeritud standard". Tegemist on Euroopa Komisjoni mandaadi alusel Euroopa standardiorganisatsiooni poolt väljatöötatud standardiga. Harmoneeritud standardi kasutamine annab nn vastavuse eelduse ehk teisisõnu, kui tootmisel on rakendatud harmoneeritud standardeid, ei pea tootja hakkama tõestama, et rakendatud abinõud on piisavad, tagamaks toote nõuetele vastavus. Samas on harmoneeritud standardi kasutamine vabatahtlik, alati võib kasutada ka muid standardeid.

§ 14. Elektriseadme kasutamist käsitlev teave

*(1) Elektriseadmega pannakse kaasa teave iga konkreetse ettevaatusabinõu kohta, mida peab elektriseadme kokkupanekul, paigaldamisel, hooldamisel või kasutamisel tarvitusele võtma, et tagada elektriseadme kasutusele võtmisel selle vastavus elektromagnetilise ühilduvuse nõuetele. **Sellised juhised ja teave ning igasugune märgistus peab olema selge, lõppkasutajale arusaadav ja mõistetav**. Eestis turustatava elektriseadmega kaasnev ja tarbijale suunatud teave peab olema eesti keeles.*

*(2) Elektriseadmele, **mille vastavus elektromagnetilise ühilduvuse nõuetele ei ole elamurajoonides tagatud**, ja vajaduse korral ka selle pakendile lisatakse selge viide vastavale kasutuspiirangule.*

Siin on üks selgepiirilisemaid viiteid sellele, et kasutusjuhendil ja kasutaja teadvustamisel on kriitiline roll seadme turule lubamisel. See kehtib mistahes seadmete turule lubamise eeldusena, millised tarnitakse klientidele kui valmistooted. Täiendavalt tuleb siiski välja tuua, et **määratlus „*elamurajoonides tagatud*" ei lange kokku** muudes regulatiivsetes dokumentides toodud kirjeldustega (märkus: näiteks IEC 61000-standardid käsitlevad „**olme-, kommerts- ja väiketööstuskeskkonda**") ega ka

jaotusvõrgu seisukohast kasutatavate määratlustega (märkus: näiteks IEC 61000-standardid käsitlevad „**avalikult kasutatavat jaotusvõrku**").

Teisalt annab kirjeldatud lõige (2) teada, et kuigi seade ei vasta avalikesse madalpingelistesse jaotusvõrkudesse ühendamiseks seatud nõuetele, siis jääb kasutaja otsustada, kas ta selliseid seadmeid kasutab, olles tutvunud hoiatusega. Seetõttu on tarvilik piirata Elektrilevi OÜ võrgus nimetatud seadmete kasutust muudel viisidel.

6.1.1.3 TOOTE NÕUETELE VASTAVUSE SEADUS

Toote nõuetele vastavuse seadus TNVS on Riigikogu poolt vastu võetud seadus, mille antud aruande kontekstis kehtiv redaktsioon jõustus 01.01.2019

> *§ 5. Toote turule laskmine ja kasutusele võtmine*
>
> *(1) Toodet, mis ei ole ohutu, ei või turule lasta ega kasutusele võtta.*
>
> *(2) Kui õigusaktis sätestatakse tootele nõue, ei või sellele nõudele mittevastavat toodet turule lasta ega kasutusele võtta.*
>
> *(3) Kui tootele on õigusaktiga ette nähtud selle vastavushindamine, ei või seda toodet turule lasta ega kasutusele võtta, kui ei ole järgitud õigusaktis sätestatud toote vastavushindamise korda.*
>
> *(4) Vabariigi Valitsus, tema volitatud minister ja valdkonna eest vastutav minister võib määrusega kehtestada tootele nõuded ja nendele nõuetele vastavuse tõendamise korra ning määrata turujärelevalveasutuse, kes teeb turujärelevalvet nende nõuete täitmise üle.*
>
> (Kommentaar: siia kuuluvad näiteks järgnevad määrused:
>
> - Majandus- ja taristuministri määrus „Nõuded raadioseadmele ja nõuetele vastavuse tõendamise kord" , 01.03.2019);
> - Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus „Nõuded kodumajapidamises kasutamiseks mõeldud pesumasin-kuivati energiamärgistusele, tootekirjeldusele ja tehnilisele dokumentatsioonile", 17.10.2010);
> - Majandus- ja taristuministri määrus „Elektriseadmele esitatavad ohutuse nõuded ning elektriseadmele ja elektripaigaldisele esitatavad elektromagnetilise ühilduvuse nõuded ja vastavushindamise kord", 22.02.2019).
>
> *(5) Käesoleva seaduse alusel kehtestatavad nõuded võivad lähtuda eesmärgist tagada inimeste tervis ja ohutus. Samuti võivad käesoleva seaduse alusel kehtestatavad nõuded lähtuda muust avaliku huvi kaitse aspektist, sealhulgas tarbijakaitse, tööohutuse, ühilduvuse, koostoimevõime või energia- või keskkonnasäästlikkuse tagamise vajadusest. Tootele nõuete kehtestamisel arvestatakse ka käesoleva seaduse 5. peatüki 1. jaost tulenevaid reegleid.*

6.2 KOMMENTAARID REGULATIIVSELE ALUSELE

Ülaltoodud seadusandlikku konteksti järgides saab välja tuua järgmist.

1) Tarbitud energiakoguste mõõtmine, mõõtevahendi paigaldamine ja selle andmete edastamise tagamine on võrguettevõtja kohustus (ELTS § 65, lg 1).

See hõlmab seega kogu infrastruktuuri, sealhulgas arvestit ja selle tugisüsteeme.

Puudused: Samas ei ole midagi öeldud selle kohta, millisel viisil mõõtetulemuste edastamine toimuma peaks ja kes mõõtetulemuse edastamiseks kasutatava tehnoloogia eest vastutab – kas võrguettevõtja või paigaldise omanik, milles energiatarbimine – näitude edastamine toimub?

2) Elektripaigaldise korrasolek on eelduseks teenuse osutamiseks (ELTS § 65, lg 2).

   Siin vaadeldakse eelkõige vastavust kehtivatele ehituslikele ja ohutusnormidele.

3) Võrguettevõtja peab pakkuma kvaliteetset teenust lähtudes EVS-EN 50160 standardi tingimustest

   EVS-EN 50160 on jaotusvõrgu toitekvaliteedi standard, mis määratleb sh lubatud pingetaseme, pingemoonutuste tasemed, väreluse tasemed, katkestuste lubatud ajad jpm. See standard esitab tingimused võrguettevõtja poolt liitumispunktis saadaval olevale elektrienergiale.

   Puudused: Sarnaseid nõudeid ei ole loetletud klientidele, sh ei ole määratletud, milliseid seadmeid on/ei ole lubatud jaotusvõrku ühendada ja kasutada. See tingib olukorra, kus tegeliku seadme kasutamise otsustajaks saab seadme kasutus- või muu juhend. Antud hetkel samuti ei ole alust seadmete, mis ei häiri teiste seadmete talitlust kriitilisel määral, kasutamist piirata. Siin on mõistlik luua alused kliendi vastutuse määramiseks üheselt, näiteks liitumis- ja/või teenuselepingute tasemel.

4) Seadmete turule toomise eeldus on see, et seadmed vastavad kehtivatele asjakohastele nõuetele

   Puudused: antud hetkel kehtiv regulatsioon ei reguleeri üheselt selliste seadmete tööd, mis turule toomise ajal olid nõuetele vastavad, kuid mis talitlustingimustest, riketest või vananemisest tingituna võivad talitleda selliselt, et nõuete täitmine ei ole tagatud.

5) Seadme ohutuse seaduse kohaselt tuleb seadme kasutaja varustada asjakohase teabega.

   Antud juhul saab seadme kirjalik dokumentatsioon aluseks, millised on seadme kasutaja kohustused. Seadme kasutaja peab üheselt olema teavitatud, mida seadmega tegema peab, võib ja ei tohi (märkus – viimast on ka järelevalve teostaja välja toonud, et see saab olla ka võimalike sanktsioonide aluseks)

   Puudused: antud hetkel võrguettevõtja vaates kliendile esitatavaid selgeid kohustusi tarvitite rakendamiseks või valikuks ei ole. On üldised reeglid (sh kehtivad standardid), mis võimaldavad kliendile selgitada olukorda, kuid mitte kohustada klienti.

6) Seadme ohutuse seadus mainib olulise terminina „inseneri hea tava", mille raamistik tugineb soovituslike reeglite kogumi rakendamisele.

   Kohustus on head tava järgida (sh. käidukorralduses), kuid selgitatakse, et on olemas ka erinevad meetmed, kuidas sarnase taseme ja funktsioonini jõutakse.

Olulisel kohal on põhjendus, miks midagi tehakse/tehti ja milline oli selle tegevuse/meetme eesmärk.

Seega, kuigi hea inseneritava rakendamine on muuhulgas normide järgimine, tuleb anda lähtealus, millised normid on olulised. Hea inseneritava rakendamise ulatus ei ole iseenesestmõistetav ning vastutus on ka sellel, kes määrab lähtealused.

Elektripaigaldiste seisukohast tähendab see, et vajalik on määrata alused/nõuded, millised on projekteerimise/ehitamise/käidu planeerimise eeldusteks.

6.3 VARASEM SEADUSANDLUS

Kuni 01.07.2015 kehtis Elektriohutusseadus, milline sätestas nõuded inimesele, varale ja keskkonnale elektrist tulenevate ohtude ja elektromagnetiliste häirete vältimise ja vähendamise eesmärgil. See oli kompleksne kuigi põhjalik seadus, millega adresseeriti väga suurt hulka paigaldiste ja seadmete kavandamise, kasutuselevõtu ja kasutamisega seotud elektrotehnilisi reegleid. Antud seaduse muutmine on tulenenud muuhulgas täiendavast seadusandlikust ühtlustamisest Euroopa Liidu direktiividega.

Kehtivuse kaotanud „Elektriohutusseaduse" erinevad osad on jõus täiendavate määruste või ka seaduste raamistikus, sh antud hetkel kehtivates ELTS, SeOS ja TNVS.

Elektriohutusseadus reguleeris ka avalikus elektrivõrgus esinevaid häirimisjuhtumeid:

> *§ 16. Häired ja ohud ning elektripaigaldise elektritöö tegemisega kaasnevad kulud*
>
> *(1) Kui elektripaigaldis põhjustab häireid või ohtu teisele elektripaigaldisele või selle käidule või teise elektripaigaldise vahendusel kolmandale elektripaigaldisele, kusjuures nii häiriv kui ka häiritav elektripaigaldis vastab õigusaktides sätestatud nõuetele, peab hiljem valminud elektripaigaldise omanik tegema oma elektripaigaldises häirete ja ohu vältimiseks vajaliku elektritöö.*
>
> *(2) Kui häire või ohu kõrvaldamine on lihtsam ja odavam varem valminud elektripaigaldise tehnilist struktuuri muutes või täiendades ning seda on võimalik teha elektripaigaldise tööd oluliselt häirimata, peab varem valminud elektripaigaldise omanik tegema oma elektripaigaldises häirete ja ohu vältimiseks vajaliku elektritöö.*
>
> *(3) Kahest elektripaigaldisest või nende osadest peetakse hiljem valminuks seda, mis on elektrivõrguga liidetud hiljem.*
>
> *(4) Käesoleva paragrahvi lõikes 2 sätestatud juhul peab hiljem valminud elektripaigaldise omanik hüvitama varem valminud elektripaigaldise omanikule elektritööga tekkinud kulud. Kulude määramisel tuleb arvestada elektritöö tulemusena varem valminud paigaldise omanikule paigaldise toimevõime või käidukulude suuruse muutumisest tekkinud kasu või kahju.*

Siiski, antud paragrahvi kontekstis reguleeriti olukorda, kui mõlemad osapooled – nii häiritu kui häiritav – olid nõuetele vastavad. Nõuetele vastavuse kontrolli tingimused olid sarnased antud hetkel kehtiva reeglistikuga. ELS seadmete rakendamisega seotud küsimustes on kerkinud esile paraku hoopis teine olukord, kus tegelemist ei ole otsese nõuetele vastavusega, vaid suuremal määral nõutele mittevastavate tarvitite müradega. Seega ka varasem seadusandlus ei oleks siin olulist leevendust pakkunud (vt ka ülal).

6.4 STANDARDID JA HEA INSENERITAVA

Eesti standardid ei ole õigusaktid, kuna neid ei ole kehtestatud vastava õigusliku menetlusega. Sellest asjaolust tuleneb ka standardite soovituslik iseloom. Samas ei tähenda standardite soovituslikkus seda, et nendest tulenevad ohutusnõuded oleksid iseenesest soovituslikud.

Elektrotehnika valdkonnas on palju erinevaid nõudeid, mida ei ole nende rohkuse tõttu mõistlik ega ka võimalik õigusaktides üldse sätestada. Seetõttu on vaid üks osa nõuetest toodud standardites ja muudes õigusaktides. Väga paljusid tehnilise osa piiranguid sisustatakse laiema terminiga nagu **hea inseneritava**. **Hea inseneritava** hõlmab endas standardites käsitletud soovitusi, kui ka teisi füüsikalisi asjaolusid, millega peab praktikas kindlasti arvestama.

Standardist „Madalpingelised elektripaigaldised Osa 4-444: Kaitseviisid Kaitse pingehäiringute ja elektromagnetiliste häiringute eest" võib leida viiteid, lõike mis käsitlevad **head inseneritava [2].** Näiteks *„Elektromagnetilise ühilduvuse meetmeid, mida selles standardis kirjeldatakse, võib vaadelda kui head inseneritava kohtkindlate paigaldiste elektromagnetilise ühilduvuse saavutamiseks, nagu seda nõuab elektromagnetilise ühilduvuse direktiiv 2004/108/EÜ*.

Viiteid heale inseneritavale kohtame väga mitmetes direktiivides, standardites ja õigusaktides.

6.4.1.1 HEA INSENERITAVA ON KOHUSTUSLIK

Hea inseneritava on soovituslik, **ent on olemas kohtulahend** (kohtuasja number 3-1-1-7-10), mis viitab sellele, et hea inseneritava praktikaga tuleb kindlasti arvestada [3].

Lõik antud kohtulahendist, selle kohta, kui tekib vaidlus, mis puudutab head inseneritava (ehitustava):

> *Head ehitustava on võimalik sisustada ka selliste ehitusnõuetega, mis ei tulene standarditest, vaid näiteks teaduskirjanduses avaldatud seisukohtadest, kutseorganisatsioonide reeglistikust või on tuletatavad loodusseadustest. Nii on isikul võimalik hea ehitustava rikkumise etteheitele vastu väita, et ta ei järginud küll standardis sätestatud nõudeid, vaid lähtus muudest talle teadaolevatest ehitusnõuetest. Sellisel juhul on kohtul võimalik omakorda hinnata, kas isik on järginud head ehitustava või mitte.[3]*

Hea inseneritava võib olla küll vabalt sisustatav erialase teadmisega, kuid teadaolevate tehniliste tingimuste ja muude nõuete mittetäitmist tuleb alati seega põhjendada muude kaalutlustega. Juhul, kui Elektrilevi OÜ oma tehnilistes tingimustes teatud lähtealused, sh lähte-normdokumendid sätestab, siis on neid kohustuslik järgida ja asjatundliku erimeelsuse tekkimisel tuleb lahenduses rakendatavat erisust selgitada, isegi kui lähtutakse hea inseneritava alustest.

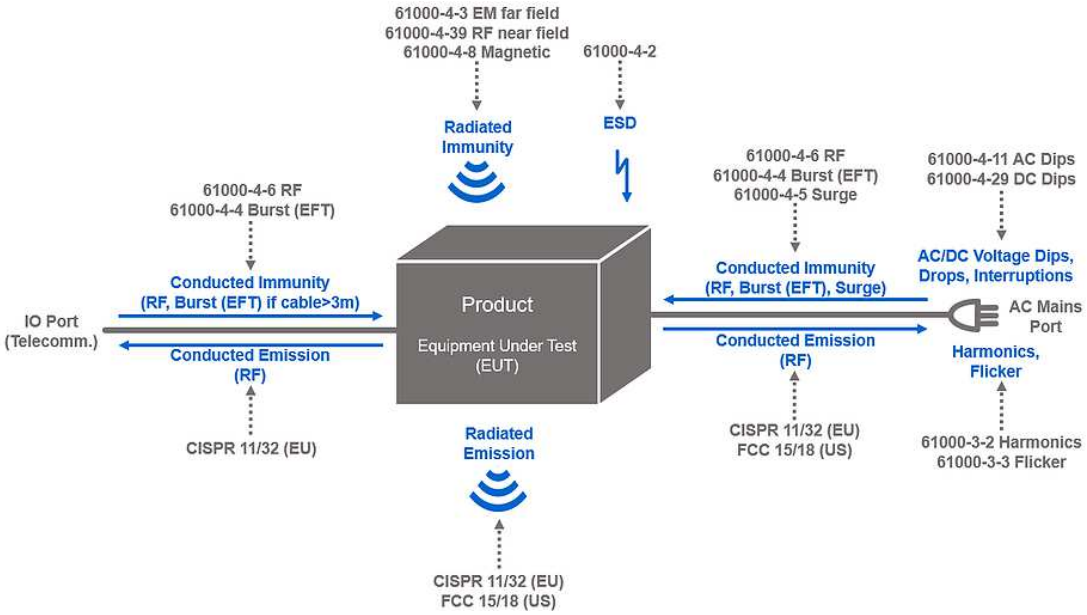
6.5 EL ELEKTROMAGNETILISE ÜHILDUVUSE DIREKTIIV

EK EMÜ direktiiv 2014/30/EL sõnastuses tuleb siin rõhutada järgmisi regulatsiooni lauseid:

> *Lause (1): Kui käesoleva direktiiviga reguleeritakse aparatuuri, tuleks seda kohaldada turule lastud valmisaparatuuri suhtes.*
>
> *Lause (14) Võrku ühendatavate seadmete tootjad peaksid seadmeid valmistama sellisel viisil, et seadmete tavapärastel töötingimustel kasutamisel oleks välistatud võrguteenuse kvaliteedi vastuvõetamatu halvenemine.* ***Võrguoperaatorid peaksid konstrueerima oma võrgud sellisel viisil, et võrku ühendatavate seadmete tootjatel ei lasuks ebaproportsionaalselt suurt kohustust võrguteenuse kvaliteedi vastuvõetamatu halvenemise välistamiseks.*** *Euroopa standardiorganisatsioonid peaksid harmoneeritud standardite väljatöötamisel seda eesmärki piisavalt arvesse võtma (sealhulgas asjakohaste elektromagnetiliste nähtuste liikide kumulatiivseid toimeid).*

Häirivate EM-emissioonide tekitamine seadmete poolt peaks langema EL direktiivi alla, mille eesmärgiks on tagada nõuetekohane EM-keskkond sh kõikidele avalikku jaotusvõrku ühendatud seadmetele. Juhul, kui seade/süsteem põhjustab EM-keskkonnas (siin ELS kontekstis jaotusvõrk) enda talitlusega tingimused, mille tõttu antud EM-keskkond osutub liialt mürarikkaks või muul moel ebasobivate töötingimuste tekitajaks, on õigus nõuda seadme/süsteemi eemaldamist sellest keskkonnast, eesmärgiga tagada teiste seadmete tõrgeteta töö. Selleks annab EMÜ direktiiv voli riiklikele järelvalveorganitele.

Eelduslikult kõik seadmed ja süsteemid, mis võrgus töötavad, vastavad nendele seatud asjakohastele nõuetele. Näiteks olmekeskkonda töötama kujundatud seadmed/süsteemid peavad vastama olmekeskkonna tingimustele, sh mürade ja EM-emissiooni piinormidele. Sellist vastavust on kohustatud kontrollima kõik tootjad, kes oma tooteid või imporditud kaupa turule viivad. Seadmeid tuleb katsetada kõikide reeglite suhtes, mis võiksid kirjeldada töökindlust, EM-mürade ja häiringute emissiooni ja häiringukindlust (vt Joonis 6-1).



Joonis 6-1. Toote katsetamine, et kontrollida selle vastavust EMÜ kriteeriumidele [EMCA], viidetega kehtivatele reeglitele ja normidele.

Kõikide turule viidavate seadmete nõuetele vastavuse ja ühtlasi regulatsioonidele ja direktiividele vastavuse kinnituseks saab nõuetele vastavuses veendumisel tootja või maaletooja varustada seadme CE-märgisega. Sellise deklaratsiooni aluseks on nõuetele vastavuse hindamise protseduuri kirjeldus ning asjakohaste standardite loetlemine, millele vastavus on kontrollitud. Kuigi tootja/maaletooja vastutusalas on selliste standardite kajastamine, ei ole sageli kõikide (vt näide Joonis 6-1) kohalduvate normide vastavus sageli deklareeritud. **Rõhutamaks teatud normidele vastavuse nõudeid, tuleks sellised normdokumendid eraldi loetleda, millele vastavuses tuleks kasutajal veenduda. Näiteks jaotusvõrgu seisukohast potentsiaalsete juhtivuslike kõrgsagedusmürade allikate kontekstis, tuleb rõhutada vastavust avalikele jaotusvõrkudele vastava keskkonna nõuetele (IEC 61000-6-3).** Täpsemad soovitused on esitatud antud aruande lisas.

Kuivõrd erinevaid reaalseid seadmete ja süsteemide talitlus-seadistusi, sh ühendusskeeme, ühendusvahendeid ja kasutusjuhtumeid on määramatult palju, on seadmete ja süsteemide katsetamiseks ja nende EMÜ vastavuses veendumiseks sätestatud standardites selged protseduurid, katseskeemid ja katsevahendid (sh mõõteriistad). **On selge, et nimetatud juhised katsete läbiviimiseks käsitlevad ühest küljest spetsiifilisi olukordi, millel saadud mõõtetulemused ei pruugi iseloomustada mõnda reaalselt aset leidvat talitlusolukorda.** Samas on need suhteliselt parima praktika väljenduseks, jättes siiski võimaluse tootjatel täiendavalt täpsustada talitlusolukordi ja iseseisvalt samuti katseseadistust määrata.

Hea inseneritava käsitlust võime kohata näiteks direktiivis artikkel 19 paigaldiste osas, kus on selgelt kirjeldatud

> *I lisa punktis 2 osutatud **hea inseneritava** dokumenteeritakse ja dokumentatsiooni hoiab vastutav isik või hoiavad vastutavad isikud asjaomastele riiklikele asutustele kontrollimiseks esitamiseks kogu paigaldise eluea vältel.*

Peatüki I Lisa all rõhutatakse taas:

> *Pidades silmas vastavust punktis 1 sätestatud olulistele nõuetele, ehitatakse paigaldis* ***hea inseneritava*** *kohaselt ja võttes arvesse teavet seadme koostisosade eesmärgipärase kasutamise kohta*.

Direktiivi jõustamisega on kaasatud ka terve rida asjakohaseoid harmoneeritud standardeid, mis on saanud ka õigusliku jõu, kuna need on seostatud EMÜ direktiiviga läbi Euroopa Liidu teataja.

6.6 RIIKLIK JÄRELEVALVE JA KONTROLL

Eestis on riikliku järelevalve teostaja Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet (TTJA). TTJA tegevus on lahti kirjutatud majandus- ja taristuministri määrusega nr 62 „Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti põhimäärus" (hetkel kehtiv redaktsioon alates 15.11.2019).

Elektrialastes küsimustes, sh elektripaigaldiste, elektriseadmete ja EMÜ alal tegevustes on vastutav TTJA Tehnikaosakond, mille kohustused ja õigused kirjeldatud TTJA direktori käskkirjaga 16.01.2019 nr 1-2/19-010 „Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti osakondade põhimääruste kinnitamine" lisas „Tehnikaosakonna põhimäärus", mille kohaselt

> *7. Osakonna tegevusvaldkonnas on osakonnal järgmised ülesanded*
>
> *7.3. menetleda osakonna tegevust puudutavaid isikute avaldusi (teabenõue, selgitustaotlus, märgukiri, kaebus);*
>
> *7.9 teostada seadmete ja paigaldiste kasutusele võtmise ja kasutamise, seadmetöö ja selle tegijate osas seaduses sätestatud ulatuses riiklikku järelevalvet, sh kohaldada riiklikku sundi ning riikliku järelevalve erimeetmeid;*
>
> *9.Osakonnal on oma tegevusvaldkonnas ülesannete ja kohustuste täitmiseks õigus:*
>
> *9.1. teostada osakonna tegevusvaldkonna õigusaktides sätestatud alustel, korras ja ulatuses riiklikku järelevalvet, sh kohaldada riiklikku sundi ja riikliku järelevalve erimeetmeid;*

Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve ameti (TTJA) pädevusse kuulub elektripaigaldiste ja elektriseadmete valdkondade:

- *elektriseadmete turujärelevalve - elektriseade peab olema ohutu ja varustatud vajaliku teabe ning märgistusega*
- *elektriseadmete ja -paigaldiste elektromagnetilise ühilduvuse nõuetele vastavuse järelevalve - elektriseade/paigaldis ei tohi tekitada häiringuid ja peab olema ise piisavalt häirekindel*

- *elektri- ja elektroonikaseadmete ohtlike ainete sisalduse järelevalve – elektri- ja elektroonikaseadmed ei tohi sisaldada üle lubatava määra ohtlikke aineid (nt kuuevalentse kroomi ühendeid, pliid, elavhõbedat)*
- *elektripaigaldiste riiklik järelevalve - elektripaigaldise kasutamine peab olema ohutu ja sellel peab ettenähtud juhtudel olema tehtud audit ning määratud kasutamise järelevaataja (käidukorraldaja)*
- *elektritöö ettevõtjate tegevuse järelevalve - elektritöö tegemiseks peab ettevõtja olema esitanud majandustegevuse teate, omama kompetentsusega töid juhtivat isikut ning järgima elektritöödel elektriohutusnõudeid*
- *auditi tegijate ja personali sertifitseerimise asutuste tegevuse järelevalve - need asutused peavad olema akrediteeritud vastavas valdkonnas, olema oma töös sõltumatud ja asjatundlikud ning omama vajalikke teadmisi ja vahendeid*
- *elektriõnnetuste põhjuste väljaselgitamine ja nende põhjal ennetavate meetmete kavandamine õnnetuste vältimiseks.*

6.6.1.1 AVALIKU JAOTUSVÕRGU JA VÕRKU PAIGALDATUD SEADMETE JÄRELEVALVE

Järelevalvetegevuste aluseks on probleemide ilmnemine, põhjendamine ja tõendamine. Juhul, kui kaebuse esitaja pöördub TTJA poole, siis TTJA poolt viiakse läbi probleemi analüüs ja tuvastatakse, kas kaebus on sisuline ja tõsine. Kui TTJA algatab kaebuse alusel menetluse ning selgitab menetluse käigus probleemi allika, on TTJA-l võimalus esitada probleemse seadme/paigaldise kohta ettekirjutus.

- TTJA poolt on ettekirjutusi võimalik esitada nii juriidilistele kui füüsilistele isikutele.
- Füüsiliste isikutega seotud küsimustes on TTJA volitused teatud määral piiratud.

Ettekirjutuse tegemine saab olla ainult faktipõhine, menetluse aluseks saab olla dokumenteeritud ja põhjendatud pretensioon.

Probleemide lahendamisel on tegevuskäik üldjoontes järgmine:

1. Pretensiooni esitaja kirjeldab probleemolukorra detailselt ja esitab argumenteeritud kaebuse;

   Elektrivõrguga seotud probleemide korral on aluseks mõõtetulemused, reeglina pretensiooni esitaja esitab/tellib mõõtmised;

   - Mõõta saab näiteks kõrgsagedus-müratasset liitumispunktis;
   - Mõõtmistulemuse jälgitavus peab olema tõendatud; sh mõõtja peab olema pädev ja mõõtmine peab toimuma taadeldud mõõtevahendiga;
   - TTJA ei oma elektrivõrgu-suuruste mõõtmisvõimekust, samas omab raadiosageduslikku mõõtevõimekust; elektrivõrguga seotud mõõtmised tellitakse pädevatelt partneritelt.

2. TTJA hindab pretensiooni sisu, määratleb kaebuse tõsiduse ja vaatab läbi esitatud tõendid;

3. Rikkumise tõendamisel tehakse ettekirjutus tuvastatud probleemi põhjustaja/seadme omanikule.

4. Omanikul on kohustus reageerida tähtajaliselt, sh sõltumata probleemi põhjustava seadme tootja tegevusest.

- Omanikul on õigus pöörduda probleemi põhjustanud seadme importija/müüja/tootja poole, et saada probleemile lahendus seadme asendamise või tagasivõtmise läbi.

5. Kui omanik ei likvideeri probleemi, siis on TTJA-l võimalik rakendada SeOS §15 lg 2 kohaselt täiendavaid tõkkeid.

§ 15. Riikliku järelevalve erimeetmed

(2) Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet võib seadme kasutamise peatamise ettekirjutusega koos kasutada erivahendina seadme kasutamist takistavaid või seadme kasutamist tuvastavaid tehnilisi tõkkeid. Tehnilist tõket võib kasutada, kui on alust arvata, et seadme kasutamist jätkatakse hoolimata ettekirjutusega määratud keelust ja seadme kasutamisega kaasneks vahetu oht inimese elule või tervisele, asjale või keskkonnale. Tehnilise tõkke kasutamine lõpetatakse ettekirjutuses kirjeldatud ohu kõrvaldamise korral.

Järelevalve seisukohast on oluline sh arvestada täpsete nõuetega, mis kehtisid toodetele/seadmetele nende kasutuselevõtu ajal.

- Tootja esitatud juhendid ja materjalid on kriteeriumiks, mille alusel kasutaja tegevusi hinnatakse; kirjalikus juhendis toodud tingimusi/tegevusjuhiseid peab kasutaja järgima;
- Täiendavalt tuleb määratleda seadme (võrku) ühendamise aeg, mille korral saab vaadelda sel hetkel kehtinud reegleid, sh standardeid;
- Varasemate standardite sisu on aluseks hindamisel, kas seade on probleemne või ei, ka praeguse hetke kontekstis.

Elektripaigaldiste järelevalve osas võib täiendada:

- Elektripaigaldistele ei ole ühest kindlas võtmes standardit, eriti EMÜ/kõrgsagedusmüra kriteeriumides.
- **Mürarikka seadme (probleemse seadme) eemaldamise klauslit enam seaduses ei ole (vt Elektriohutusseadus), kuna selline sisu on sõnastatud EMÜ Direktiivi all.**
- Hea inseneritava alusel tehtud valikud on lähtekohaks paigaldise spetsifitseerimisel, nende dokumenteeritud alustel saab seada/kontrollida ka teisi tingimusi.
- Elektripaigaldiste eriküsimused on iga liikmesriigi siseasi. Elektripaigaldiste direktiivi hetkel ei ole, kuigi on olemas hea inseneritava aluseks olev standardite pakett, mille järgimist siseriiklikult nõutakse ja jälgitakse.

- **Standardite kaasamine seadusandlikul kohustuslikul tasemel ei ole hea tava.** Regulatsioonides võib viidata standarditele tuginevatele alustele või siis konkreetselt seada tingimused, mis on vastavuses ka standardis tooduga.
- Elektripaigaldiste standardites on lõpus reeglina siseriiklike eripärade ala, milles täpsustatakse Euroopa standardi sõnastuse suhtes siseriiklikke tingimusi. See kontekst saab siiski olla ainult konkreetse standardi enda sisust tulenev ja praktikaga põhjendatud seisukoht.

Välja saab tuua menetluse käigus dokumentatsiooni ja faktipõhisuse rolli. See tähendab, et osutada tuleb kohtadele, mis on selgelt põhjendatavad. Kui on vajalik tugineda teatud normile, siis tuleb näidata ka seda, mille alusel seda normi tuleks kohaldada.

6.7 ELEKTRIPAIGALDISTE PROJEKTEERIMINE JA EHITAMINE

6.7.1.1 ELEKTRIPAIGALDISE KAVANDAMISE JA EHITAMISE LÄHTEALUSED

Elektripaigaldiste kavandamise, ehitamise ja käidu aluseks on elektripaigaldise projekt, mille raamistik on sõnastatud mh Ehituseadustiku §13 alusel majandus- ja taristuministri määrusega nr 97 Nõuded Ehitusprojektile (jõustunud 21.07.2015).

> §21. Elektripaigaldiste osa
>
> (1) Ehitusloa taotlemisel esitatakse ehitusprojekti elektripaigaldiste (tugevvoolu-, nõrkvoolu- ja automaatikapaigaldise) osas vähemalt:
>
> > 1) projekteerimisel aluseks võetud ja projekteerimisel järgitud **tehniliste ja projekteerimisnormide, standardite ning juhendmaterjalide loetelu**;
>
> […]
>
> (2) Asendiplaanil, tehnovõrkude ja -rajatiste koondplaanil või vajadusel eraldi tehnovõrgu ja -rajatise plaanil esitatakse tehnovõrkude ja -rajatiste asukohad.
>
> (3) Ehitusprojekti elektripaigaldiste osa juurde lisatakse **tehnovõrgu või -rajatise omanikult** saadud **tehnilised tingimused**.
>
> (4) Elektripaigaldiste osas **kirjeldatakse projekteeritud lahendusi** vähemalt tekstiliselt **seletuskirjas**.

Täpsemad juhised erinevate ehitusprojektide koosseisu ja nõuete osas on esitatud Eesti standardis EVS 932:2017 „Elektriprojekt", milles eristatakse kolme elektripaigaldise alamosa:

> ***hoone tugevvoolupaigaldis*** *käsitleb elektrotehnilist osa hoone elektripaigaldisest, mis sisaldab seadmeid elektrienergia tootmiseks (näiteks generaator, päikesepaneel), muundamiseks (näiteks trafo), salvestamiseks (näiteks UPS, taastuvenergia tootmisseadme akupank), edastamiseks (näiteks lattliinid, kaabelliinid), jaotamiseks (näiteks elektrijaotusvõrk jaotuskeskustega) ja*

elektri energeetiliseks kasutamiseks (näiteks tehnoloogiline, valgustus-, küttepaigaldis);

***hoone nõrkvoolupaigaldis** käsitleb seadmeid ja süsteeme, mida iseloomustab vooluahelate suhteliselt nõrk (enamasti milliampreis väljendatav) vool ja väike pinge (enamasti alla 50 V);*

***hooneautomaatikapaigaldis** käsitleb automaatikasüsteemi, mis juhib hoone tehnosüsteemide – välja arvatud tuleohutussüsteemide tööd.*

Järgnevalt on antud uurimisprojekti kontekstis käsitletud elektripaigaldise kontekstis eeskätt hoone tugevvoolupaigaldist, kui ei ole nimetatud teisiti.

Elektripaigaldise projekteerimise lähtekohaks on kirjeldatavale paigaldisele esitatavad lähteandmed [EVS 932:2017], sh

- (sise)arhitektuurilised, geograafilised ja põhimõttelised rajatise plaanid, tingimused ja andmed;
- ehitusprojekti tellija nõuded tugevvoolusüsteemidele, mh vajadused varutoite seadmete järele ja reaktiivenergia kompenseerimise järele;
- kütte-, ventilatsiooni-, veevarustuse ja kanalisatsioonipaigaldiste lähteülesanded;
- tellija poolt esitatud tehnoloogiline lähteülesanne, mis võib sisaldada ka nõudeid teatud spetsiifiliste põhimõtete, normide ja tehniliste tingimuste kohta, mille järgimist tellija soovib/vajab;
- ühendatava taristu ja –tehnovõrkude valdajate tehnilised tingimused liitumiseks ja teenuse tarbimiseks – siia kuuluvad tehnilised tingimused näiteks avaliku jaotusvõrgu omanikult (sh Elektrilevi OÜ).

Elektripaigaldise eelprojekti projekteerimistöö raames [EVS 932:2017]

[…] Selgitatakse ja kontrollitakse asjakohaste õigusaktide ja normdokumentide nõudeid; kui normdokumendid ei sisalda kriteeriume konkreetse olukorra kohta, siis valib need projekteerija ning kooskõlastab ehitusprojekti tellijaga.

Tavapraktika jätab vastutuse projekteerimisel erinevate nõuete ja normide valiku osas projekteerijale. Arvestades elektripaigaldiste väga laia võimalikku esinemisskaalat, sh erinevaid asukohti, kasutusjuhtumeid, kasutuseesmärke, töökindlusnõudeid, võimalike rikete ja probleemide riske jpm, tuleb ohutuse ja hea tava reeglistikku toetavate tingimuste kinnitamiseks rakendada valdkonna ekspertteadmist. Seetõttu on ka projekteerijale kehtestatud kvalifikatsiooninõuded, näiteks majandus- ja taristuministri määrusega nr. 88 „Seadme vahetu kasutaja, kasutamise järelevaataja, seadmetööd ja auditit tegeva isiku kompetentsusele ja selle tõendamisele ning sertifitseerimisskeemile esitatavad nõuded" (jõustunud 01.11.2019) sõnastatud

§ 9. Elektrivaldkonnas tegutseva isiku haridus ja töökogemus

(4) Elektripaigaldise projekteerimise alase kompetentsuse eelduseks on elektrialane kõrgharidus. Erandina võib sertifitseerimisasutus anda pädevusklassi

piires projekteerimistöö tegemise õiguse, kui isik tõestab veenvalt oma projekteerimistöö tegemise oskust ja sellealast varasemat töökogemust.

TTJA on juhendmaterjalis „isikute kompetentsus, kutse ja pädevus", mis nimetab sh elektritöö eest vastutava isiku, elektripaigaldise kasutamise järelevaataja ja auditi tegija kompetentsuse nõuete kirjeldused, täpsustab

Elektripaigaldise projekteerimise ja elektripaigaldise auditi tegemise kompetentsus on tõendatud alates elektriala kutsetasemest 6 või vastava ulatusega pädevustunnistusega.

Ekspertteadmise põhjal elektripaigaldise aluseks valitud reeglistik ja dokumendid tuleb projekti seletuskirjas selgelt nimetada ja põhjendada. Siiski, lähtudes hea inseneritava põhimõttest, võib projekteerija omada teatud vabadusastet määratleda, milliseid lähteülesandes teiste osapoolte (tellija, tehnovõrkude valdaja) poolt otseselt mitteloetletud norme ja standardeid tingimustes kohustuslikena nimetada [EVS 932: 2017]

Esitatakse info normdokumentide kohta, mis olid aluseks projektlahenduste koostamisel ja mida järgiti; juhul, kui projektlahendus sisaldab kõrvalekaldeid normdokumentidest või nende üksikutest nõuetest, esitatakse need koos põhjendustega.

Õigusaktide loetlemine ehitusprojekti koosseisus alusdokumentide loetelus ei ole vajalik, kuna õigusaktide järgimine on üldkohustuslik.

Valminud elektripaigaldise projekt kooskõlastatakse nõudmisel osapooltega ning vajadusel ka auditeeritakse/hinnatakse. Ehitusseadustiku §14 lg 4 alusel kehtestab täpsemad nõuded majandus-ja taristuministri määrus „Nõuded ehitusprojekti ekspertiisile", jõustunud 01.07.2015. Selles on ka mainitud otseselt teatud elektripaigaldiste projekte.

§ 3. Ehitusprojekti ekspertiisi kohustuslikkus

(5) Ekspertiis tuleb teha vähemalt ehitusprojektile, mis sisaldab esimese liigi elektripaigaldist või teise liigi mittetüüpset elektripaigaldist, mille peakaitsme nimivool ületab 250 amprit.

Peakaitsme suuruse järgi esitatud nõue tugineb eelneva ehitusseadustiku määratlusele, mille korral oli elektripaigaldist peakaitsme nimivooluga 250 A sisaldav ehitis seaduse järgi kõrgendatud ohuga ehitis. Kehtivas ehitusseadustikus on sellised määratlused üle viidud ministri määrusesse.

Ehitusprojekti lähtetingimustes määratletud tingimused on aluseks edasisele järelevalvele.

6.7.1.2 ELEKTRIPAIGALDISE PROJEKTEERIMISE JA EHITAMISE PRAKTIKA

Elektripaigaldise projekteerimine on üks osa rajatise tehnovõrkudega seonduvast ning võrdväärsed tehnosüsteemide projektid on sh küte- ja ventilatsiooni, jahutuse ja soojusvarustus, gaasivarustuse, veevarustuse- ja kanalisatsiooniprojektid. Nende kõikide puhul tagab hea tulemuse erinevate valdkondade projekteerijate omavaheline pidev koostöö. Kaasaegsetes rajatistes on tehnosüsteemid ühendatud elektripaigaldisega ja moodustavad selles olulise osa.

Teisalt võivad elektripaigaldise rolli tõttu tehnosüsteemide planeerimise asjaolud lisaks tingida täiendavate nõuete esitamise, millised oleksid asjakohaseimad juba eelprojekti sisendina. **Elektromagnetilise ühilduvuse kaalutluste spetsifitseerimisel tuleks tähelepanu juhtida näiteks olukordadele, kui esineb:**

- tehnosüsteemide seadmete täpsete tüüpide muutumine, millised võivad tingida võimsuse/koosseisu/juhtimisvõtete muutmise – abiseadmete (ajamite komponendid, kontrollerid, andurid) vahetumine;
- paigaldisele lisanduvate täiendavate seadmete paigaldamine, tööde hilises staadiumis – näiteks taastuvenergia-, energiasalvestus- ja varutoiteseadmed, millised ei olnud spetsifitseeritud veel projekteerimise faasis; täiendavate välispaigaldiste rajamine (elektriauto laadimispunktid) jm
- toiteliinide ümberühendamine, milline on tingitud täiendavate asjaolude selgumise tõttu näiteks välisvõrkude väljaehitamisel, näiteks tänavavalgustuse ja pumplate kaablite trasside muutustest, valgustuse ja/või pumplate võimsuste suurendamine jm
- valgustuspaigaldise täpsustumine, sh ruumide lõplikust sisekujundus-lahendusest tingitud valgustite tüüpide valiku ja sellega seotud valgustuse juhtimispõhimõtete muutumine;

  jpm.

Valdkonna spetsialistide praktilised kogemused. All toodud kokkuvõte on valminud intervjuudest projekteerimise ja elektripaigaldiste komponentide ehitajatega.

6.7.1.3 VALDKONNA SPETSIALISTIDE PRAKTILISED KOGEMUSED. PROJEKTEERIMINE

Antud hetke praktika elektripaigaldiste projekteerimisel lähtub väga suures osas finantskaalutlustest ja tugeva konkurentsi tingimustes otsivad rajatiste ehitajad aktiivselt kulude kokkuhoidmise viise. Näiteks allhankijate rakendamine erinevates ülesannetes annab võimalusi kokkuhoiuks, kuid tekkivad käsuahelad on pikad ja tööde teostamise kvaliteedi sisuline omanikujärelevalve väga keeruline. Omanikujärelevalve teostamisel lähtutakse sageli suurima kriitilisusega küsimustest, mis tihtipeale on finantsvastutuse ja ajasurve prioriteediga. Teostuse detaile on omanikujärelevalve seisukohast keeruline käsitleda, kuna selle eelduseks on tegeliku ehitustegevuse dokumenteerimine – näiteks juba suletud seina sisse ei saa enam teostust kontrollima minna. Jäävad teatud mõõtmisvõtted, millega saab ka hiljem määratleda, kas teostus võiks olla korrektne.

Tööülesannete edasi andmine elektripaigaldise eri tasemel/valmisolekus teostuseks ja ehituseks on tihtipeale lünklik, kuigi eeskirjade järgi tuleb sellele rõhku pöörata. **Erinevate spetsialistide tööjõukulu on tihti surve all ja võib juhtuda, et projekteerija ei kohtugi ehitajaga peale projekti üleandmist. Hea tava näeb siiski ette, et projekteerija-poolne ülevaatus/järelevalve on vajalik kõikides ehitusetappides.** Tellijad seda reeglina ei soovi (tasustada), samas osadel juhtudel projekteerija käib töötasuta ja siduva kohustuseta omal initsiatiivil teostust üle vaatamas.

Projekteerijate poolt antakse rangelt ette ja selle kohta on kontroll üldiselt heal tasemel

- Kaitseastmed, jaotuskeskuste (kilpide) tüübid ja lukustused, kaablite üldine paigutus ja kaablitüübid;
- Maanduspaigaldis, potentsiaaliühtlustus ja vastavate juhtmete miinimum-ristlõiked;
- Lühisvoolude oodatavad tugevused;

Kogemused elektromagnetilise ühilduvuse / kõrgsagedusmüra kriteeriumidega on nõrgad. Üldiselt tehnilistes tingimustes EMÜ nõuete spetsifitseerimisega on praktika vähene, vaadeldakse konkreetseid seadmeid ja tuginetakse viimaste juhenditele.

6.7.1.4 VALDKONNA SPETSIALISTIDE PRAKTILISED KOGEMUSED. KILPIDE/ JAOTUSKESKUSTE EHITAMINE

Jaotuskeskuste/kilpide ehitajatele esitatakse samuti üldised juhised, samas on suuremate ettevõtete hangete (sh Elektrilevi OÜ) puhul tellija ette andnud tingimused, millest lähtutakse. Osadel juhtudel on ka ettevõtete sees kvaliteedisüsteemis antud juhised, kuidas käituda teatud kõrgsagedusmüra-võimekusega seadmete planeerimisel. Sellisel juhul rakendatakse sh kogemusest tulenevaid tüüpvõtteid sh paigaldatakse kõrgsagedusfiltrid. Praktilisi kõrgsagedus-mürade eemaldamisega, näiteks filtrite rakendamise läbi, kogemusi on, kuid need on seotud kas:

- seadme tootja omapoolsete juhendite ja välja pakutud tüüpidega. Näiteks sagedusmuunduri ja inverteri juurde paigaldatakse tavaliselt tootja poolt soovitatud filtrid;
- täpsete tellijapoolsete juhiste elluviimisega, millised koostatakse ja antakse edasi tellija poolt peale viimase läbiviidud analüüsi ja/või katsetamist ja nõuetele vastavuse kontrolli. Näiteks serveriruumides on antud ette teatud sagedusvahemiku „kaitse", siis selle järgi on ka projekteerija filtri ise valinud.

Eestis tegutsevad jaotuskeskuste/kilpide valmistajad ja projekteerijad kõrgsagedus-mürade mõõtmise läbiviimise kogemust üldiselt ei oma. Et kõrgsagedusmüra allikaks potentsiaalselt olevad süsteemid paiknevad täielikult suletud metallkilpides, siis seda peetakse müra suhtes heaks ennetavaks meetmeks. Praktika näitab, et ka keerulisemad süsteemid on töövõimelised ilma EMÜ probleemide ilmnemiseta, seetõttu prioriteet EMÜ kriteeriumidel võrreldes ohutusega (näiteks isolatsiooni ja maanduse kontekstis) on suhteliselt mittekõrge.

Peale paigaldise ehitamist on kontrollmõõtmistel või käidul tuvastatud EMÜ tingimuste rikkumisi, mis on seotud toite põhisagedusega seotud harmoonikutega (sagedused kuni 2 kHz) ja probleemi lahendamiseks on rakendatud sh madalsageduslikke aktiivfiltreid.

Elektrikilbi/jaotuskeskuse tugevvooluprojektiga ei anta ette kilbi sisemist kujundust, vaid aparaatide skeem. See tähendab, et projekteerija ei oma ka mingit kontrolli EMÜ-korrektse kilbi ülesehituse, sh juhtide ja aparaatide paigutuse eest. Et elektrikilbi projektid ja ehitus teostatakse minimaalse kuluga, siis tellija ei ole ka valmis täiendavate jooniste maksumust mõjuva põhjuseta kandma – see põhjus avaldub alles siis, kui miski praktikas ei tööta. Kui ka valmidus oleks EMÜ terminites kilpide kavandamiseks loodud, siis tellija peab ise seda spetsifitseerima, milliseid omadusi ta kilbi juures oluliseks peab.

Siiski, nõrkvoolu- ja automaatikapaigaldiste ehitajatel on esinenud kokkupuuteid olukordadega, kus nende süsteemid on mõjutatud avalikust elektrivõrgust saabuvatest kõrgsagedusmüradest, sh ELS-signaalidest. Nimetatud mürade mõjude vältimiseks rakendatakse kilpides mh isolatsioonitrafodega ahelaid, tüüpilise kilbi valmistamisel.

6.7.1.5 KOKKUVÕTE

Elektripaigaldiste, nende projekteerimise ja teostamisega seotud reeglistik lähtub ühest küljest otseselt ohutus- ja töökindlusnõuetest. Kuigi elektripaigaldiste ja nende erinevate komponentide üksikasju käsitlevate normide ja standardite hulk on suur, on ka elektripaigaldiste endi omaduste ja eripärade spekter väga lai. Prioriteetselt on eesmärgiks tagada ohutus ja töökindlus, mida kajastab eesmärgipäraselt ka erinevate norm-dokumentide sisu ja kontrollitavad/mõõdetavad suurused.

Rõhutada tuleb teatavat ebakõla hea inseneritava ja finants-kaalutluste vahel. Isegi, kui projekteerija ja ehitaja on teadlikud täiendavatest EMÜ nõuetest, on selliste nõuete kirjeldamine ja käsitlemine keeruline ning seotud märgatava finantskuluga.

EMÜ ja kõrgsagedus-korrektsuse, milline on nimetatud näiteks EVS-HD 60364-4-444 dokumendis, teostuseni jõudmiseks puuduvad tegelikult nõudmised ja soovid. Selliseid tingimusi ei nimeta tehnilistes tingimustes, kuigi hea inseneritava kohaselt peab nende tingimuste kaalutlemine olema kohustuslik. Madala prioriteediga käsitlus on läbiv joon alates elektripaigaldise projekteerimisest kuni ehitamiseni. Selles on oma osa ka tugevvoolu-tarvitite ja süsteemide senisel märkimisväärsel häiringukindlusel.

Siiski, nende komponentide valmistajad, kelle toote töökindlus hakkab sõltuma väliste mürade mõjutustest, seavad EMÜ kriteeriumid kõrgemale kohale ja on valmis rakendama ka lahendusi juba algstaadiumist probleemide välistamiseks.

6.8 ELEKTRIPAIGALDISE AUDIT

Elektripaigaldise auditi eesmärgid ja toimingute kirjeldus on esitatud Seadme ohutuse seaduses (SeOS):

> *§ 8. Audit*
>
> *(1) Audit käesoleva seaduse tähenduses on tehniline kontroll, mille eesmärk on tuvastada seadme tehniline korrasolek ning ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamise ohutus ning võimalikud olulised puudused.*
>
> *(2) Auditit tegev isik peab olema sõltumatu, kompetentne ja tagama auditi ühetaolisuse ja usaldusväärsuse.*
>
> *(4) Auditi tegija peab olema auditi toiminguteks akrediteeritud inspekteerimisasutusena akrediteerimisasutuse poolt […]*

Täpsemalt reguleerib elektripaigaldise auditi nõudeid ja tegevusi Majandus- ja taristuministri määrus nr 86 „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele" (jõustunud 11.07.2015). Selle kohaselt

§ 1. Kohaldamisala

(1) Käesolevas määruses määratletakse auditi kohustusega elektripaigaldised, esitatakse nõuded nende auditile, sealhulgas auditi meetoditele ja enesekontrollile, kehtestatakse kasutusele võtmisele eelneva, korralise ja erakorralise auditi juhud ning nõuded auditi tulemuste esitamisele.

(2) Käesoleva määruse ***nõudeid kohaldatakse kõigile käesoleva määruse kohaselt esimesse, teise ja kolmandasse liiki kuuluvatele ja üle 50 V nimipingega elektripaigaldistele****. Auditi kohustus ei hõlma teisaldatavaid elektriseadmeid.*

(3) Käesoleva määruse kohane audit ***ei hõlma elektripaigaldise elektromagnetilise ühilduvuse hindamist.***

Seega elektromagnetilise ühilduvuse-alast hindamist antud dokument ei reguleeri. Elektripaigaldiste liigituse alusel on elektripaigaldised jaotatud kolme põhiklassi, vastavalt nendega seotud riskide ja vastutuse suurusele

§ 3. Elektripaigaldiste liigitus

(1) Elektripaigaldised jaotatakse käesoleva määruse tähenduses korralise auditi sageduse määratlemiseks elektrist tuleneva ohu järgi esimese, teise ja kolmanda liigi elektripaigaldisteks.

(2) ***Esimesse liiki kuulub elektripaigaldis*** *alates võrguga liitumise punktist või elektripaigaldise toitepunktist, kui elektripaigaldis asub:*

1) *plahvatusohu tsoonis või seda sisaldavas ehitises;*
2) *suurõnnetusohuga ettevõtte ohtlikul objektil;*
3) *haiglas või muus ravihoones, kus raviruumides võidakse kasutada võrgutoitelisi elektrilisi meditsiiniseadmeid, mille osad on kasutamisel patsiendiga füüsilises kontaktis;*
4) *raviruumis, mis ei asu ravihoones ja kus võidakse kasutada võrgutoitelisi elektrilisi meditsiiniseadmeid, mille osad on kasutamisel patsiendiga füüsilises kontaktis.*

(3) ***Teise liiki kuuluvad*** *järgmised elektripaigaldised alates võrguga liitumise punktist või elektripaigaldise toitepunktist:*

1) *enama kui kahe korteriga hoone korterivaldajate ühiskasutuses olev elektripaigaldis;*
2) *ravihoones asuv elektripaigaldis, mis ei ole esimese liigi paigaldis ja mida toidetakse eraldi kaabliga hoone liitumispunktist või peajaotuskeskusest;*
3) *madalpingepaigaldis, mille peakaitsme nimivool ületab 35 amprit ja mis ei ole esimese liigi elektripaigaldis;*
4) *kõrgepingepaigaldis, mis ei ole esimese liigi elektripaigaldis;*
5) *elektripaigaldis, mis asub hotellis, motellis, võõrastemajas, puhkekodus, külalistemajas või muus majutushoones.*

*(4) **Kolmandasse liiki kuulub elektripaigaldis** alates võrguga liitumise punktist või elektripaigaldise toitepunktist, mille peakaitsme nimivool on 35 amprit või vähem ja mis ei ole esimese ega teise liigi elektripaigaldis.*

Nõue auditi läbiviija akrediteeringuks on ühene (SeOS §8, lg 4). Eestis toimib (vastutava) akrediteerimisasutusena Eesti Akrediteerimiskeskus (EAK), kelle üks tegevusvaldkond on ka spetsiifiliselt elektripaigaldiste auditit teostavate inspekteerimisasutuste hindamine. Elektripaigaldise auditi tegija pädevuse raamistik on kindlalt määratletud, EAK viib läbi pädevuse hindamise ja akrediteeritud ulatuse kinnitamise. Elektripaigaldise auditi raamistikus eristatakse võimekust järgmiste liigituste alusel (vt Tabel 6-1).

Tabel 6-1. Elektripaigaldise auditi läbiviija akrediteerimisulatuse klassid võimekuse alusel [EAK JV7].

Jrk nr	Liik
1	II ja III liigi kuni 1000 V nimipingega elektripaigaldised
2	II liigi üle 1 kV kuni 45 kV nimipingega elektripaigaldised
2a, erisus	II liigi üle 1 kV kuni 45 kV nimipingega elektripaigaldised, välja arvatud elektrienergia tootja paigaldised
3	II liigi üle 45 kV nimipingega elektripaigaldised
4	I liigi plahvatusohu tsooni ja suurõnnetusohuga objekti elektripaigaldised
5	I liigi ravipaikade elektripaigaldised
6	Elektromagnetiline ühilduvus

2019. aasta lõpu seisuga olid akrediteeritud elektripaigaldise auditi läbiviivateks asutusteks kokku 26 ettevõtet, kellest 7 omasid akrediteeringut ulatuses 1 – 5 (vt Tabel 6-2). **Nimistus ei ole ühtegi ettevõtet, kes omaksid akrediteeringut elektripaigaldiste EMÜ auditi läbiviimiseks.**

Tabel 6-2. Akrediteeritud elektripaigaldiste auditi läbiviijad 2019. aasta lõpu seisuga [EAK akrediteeritud inspekteerimisasutuste andmebaas]

Ettevõte	Tunnistus	Väljastatud	Akr. ulatus
Elektrikontroll OÜ	I083	30.10.2017	1-5
Elektripaigalduse OÜ	I045	06.10.2016	1-5
Elrato AS	I019	01.04.2019	1-5
Energiaring OÜ	I064	14.07.2019	1-5
Joala Elekter OÜ	I034	03.03.2015	1-5
MHV Elektrikontroll OÜ	I065	17.09.2019	1-5

Ettevõte	Tunnistus	Väljastatud	Akr. ulatus
Siivert Elektrikontroll OÜ	I018	04.04.2019	1-5
Elpeko OÜ	I067	12.04.2015	1-4
V.L. Tehnoekspert OÜ	I026	12.07.2018	1-4
Connecto Eesti AS	I013	26.06.2017	1-3
Empower AS	I014	11.06.2018	1-3
Tehnokontroll OÜ	I066	13.07.2018	1-3
Eesti Energia AS Elektritööd	I073	27.03.2019	1-2
Elektrilevi OÜ	I060	18.02.2019	1-2
Elektritsentrum AS	I016	29.09.2017	1-2
Eltam OÜ	I068	28.12.2015	1-2
KH Energia-Konsult AS	I015	01.12.2017	1-2
Leonhard Weiss OÜ	I010	11.10.2018	1-2
Matiek Partner OÜ	I070	07.11.2017	1-2
Peetri OÜ	I058	09.07.2018	1-2
Saare Elektroservis OÜ	I087	14.11.2019	1-2
AIA Elekter OÜ	I074	29.08.2018	1
Elektrikontrolli Teenused OÜ	I071	08.02.2017	1
Indikaator MEF OÜ	I086	24.10.2019	1
Melte OÜ	I056	19.12.2017	1

6.8.1.1 ELEKTRIPAIGALDISE AUDITI RAAMISTIK JA TEGEVUSED

Elektripaigaldiste auditi raamistik on Majandus- ja taristuministri määrus nr 86 „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele" (jõustunud 11.07.2015) kirjeldatud järgmiselt:

> *§ 4. Üldnõuded auditile*
>
> *(2) Auditi tegija arvestab elektripaigaldise suhtes kehtivaid nõudeid, sealhulgas elektripaigaldise koostisosaks olevate* ***elektriseadme tootja poolt määratud tingimusi nende olemasolu korral****. Auditil* ***võetakse aluseks elektripaigaldise ehitamise või ümberehitamise ajal kehtinud normdokumendid*** *ja arvestatakse ka muutunud kasutustingimusi.*
>
> *§ 5. Auditi toimingud*

(1) Audit hõlmab elektripaigaldise visuaalkontrolli, elektripaigaldise dokumentatsiooni kontrollimist ja kontrollarvutuste, mõõtmis- ja katsetustulemuste ja asjakohasel juhul ka käidukorralduse hindamist.

(2) ***Visuaalkontrolli*** *käigus hinnatakse, kas elektripaigaldis on ehitatud projekti kohaselt,* ***kooskõlas normdokumentidega ja elektriseadme tootja poolt määratud paigaldus- või kasutusjuhenditele*** *ja on kasutamiseks ohutu.*

(3) Elektripaigaldise ***dokumentatsiooni kontrolli*** *käigus hinnatakse pisteliselt* ***dokumentides esitatu vastavust nõuetele****. Auditi tegija võib põhjendatud juhtudel teha dokumentatsioonile detailset hindamist või vajadusel taotleda täiendavate asjakohaste dokumentide ja lisateabe esitamist.*

(4) ***Mõõtmis- ja katsetustulemuste hindamise*** *käigus hinnatakse elektripaigaldise ohutust ja nõuetele vastavust. Auditi tegija arvestab elektripaigaldise seisukorra hindamiseks korraldatud mõõtmisi, katsetusi ja uuringuid, kui need on tehtud selleks* ***akrediteeritud või mõõteseaduse kohaselt pädevaks hinnatud labori poolt ja on asjakohased****. […]*

Auditi tulemuste hindamisel on kriitiliseks *vahetu ohu* mõiste, milline tähistab eelkõige ohtu inimesele

§ 6. Vahetu oht ja oluline puudus

(1) Kui auditi tegija avastab kontrollimisel, et elektripaigaldise, sealhulgas selle osaks oleva elektriseadme, ***kasutamine põhjustab vahetut ohtu*** *või esineb oluline puudus, teatab ta sellest kirjalikult elektriseadme või -paigaldise omanikule.*

(2) ***Vahetu ohu korral teeb auditi tegija ettepaneku elektriseadme või -paigaldise koheseks elektrivõrgust väljalülitamiseks või selle kasutamise lõpetamiseks****. Kui vahetut ohtu kohe ei kõrvaldata, teavitab auditi tegija sellest Tehnilise Järelevalve Ametit.*

(4) ***Vahetut ohtu põhjustavad*** *näiteks järgnevad elektriseadme või -paigaldise kehtivatele nõuetele mittevastavusest tulenevad puudused ja rikked:*

1) *elektriseadme ümbris on ohtliku puutepinge all;*
2) *pistikupesa kaitsekontakt on ühendatud faasijuhiga või elektriseadme kaitsejuht on valesti ühendatud;*
3) *elektriseadme või -paigaldise pingestatud osad on mitteküllaldase puutekaitse tõttu puudutatavad;*
4) *elektriseadme või -paigaldise puutekaitseta osad on pingestatud ahelatest puudulikult eraldatud;*
5) *on tekkinud ilmne tule- või plahvatusoht.*

Elektromagnetilise ühilduvuse kriteeriumide osas on esmaseks lähtekohaks elektripaigaldise auditi tulemustes toodud märge, mille kohaselt on vajalik paigaldises vaja läbi viia EMÜ-alane lisahindamine.

§ 4. Üldnõuded auditile

(4) Auditi tegija teeb kindlaks, kas elektripaigaldis vajab pärast kõigi seadmete paigaldamist ja pingestamist elektromagnetilise ühilduvuse lisahindamist selleks akrediteeritud asutuse poolt, ning teeb vastava soovituse kontrolliaruandesse.

6.8.1.2 ELEKTRIPAIGALDISE EMÜ-ALANE LISAHINDAMINE

Määruses reguleerimata osas paikneb mh elektripaigaldise EMÜ-alane auditi lisahindamise osa, mille alusraamistik selgub TTJA poolt välja antud elektripaigaldise auditi juhendmaterjalist [„Elektripaigaldiste auditi juhendmaterjal, Ver 10.1 05.03.2019"].

15. Elektriseadmete nõuetele vastavus

[…]

*Lisaks elektriseadmete nõuetele vastavuse kontrollimisele tuleb auditi tegijal kontrollida kas kohtkindlalt paigaldatud seadme puhul on **järgitud tootja poolt (paigaldus-ja kasutusjuhendis) või standardites või projektis sätestatud nõudeid** selle seadme paigaldamiseks. Näiteks võivad olla sedasi nõutud täiendavad nõuded kaabeldusele, filtrite nõutavale paigaldamisele, paigaldus keskkonnale jne. **Kindlasti tuleb sellele tähelepanu pöörata seadmete korral, mis on mõjutatud elektromagnetilise ühilduvuse nõuetest** (kas siis häiringukindluse või häirete tekitamise seisukohalt)*

[…]

16. Elektromagnetiline ühilduvus

[…]

Audititegija peab kindlaks tegema, kas elektripaigaldis vajab või võib vajada pärast kõigiseadmete (sh veel tarnimata) paigaldamist ja pingestamist elektromagnetilise ühilduvuse lisahindamist, ning tegema vastava soovituse kontrolliprotokolli.

[…]

Sõltuvalt paigaldise iseloomust ja kasutatavatest seadmetest võivad häiringute piiramise meetmed olla erinevad, kuid peamised neist on:

- *varjestatud juhtmete kasutamine,*
- *täiendavad maandamise ja potentsiaaliühtlustuse meetmed;*
- *juhtmete paigutamine, nt juhtmete paigaldamine üksteisele võimalikult lähedale, juhtmete ristlõike suurendamine;*
- *filtrite kasutamine.*

*Juhul kui auditi tegija hindab, et elektripaigaldis vajab pärast selle lõplikku komplekteerimist seadmetega täiendavat elektromagnetilise ühilduvuse lisahindamist, tuleb tal teha vastav soovitus auditi protokolli, **teavitades** sellega elektripaigaldise **omanikku vajadusest** pöörduda vastava asutuse poole saamaks hinnang elektripaigaldise vastavuse kohta elektromagnetilise ühilduvuse nõuetele. **Elektromagnetilise ühilduvuse alast hindamist teeb vastavat akrediteeringut omav asutus.***

Elektripaigaldise elektromagnetilise ühilduvuse lisahindamise käik on siiski suhteliselt määratlemata, kuigi peaks olema suunatud EM-häiringute vähendamisele, mis antud paigaldisest lähtuvad. Lisahindamise vajalikkust küll selgitatakse paigaldise omanikule, kuid täpsemalt on reglementeerimata, millise tulemusega lisahindamine peaks lõppema. Lähtudes hea inseneritava kontekstist, on ka lisahindamise tulemuste tõlgendamiseks ruumi, samuti vastavate abimeetmete valiku ja nende rakendamise põhjendusteks.

Elektromagnetilise ühilduvuse hindamise lähtealustena on toodud võrreldavate standardite miinimumnimekirja loetelu, mis viitab EVS-EN 61000-2-x ning EVS-EN 61000-3-x dokumentidele, millised käsitlevad eeskätt toitekvaliteedi ning madalsageduslike nähtuste (sh harmoonikud) küsimusi. Täiendavate standarditena, mille tundmist auditi tegijatelt oodatakse (kuid ei viidata võrdlusvajadusele), sisaldavad ka EM-keskkondadega seotud EVS-EN 61000-6-x dokumente, millised viitavad ka kõrgsageduslike emissioonide piirangutele ja häiringukindlusele.

Siiski, tuleb välja tuua, et elektromagnetilise ühilduvuse lisahindamise tulemused ei ole kontekstis sedavõrd kriitilised, et tingiksid elektripaigaldise kasutusest eemaldamise või väljalülitamise. Samuti ei ole EMÜ lisahindamist nimetatud oluliste puuduste näidisloetelus.

6.9 LEPINGUTINGIMUSED

Antud peatüki aluseks on erinevate võrguettevõtjate liitumis- ja tüüptingimuste vaade, milline on esitatud võrguettevõtjate endi poolt. Analüüsi eesmärgiks on selgitada olukord lähtuvalt elektriliiniside (ELS) kriteeriumidest, sealhulgas võimalike müraolukordadega, kliendi ja võrguettevõtja vaates.

6.9.1.1 ELEKTRILEVI OÜ

Dokumendid:

- Elektrilevi OÜ liitumislepingu tüüptingimused, alates 01.09.2019
- Elektrilevi OÜ võrgulepingu tüüptingimused madalpingel kuni 63 A, alates 01.01.2019

Dokumentide näol on tegemist kõige selgemate tingimustega, millised on esitatud klientidele avalikult kättesaadavaks sh ettevõtte veebilehel ja kinnitatud Konkurentsiametiga.

Liitumislepingu tüüptingimustes (LLTT) peatükk 4 sätestab nõuded elektripaigaldisele.

> *4.1 Pooled tagavad, et nende omandis või valduses olevad liitumislepingu täitmiseks vajalikud ja/või ehitatavad elektripaigaldised vastavad õigusaktidele, standarditele ja eeskirjadele.*

Antud tegevusjuhis on väga üldsõnaline, kuigi laia haardega.

- ELS süsteemi seisukohast võiks siin konkreetselt kirjeldada, et paigaldise projekteerimisel võetakse arvesse mürasid põhjustavate seadmete (loetelu lisaks) talitlust ja paiknemist ja rakendatakse meetmeid nii, et need ei segaks ELS süsteeme.

Võrgulepingu tüüptingimused (VLTT) peatükk 3 käsitleb võrguteenuse kvaliteeti, ning välja on toodud konkreetselt ka lause „Võrguettevõtja vastutab pinge kvaliteedi eest liitumispunktini."

VLTT peatükk 4 käsitleb nõudeid elektripaigaldisele. Selle all punkt 4.1 sätestab

> *4.1 Pooled tagavad, et nende omandis või valduses olevad elektripaigaldised vastavad õigusaktidele, standarditele ja eeskirjadele.*

Selle punkt 4.4 sätestab:

> *Ostja ei või kasutada elektriseadmeid, mis häirivad võrgu talitlust, teiste isikute elektriseadmete kasutamist, kaugloetava mõõteseadme tööd ja/või mille kasutamine ei ole lubatud või eeldab eritingimusi.*

Taaskord on tegemist väga üldiste sõnastusega, mis konkreetsemat raamistikku ei sätesta. Määratud ei ole ka eritingimused, mida vaadeldakse.

- Elektriseadmete kontekstis võiks siin viidata alustele, mis tuginevad IEC 61000-2-5 elektromagnetiliste keskkondade määratlustele. Sellest lähtuvalt võiks olla esitatud viide konkreetselt ainult selliste seadmete lubamisele võrku, millised on ette nähtud kodu-, kommerts- või väiketööstuskeskkondadele. See annaks väga konkreetse võrdlusaluse erinevate tarvitite ja klientide tegevuste hindamiseks.

VLTT peatükk 5 kirjeldab võrguühenduse katkestamise alused. Selle punkt 5.2.2 nimetab:

> *kui ostja kasutab elektripaigaldisi, mis alandavad võrreldes kehtivate nõuetega elektrienergia kvaliteeti või elektrivarustusekindlust jaotusvõrgus või takistavad kaugloetava mõõteseadme tööd;*

- Selle punkti sisu määratluses oleks otstarbekas täpsustamine, läbi mille omab paigaldis tunnuseid, mis toimivad kvaliteeti alandavatena. Põhimõtteliselt võiks siia ka konkreetselt tuua juhtumid, mis võrgu talitluse seisukohast tuleb üheselt välistada, näiteks tööstuskeskkondade jaoks ette nähtud seadmete kasutamine olmes („tööstuskeevitus avalikus võrgus"). See võimaldaks adresseerida ka olukordi, kus võrgu häirumine ei ole veel toimunud, aga see on väga lähedal võimalikkusele, kui võrgu koormus oleks suurem jpt.
- Erisus puudutaks kliendi seadmeid, millised vastavad nõuetele ja on probleemivabad, kuid erinevate rikete või mitte-ettenähtud talitluse olukorras (komponentide rikked, vananemine, ülekoormus jm) esinevates tingimustes emiteerivad EM-müra näiteks oluliselt intensiivsemalt kui normidega lubatud. Sellisel juhul tuleks jätta ülimuslikuks nõuded, mille korral klient peab tagama

oma seadmete talitluse selliselt, et ei oleks ületatud avalikesse jaotusvõrkudesse ühendatud seadmetele esitatud piirnormid. See annaks potentsiaalse aluse kliendi kontrolliks probleemide ilmnemisel.

6.9.1.2 IMATRA ELEKTER AS

Dokument:

- Imatra Elekter AS võrgulepingu tüüptingimused tarbijale, dokumendi versioon 02.2018 (saadaval imatraelekter.ee 12.2019)

Dokumendi näol on tegemist kõige selgemate tingimustega, millised on esitatud klientidele avalikult kättesaadavaks sh ettevõtte veebilehel.

Lepingu peatükk 4 sätestab nõuded elektripaigaldistele, elektri- ja mõõteseadmetele

> *4.1. Pooled tagavad, et võrgulepingu nõuetekohaseks täitmiseks vastavad nende omandis või valduses olevad elektripaigaldised, elektri- ja mõõteseadmed ning nende käit õigusaktidele, standarditele ning tehnilistele eeskirjadele ja normidele.*

Määratlus on üldine ja lai, kuid sisuliselt on tegemist sarnase adresseeringuga kui Elektrilevi OÜ lepingu korral.

> *4.2. Pooled hoiavad ja kasutavad oma elektripaigaldisi nii, et need ei tekitaks elektrisüsteemis häireid ega halvendaks elektrienergia jaotamist. Samuti kasutavad pooled elektripaigaldisi ja -seadmeid nii, et teiste isikute elektripaigaldistele, elektri- ega mõõteseadmetele ei tekiks õigusaktidele või eeskirjadele mittevastavaid kõrvalmõjusid või häireid.*

6.9.1.3 VKG ELEKTRIVÕRGUD OÜ

Dokument:

- VKG elektrivõrgud OÜ võrguteenuste osutamise tüüptingimused, alates 01.01.2013

Dokumendi näol on tegemist kõige selgemate tingimustega, millised on esitatud klientidele avalikult kättesaadavaks sh ettevõtte veebilehel ja kinnitatud Konkurentsiametiga.

Peatükk 3 Võrguteenuste osutamine

> *Punkt 3.4. Pooled hoiavad ja kasutavad oma elektripaigaldisi nii, et need ei tekitaks elektrisüsteemis häireid ega halvendaks elektrienergia jaotamist. Samuti kasutavad pooled elektripaigaldisi nii, et teiste isikute elektripaigaldistele ei tekiks õigusaktidele või eeskirjadele mittevastavaid kõrvalmõjusid või häireid.*

Määratlus on üldine ja lai, kuid sisuliselt on tegemist sarnase adresseeringuga kui Elektrilevi OÜ lepingu korral.

> *Punkt 3.7. Ostja ei või kasutada elektriseadmeid, mis alandavad Elektrienergia kvaliteeti ja varustuskindlust võrreldes kehtivate nõuetega, häirivad teiste elektriseadmete kasutamist või mille kasutamine on Eesti Vabariigis kehtestatud normide kohaselt keelatud.*

Siin on samm lähemal konkreetsele reeglistikule, kuigi keelavaid norme on otseselt vähe. Samuti siin oleks otstarbekas viidata konkreetsemalt jaotusvõrgus avalikku jaotusvõrku ühendamiseks olme-, kommerts-, või väiketööstus-seadmete normidele.

6.9.1.4 ENERGIATEOLLISUUS RY

Energiateollisuus ry on Soome katusorganisatsioon, mis esindab energiasektori tööstus- ja tööjõuturupoliitikat. See organisatsioon esindab ettevõtteid, kes toodavad, jaotavad ja müüvad elektrienergiat, kaugkütte-soojusenergiat ja kaugjahutust. Selle organisatsiooni poolt välja antud tüüp-lepingutingimusi kasutavad antud organisatsiooni liikmeks olevad ettevõtted.

Dokument:

- TERMS OF NETWORK SERVICE 2019 as recommended by Finnish Energy

Dokumendi näol on tegemist kõige selgemate tingimustega, millised on esitatud klientidele avalikult kättesaadavaks sh ettevõtete veebilehel.

Dokumendi peatükk 4 käsitleb elektriseadmeid ja paigaldisi.

> Punkt 4.3 *The contracting parties shall see to it that their electrical installations and electrical equipment meet the requirements of the rules and regulations. Electrical installations and equipment may not be used so that they cause damage or disturbance to the distribution network or other users.*

Määratlus on üldine ja lai, kuid sisuliselt on tegemist sarnase adresseeringuga kui Elektrilevi OÜ lepingu korral. **Seevastu punkt 4.6 on seda täiendav ja nimetab ka konkreetsed seadmed, millega peab ettevaatlik olema:**

> *4.6 The user shall notify the DSO of any installations and equipment in accordance with the following sections 4.6.1 and 4.6.2 before they are taken into use.*
> *4.6.2 The following installations or equipment require advance clarification:*
> • *generators and other equipment feeding voltage, energy or short-circuit power;*
> • *e.g. wind power plants, solar power plants and biofuel-fired power plants*
> • *ground source heat pumps*
> • *compensating devices for reactive power*
> • *welding apparatuses*
> • *compressors*
> • *fairly large equipment controlled by electronics and*
> • *fairly large electronic power converters or frequency converters*
> • *data centres*
> • *various motor-driven equipment, such as pumping stations*

Seega, peamistest seadmetest, mis võivad enda töös tuua kaasa kõrgendatud EM-mürad, või mis võivad langeda täiendava filtreerimise vajaduse alla, antakse võrguettevõtjale eelnevalt teada ja võrguettevõtja saab planeerida meetmeid/ viidata täiendavate meetmete vajadusele / veenduda konkreetsete rakendatud meetodite tõhususes. Oluline on rõhutada konkreetsete tarvitite nimekirja, mida saab arvesse võtta ka klient ise.

Sama peatüki punkt 4.7 sätestab erinevate rikete puhul kahjude hüvitamise

4.7. The contracting parties are required to pay compensation to each other for the damage specified in chapter 12, subject to the conditions and limitations presented in the same chapter, caused by their installations or equipment contrary to the rules, regulations and written instructions referred to in the above sections (4.2 - 4.6) or by their faulty equipment, or by the operation of such installations or equipment. The user is also liable for such damage caused to other users for which the DSO is required to pay compensation to the other users. The user's liability for damage has been limited as follows, however:

4.7.1 The user is required to pay compensation only if he has been aware of, or if he should have been aware of, the risks that their installations or equipment, or their operation, may cause, considering their expertise, the properties of the equipment or installation used by them, and the information the DSO may have provided them with.

4.7.2 When there is a fault or property in the electrical installation or equipment which the user cannot have noticed, the user is liable for the possible damage and costs caused by such an lectrical installation or equipment only if he continues to use the installation or equipment causing damage, despite the instructions given by the DSO.

Seega, antud kontekstis kirjeldatus kahjude/kulude hüvitamise kontekstis peab kasutaja/klient teadma ohtudest ja riskidest teadlik olema ja selline teavitamine on võrguettevõtja vastutuse all. Kasutaja/klient kannab kahjud vaid juhul, kui võrguettevõtja teda eelnevalt selgesõnaliselt instrueeris aga kasutaja/klient jätkas oma tarvitite kasutamist teades piirangute vajadust.

6.10 KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

Seadusandlikul ja regulatiivsel tasemel on võrguettevõtte töö alused jaotatud mitme seaduse ja määruse konteksti. Seadusandja kehtestatud raamid peavad olema suhteliselt laiad, kuid need ongi eesmärgina kehtestatud suurematena.

Täiendavaid tingimusi teenuse kasutamiseks, sh erinevate võimalike võrku häirivate seadmete ühendamise vältimiseks on mõistlik kajastada näiteks võrguettevõtte teenuslepingu tasemel. Näiteks teenuselepingutes määratletud tingimused sõnastavad ka suhteliselt detailselt erinevad trahvid, sanktsioonid ja kompensatsioonid.

Teenuslepingute praeguste klauslite sõnastused on üldised ja kõikehõlmavad, mis aga ei ole kuigi tugev alus määramaks kliendi kohustusi ja rolle. Tuleb rõhutada, et avalik (madalpinge)jaotusvõrk on avatud paljudele klientidele samaaegselt ja sinna ühendatud võib olla sadu / tuhandeid seadmeid korraga. Samadel alustel toitepinge taseme määratlusega (vt EVS-EN 50160) tuleb rõhutada, et ka kõrgsagedusmürade intensiivsus võrgus on varustuskindluse seisukohast määrava tähtsusega. **Juhul, kui mõni võrku ühendatavatest seadmetest ei vasta nõuetele, ning annab võrku kõrgsagedusliku müra intensiivsusega, mis ületab kodukasutus-seadmete häiringutaluvuspiiri, muutub ka võrgus erinevate**

seadmete kasutamine võimatuks või ohtlikuks. Seega tuleks määratleda kindlal viisil, et avalikku madalpinge jaotusvõrku on ühendada lubatud ainult olme-, kommerts- ja väiketööstusele ette nähtud seadmeid, mis täidavad ka oma talitlusel neid nõudeid. Antud nõude püstitamine võimaldaks ka ohjata paremini sh erinevaid mürasid, mis võivad kaasneda ka tulevikus, ning olla potentsiaalselt häirivaks teguriks tuleviku-ELS tehnoloogiate jaoks.

Samuti peaks olema kirjeldatud erinevad nõuded seadmetele, millised võivad kliendi poolt olla võrku ühendatud. Kirjeldatavad nõuded oleksid seatud eesmärgiga kõrvaldada need pehmendused, millised võivad olla tingitud painduvatest mõistetest seoses reeglitele vastavuse, hea inseneritava poolt võimaldatava vabadusastmega, või töös kasutatava praktikaga (paigaldiste majanduslikud aspektid jms), eesmärgiga piirata kõrgsagedusmürade emissiooni Elektrilevi OÜ poolt hallatavas jaotusvõrgus. Näiteks:

- Selgelt piiritlema, et ainult tööstuskeskkonna või raske keskkonna tingimustes nõuetele vastavaid seadmeid ei ole lubatud Elektrilevi OÜ avalikku madalpinge-jaotusvõrku ühendada (regulatsiooni ja nõuete täitmise vabadusastmest tingituna);
- Seadma selged kohustusliku nõuded filtrite kasutamisele, millised võivad seadme dokumentatsioonis olla avalikku jaotusvõrku ühendamiseks soovitatavad, kuid mille osas projekteerija võib otsustada, et jätab need mingil teisel kaalutlusel rakendamata (hea inseneritava ja projekteerimispraktika paindlikkusest tingituna).

Häiringukindluse tasemed on samuti leitavad asjakohastest standarditest, samuti on nendele tasemetele vastavus kontrollitav mõõtmistega. Selliste reeglite kirjeldamine vähendaks tulevikus sealhulgas kaebusi, kus jaotusvõrgust tingitud asjaoludel ning juhtivuslike häiringute levimisel kliendi seadmetel esineks väärtalitlust.

Üldine taust erinevate tarvitite kasutusreeglitest ja kasutaja vastutusest on määratud konkreetsete juhismaterjalide olemasolu ja sisuga. EL regulatsioonid seavad eesmärgiks (sh läbi erinevate standardite), et erinevad võimalikud piirangud avalikku võrku ühendatavatele seadmetele saavad selgeks kasutusjuhendi(te)s ja tootja poolt selges märgistuses. Samasugune lähenemine peaks olema saadaval ka jaotusvõrku ühendatavatele tarvititele. See tähendab, et kasutaja kohustuste kinnitamiseks on tarvilik kergelt leitav olema dokumentatsioon, milline selgitab kasutajale eri tarvitite piiranguid. Samuti peaks viide sellisele dokumentatsioonile sisalduma teenuslepingus. Samuti on finantsvastutuse sõnastamiseks vaja täiendavalt lepingusse viia punktid, mis erinevate kulude ja/või trahvidega seostuksid.

Erinevates Elektrilevi OÜ dokumentides ja spetsifikatsioonides on vaja selgemini esitada ka nõue, et Elektrilevi OÜ võrk on eeskätt OKVT keskkond, sinna liidetavad seadmed peavad vastama OKVT keskkonnas töötamise tingimustele (EVS-EN 61000-6-3 dokumendile vastavalt). Sellised ettepanekud on loetletud detailsemalt ka antud aruande lisas 1.

- Elektripaigaldise projekteerimistingimused – ette tuleb näha kilbis vaba ruum mürafiltritele; samuti nimetada tingimused, millistele seadmetele tuleb ette näha täiendavate filtrite paigaldamise võimalus (näiteks sagedusmuundurid, inverterid);

- Teenuselepingus nimetada tingimusena

  * võrku ühendatud tarvitid peavad vastama Elektrilevi OÜ tarvitite ja seadmete juhendmaterjalidele;

  * vastutus kliendipoolsete EM-müraallikate või mitteühilduvate seadmete korral tähendab võimalike täiendavate komponentide paigaldamist kliendi kulul;

  * nimetama mürarikka/rikkega seadme eemaldamise ajalised kokkulepped ja sellest tulenevad võimalikud piirangud.

- Elektrilevi OÜ enda nõuetena selgitada (juhendmaterjalis) võimalikke piiranguid seoses erinevate seadmetega:

  * nimetada seadmete võrguga ühendamise tingimused (standardite ja neis esitatud seadmete klasside tasemel);

  * kirjeldada meetmeid mida klient peab rakendama, et mittevastavast klassist seade võrku võiks ühenduda (filtreerimine, juhistikusüsteemi valik jm);

Täpsemad ettepanekud täiendavate lepingutesse lisatavate tingimuste loetelust on esitatud antud aruande lisas.

7. PRAKTILINE HINNANG ELS SÜSTEEMILE

Antud peatükk käsitleb praktilistele katsetele laboratoorses keskkonnas ja mõõtmisele tuginevat analüüsi, mis selgitab muuhulgas

1) Kasutuses oleva ELS-süsteemi häiringukindlust ja häirimisvõimalusi
2) Praktilisi lahendeid ELS-süsteemi häiringuolukordadele
3) Välitöödel probleemsetes asukohtades läbi viidud katseid

7.1 KATSED PRAKTILISES LABORATOORSES KESKKONNAS

Elektrilevi OÜ poolt kasutusel olevad ELS-süsteemid seati üles ka Tallinna Tehnikaülikooli elektromagnetilise ühilduvuse laborisse, milles viidi läbi ELS-süsteemi suutlikkuse selgitamise katsed.

7.1.1.1 KATSESKEEM JA RAKENDATUD SEADMED

Katseteks seati üles makettlahendus, mis sisaldas järgmisi lülisid:

2 ELS-võimekusega elektrienergia arvestit Landis+Gyr E450

- SN 14844085; *LG133714844085%
- SN ****

1 ELS-kontsentraator Landis+Gyr DC450

- SN 43900842; LG131343900842

Mõõtevahendina rakendati tehisvõrguseadet (LISN)

- Hameg HM6050-2, SN 051990052

Mõõtevahendina rakendati EM-häiringute kontrollvastuvõtja

- Rohde & Schwarz ESL-6, SN 100214, viimane kalibreerimine 09.2019.

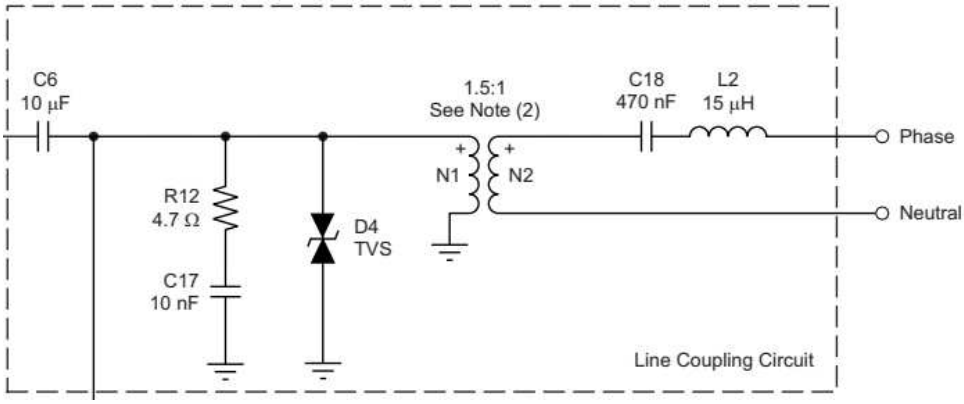
Signaaliallikana rakendati

- Rigol DG1022, SN DG1ZA203203879

Katseskeemis rakendati müra andmiseks madalpingevõrku liiteseadet-sobitusahelat, mis oli tehtud analoogilise ülesehitusega ELS modemile. Liiteseadmele anti müra esindav signaal signaaligeneraatorist. Aluskeem ja komponentide valik tugineb AFE031 juhistele [AFE031] ja on kujutatud all oleval joonisel (vt Joonis 7-1). Sobitusahela rolliks oli

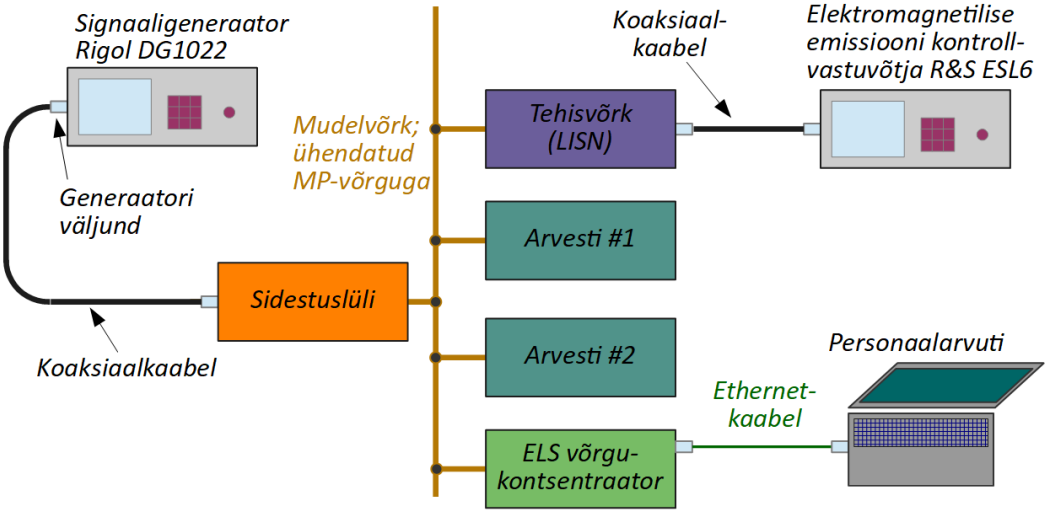
- Madalsagedusliku toitepinge komponendi blokeerimine generaatori ahelast;

- Generaatori ühepolaarse (maa suhtes) galvaaniliselt jäigalt sidestatud kontuuri lahtisidestamine.



Joonis 7-1. Liini sobitusahela skeem [AFE032].

Katseteks rakendatud skeem on esitatud all oleval joonisel (vt Joonis 7-2)



Joonis 7-2. ELS andmeside ja mürakindluse laboratoorne katseskeem.

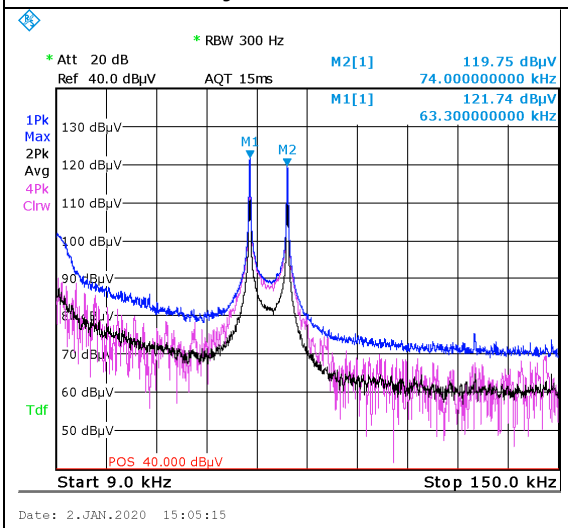
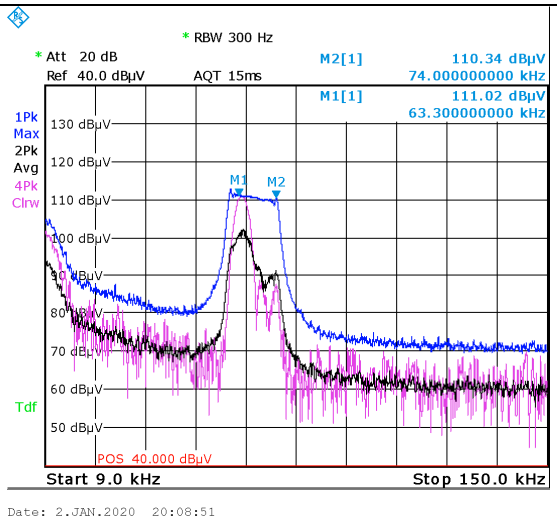
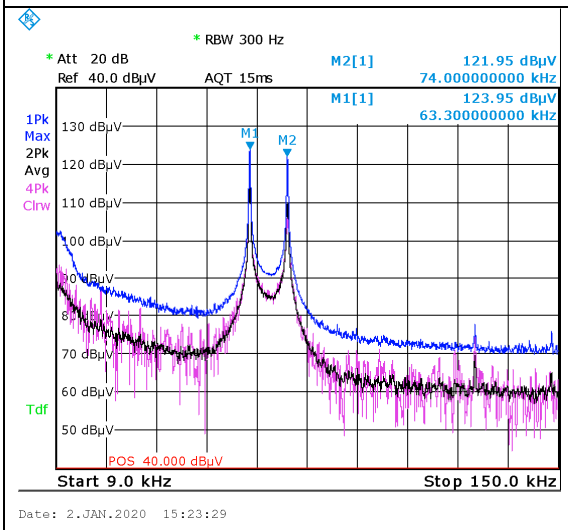
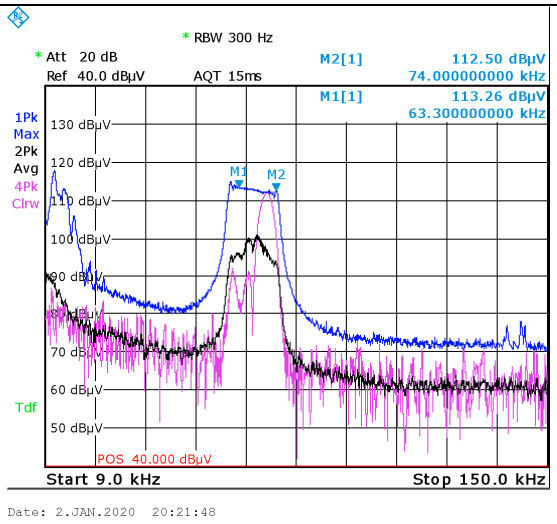
7.1.1.2 KATSETE KÄIK

Katsete eesmärgiks oli proovida erinevaid jaotusvõrgu müra-sarnaseid signaale, nende sisestamist liinile ning müratasemest sõltuva ELS-andmesideedukuse parameetrite määramine. Laiaribalise müra ahelasse andmiseks kasutati sageduspühet (frequency sweep), milline funktsioon skaneeris läbi etteantud sagedusribas, väikese sammuga, kogu võimalike sageduste väärtused.

Sageduspühe tähistab sellist sageduste genereerimise/etteandmise viisi, kus väljastatav sagedus muutub kindla reegli järgi (siin näiteks lineaarselt) ajas. Sageduse muutuse vahemik on määratud sageduspühke madalaima ja kõrgeima sagedusega; sageduspühke käigus omandab väljastatav signaal järgemööda kõik võimalikud sageduse väärtused selles vahemikus.

Andmesidekindluse katsetel kasutatud mürasignaalid on kirjeldatud all olevas tabelis (vt Tabel 7-1):

Tabel 7-1. ELS andmeside esmaste mürasignaalide parameetrid

Sageduspühe: Binaarne sagedushüpe Sagedus 1: 63,3 kHz Sagedus 2: 74 kHz Sageduspühke aeg: 10 ms Generaatori väljundi seadistus: 50 Ω	Sageduspühe: Lineaarne sagedushüpe Algsagedus:60 kHz Lõppsagedus: 75 kHz Sageduspühke aeg: 10 ms Generaatori väljundi seadistus: 50 Ω
	
Kõrgeim signaali tase andmeside sagedustel: 2150 mV generaatori väljund / 121,7 dBµV mõõdetud liinil	Kõrgeim signaali tase andmeside sagedustel: 2150 mV generaatori väljund / 111,0 dBµV mõõdetud liinil
ELS edukus: 90%	ELS edukus: 91%
	
Kõrgeim signaali tase andmeside sagedustel: 2800 mV generaatori väljund / 124,0 dBµV mõõdetud liinil	Kõrgeim signaali tase andmeside sagedustel: 2800 mV generaatori väljund / 113,3 dBµV mõõdetud liinil
ELS edukus: 0%	ELS edukus: 7%

Täpsustavalt tuleb märkida, et sagedussammu rakendamisel oli generaatori väljund pikema perioodi (5 ms) jooksul täpselt samal sagedusel, mistõttu ka mõõdetud signaalitugevuste tipud on kõrgema väärtusega.

Lineaarne sageduspühe annab reaalse võrgumüra lähedase olukorra; siin on konkreetsel sagedusel generaatori viibitud aeg lühike. Seetõttu ka konkreetsete sagedustega komponentide esinemise efektiivväärtus kujuneb madalamaks. See ei mõjuta samas mürakomponentide tipuväärtust ja siin saab kinnitada, et mõlematel juhtumitel olid liinile antud müratasemed sama intensiivsusega.

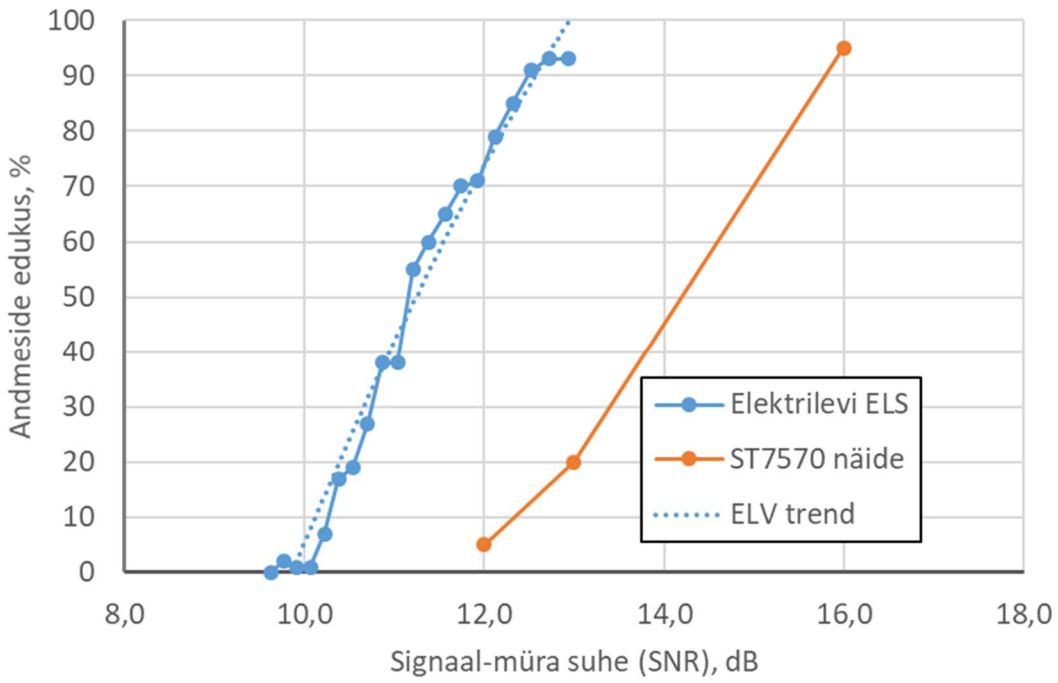
Andmesidekindluse katsete tulemused on esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 7-2) ning graafikul (vt Joonis 7-3)

Tabel 7-2. Katsetustel rakendatud müratasemete ja ELS edukuse tulemused.

Generaatori väljundnivoo, mV	Binaarne sagedushüppega müra		Lineaarse sageduspühkega müra		
	Andmeside edukus, %	Müranivoo, dBµV	Andmeside edukus, %	Müranivoo, dBµV	Signaal-mürasuhe SNR
2050	-*	121,3	93		12,9
2100	93	121,5	93		12,7
2150	90	121,7	91		12,5
2200	84	121,9	85		12,3
2250	80	122,1	79		12,1
2300	73	122,3	71		11,9
2350	71	122,5	70		11,7
2400	65	122,7	65		11,6
2450	63	122,8	60		11,4
2500	55	123,0	55		11,2
2550	55	123,2	38		11,0
2600	47	123,4	38		10,9
2650	43	123,5	27		10,7
2700	7	123,7	19		10,5
2750	15	123,8	17		10,4
2800	0	124,0	7		10,2
2850	-*	124,2	1		10,1
2900	-*	124,3	1		9,9
2950	-*	124,5	2		9,8
3000	-*	124,6	0		9,6

*-antud mõõtepunktis katset ei teostatud

Tulemusi vaadeldes saab anda hinnangu Elektrilevi OÜ ELS-süsteemi talitluskindluse kontekstis vajaliku SNR väärtuse suhtes. Graafikul (vt Joonis 7-3) on esitatud ka võrdlus ST7570 ELS-modemi andmetega. Võrrelda neid tulemusi otseselt siiski ei saa, kuna ei ole teada näiteks ST7570 katsetes rakendatud müra kontekst ja parameetrid. **Samas saab öelda, et esialgsetel katsetel on Elektrilevi OÜs rakendatav lahendus igati heal tasemel.**



Joonis 7-3. Katsetel selgitatud SNR ja andmeside edukuse tasemed ning võrdlus ST7570 modemi antud tunnustega (vt Joonis 3-7).

7.2 KATSED ELS-HÄIRIVATE SEADMETE EM-EMISSIOONI TASEME JA NÕUETELE VASTAVUSE MÄÄRAMISEKS

Katsete eesmärk oli kontrollida Elektrilevi OÜ poolt kokku kogutud probleemsete seadmete, millised olid eelnevalt tuvastatud kui ELS-andmesidet häirivad toiteplokid, tegeliku juhtivusliku EM-emissiooni tasemed

- tootestandardis määratud sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, et saada kinnitust seadmete nõuetele vastavuse kriteeriumidele;
- laiendatud sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, et tuvastada seadmete potentsiaalne mõju ELS-signaliseerimisele.

Juhtivuslike häiringute mõõtmise katsed oli teostatud Tallinna Tehnikaülikooli elektromagnetilise ühilduvuse laboratooriumi katsestendil vastavalt standardile EVS-EN 55016-2-1.

7.2.1.1 KATSESKEEM JA RAKENDATUD SEADMED

Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmiseks kasutati järgmist mõõteaparatuuri:

- Rohde & Schwarz ESL6 EM-häiringute kontrollvastuvõtja / spektrianalüsaator

  - Sagedusulatus: 9 kHz…6 GHz

  - Määramatus: < 0.5 dB (30 kHz…3 GHz)

- SN 100214

- Kalibreeritud: 09.2019

- Hameg HM6050-2 tehisvõrguseade (LISN)

  - Sagedusulatus: 9 kHz…30 MHz

  - Toitepinge: 230 V / 50…60 Hz

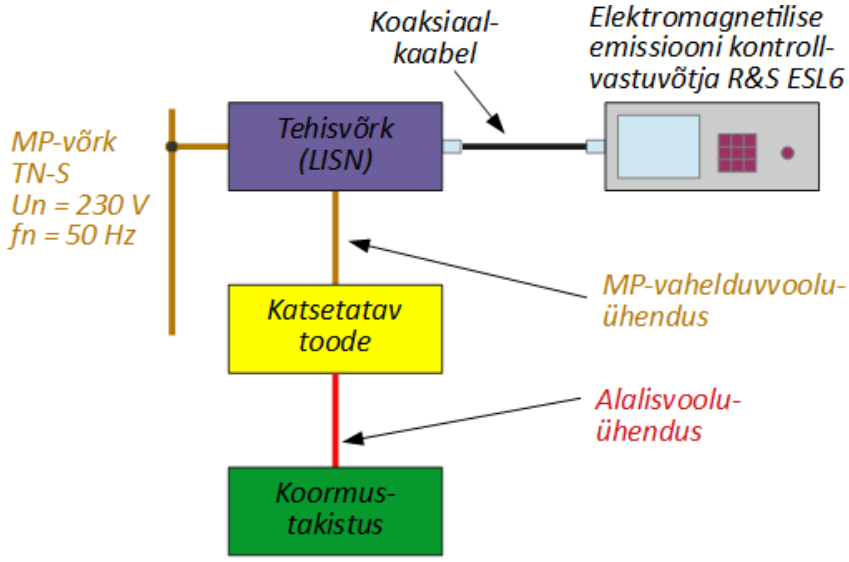
  - Suurim lubatud voolutugevus: 16 A

  - SN 05199052

Täiendavad seadistused:

- Katseobjekti toideti võrgupingega läbi tehisvõrguseadme.
- EM-häiringute kontrollvastuvõtja oli häiringute mõõtmiseks ühendatud tehisvõrguseadme väljundiga.
- Tehisvõrgul oli transientide piiraja sisse lülitatud. Häiringuid mõõdet1 nii faasil (L) kui ka neutraalil (N).
- Katseobjekte koormati kasutades püsiva suurusega koormusvoolu, tugevusega u 1 A.

Katsete läbiviimiseks rakendatud katseskeem on toodud all oleval joonisel (vt Joonis 7-4)



Joonis 7-4. Toodete nõuetele vastavuse katsete läbiviimise katseskeem.

Foto katsesüsteemist on toodud all oleval joonisel (vt Joonis 7-5).

Joonis 7-5. Foto katsesüsteemist ja katse ülesehitusest.

Esmaste ülevaatuste jaoks kasutati spektrianalüsaatori tipp- ja keskväärtuse detektoreid. Häiringute tuvastamiseks kasutati 20 skaneeringut, mille tulemused salvestati. Tippväärtuse korral mõõdeti skaneeringute suurimat väärtust, keskväärtuse korral keskmist väärtust.

EMI-kontrollvastuvõtja ribalaius ja skaneeringu parameetrid olid seadistatud vastavalt standardile (EVS-EN 55016-2-1):

1) Sagedusvahemik 150 kHz … 30 MHz

- Algsagedus: 150 kHz
- Lõppsagedus: 30 MHz
- Ribalaius: 9 kHz (6 dB EMI filter)
- Video-ribalaius: 100 kHz
- Ühe skaneeringu aeg: 3000 ms

2) Sagedusvahemik 9 kHz … 150 kHz

- Algsagedus: 9 kHz
- Lõppsagedus: 150 MHz
- Ribalaius: 200 Hz (6 dB EMI filter)
- Video-ribalaius: 100 kHz
- Ühe skaneeringu aeg: 3000 ms

Esitatud lõpptulemustes on arvestatud mõõtesüsteemi kõikide komponentide parandusteguritega.

7.2.1.2 MÕÕTETULEMUSED

Toiteallikate mõõtmiste tulemused on detailses vaates esitatud antud aruande lisas 1.

7.2.1.3 KATSETULEMUSTE ANALÜÜS

Mõõtetulemuste alusel analüüsiti katsetatud toiteplokke lähtudes järgmistest standardite nõuetest:

1) **Kohalduv EM-emissiooni tootestandard**:

   EVS-EN IEC 61204-3. Madalpingelised alalisvooluväljundiga toiteallikad. Osa 3: elektromagnetiline ühilduvus.

   Kommentaar: tootestandard, millele vastavust tuleb antud toote juures kontrollida; seab piirangud seadmete juhtivuslike emissioonide tasemetele sagedusvahemikus 150 kHz … 30 (80) MHz. ***NB! Sisaldab lauset ja viidet, mis kohustab antud toodete puhul kontrollima juhtivusliku emissiooni taset madalaimast sagedusest 150 kHz.***

2) Eeldusest, et tooted olid eeldatavalt ette nähtud ühendamiseks avalikku madalpinge-vahelduvvooluvõrku, **kohalduv EM-emissiooni üldstandard**:

   EVS-EN IEC 61000-4-3. Elektromagnetiline ühilduvus. Osa 6-3: Erialased põhistandardid. Olme-, kaubandus- ja väiketööstuskeskkondade emissioonistandard.
   Kommentaar: seab üldised piirangud avalikku madalpingevõrku ühendatavate seadmete juhtivuslike emissioonide tasemetele sagedusvahemikus 150 kHz … 30 (80) MHz. Aluseks tootestandardis esitatud nõuetele.

3) Võrdlus lähedaste omadustega tootestandardiga, mille puhul on esitatud EM-emissiooni piirnõuded laias sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, **täiendav standard:**

   EVS-EN IEC 55015. Elektrivalgustite ja nendetaoliste seadmete raadiohäiringu-tunnussuuruste piirväärtused ja mõõtemeetodid
   Kommentaar: lähim sarnane tootestandard, mis kajastab ka lubatud emissiooni sagedusvahemikus 9 … 150 kHz, sh ka sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz. Ei kohaldu antud tootele nõudena.

4) Uus üldstandardi täiendus (2017, 2019), mis sätestab ühilduvusnivoo taseme sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz.
   EVS-EN 61000-2-2:2003/A1:2017/A2:2019. Electromagnetic compatibility (EMC) - Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.
   Kommentaar: lähim üldstandard, mis kajastab ka eeldatavaid ühilduvusnivoosid emissiooni sagedusvahemikus 9 … 150 kHz. Ei kohaldu antud tootele nõudena.

   EM-emissiooni nivoo peab jääma ühilduvusnivoost oluliselt madalamaks.

Toiteallikate katsetulemused on koondatud all olevasse tabelisse (vt Tabel 7-3).

Tabel 7-3. Toiteallikate katsetulemuste koondtabel.

Toiteplokk	ENG 3A-122WT12	First Electronics	Linearity 1	SBE SP3012A	LinkSys A2-36SG12R-V	LY1203	SBE SP3012A nr SB0809043702	SUN-1200300	Sunny SYS1428-2412-W2E	XWY-060-20-C
Toote vastavus-tingimuste kontroll (150 kHz … 30 MHz) **EVS-EN IEC 61204-3**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**
Toote sobivus avalikku jaotusvõrku ühendamiseks (150 kHz … 30 MHz) **EVS-EN IEC 61000-6-3**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**
Toote võrdlus lähedase standardiga (150 kHz … 30 MHz) **EVS-EN 55015**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**
Toote EM-emissiooni laiendatud kontroll (9 kHz … 150 kHz) **EVS-EN 55015**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**
Toote EM-ühilduvusnivoo kontroll (9 kHz … 150 kHz) **EVS-EN IEC 61000-2-2 / A1:2017 / A2:2019**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**	**EI**	**EI**	**EI**	**JAH**	**EI**
ELS andmevahetuse edukus (lühike kaabel)	100%	96%	0%	100%	x	x	x	x	x	x
ELS andmevahetuse edukus (pikk kaabel)	0%	0%	0%	100%	x	x	x	x	x	x

Koondtabeli põhjal on võimalik öelda, et üldjuhul ei vastanud katsetatud toiteplokid nõuetele, seejuures **nõuetele mittevastavus ja EM-emissiooni piirnivoode ületamine sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz tähendas ka samade piirnivoode ületamist sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz**. Seejuures oli nõuete rikkumine tüüpiliselt suur ja ületas lubatud tasemeid isegi kohati üle 20 dB (10 x) või

enam. Üks toiteallikas osutus katsetel nõuetele kindlalt vastavaks; selle toote puhul ei õnnestunud ka leida stsenaariumit, mille korral ELS oleks olnud häiritud.

7.3 PAIGALDISTE, JUHISTIKESÜSTEEMIDEGA JA MATERJALIDEGA SEOTUD ELS TALITLUSASPEKTID

7.4 VÄLIKATSED ELS-PROBLEEMSETES PAIGALDISTES. KORTERELAMU, MÜRISEV TOITEALLIKAS

Katsed viidi läbi kortermajas asukohaga Tammsaare tee [redacted], kus oli tuvastatud olulise müraallikana koduse sidelahenduse toiteallikas (vt Joonis 7-6). Katsed viidi läbi 12.12.2019. Tegemist on olukorraga, kus võrgu müratasemе kasvu põhjustab üks konkreetne väärtalitlusega seade.

Joonis 7-6. Müraallikana tuvastatud toiteallikas.

Müraallika eemaldamine oli eelnevalt korteriomanikuga kokku lepitud ning teostati katsete alguses lühikese ajavahemiku vältel, mil katseseadmeid ei olnud veel üles seatud. Täiendavad katsed olukorra selgitamiseks toimusid peale häiriva toiteallika eemaldamist korteriomaniku valdusest. Müraallika eemaldamine võimaldas saavutada ELS-andmesideühenduse vähemalt 6 arvestiga.

7.4.1.1 ELEKTRIPAIGALDISE ISELOOMUSTUS

Elektripaigaldis oli tüüpilise 1970. aastate kortermajale iseloomulike joontega, kuid ühistu tasemel oli teostatud uue kaabelduse paigaldamine vähemalt korrusekilpideni. Hoone oli 5-korruseline raudbetoon-konstruktsiooniga hoone, mille igal korrusel paiknes kokku 3 korterit. Teraskorpusega korrusekilpides paiknesid nii arvestid kui ka korterite

peakaitsmed (25 A, moodul-kaitselülitina), samuti korterite grupikaitsmed (moodul-kaitselülititena). Kilbis ruum täiendavate aparaatide ühendamiseks praktiliselt puudus.

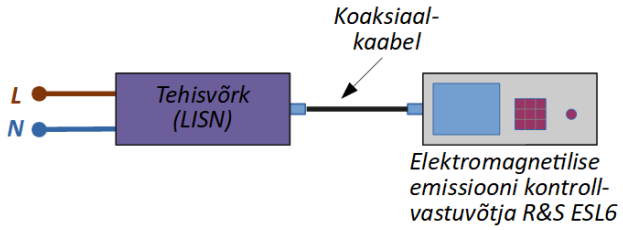
- Juhistikusüsteem: TN-C.
- Korteri piires oli paigaldis realiseeritud ühefaasilisena.
- Neutraaljuhe oli ühendatud ka korrusekilbi teraskonstruktsiooniga.
- Kaitselülitid olid ühendatud faasijuhtidega.

7.4.1.2 KATSESKEEM JA RAKENDATUD SEADMED

Juhtivuslikult levivate häiringute mõõtmiseks kasutati järgmist mõõteaparatuuri:

- Rohde & Schwarz ESL6 EM-häiringute kontrollvastuvõtja / spektrianalüsaator
  - Sagedusulatus: 9 kHz…6 GHz
  - Määramatus: < 0.5 dB (30 kHz…3 GHz)
  - Kalibreeritud: 07.2019
- Hameg HM6050-2 tehisvõrguseade (LISN)
  - Sagedusulatus: 9 kHz…30 MHz
  - Toitepinge: 230 V / 50…60 Hz
  - Suurim lubatud voolutugevus: 16 A

Katsetel rakendati LISN-tehisvõrguseadet kui kõrgsageduslikku pingeproovikut (vt Joonis 7-7).

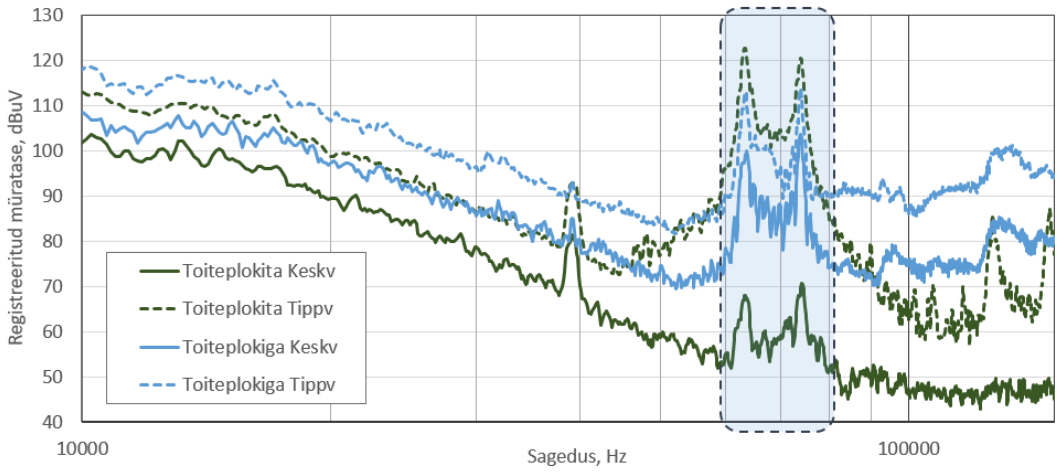


Joonis 7-7. Kõrgsageduslike müratasemete registreerimiseks rakendatud seadmestik.

7.4.1.3 MÕÕTETULEMUSED

Mõõtmised viidi läbi mõõtepunktis, milleks olid selle tarbija, kelle valduses probleemne toiteallikas eelnevalt kasutuses oli, peakaitsme klemmid.

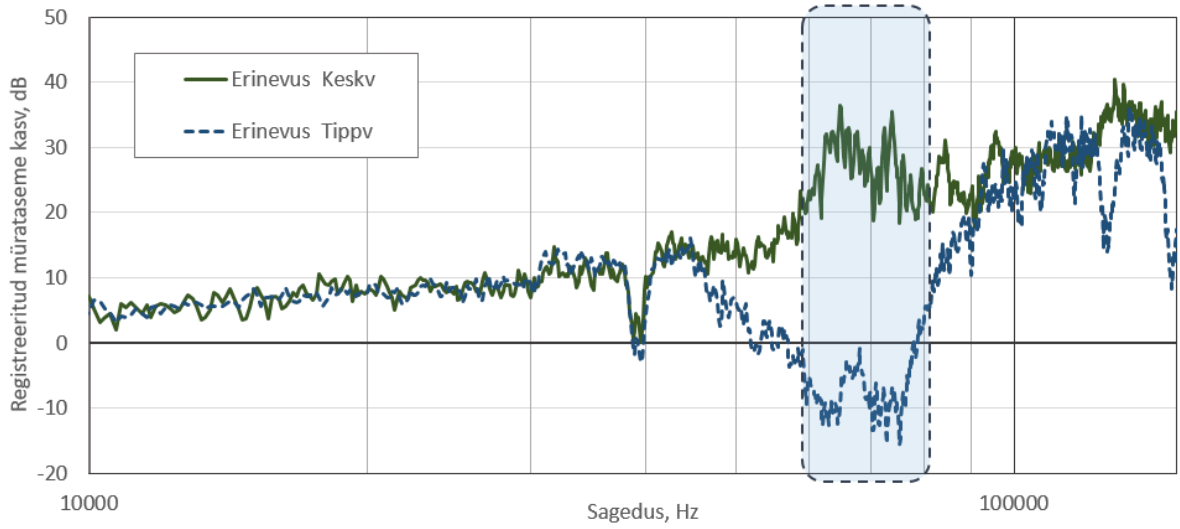
Esmaste mõõtmiste stsenaariumiks oli võrdlev olukord juhtumil, kui probleemset toiteallikat võrku ühendatud ei olnud ja kui toiteallikas võrku ühendati. Mõõtmistulemustes on selgelt näha ELS spekter (vt Joonis 7-8).



Joonis 7-8. Registreeritud sagedusspekter ilma ja koos probleemse toiteallikaga võrgus. Eraldi alana on tähistatud ELS-sagedustega seotud sagedusvahemik.

ELS signaliseerimise tase on antud juhul mõõdetud tippväärtuses 124 dBμV / 1,6 V (@63,3 kHz), tipuväärtuses 121 dBμV / 1,1 V (@74 kHz). See vastab EVS-EN 50065-1 piirnormidele. Tegemist on suure tõenäosusega mõõtepunkti vahetus läheduses asuva arvesti saatmissignaaliga. Kontsentraatori või arvesti signaali tugevust mõõtepunktis ei ole selle alusel võimalik eristada.

Toiteallika lisamisel mõõtepunkti on näha kõrgem müratase kuid samas ka ELS spekter – ELS jätkas edukalt andmete edastamist (vt Joonis 7-8). Müratasemete võrdluses toiteallikaga ja toiteallikata juhtumitel (vt Joonis 7-9) on selgelt näha, et müratase kasvab toiteallika lisamisel kogu laiemas sagedusspektris ja mitte ainult ELS-sagedustel. Märkusena, et otseselt ELS-sagedusalas ei ole mürataseme kasv vaadeldav, kuna ELS-signaalitugevus varjutab võimalikud erinevused.

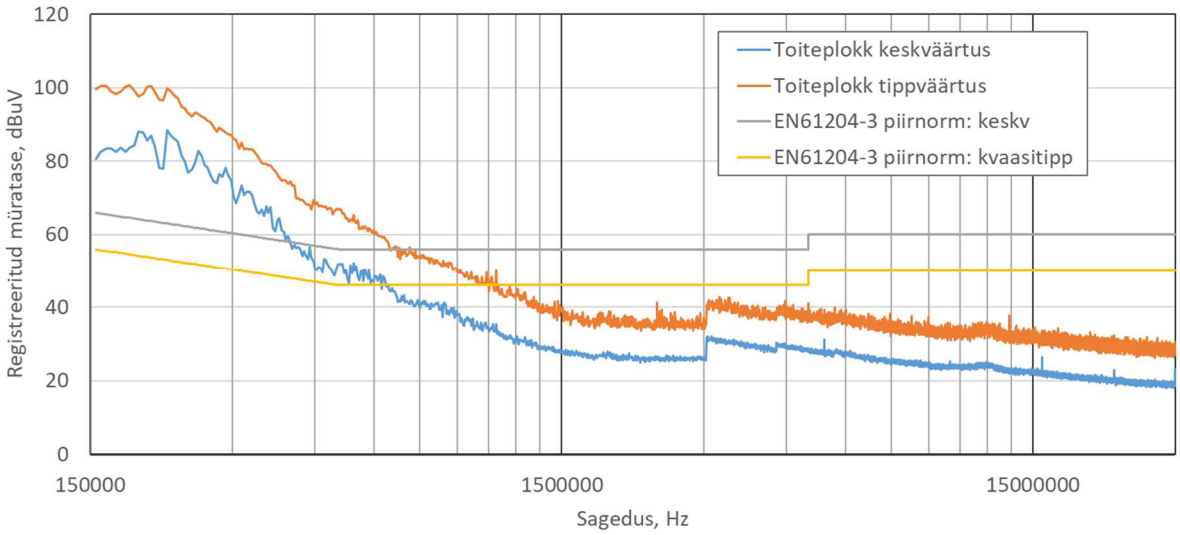


Joonis 7-9. Registreeritud mürataseme kasv võrgus, rikkega toiteallika mõjul. Eraldi alana on tähistatud ELS-sagedustega seotud sagedusvahemik.

Müratasemе kasv on märgatav ja ulatub keskväärtuse tasemel kohati isegi üle 30 dB (30 korda). See tähendab, et ka üks kõrge müratasemega toiteallikas suudab muuta kogu võrguosa müratasemе märgatavalt.

Samuti teostati sagedusskaneering kõrgetel sagedustel, vahemikus 150 kHz … 30 MHz. See võimaldas täiendavalt koha peal hinnata antud asukohas toiteallika esmast vastavust tootele esitatud nõuetele. Tootele kehtivate normide vastavuse hindamiseks lisati tulemuse graafikule EVS-EN IEC 61204-3 piirnorme kajastavad piirjooned (vt Joonis 7-10).

Toote normidele vastavuse katsest selgub, et ka kõrgematel sagedustel kui 150 kHz sellisel toiteplokil on omane juhtivusliku EM-müra emissioon, mis ületab normdokumentidega antud maksimaalsed lubatud piirid. Toiteallika juhtivuslik EM-emissioon ületab lubatud väärtused kohati isegi üle 20 dB (100 x). Piirnormide ületamine on märgatav vähemalt kuni sageduseni 600 kHz.



Joonis 7-10. Registreeritud sagedusspekter sagedusribas 150 kHz … 30 MHz, toiteallika normidele vastavuse analüüsiks, registreeritud mõõtepunkti juures. Võrdluseks lisatud mõõteriista kuvale ka kohalduva tootestandardi piirnormide tunnusjooned.

7.4.1.4 JÄRELDUSED

Antud katsetes on selgelt märgata, et probleemid ilmnesid toiteploki enda poolt emiteeritava juhtivusliku EM-müra tõttu. Müratasemе tõus võrgus toiteallika ühendamisel oli selgelt märgatav ja samuti toiteallika eemaldamisel kahanes müratase võrgus üle 20 dB. Selline toime iseloomustab ka olukordi, millised on võimalikud erinevate toiteallikate mõjul ja kus rikkega toiteseadmed põhjustavad võrgus märkimisväärse müratasemе tõusu, milline hakkab häirima ka ELS-süsteemide tööd.

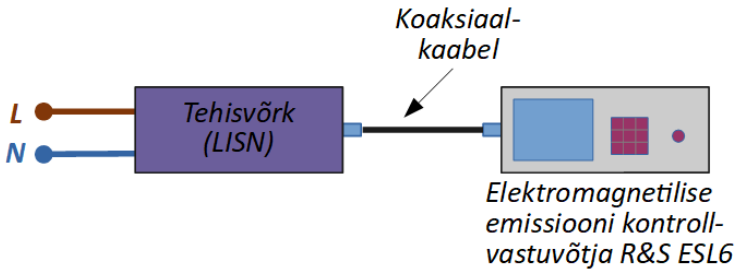
Toiteallikas ise ületab samuti juhtivusliku müra emissiooni lubatud piirnorme tunduvalt, seda ka Elektrilevi OÜ poolt rakendatud ELS-süsteemi poolt mittekasutatud sagedusribas üle 150 kHz. Nimetatud sagedusest alates on leitavad üldiselt tunnustatud tasemed, mida kaubanduslikult levitatavad seadmed ei tohi ületada. **Antud juhul seadme kontrollmõõtmistel tuvastataks selgelt, et piirnormidele vastavus on täitmata. See annaks ka aluse taotleda taoliste toiteseadmete eemaldamist võrgust.**

7.5 VÄLIKATSED ELS-PROBLEEMSETES PAIGALDISTES. RIDAELAMU, MÜRARIKAS SAGEDUSMUUNDUR.

Katsed viidi läbi ridaelamus asukohaga Viljandi mnt. [redacted], kus oli tuvastatud olulise müraallikana kohaliku pumpla mootorit toitev sagedusmuundur (vt Joonis 7-11). Katsed viidi läbi 12.12.2019. Tegemist on olukorraga, kus ELS-sagedusribas müratasemed kasvu põhjustab avalikus võrgus kasutamiseks mitte-ettenähtud seade, mis on varustatud filtriga, kuid mille müratase sellegipoolest on liialt kõrge.

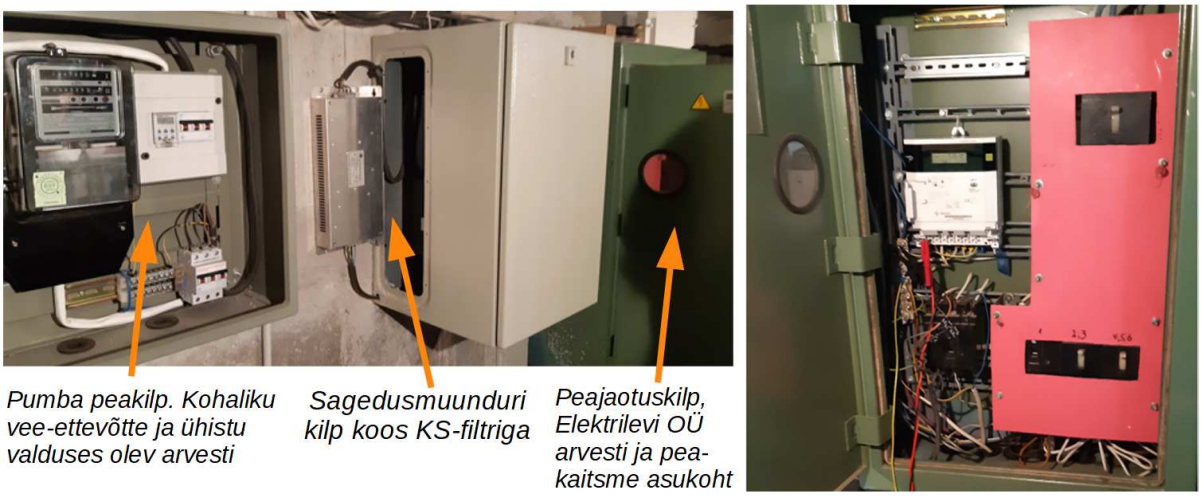
Joonis 7-11. Sagedusmuunduri sildiandmed.

ELS-süsteemi häirivate mürade tuvastamiseks rakendati mürade registreerimiseks tööle tehisvõrguseade Hameg HM6050-2 (LISN), millist rakendati siin pingeproovikuna. Müratasemete registreerimiseks rakendati EM-häiringu kontrollvastuvõtja R&S ESL-6 (vt Joonis 7-12).



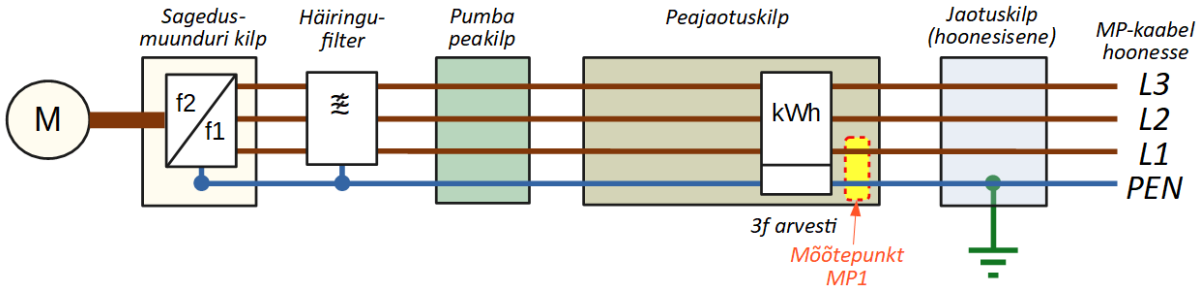
Joonis 7-12. Kõrgsagedus-müratasemete registreerimiseks rakendatud seadmestik.

7.5.1.1 PAIGALDISE ÜLEVAADE



Joonis 7-13. Sagedusmuunduri asukoht ja erinevad kilbid tehnoruumis (vasakul) ning vaade peajaotuskilbile, milles paikneb arvesti (paremal).

Lähteskeemi vaadeldi alates MP-jaotusvõrgust siseneva kaabli jõudmisest hoonesse. Kaabel suunati esmalt hoonesisesesse jaotuskilpi, milles paiknesid lahklülitid; toitekaabel jätkus peajaotuskilbis, milles paiknesid peakaitse ja ELS-funktsionaalsusega 3-faasiline arvesti. Peajaotuskilpi oli ühendatud toitejuhe, mis viis pumba peakilpi, millest omakorda läbi EM-häiringufiltri oli toitekaabel ühendatud sagedusmuunduriga. Paigaldise algskeem on näidatud all oleval joonisel (vt Joonis 7-14). Sagedusmuundur oli ühendatud 3f süsteemi ilma neutraalühenduseta; samas oli PEN-juht ühendatud sagedusmuunduri korpusega. Sellest lähtuvalt oli ka EM-häiringufilter ühendatud 3f süsteemis jadamisi faasijuhtidele ning PEN-juht oli ühendatud filtri maandusklemmiga.



Joonis 7-14. Esialgne paigaldise skeem, kui ELS andmesideühendus 3f arvestiga oli võimatu.

Paigaldises, vähemalt selle tehnoruumi osas kasutati eranditult TN-C süsteemi juhistikku.

Maandus oli teostatud terasest juhtidest kontuuriga, mille esimene ühenduspunkt oli jaotuskilp, kuhu oli ühendatud ka sissetuleva MP-kaabli PEN-juht. Maanduskontuuri ja PEN-juhi ühendus oli teostatud läbi jaotuskilbi materjali (ilmselt teras), seejuures oli maanduskontuuri ja kilbi sein liidetud keevitusega.

Kaablitena rakendati valdavalt alumiiniumjuhtidega 4-soonelisi kaableid, esmasel vaatlusel ei olnud võimalik tuvastada erinevate juhtide ristlõike pindala väärtuseid. Mitmes

kohas kasutati PEN ühendusi läbi kilbi materjali, liites alumiiniumjuhtmed terasmaterjaliga.

7.5.1.2 ELS-SÜSTEEMI HÄIRIVA AHELA ÜLEVAADE

ELS-süsteemi häirivate mürade potentsiaalse allikana oli eelnevalt määratletud sagedusmuundur, milline oli ühendatud arvesti järele. Sagedusmuunduri tüübiks oli ACS601-0005-3, tootja ABB. Sagedusmuunduri ja arvesti vahele oli ühendatud EM-häiringufilter, tüüp PR3015PFC, tootja GE.

Sagedusmuunduri paigaldamise ja ka kasutamise kohta on tootja poolt ette valmistatud täpsed juhised, sh kriteeriumid sagedusmuunduri ühendamiseks avalikku jaotusvõrku. Tootja kinnitab dokumentides, et antud sagedusmuundur vastab EN 61800-3 teise klassi toote nõuetele. Tootja juhendi kohaselt, on sagedusmuunduri ühendamine avalikku jaotusvõrku lubatud ainult juhtudel, kui elektromagnetilise ühilduvuse (EMÜ) kriteeriume võetakse arvesse. **Sagedusmuunduri ühendamise juhendis on selgelt toodud välja, et avalikku jaotusvõrku ühendamine on lubatud ainult järgmistel tingimustel:**

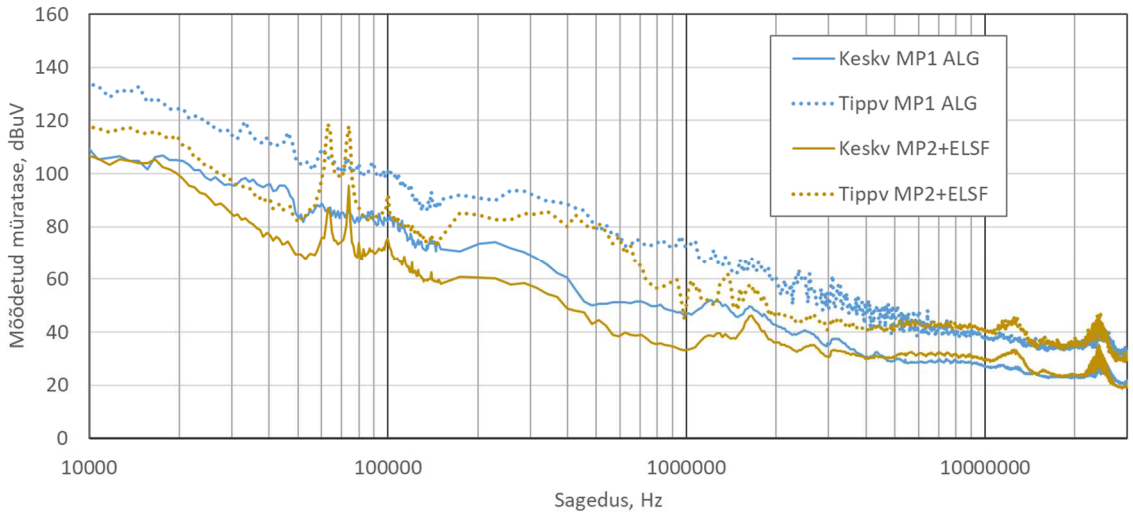
1) toiteahelas kasutatakse asjakohast EMÜ-filtrit;
2) toode peab olema ühendatud ja paigaldatud vastavalt juhendis toodud tingimustele;
3) toote ja mootori vahelise kaabli pikkus ei tohi olla üle 100 m.

Kuigi kõiki kriteeriume ei ole võimalik kontrollida, siis ei ole ka näha selgeid asjaolusid, mis viitaksid väärale paigaldusele. EMÜ filtri parameetrite kohta täiendavaid andmeid ei ole.

7.5.1.3 MÜRATASEME MÕÕTMINE LÄHTEOLUKORRAS

Müratasemе registreerimiseks teostati mõõtmine esimeses mõõtepunktis, milles ühenduspunktiks olid arvesti klemmid (vt Joonis 7-14). Müratasemе registreerimiseks vaadeldi kõrgsageduslikku suurust, milline esines faasi L1 ja PEN juhi vahel (diferentsiaalsuurusena). Võrdlusmõõtmistel teiste faasidega, tuvastati ligikaudu samaväärsed müratasemed kõikides faasides.

Müratasemе mõõtmise tulemused algskeemis on esitatud all oleval graafikul (vt Joonis 7-15).

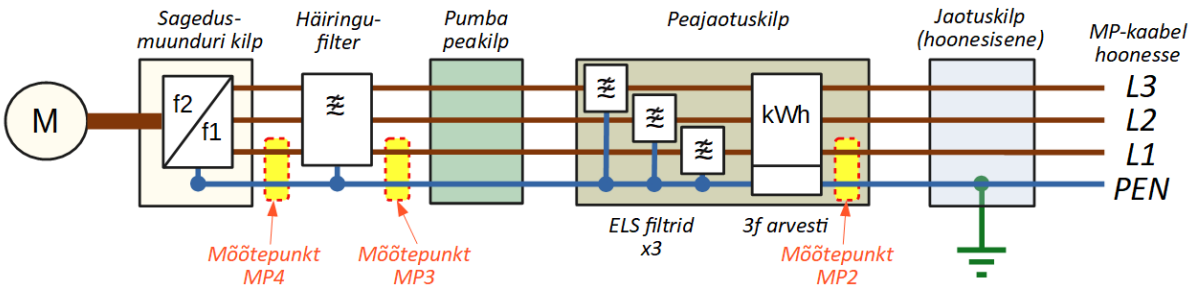


Joonis 7-15. Paigaldises registreeritud müratase, arvesti klemmidel, enne (MP1) ja peale (MP2) ELS-mürafiltrite paigaldamist (EMIKON).

Müratase ulatus algses skeemis tasemeni, kus tipuväärtused ulatusid ELS-signaliseerimispingete väärtusteni. ELS-süsteemi kaudu ei õnnestunud siin paigaldises oleva 3f arvestiga ühelgi juhul ühendust saada.

7.5.1.4 PAIGALDISE TÄIENDAMINE

Mürataseme vähendamiseks võeti kasutusele kõikidesse faasidesse ühendatud ELS-filtrid (tootja EMIKON), mis paigaldati peajaotuskilpi. Kokku rakendati 3 eraldiseisvat 1f filtrit, millest kõik ühendati pumbakilpi suunduva kaabli ja arvesti-latistiku vahele. Filtrid ühendati faasiahelatesse jadamisi ja neutraaliahelasse rööbiti (vt Joonis 7-16).



Joonis 7-16. Paigaldise skeem peale 3x ELS-filtri paigaldamist. ELS andmeside talitlus 3f arvestiga oli edukas.

Peale paigaldise täiendamist ELS-andmeside 3f arvestiga oli edukas.

Mürataseme mõõtmine viidi läbi siin samuti mõõtepunktis, milline on arvesti klemmidel. Tähistuse erinevus (MP2) rõhutab teistsugust paigaldise olukorda, võrreldes esialgse skeemiga, kus filtrid puudusid. Müratasemete võrdlused stsenaariumides enne ja peale filtrite paigaldamist on esitatud ülaltoodud graafikul (vt Joonis 7-15).

ELS-filtrid paigaldati ainult kaablile, milline viis peajaotuskilbist pumba kilbini. Muud tarbijad ja majapidamiskoormused ei olnud filtriga ka peale muudatust varustatud, kui ELS-andmeside edukas toimimises oli veendutud. Antud juhul saab sellega välistada ka

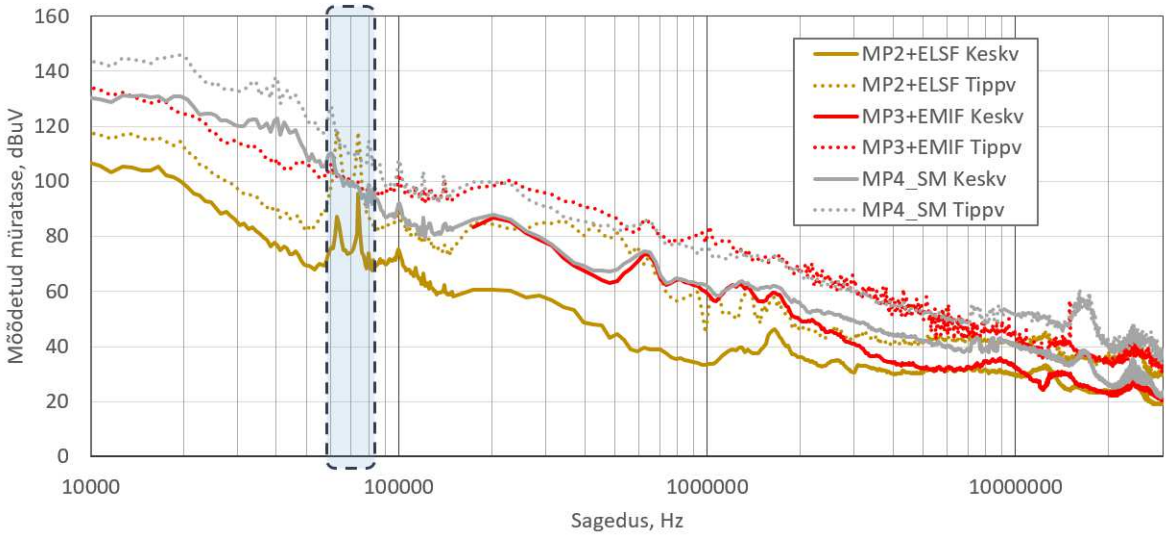
muude müraallikate olulise panuse võrgu müra kõrge fooni tekitamisse tasemel, mis häiriks ELS-süsteemi tööd.

7.5.1.5 RAKENDATUD FILTRITE VÕRDLUS

Skeemis, mis antud paigaldises võimaldas ELS-andmesidet, oli kaks erinevat filtrit ühendatud jadamisi

- Skeemi jäi sisse algselt ühenduses olnud EM-häiringufilter (3-faasiline), mis oli paigaldatud koos sagedusmuunduriga;
- Viimasega oli ühendatud jadamisi pumba kilbi ja arvesti vaheline ELS-filter (3x 1-faasiline), mis paigaldati ELS arvesti andmevahetuse tagamiseks.

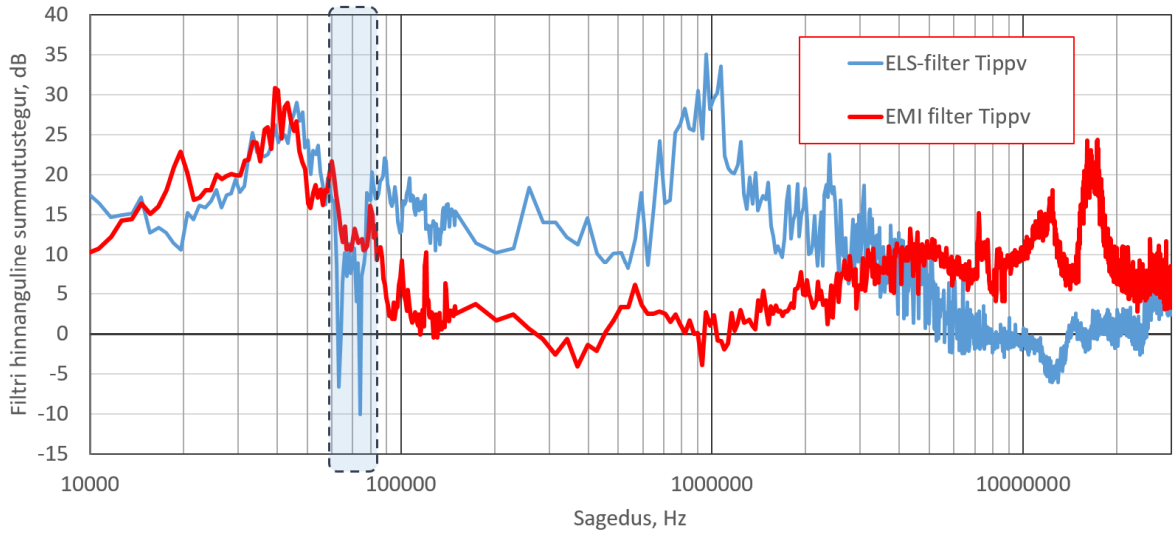
See olukord andis võimaluse ka hinnata erinevate filtrite toimet reaalse paigaldise näitel. Kõrgsagedusliku müra summutamise tõhususe määramiseks teostati mõõtmised arvesti klemmidel (MP2, Joonis 7-16), peale ELS-filtrit EM-häiringufiltri klemmidel (MP3), ning samuti sagedusmuunduri klemmidel (MP4). võrdlevad tulemused on esitatud all oleval graafikul (vt Joonis 7-17).



Joonis 7-17. Müratasemete võrdlus mõõtepunktides MP2, MP3 ja MP4 (vt Joonis 7-16).

Graafiku võrdluses on näha, et madalaima müratasemega punktiks on nüüd jaotusvõrk (MP2 – arvesti klemmidel), millele järgneb ELS–filtri järgselt EM-häiringufiltri võrgupoolsed klemmid (MP3) ning tugevaimad häiringud esinevad sagedusmuunduri klemmidel (MP4). Märkusena, et kuna MP3 keskväärtuse mõõteandmed osutusid sagedusel alla 150 kHz kahjustunuteks, siis on MP3 mürataseme keskväärtus esitatud graafikul alates sagedusest 150 kHz.

* Tuleb selgitada, et MP4 mõõtmistel võis mõõteseade ise hakata ahelas toimuvad protsesse mõjutama hakata. MP4 mõõteseadme ühendamisel (LISN) oli märgata sädelust ning filtri või sagedusmuunduri talitlusega seotud akustiline jälg (heli) muutus tuntavalt. Teistes mõõtepunktides mõõtmisel taolisi ilminguid ei täheldatud.



Joonis 7-18. Filtrite summutustegurite võrdlus

Filtrite tõhususe hindamiseks on järgnevalt kasutatud mõõtmistel saadud tipuväärtuste andmeid, milles on võetud aluseks mürasuuruste tippväärtuste vähenemise määr kahe punkti vahel.

- ELS-filtri summutustegur on selgitatud sageduskomponentide tippväärtuste erinevusest MP3 ja MP2 vahel;
- EM-häiringufiltri summutustegur on selgitatud sageduskomponentide tippväärtuste erinevusest MP3 ja MP4 vahel.

* NB! Filtrite tõhusust siin on vaadeldud läbi oletuse, et kõrgsageduslikud mürakomponendid on tingitud sagedusmuunduri talitlemisel esinevatest suurustest. ELS-filtri tõhususe hindamisel tuleb aga arvestada, et ELS-kandevsagedustel, seoses ELS kõrgenenud väärtusega sageduskomponentide olemasolule, millised ei pärinenud sagedusmuundurist, ei ole võimalik anda seisukohta täpse summutusteguri kohta.

Filtrite tõhususe hindamisel (vt Joonis 7-18) saab märkida, et üldiselt näitab EM-häiringufilter häid summutavaid omadusi ka sagedusvahemikus alla 150 kHz. EM-häiringufiltri töö tõhusus ulatub ELS sagedusribas isegi kuni ELS-filtri enda tunnusjoonteni. Ka ELS-filtri kõrgsageduslikud omadused on head ja ületavad EM-häiringufiltri summutustegurit kuni sageduseni ~4 MHz.

7.5.1.6 JÄRELDUSED JA KOKKUVÕTE

Paigaldises olev sagedusmuundur oli varustatud madalpääs-häiringufiltriga, mis oli eeldatavalt paigaldatud vastavalt juhistele. Antud sagedusmuundur oli ilma nimetatud filtrita vastav tööstuskeskkonna (TKK) nõuetele, mis puudutab juhtivuslikku EM-emissiooni. Tootja poolt oli selgelt märgitud, et antud sagedusmuunduri kasutamiseks avalikus võrgus tuleb rakendada täiendavat EM-häiringufiltrit.

Antud paigaldistes mõõtmiste tulemusena on selgunud, et müratase hoolimata EM-häiringufiltri rakendamisest oli Elektrilevi OÜ poolt kasutatavas ELS-sagedusribas (63,3 kHz ja 74 kHz) väga kõrge ja häiris ELS talitlust. EM-häiringufiltri paigaldamise kaalutlus ilmselt ei olnud ka ELS-süsteemi talitlusega seotud, vaid eeskätt oli sihiks tagada

mürade vähendamine sagedusribas üle 150 kHz, millised nõuded on ka IEC 61000-6-3 standardiga seotud juhistena avaliku jaotusvõrgu jaoks. **Kuigi EM-häiringufilter surus alla ka sagedusmuundurist tulenevad mürad ELS-sagedusribades, siis ei olnud summutamine piisav ning ELS töö eelduseks olevate müratasemeteni jõudmiseks oli vaja täiendavat filtrikomponenti.**

Tuleb rõhutada, et antud stsenaariumis osutus ELS-süsteemi jaoks ka EM-häiringufiltri läbinud ning juba summutatud müra ikkagi sedavõrd intensiivseks, et ELS-töösagedusribas oli müra vaja filtreerida täiendava ELS-filtriga. See tähendab, et tööstuskeskkonnas tööks ette nähtud seadmete võrku ühendamisel tuleks mitme filtreerimisastme kasutamist näha ette kui võimalikku praktikat.

Tööstuskeskkondade jaoks kavandatud seadmeid tuleks seega käsitleda täiendavalt hoolikalt, eriti mis puudutab nende talitlusega seotud juhtivuslikest EM-müradest tingitud tagajärgi ELS-süsteemide (sh Elektrilevi OÜ poolt) rakendatavates madalamates sagedusribades alla 150 kHz.

- Otstarbekas on selgelt sõnastada võrku ühendamise nõudena see, et sagedusmuundurit sisaldavad paigaldised peavad olema varustatud tingimata **EM-häiringufiltriga, kuid ELS-filtri rakendamine TKK seadme juures ei vabasta paigaldise kontekstis EM-häiringufiltri paigaldamise vajadusest.**
- Filtritele on otstarbekas ette määrata ka summutusteguri eeldatavad väärtused. **ELS-kandevsagedustel peaks rakendatav EM-häiringufilter omama vähemalt sama väärtusega summutustegurit, mis sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz ette nähtud (näiteks 25+ dB).**
- Täiendavalt tasuks kaaluda määratleda nõudena, et juhul, kui tuvastatakse sagedusmuunduriga, milline on ette nähtud kasutamiseks tööstuskeskkonda, seotud häiringud ELS-süsteemide tööle, ka peale kliendi poolt EM-häiringufiltri paigaldamist, on klient kohustatud täiendavalt rakendama abimeetmeid olukorra leevendamiseks. **Meetmete hulgas oleks EM-häiringufiltri vahetamine või siis täiendava ELS-sagedusalas töötava filtri lisamine, kliendi kulul, kui tema sooviks on TKK seadme võrku lubamine**. Töötusseadme avalikku võrku lubamist tuleb igal korral pigem käsitleda kui erijuhtumit, mida tulebki teostada hoolikalt, et mitte kahjustada teiste samasse avalikku võrku ühendatud tarbijate huve.

8. FILTRILAHENDUSTE ANALÜÜS

ELS töökindluse seisukohast on vajalik tagada olukord, kus andmeedastus-kandevsignaal on muu (tausta)müra suhtes piisavalt suure intensiivsusega, et edukaks andmeedastuseks vajalik signaal-mürasuhe tagada. Juhul, kui meil on teada konkreetne müraallikas, siis teatud tingimustel on võimalik ka viimase sagedusselektiivne käsitlemine selliselt, et mürasignaal ei pääseks ülejäänud süsteemi. Antud juhul tuleb mürast maha suruda/ vähendada edasi kanduvad ELS talitlust häirivad intensiivsed sageduskomponendid.

Sageduseristuslikul filtreerimisel on eesmärgiks konkreetsete sageduskomponentide blokeerimine või vastupidi, läbilaskmine. Selliste filtrite peamised tunnussuurused on:

1) Pääsu(sagedus)riba, mis kirjeldab pinge/voolu sageduskomponentide sageduste vahemikku, mille ülekandmise filter võimaldab;
2) Tõkke(sagedus)riba, mis kirjeldab pinge/voolu sageduskomponentide sageduste vahemikku, mille ülekandmise filter blokeerib.

8.1 SAGEDUSFILTRITE KARAKTERISTIKUD

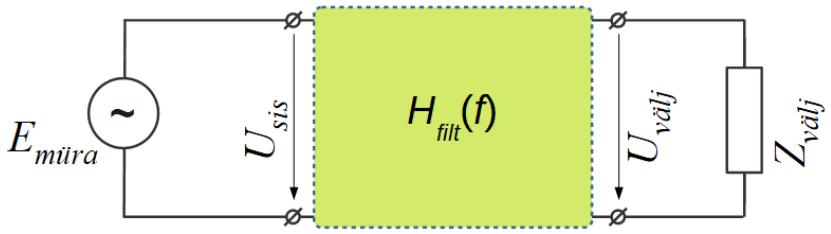
Erinevate sageduskomponentide ülekannet kirjeldab filtri sagedussõltuv ülekandefunktsioon – filtri sageduskarakteristik - $H_{filt}(f)$. Ülekandefunktsioon kirjeldab, millise suhtelise intensiivsusega kantakse läbi filtri erineva intensiivsusega sageduskomponendid. Sellisel juhul on filtri väljundis olev suurus leitav kui

$$Uvälj(f) = H(f) \cdot Usis(f),$$

kus $U_{välj}(f)$ – väljundpinge konkreetsel sagedusel f;

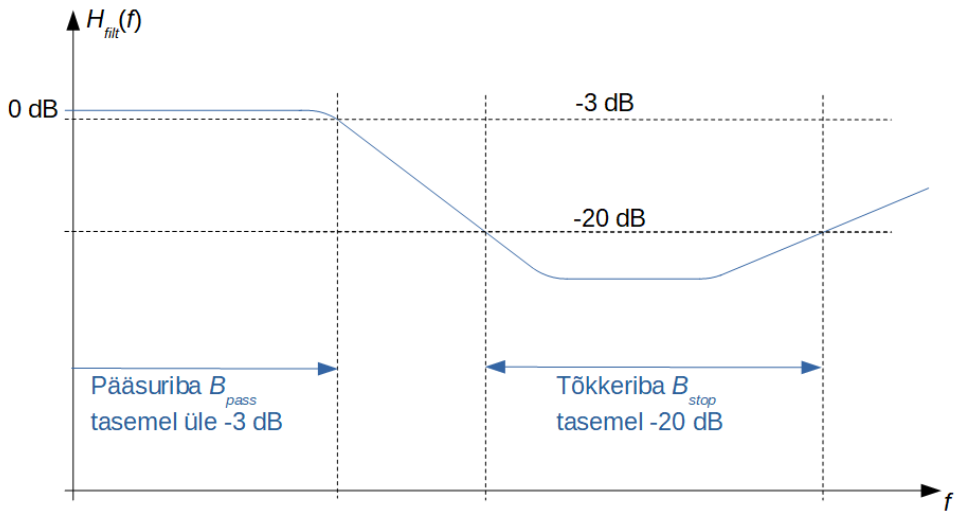
$H_{filt}(f)$ – ülekandeteguri väärtus konkreetsel sagedusel f;

$U_{sis}(f)$ – sisendpinge väärtus konkreetsel sagedusel f *(vt ka* Joonis 8-1*)*.



Joonis 8-1. Filtri ülekandekarakteristiku selgitus.

Siin võib U_{sis} olla ka kogu sagedusesituses mürasuurus, millel on esindatud kõik seda müra kirjeldavad sageduskomponendid.



Joonis 8-2. Filtri ülekandekarakteristiku olulisimad tunnussuurused.

Filtri (ülekande)karakteristiku olulisimad suurused on (vt Joonis 8-2):

- pääsu-sageduriba laius B_{pass}, mida määratakse teatud ülekandeusuuruse tasemel, tavaliselt -3 dB (filter nõrgendab signaali $\sqrt{2}$ korda);
- tõkke-sagedusriba laius B_{stop}, mida määratakse teatud ülekandeusuuruse tasemel, tavaliselt eesmärgist oleneval tasemel –20 / –40 / –60 … dB (10; 100; 1000 … korda).

Filtrite kaubanduslikes andmetes kasutatakse termineid sumbumustegur / summutustegur /mahasurumise määr / nõrgendustegur (ingl k. suppression rate/insertion loss), mis iseloomustavad filtri ülekandeteguri pöördsuurust. Filtri sumbumustegur tähistab, mitu korda on filtri läbinud suurus väikesem filtrisse antud suurusest, seega ülekandeteguri pöördväärtus. Näiteks

- Ülekandetegur 0,01 (so –20 dB) tähendab, et läbi filtri pääseb 1/100 sinna antud suurusest;
- Summutustegur 100 (so 20 dB) tähendab, et filtrisse antud 1 osast suurusest jõuab filtrist läbi 0,01 sellest suurusest.

Elektrilevi OÜ poolt kasutatava ELS-süsteemi töö seisukohast on vajalik rakendada madalpääs- või ribafiltreid, millel oleks suur summutustegur ELS-sagedusribas. Sellised filtrid paigaldatakse müraallika ning madalpingevõrgu ülejäänud osade vahele.

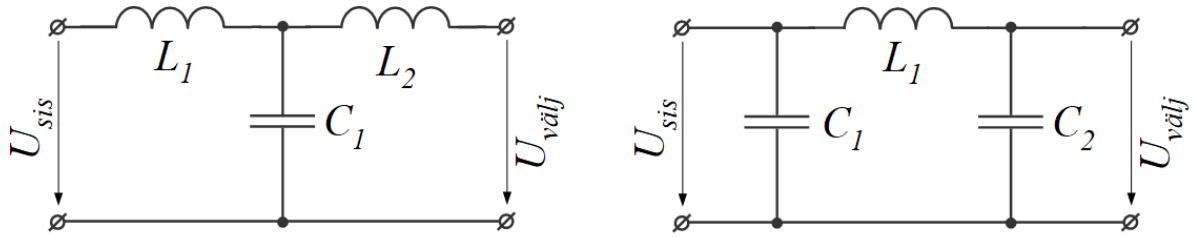
8.2 ELS SIGNAALIDE FILTREERIMISE LÄHTEÜLESANNE

ELS süsteemi (sh Elektrilevi OÜ) filtreerimise lähteülesandeks on lisaks müra-sageduskomponentide blokeerimisele:

- Filter peab võimalikult väikeste kadudega läbi laskma energeetilisi suurusi, mis on seotud 50 Hz võrgu põhisagedusega. Sellisel sagedusel peab filtril olema võimalikult väike pingelang ja aktiivkadu;

- Filter peab olema võimeline taluma jaotusvõrgus esineda võivaid suurusi ilma riknemiseta, sh
  - Liigpinged ja impulsid, mis on tingitud looduslikest nähtustest või ka lülitustoimingutest;
  - Lühistel esinev liigvool, mis on kordades tugevam nimivoolust;
- Filter peab ohutuse tagama piisava isolatsiooni ja kaitsetasemega;
- Filter peab olema piisavalt väikese näivtakistusega võrgu põhisagedusel, et välistada lühise olukorras vooluahelale filtri takistuse mõju.

Võimalikult väikeste kadudega filter on võimalik ehitada LC-komponentidest, kus aktiivkao peamine põhjustaja on kasutatud juhtmete (materjali) alalisvoolutakistus. Lihtsad filtrid on tüüpiliseimalt kas kas T- või Π-aseskeemiga (vt Joonis 8-3).



Joonis 8-3. Tüüpiliste filtrite aseskeemid. Vasakul: T-aseskeem; paremal: Π-aseskeem.

Filtri sagedusomadused on sellises skeemis määratud peamiselt L ja C komponentide parameetritega, induktiivsuse ja mahtuvusega. Filtri põhisageduslik koormus(vool) ja toitepinge ei määra filtri sagedusomadusi, küll aga dimensioonid (juhtme ristlõige, komponentide suurus).

ELS signaalide kvaliteedi seisukohast on vajalik nende filtreerimine müra suhtes madalpääs- või ribatõkefiltrite kasutamisega. Madalpääsfiltrid lasevad oma töös läbi madalad sagedused ja tõkestavad kõrgete sagedustega komponendid; ribatõkkefiltrid tagavad teatud määratud sagedusribas madala ülekandeteguri.

- Filtreerimine peaks toimuma sagedusribas, milline võtab arvesse nii ELS-signaalide sagedusi kui ka nende lähiümbrust, piisavalt tõhusalt (näiteks sagedusvahemikus 50 … 90 kHz, arvestades ELS kandevsagedusi 63,3 kHz ning 74 kHz Elektrilevi OÜ võrgus);
- Filtri vajalike tõkkeomaduste määratlemine toimub läbi mürataseme analüüsi, kus selgitatakse välja, mitu korda mürasuurusi on vaja nõrgendada e. maha suruda.

8.2.1.1 NÄIDE ELS FILTRI PARAMEETRITE VALIKUST

Mürakomponent sagedusel 63,3 kHz on tasemel $U_{müra0}$ = 2,2 V = 126,8 dBμV.

ELS signaliseerimispinge väärtus on sagedusel 63,3 kHz kuni U_{ELS} = 1,65 V = 124,3 dBμV.

Andmevahetuseks nõutav signaali-müratase on SNR_1 = 15 dB.

Antud algne signaali-müratase $SNR_0 = \frac{U_{ELS}}{U_{müra}}$ = 126,8 – 124,3 = 2,5 dB.

Müratase peab olema madalam kui $U_{müra1} = \frac{U_{ELS}}{SNR}$ = 124,3 – 15 = 109,3 dBµV.

Täiendavalt on vaja nõrgendada mürataset minimaalselt

$H_{filt} = \frac{U_{müra1}}{U_{müra0}}$ = 109,3 – 126,8 = – 17,5 dB.

Kirjeldatud ülesandeks sobib näiteks filter, mille ülekandetegur on sagedusel 63,3 kHz tasemel –20 dB või väikesem.

Filtrite üldisest ülesandest lähtuvalt tuleks ELS- ja EM-häiringufiltreid (ingl. k „Electromagnetic interference filter" – EMI filter) vaadelda täiendavas kontekstis:

- **ELS filtrid**, sh Elektrilevi OÜ ja teiste jaotusvõrguettevõtjate poolt rakendatavate ELS-kandevsageduste vahemikus mürade filtreerimiseks, on ette nähtud eeskätt tööks spetsiifilises sagedusribas. Nende filtrite kujundamisel on lähteülesandeks tagada müra summutamine eeskätt sagedusribas alla 100 kHz. Näiteks Elektrilevi OÜ poolt kasutatud ELS-kandevsageduste seisukohast on vajalik tagada summutus näiteks sagedusvahemikus 50 … 90 kHz, arvestades ELS kandevsagedusi 63,3 kHz ning 74 kHz Elektrilevi OÜ võrgus).
- **EM-häiringufiltrid** (EMI-filtrid) üldiselt omavad laia tõhusat summutusriba, kuid ka nende jaoks on erinevaid võimalikke konfiguratsioone ja nende võimalikke summutusnäitajaid ülimalt palju. EMI-filtrite rakendamine lähtub sageli toote spetsiifikast, mille juures pööratakse rõhku:

  1) Konkreetse toote juhtivusliku EM-emissiooni spektrile, milles domineerivad teatud sageduskomponendid; filtreerida tuleb ainult neid sageduskomponente, mis esinevad piisava intensiivsusega

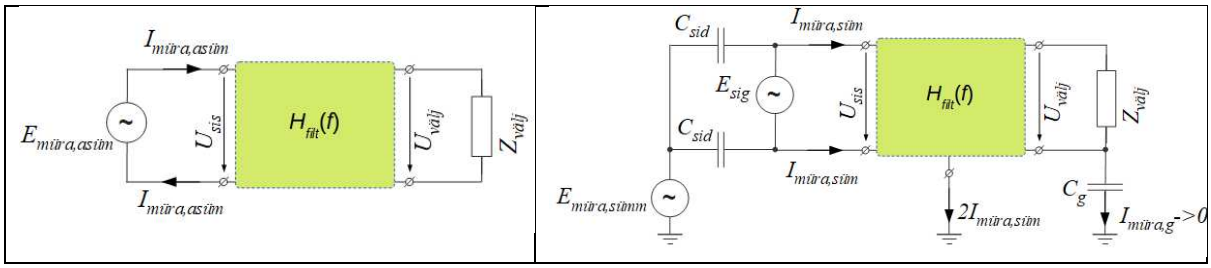
  2) Konkreetse toote häiringukindlusele ja selle tagamise aspektidele – erievatel toodetel on vaja häiringute eest kindlustada erinevat osa sagedusspektrist.

  Seetõttu on tavaline praktika, et paigaldatakse tootja poolt soovitatud EM-häiringufilter, milline omab vajalikke sagedussõltuvaid omadusi (eelkõige summutustegurit). Tootjapoolsed soovitused lähtuvad neile teadaolevatest nõuetest ja nende täitmise eeldustest (näiteks tootestandardite poolt nimetatud piirtasemetele vastamine). Ei ole teada, millised tootjad ja millises ulatuses võtaksid filtrite puhul arvesse ELS-süsteemide töö eelduseks olevates sagedusvahemikes esinevate mürade mahasurumise tingimusi.

  EM-häiringufiltrite rakendamisega tagatakse tüüpiliselt seadmete vastavus teatud normdokumentidele, sh näiteks IEC 61000-6-3 ja 61000-6-4 nõuded EM-mürade emissioonile, samuti IEC 61000-6-1 ja IEC 61000-6-2 nõuded EM-häiringu-kindlusele.

8.3 SÜMMEETRILISED JA ASÜMMEETRILISED (SAMAFAASSED JA ERIFAASSED) SÜSTEEMID

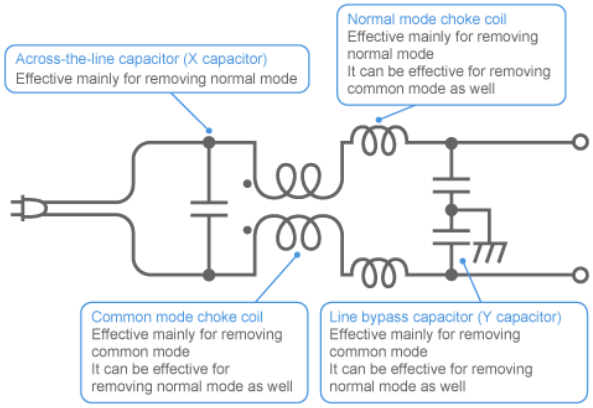
Filtrite ülesehituse ja rolli seisukohast on oluline määratleda ka erinevate signaalide ja mürasuuruste süsteemid, mille suhtes filtreerimist kohaldatakse. Elektrivõrku ühendatud tarvitite juures on tavaliseks see, et teatud osa mürast esineb sümmeetrilisena, mis tähendab sama suunaga voolukomponentide olemasolu (maanduse/maa) suhtes. Mürade ja signaalide süsteemid on esitatud selgitavalt ka all oleval joonisel (vt Joonis 8-4).



Joonis 8-4. Asümmeetrilise ja sümmeetrilise süsteemi kirjeldus ja filtri rakendamine.

ELS-signaliseering toimub asümmeetriliselt, st kahe voolujuhi (L – N) suhtes erineva suunaga voolu abil. See tähendab, et ka ELS-häireid tekitavate mürade filtreerimine peaks toimuma asümmeetrilise süsteemi aluselt.

Tüüpilised EM-häiringufiltrid (EMI-filtrid), mida paigaldatakse erinevate toiteseadmete juurde, koosseisu kuuluvad ka ahelad sümmeetrilise häiringusuuruse blokeerimiseks. Siiski, tüüpiliselt on sümmeetrilise süsteemi ja asümmeetrilise süsteemi häiringufiltrid omaette osadena, seetõttu võivad EMI-filtritel eri süsteemi osadel olla ka erinevad ülekandetegurid ja pääsu/tõkkesagedusribad. Sümmeetrilise häiringu filtreerimiseks on nõutav ka galvaaniline ühendus maandusjuhiga.



Joonis 8-5. Toiteliinil rakendatav EMI-filter ja selle peamised komponendid [Murata].

Toiteahelate EMI-filtris on tüüpiliselt järgmised komponendid (vt Joonis 8-5):

- Asümmeetrilise müra filter-induktiivpool (ik *differential mode choke*);
- Sümmeetrilise müra filter-induktiivpool (ik *common mode choke*);
- X-kondensaatorid asümmeetrilise müra filtri ülesannetes;

- Y-kondensaatorid sümmeetrilise müra filtri ülesannetes.

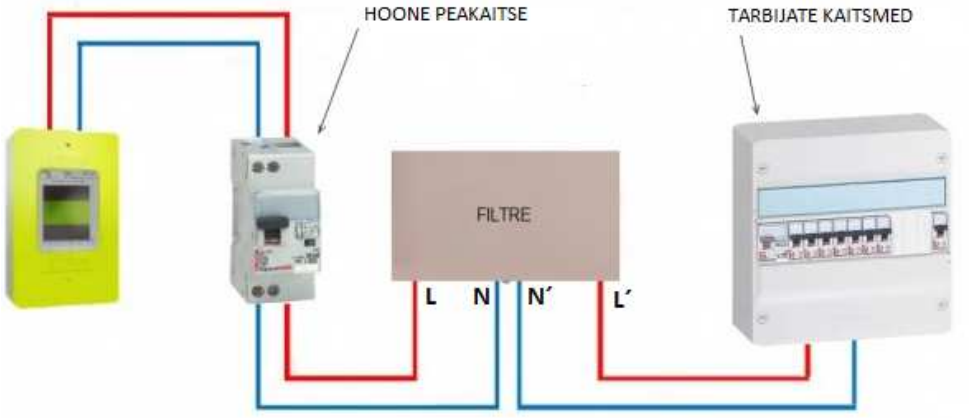
Et ELS-süsteemi seisukohast on filtreeritav asümmeetriline suurus, siis tüüpiliselt võivad sümmeetrilise filtri komponendid puududa. Seda kajastab ka ELS-filtrite ühendusskeem, milles on ühendus loodud faasi- ja neutraaljuhiga, aga puudub täielikult ühendus maandusjuhiga. Neutraaljuhi ühendus seejuures oli teostatud otseühendusega, filter-induktiivahel oli ühendatud täielikult faasijuhiahelasse (vt Joonis 8-6).

8.3.1.1 ELS-FILTRITE RAKENDAMINE, ÜHENDUSSKEEM JA PARAMEETRID

ELS-süsteemi filtrite ühendusskeemis (vt Joonis 8-6) on ette nähtud filtri ühendamine kliendi poole peakaitset, mis võimaldab ka teostada filtri hooldust, peakaitsme väljalülitamisega. Sellise ühendusskeemi eesmärk on blokeerida mürad, mis on tingitud kliendi paigaldisest ning kliendi poolt kasutatavatest tarvititest. ELS-arvesti jääb ühendatuks jaotusvõrgu pool peakaitset.

Filtri tootjad üldiselt filtrite sees olevat skeemi ei avalda, samas on tootja andmetes tüüpiliselt tunnusjoonte tasemel spetsifitseeritud eeldatav filtri karakteristik.

Siiski, antud uurimistöö kontekstis on oluline ka määrata filtri aseskeemi parameetrid, millised kirjeldaksid filtri LR-jada-aseskeemi. Nende parameetrite alusel on võimalik järgnevalt analüüsida filtri talitlust erinevatel tingimustel, mh lühiste olukorras ja seda, millisel määral suurendab filtri ühendamine oodatavaid lühise kontuuri takistusi ja sellega seoses vähendab oodatavat lühisvoolu väärtust.



Joonis 8-6. Filtri Spica Strike tootja poolt esitatud ühendusskeem [SPICA].

8.4 ELS-SÜSTEEMIDE FILTRITE ÜLEVAADE

Siin peatükis on vaatluse all tüüpilised ELS-süsteemide jaoks ette nähtud filtrid, millised on kasutuses Eestis tegutsevate jaotusvõrguettevõtete lahendustes.

8.4.1.1 FILTER SPICA STRIKE

Spica Strike filtreid toodetakse põhiliselt kolme nimivoolu juures: 25 A, 40 A ja 63 A. Filtri üldvaade vt Joonis 8-7.

Põhilised filtri tehnilised parameetrid [1]:

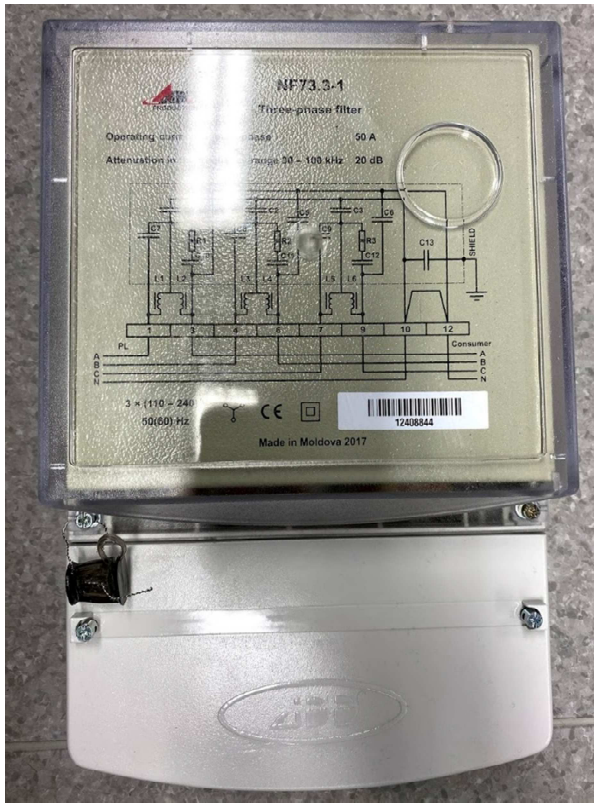
- Nimipinge 220 / 240Vac - 50 / 60Hz
- Nimivool 25 A
- Tüüpilised võimsuskaod, väiksemad kui 2 W
- Isolatsioonipinge 2,5 kV
- Kaitseaste IP30
- Opereerimistemperatuur -25 ° C kuni +50 ° C
- Lühisvool 10 kA (EN 60439)
- Ülekoormus taluvus 1,6 korda kuni 2 h
- Filtreerimis sagedusvahemik 35 - 95 kHz
- DIN liistule kinnitatav
- Laius 157,5 mm
- Kaal 0,8 kg
- Kinnitusklemmid 6 – 35 mm²

Joonis 8-7. Ühefaasiline filter Spica Strike.

8.4.1.2 *FILTRID* NF71.3 - 1 JA NF73.3 – 1

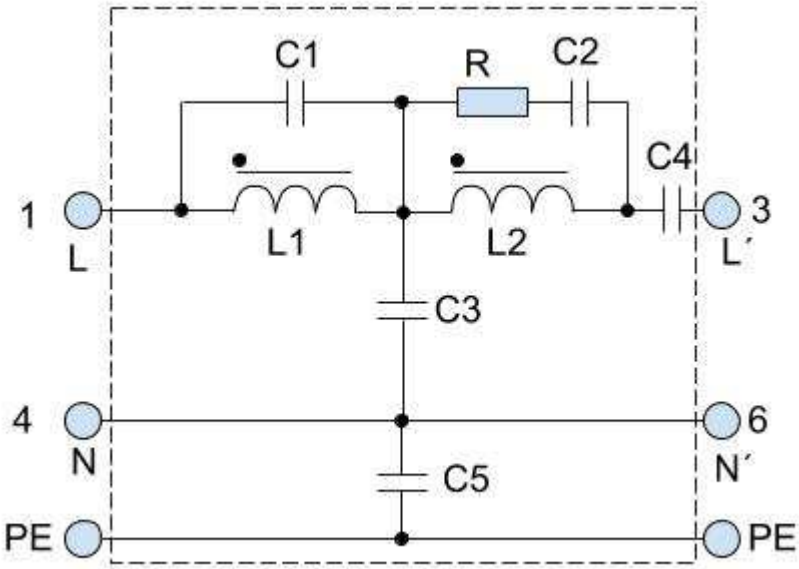
Filtrid NF71.3 – 1 ja NF73.3 – 1 toodetud Moldaavia ettevõtte ADD poolt ning on oma skeemilt sarnased, esimene on ühefaasiline ja teine kolmefaasiline. Mõlema filtri nimivoolud on 50 A ja tööparameetrid (30 – 100) kHz, 20 dB. Seadmete andmelehed ei olnud kättesaadavad.

Joonis 8-8. Ühefaasiline filter NF71.3 – 1



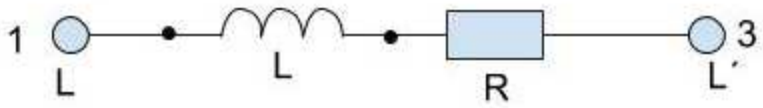
Joonis 8-9. Kolmefaasiline filter NF73.3 – 1

Filtritel on toodud ahela skeemid (vt Joonis 8-10), ent konkreetsed ahela komponentide parameetrid ei ole teada.



Joonis 8-10. NF71.3 – 1 filtri skeem

Kuna meil kõik filtri parameetrid ei ole teada, siis koostame põhiparameetrite mõõtmiseks aseskeemi ja mõõdame selle parameetrid. Aseskeemi koostamisel võime jätta ära C3 ja C5 komponendid, kuna 50 Hz korral need ei mängi olulist tähtsust. Seega on aseskeem alljärgnev (vt Joonis 8-11):



Joonis 8-11. NF71.3 – 1 filtri lihtsustatud aseskeem

8.4.1.3 FILTER EMIKON

EMIKON filtreid toodetakse põhiliselt kolme nimivoolu juures: 40 A, 65 A ja 80 A. Filtri üldvaade vt Joonis 8-12.
Põhilised filtri tehnilised parameetrid [3]:

- Maksimaalne opereerimispinge 275 VAC
- Sagedusvahemikule 50 - 60 Hz
- Nimivool 40 A
- Sumbuvus > 40 dB
- Temperatuurivahemik -25ºC + 100ºC
- Kaitseaste IP51
- Klemmid 6 - 16 mm kaablile
- Kaal 1,3 kg

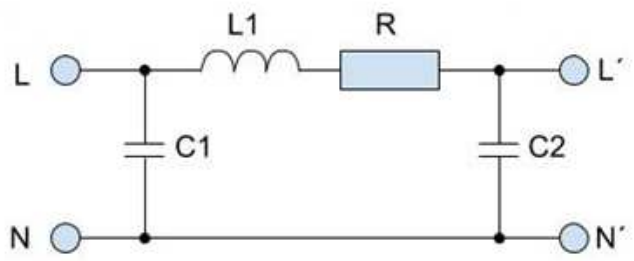
Joonis 8-12. Ühefaasiline EMIKON filter

8.5 FILTRITE PARAMEETRITE MÄÄRAMINE

8.5.1.1 ASESKEEMI PARAMEETRID JA FILTRI NÄIVTAKISTUS

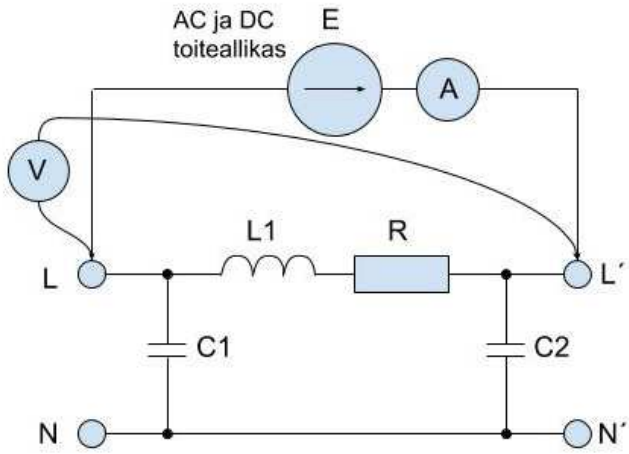
LCR-aseskeemis on faasijuhi ühenduses jadamisi induktiivsus *L*, ning juhtme takistus *R*, millega on ühendatud rööp-kondensaatorid C1 ja C2. Tüüpiline filtri aseskeem on toodud all oleval joonisel (vt Joonis 8-13), mida kasutati filtrite parameetrite määramisel kui filtri dokumentatsioonis ei olnud toodud täpsustavat skeemi või puudus ligipääs dokumentatsioonile.

- oluline on määrata nende komponentide mõjul 50 Hz sagedusel esinev reaktiivtakistuse väärtus X_L, aktiivtakistuse väärtus *R* ning näivtakistus *Z*.
- oodatavalt C_1 ja C_2 madalal sagedusel (sh 50 Hz) ei oma suurt rolli, siis võib lihtsustuse printsiipidel need vähetähtsaks lugeda ja vaatluse alt välja jätta.



Joonis 8-13. Tüüpiline filtri LCR-aseskeem.

Parameetrite X_L ja *R* selgitamiseks on koostatud filtri aseskeem koos mõõteahelaga, nagu on kirjeldatud all oleval joonisel (vt Joonis 8-14).



Joonis 8-14. Filtri aseskeem koos mõõteahelaga.

Kasutatud katseseadmed

DC toiteallikas: Hera LS2000 Laboratory Power Supply

AC toiteallikas: Hera LS2000 AC-Source 1-phase

Multimeeter: PeakTech 8040 nr 0509131

Katse käik

1. Alalisvoolutakistuse *R* mõõtmiseks rakendati filtri ahelale alalispinge (DC) nii, et ahelas esineks toiteallika poolt alalisvool I_1 = 5 A. Seejärel mõõdeti ahela klemmide L ja L' vaheline pingelang, U_1.

   Ahelas registreeritud alalisvoolu tugevuse ja pingelangu abil arvutati Oomi seaduse alusel ahela aktiivtakistus *R*, avaldisega 1.

$$R = \frac{U_1}{I_1} \tag{1}$$

2. Näivtakistuse *Z* määramiseks rakendati filtri klemmidele L ja L' vahelduvpinge (AC), sagedusel *f* = 50 Hz, nii, et ahelas tekiks toiteallika poolt genereeritud vahelduvvool tugevusega I_2 = 6 A. Seejärel mõõdeti ahelas klemmide L ja L' vaheline pingelang, U_2.

   Ahelas registreeritud vahelduvvoolu ja mõõdetud pingelangu abil arvutati Oomi seaduse alusel ahela näivtakistus *Z*, avaldisega 2.

$$Z = \frac{U_2}{I_2} \tag{2}$$

3. Ekvivalentse induktiivsuse *L* ja induktiivtakistuse määramine X_L toimus avaldisega (2) leitud näivtakistuse ja avaldisega (1) leitud aktiivtakistuse alusel, millega määrati ekvivalente induktiivsus *L* valemi (3) alusel.

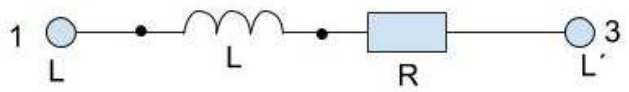
$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2 * \pi * f} \tag{3}$$

4. Arvutatud ekvivalentse induktiivsuse abil valemi (4) alusel määratud induktiivtakistus X_L.

$$X_L = 2 * \pi * f * L \tag{4}$$

Katsetulemuste kokkuvõte

Katsete tulemustena on esitatud parameetrid filtri taandatud aseskeemile (vt joonis).



Joonis 7.8.10 Taandatud aseskeem

Katsetulemuste alusel selgitatud ekvivalentse LR-jadaahela parameetrid on esitatud tabelis (vt Tabel 8-1).

Tabel 8-1. Filtrite jada-aseskeemi parameetrite hinnangud koondina. Induktiiv- ja näivtakistuse väärtused on esitatud 50 Hz sagedusel.

Filtri tüüp	Aktiivtakistus, *R*	Induktiivsus, *L*	Induktiivtakistus, X_L	Näivtakistus, *Z*
Spica Strike	4,2 mΩ	0,12 mH	36 mΩ	37 mΩ

Filtri tüüp	Aktiivtakistus, *R*	Induktiivsus, *L*	Induktiivtakistus, X_L	Näivtakistus, *Z*
NF71.3-1	2,1 mΩ	0,052 mH	16 mΩ	16 mΩ
Emikon CPF 2565-4040	3,7 mΩ	0,062 mH	19 mΩ	20 mΩ

Märkus. Kuna kolmefaasiline filter NF73.3 – 1 on samade parameetritega ainult kolmele faasile kui NF71.3 – 1, siis ei ole vajadust arvutusprotsessi korrata.

Esialgses vaates on filtrite takistuste väärtused suhteliselt madalad ja seetõttu täiendava optimeerimise vajadust ei esita. Kasutatavad induktiivpoolid omavad induktiivsuse väärtust, milline annab läbi induktiivtakistuse suurima panuse filtri põhisageduslikule näivtakistusele.

On oluline märkida, et teatud olukordades võib antud parameetritega filtri(te) lisamine põhjustada fiidri takistuse suurenemist tasemele, milline võiks oluliselt mõjutada erinevate tarbimiskohtade lühisvoolude tugevust märgatavalt. Täiendavalt on filtrite (näiv)takistuslikele omadustele ja selle rollile näiteks lühisvoolude kontekstis pööratud peatükis „8.9 Filtrite rakendamise analüüs ja suure vooluga fiidritel filtrite rakendamine".

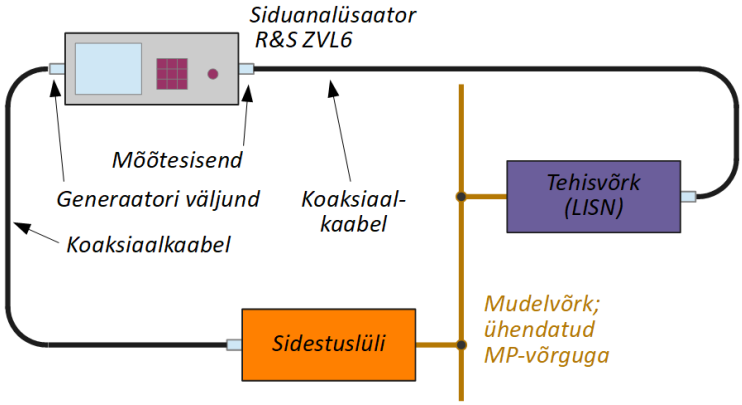
8.5.1.2 FILTRITE SAGEDUSKARAKTERISTIKUTE MÄÄRAMINE

Filtrite sageduskarakteristiku määramiseks rakendati katseskeemi, milline eeldatavalt kajastaks filtri toimet tegelikus jaotusvõrgus kõige paremini. Filtrite ülekandekarakteristiku analüüsiks viidi läbi järgmised katsed.

1. Jaotusvõrku esindava ahela kontrollmõõtmine
   Katseskeemis rakendati siduanalüsaator Rohde & Schwarz ZVL-6, mis võimaldas kontrollida ülekandefunktsiooni, sisaldades signaaligeneraatorit ja sellega häälestatud järgivat sagedusselektiivset voltmeetrit.

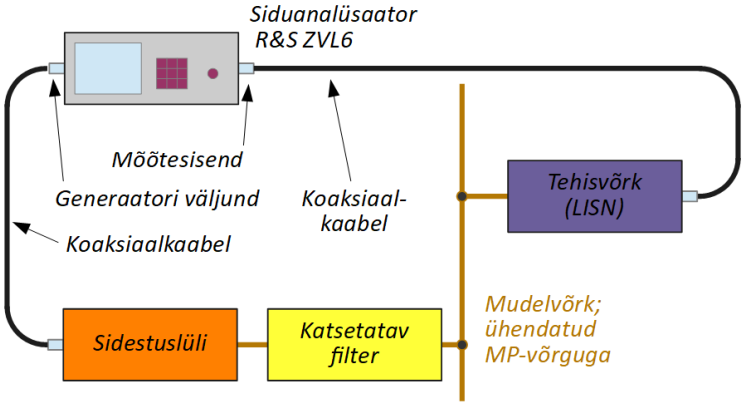
   Esimese katse eesmärk oli leida ülekandefunktsioon signaaligeneraatori ja võrgu vahel. Vahelduvvooluvõrgu ühenduses rakendati sidestavate komponentidena madalpinge liite-sidestuslüli [AFE031], mõõtesisendi poolel rakendati tehisvõrguseade (LISN).

   Katse läbiviimiseks rakendatud skeem on esitatud all oleval joonisel (vt Joonis 8-15).



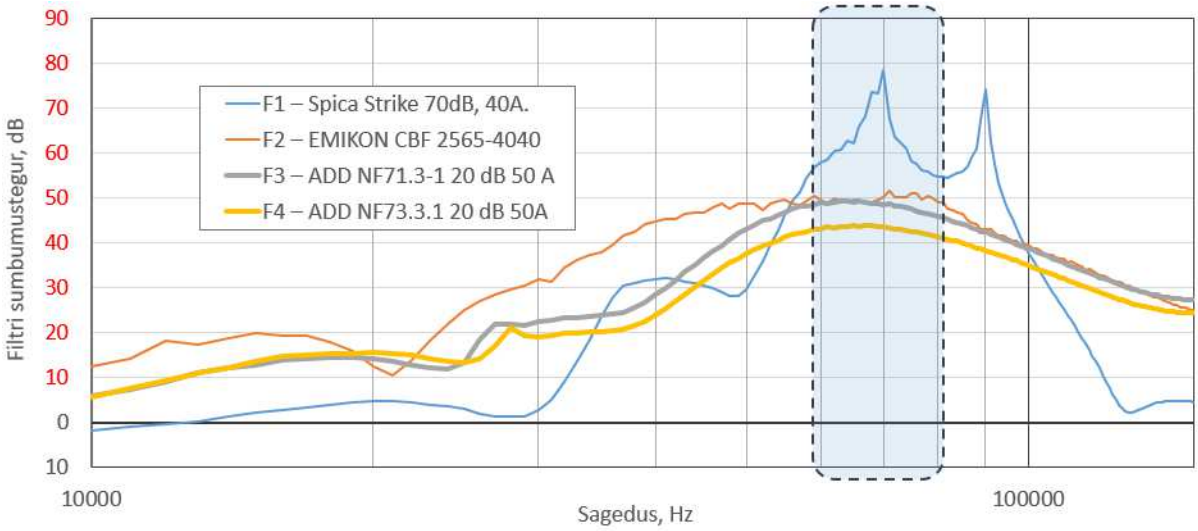
Joonis 8-15. Katseskeem võrguga sidestuse määramiseks.

2. Jaotusvõrku esindava ahela kontrollmõõtmine, kui ühendatud oli ka filter. Katseskeem jäi üldjoontes samaks, kuid siin rakendati katsetatavas ahelas täiendavalt ka filter (vt Joonis 8-16).

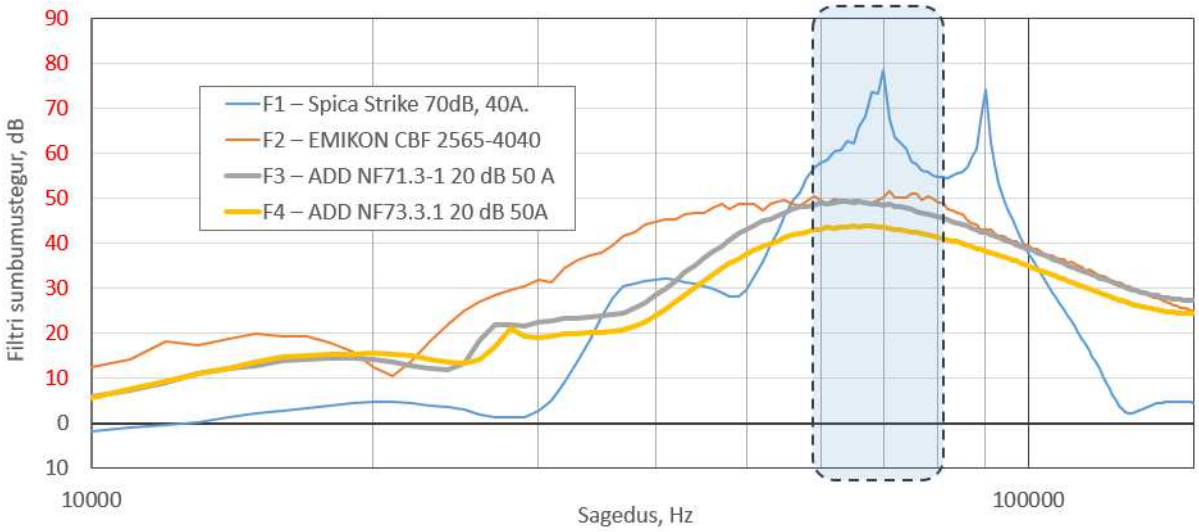


Joonis 8-16. Katseskeem filtri ülekandeteguri määramiseks.

Filtrite sageduskarakteristik selgitati kahe katse pinge ülekande tulemuste erinevusest, iga konkreetse sageduse jaoks. Filtrite võrdlevad ülekandekarakteristikud on esitatud all olevatel graafikutel (vt joonis 8-17)

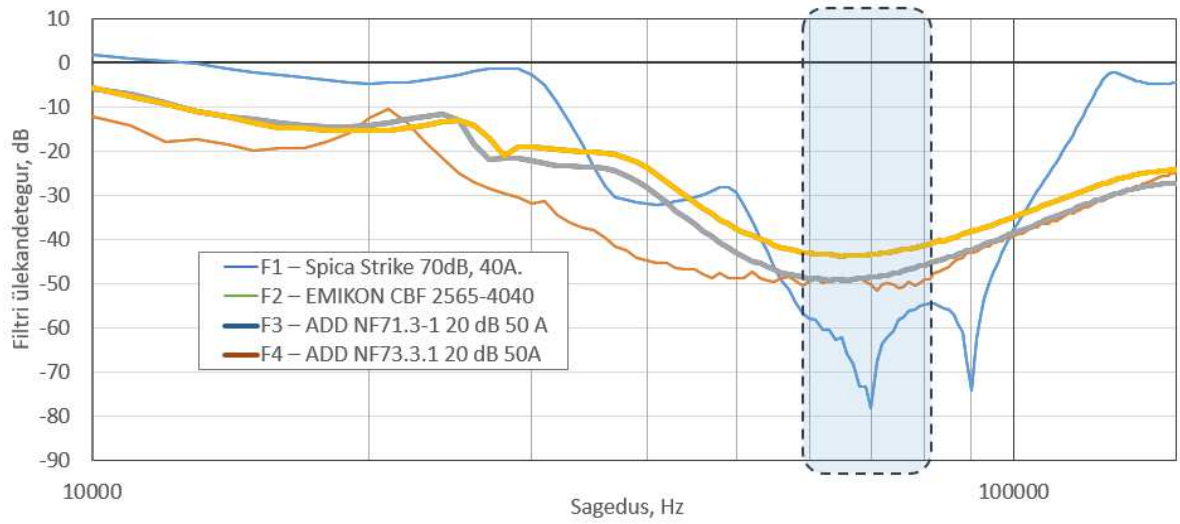


Joonis 8-17



Joonis 8-17. ELS-filtrite sumbumustegurite väärtuste tunnusjooned.

Ülekandekarakteristikute võrdluses saab kinnitada, et ELS-filtrilahendused on tõhusad ja tagavad Elektrilevi OÜ poolt kasutatavas ELS-sagedusvahemikus suure sumbuvuse. Sagedusvahemikus 60 … 80 kHz on filtrite sumbumus vähemalt 40 dB, ehk 100 korda.



Joonis 8-18. ELS-filtrite ülekandetegurite väärtuste tunnusjooned.

8.6 KAUBANDUSLIKE EM-HÄIRINGUFILTRITE ANALÜÜS

Et täita EMÜ-regulatsioonide nõudeid, millised on vajalikud toodete turustamiseks, samuti ka süsteemide ja paigaldiste mürade filtreerimiseks, rakendatakse seadmete ja

süsteemide toitesisendi juures mürafiltreid, mille eesmärgiks on nii sümmeetriliste kui ka asümmeetriliste süsteemide vaates:

1) juhtivusliku KS-müraemissiooni vähendamine seadmest välja võrgu suunas;
2) võrgust seadme suunas juhtivusliku KS-müra vähendamine seadme jaoks;

Viimane on oluline näiteks taluvusnõuete (immuunsus KS-müradele) täitmise tagamisel.

Seadmest välja emiteeritavate KS-EM-mürade iseloom ja intensiivsus sõltub olulisel määral seadme talitlusest ja selles töötavate alamüksuste iseloomust. Tüüpiliselt ei ole sellise müra sagedusspekter ühtlane ja sisaldab terve rea erinevaid intensiivsustippe erinevatel sagedustel (vt näited all). Kuigi mürad võivad teatud sagedusel olla märgatava intensiivsusega, ei pruugi need alati ületada seadmele ettenähtud standardite/normdokumentide suurimaid lubatud väärtuseid. Juhul, kui seadmete müratase ei ületa piire, millised on normdokumentides ette nähtud, siis ei ole mürade emissiooni seisukohast tingimata tootjal filtrit vaja rakendada. Seadmete tootjate huvid ja vajadus on eelkõige tegeleda müradega, mille intensiivsus teatud sagedusel ületab normide piire. Filtrite mürapiiravate omaduste vaates on siin mõistlik defineerida sagedusribad, milles filtri summutavad omadused on teatud tasemega.

Seadmete EM-häiringutaluvuse määratlevad sagedamini seadme sees töötavad alamüksused, millisteni EM-mürad jõuavad, ja nende talitluse eripärad. EM-häiringutaluvus on siin samuti erinevatel sagedustel erinev ning hetkel jõusolevate standardite põhimõtete kohaselt proovitakse seadme EM-häiringukindlust ainult sümmeetrilises süsteemis (common mode). See tähendab, et kõrgsageduslik EM-häiring, millele vastupidavust vaadeldakse, sisestatakse samasuurena ja samas faasis nii seadme faasijuh(t)i(de)le kui ka neutraaljuhile. Seade loetakse EM-häiringutaluvusnõuetele vastavaks, kui seadme talitlus ei häiru katsetel, mille käigus seadmele rakendatakse vähemalt normdokumendis sätestatud tugevusega sümmeetriline/samafaasne (*common mode*) suurus, määratud sagedusvahemikus, seadme toitesisendile. Kui seade on teatud sagedusega suurusel tundlik ja tema talitlus sellel sagedusel häirub, on üheks leevendusmeetmeks filtrite rakendamine toiteisendis, milliste summutus on kõrgel tasemel probleemse sageduskomponendi jaoks.

Normdokumendid, nagu selgitatud ka punktis „5.7 Tootestandardid ja sagedusribas 9 kHz … 150 kHz esitatavad nõuded", on praktiliselt siiamaani keskendunud juhtivuslike suuruste emissiooni ja häiringukindluse piiride määratlemisel sagedustel 150 kHz ja kõrgemad. **Filtrite rakendamise eesmärgiks ongi pigem nõuete täitmine üle 150 kHz, sellest lähtuvalt on ka tüüpilisimad kaubanduslikult rakendatavate ja müüdavate filtrite karakteristikud määratletud nimetatud sagedusvahemikus.** Täiendavalt filtri komponentide topoloogiat arvestades on asümmeetrilise/erifaasse (differential mode, **DM**) ja sümmeetrilise/samafaasse (common mode, **CM**) suuruse mahasurumiseks kasutuses täiesti eraldi ahelad, siis on filtritel tüüpiliselt näidatud ka erinevad karakteristikud, eraldi CM ja DM jaoks (vt Tabel 8-2).

Kaubanduslikel häiringufiltrite hind ja omadused on üldiselt korrelatsioonis ja võimekam filter omab suuremat maksumust. Filtrite võimekuse võiks siin määratleda kui summutusriba laiuse, millises on filtril märkimisväärne tõkestav omadus, näiteks tasemel -20 dB või enam. Näiteks võiks nimetada võimekamaks filtrit, millel on tõkestavad

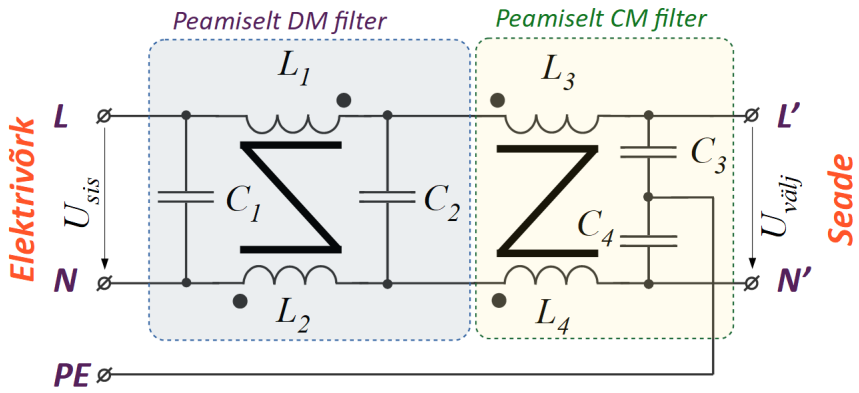
omadused laias sagedusribas, näiteks 200 – 20 000 kHz; lihtsamad ja vähemvõimekamad filtrid näiteks summutusega sagedusribas 1500 – 5500 kHz ja muus vahemikus on nende mõju väike. Filtrite omadused sõltuvad neis kasutatus füüsilistest komponentidest ning kaubanduslike filtrite valikus on neid seeriate kaupa, igal seeria esindajal aga omaette tõkke-sagedusriba. Filtrite tootjad varustavad oma toodangu ka asjakohaste andmelehtedega, millel on esitatud mh filtri nimikarakteristikuna sumbuvuse ja sageduse karakteristikud. **Tuleb mainida, et vähe on leida filtreid ja/või tootjaid, kelle filtrite sageduskarakteristik on näidatud ka alla 100 kHz.**

8.6.1.1 EM-HÄIRINGUFILTRITE SKEEMID JA NÄITED

EMI-filtrite suutlikkuse katsetamiseks on valitud välja filtrid, millised tootja poolt avaldatud karakteristikute alusel olid tõhusad mh madalatel sagedustel ning millised olid ka ladudes saadaval. Edasimüüjate ladudes saadavalolek kinnitab, et tegemist on ühtede tüüpilisimate filtritega.

Kõik valitud kommertsfiltrid olid komplektsed ja valmis ühendamiseks seadmete toitesisenditega. Selleks oli kõikidel filtritel kaks tugevvooluahelat (kummalgi kaks klemmi) ja üks maandus-ühendusklemm. Koormusvool juhitakse läbi tugevvooluahela ning maandusklemmi kaudu toimuks samafaasse kõrgsagedusliku komponendi ümberjuhtimine.

Filtrite baasskeem on esitatud all oleval joonisel (vt Joonis 8-19).

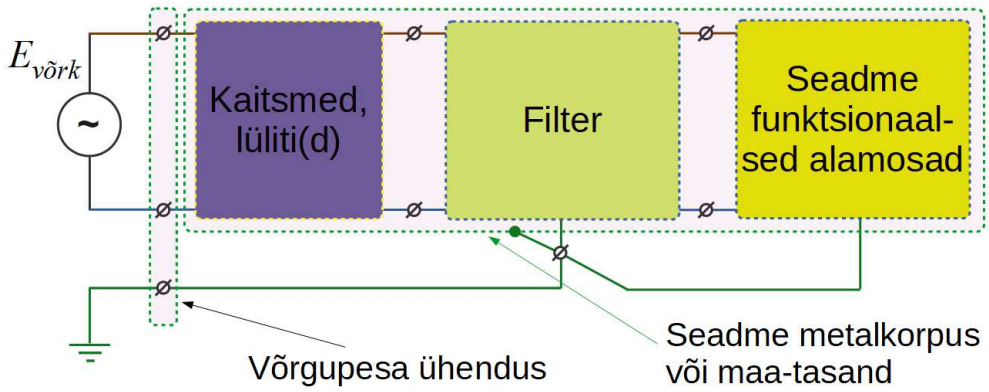


Joonis 8-19. Sümmeetrilist (common mode, CM) ja asümmeetrilist (differential mode, DM) häiringukomponenti summutavate osadega filtri tüüpskeem. NB! „PE" klemm ei tähenda, et maandamine peab toimuma võrgu poolelt. „PE" klemm on ühine nii elektrivõrgu-poolseks ühenduseks, kui ka seadme-poolseks ühenduseks; kokku ühendatakse seadme korpus, seadme maandus ja elektrivõrgu maandusjuhid.

NB! Filtrite rakendamisel tuleb silmas pidada, et sellised filtrid töötavad korrektselt ning oodatava summutus-võimekusega juhul, kui ühendatud ja kasutuses on ka PE (maandus)-klemm. See tähendab, et filtri tööle võib olla mõju ka elektripaigaldise ehitusest ja eriti PE-juhtide korrektsest ühendusest (vt Joonis 8-20). Eriti varasemalt välja ehitatud TN-C süsteemi juhistikuga paigaldiste puhul, kus PE juhti ei rakendatud ega välja ei ehitatud, võib see tähendada, et seadme tegelik EM-müraemissioon võib olla normdokumentidega reguleeritust oluliselt kõrgem; teisalt võib ka seadmete tegelik EM-häiringutaluvus olla oluliselt madalam, kui algselt kavandatud. ELS süsteemide seisukohast tähendab see, et mõned potentsiaalselt

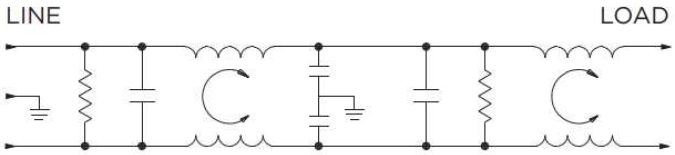
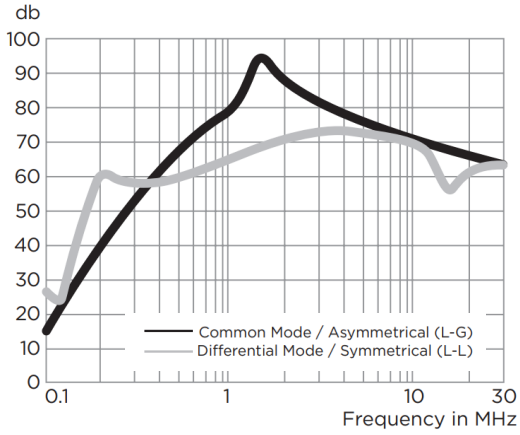
häirivad mürakomponendid võivad pääseda seadmest elektrivõrku, kui need esinevad sümmeetriliste/samafaassetena.

Katsetes kasutatud filtrite nimiparameetrid on esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 8-2)



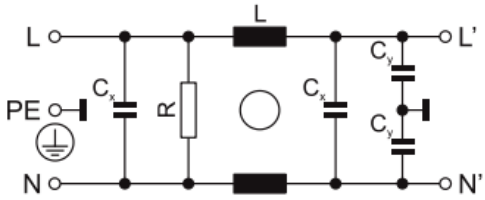
Joonis 8-20. Filtri reeglite kohane ühendusskeem elektrivõrguga, milles juhistikusüsteem on TN-S.

Tabel 8-2. Katsetel kasutatud filtrite ülevaade ja filtrite parameetrid.

Filter 1 Tootja: **TE / CORCOM** Tüüp: **10EMC1** Nimivool: **10 A**	Aseskeem 
Foto 	Tootja näidatud summutuskarakteristik 

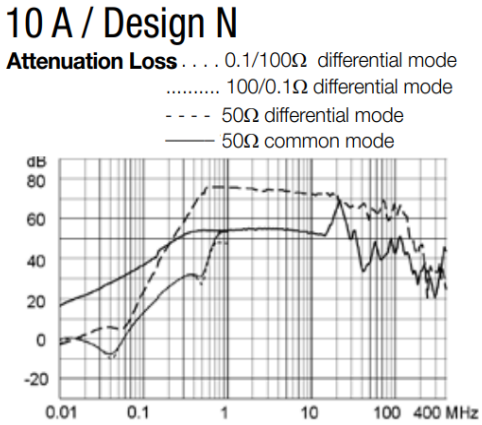
Filter 2
Tootja:
Shurter
Tüüp:
5500.2635.01
Nimivool:
10 A
Aktiivtakistus**:**
22,8 mΩ

Aseskeem



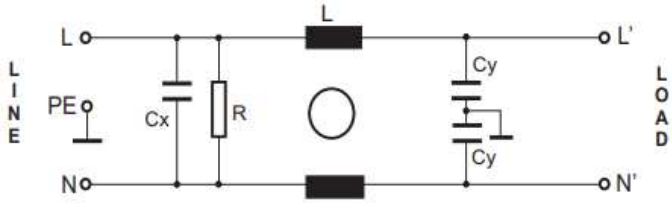
Foto

Tootja näidatud summutuskarakteristik



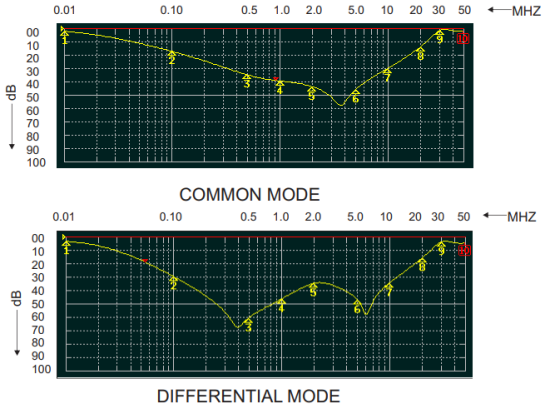
Filter 3
Tootja:
DEM Manufacturing/ Roxburgh
Tüüp:
RES10F06 Nimivool:
6 A
Ahela induktiivsus**:**
1 mH

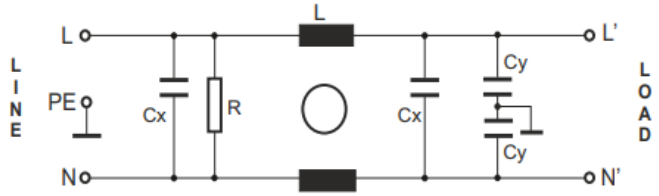
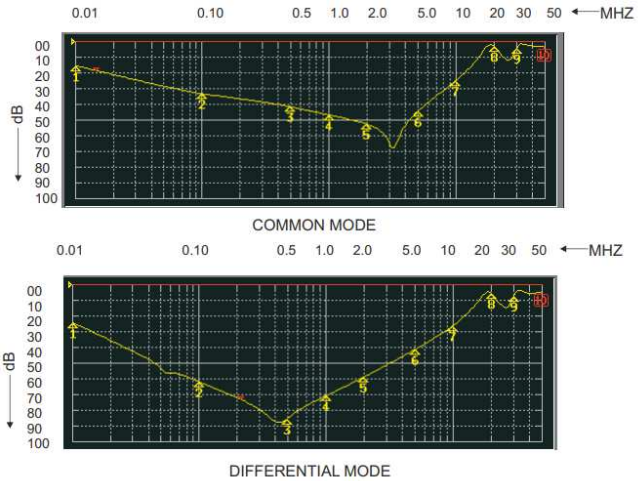
Aseskeem



Foto

Tootja näidatud summutuskarakteristik

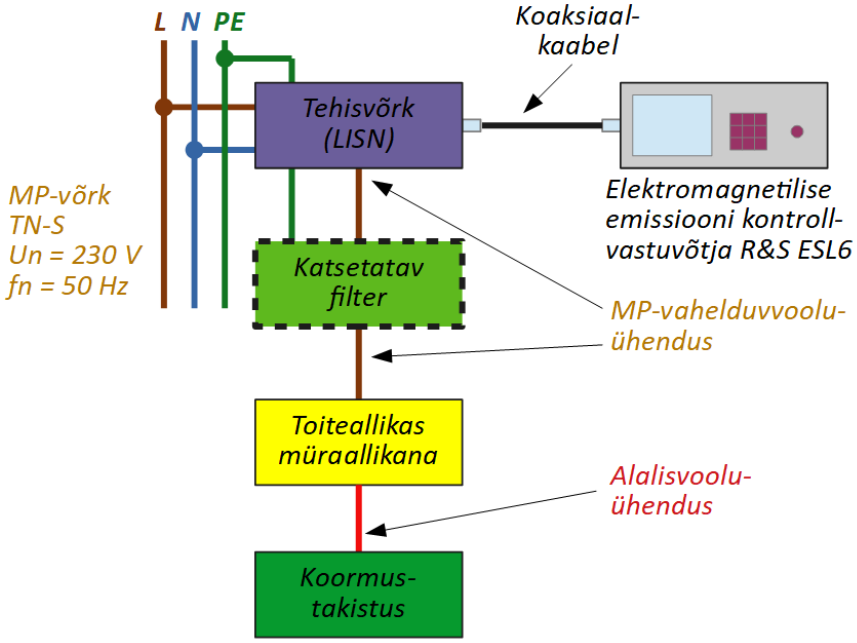


<table>
<tr>
<td>Filter 4
Tootja:
DEM Manufacturing/ Roxburgh
Tüüp:
RES30F10 Nimivool:
10 A
Ahela induktiivsus:
8 mH</td>
<td>Aseskeem
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>Foto
</td>
<td>Tootja näidatud summutuskarakteristik
 
</td>
</tr>
</table>

8.7 EM-HÄIRINGUFILTRITE PARAMEETRITE KATSED

Filtrite tootjate poolt antud nimiparameetrite ülevaatest võib järeldada, et neilt võib oodata ka teatud tõhusust ELS häirivate mürade summutamisel. Et filtrite nimiandmed jäävad siin ikkagi 100 kHz ülespoole, siis oli eesmärgiks uurida mh antud filtrite tööd madalamatel sagedustel, näiteks 63,3 kHz ning 74 kHz piirkonnas esinevate mürade summutamisel.

Filtrite parameetrite selgitamiseks korraldati seeria laboratoorseid katseid. Katsetes kasutatud skeem on esitatud all toodud joonisel (vt Joonis 8-21).



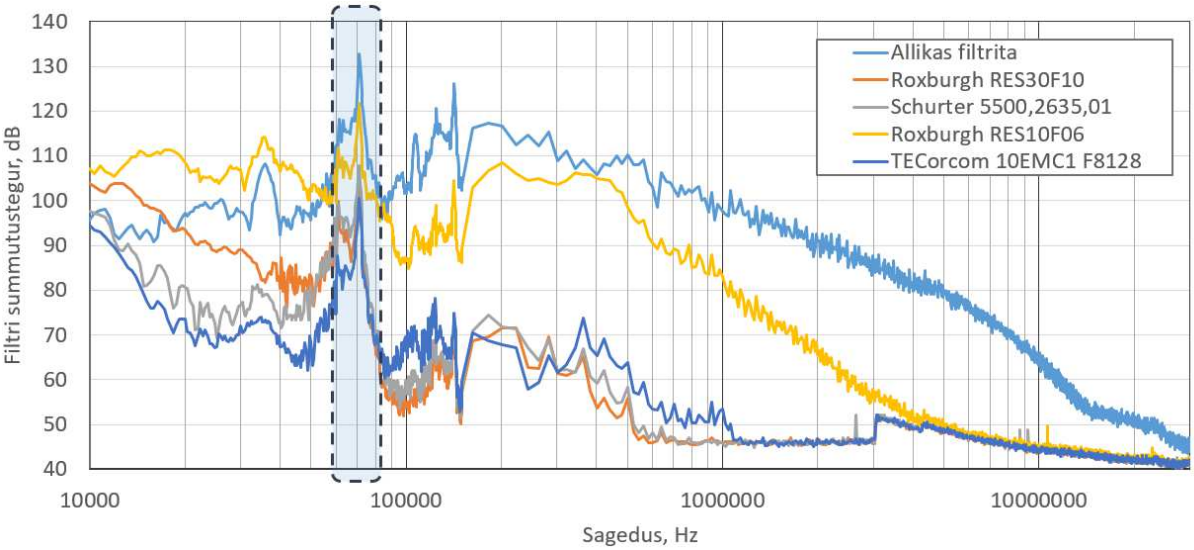
Joonis 8-21. EM-häiringufiltrite parameetrite selgitamise katseteks kasutatud skeem.

Tuleb rõhutada, et katse eesmärgiks oli eeskätt kontrollida filtrite tõhusust olukordades, millised oleksid ELS talitlust häirivad või potentsiaalselt häirivad. Samuti on selline võrdlus praktiline filtrite optimeerimise küsimuste seisukohast, kuna võimaldab tegelikus häiringuolukorras:

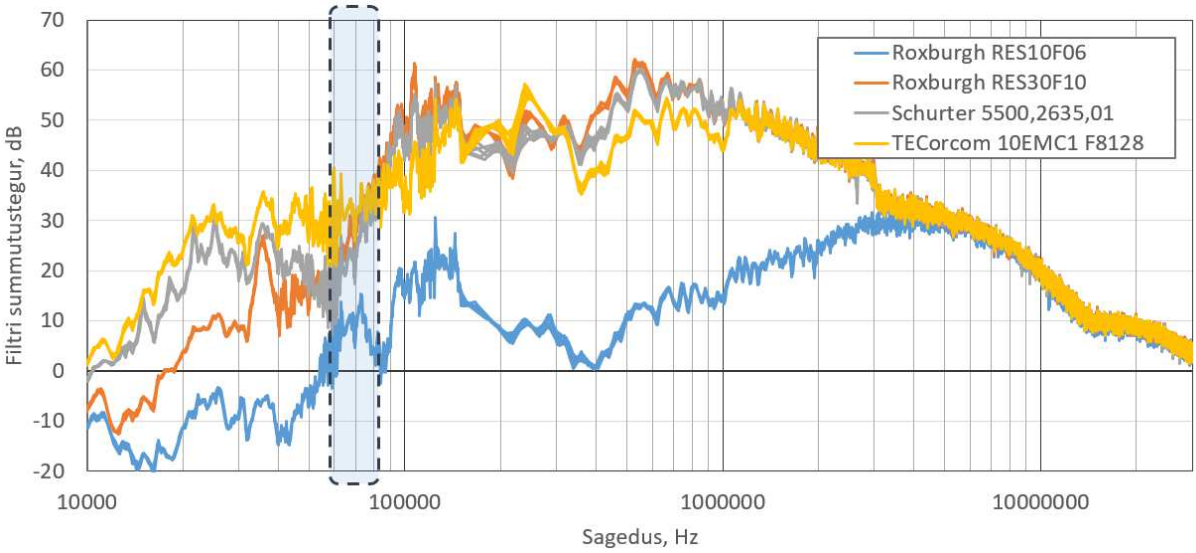
- selgitada asjaolusid, milliste poolest ELS spetsiifilised filtrid omaksid eeliseid;
- **anda selgelt märku, kui kaubanduslikud EM-häiringufiltrid omavad piisavat tõhusust mürade summutamisel sagedustel 60 … 90 kHz, et ELS-filtreid saaks asendada.**

Häiringuid tekitavaks seadmeks valiti üks toiteplokk, milline oli eelnevatel katsetel näidanud kõrgemat müratasset, mille korral samuti ka ELS edukus oli 0% (*ping*-i test). Sellise allika ja võrgu vahele ELS-filtri ühendamisel oli ELS edukus samadel alustel katses 100%.

Filtrite katsete tulemusena selgitati esmalt müraallika müranivoo, mis on suhteliselt püsiv. Seejärel selgitati müratase eraldi mõõtmisel, kui müraallika ja elektrivõrgu vahele ühendati erinevad filtrid. Tulemustena on esitatud müratasemed (vt Joonis 8-22) ning filtrite summutustegur (vt Joonis 8-23).



Joonis 8-22. Filtrite katsestsenaariumidel mõõdetud tegelik müratase võrgus. Eraldi alana märgitud ELS seisukohast kriitiline sagedusvahemik.



Joonis 8-23. Filtrite katsete mõõdetud tegelik summutustegur. Eraldi alana märgitud ELS seisukohast kriitiline sagedusvahemik.

Tulemuste analüüsil selgub, et üldiselt taoliste filtrite rakendamine aitab vähendada ELS sagedusvahemikus (~ 60 … 80 kHz) müratasset kuni 30 dB võrra. Siiski, see jääb vähemalt umbes poole nõrgemaks selliste filtrite nimisagedusalas töötamise võimekusest, millises on nende summutustegur kuni 60 dB. Siiski, tuleb märkusena öelda, et ühegi filtri töö ei olnud piisavalt tõhus, et antud katses rakendatud müraallika poolt põhjustatud müra filtreerida tasemeni, millega ELS oleks olnud edukas.

Madalaima summutusteguriga on antud katsetes kõige lihtsam filter, RES10F06. Sellise filtri komponentide skeem on ka lihtsaim (vt Tabel 8-2) ning sellises filtris on näiteks ainult 1 tk DM filtreerimiseks töötav X-kondensaator, samal ajal kui teistes katsetatud filtrites on vähemalt 2 X-kondensaatorit.

Täiendavalt, viidi läbi katsed, millega selgitati filtrite jadaparameetritest tingitud näivtakistuse väärtused 50 Hz sagedusel. Tulemused on esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 8-3).

Tabel 8-3. Filtrite katsetel selgitatud jada-näivtakistuste väärtused.

Filter	Filter 1 10EMC1	Filter 2 5500.2635.01	Filter 3 RES10F06	Filter 4 RES30F10
Jada-näivtakistus 50 Hz korral, Ω	0,020	0,069	0,039	0,070

Et antud katsestsenaariumides on ELS sagedusalas parimate summutusomadustega filtriks Filter 1 (10EMC1), siis järgnevates analüüsistsenaariumides on häiringufiltrina rakendatud nimetatud filtrit.

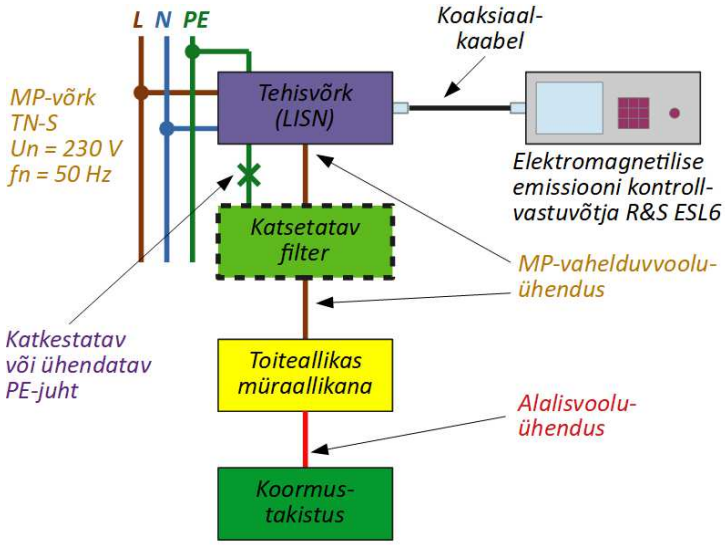
8.8 MAANDUSÜHENDUSE MÕJU FILTRI TÖÖLE ELS SAGEDUSALAS

Kaubanduslike EM-häiringufiltrite nimi-ühendusskeem näeb ette, et filtri maandusklemm on ühendatud paigaldise PE-juhistikuga. **Juhul, kui PE-juhistik ei ole ühendatud või filtri maandusklemmi ühendus ei ole teostatud korrektselt, võivad ka filtri talitlussuurused ja –parameetrid märkimisväärselt erineda olukorrast, kui kõik ühendused on korrektselt teostatud.** Antud uuringu kontekstis vaatleme PE-juhistiku korrektse ühendamise stsenaariumeid rõhutatult ELS-sagedusribas (so ~60 … 80 kHz) esineva müratasemе vaates.

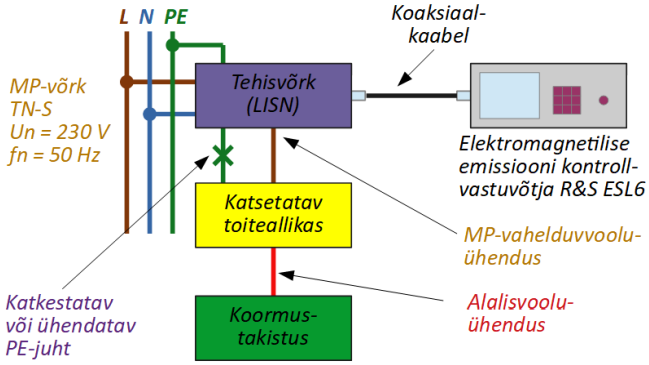
PE-juhistitku olemasolu ja ühendamise rolli kindlakstegemiseks viidi läbi katsed kahes stsenaariumis.

1) Toiteallikaga, millise puhul oli eelnevalt teostatud mõõtmiste põhjal kindlaks tehtud märkimisväärne ning ELS häiriv müratase, ning milline omas maandusklemmi (viitega võimalusele PE-juhistiku rakendamise võimalikkusele). Katsed viidi läbi võrdluses, milline müratase esines kui PE-klemm oli ühendatud ja ühendamata;
2) Kaubandusliku häiringufiltriga, millise puhul oli eelnevalt korrektses paigalduses tehtud kindlaks selle filtri tugev summutav toime, ELS tööga seotud sagedusribas (10EMC1).

Katsete läbiviimisel rakendatud katseskeemid on toodud all (vt Joonis 8-24 ning Joonis 8-25).

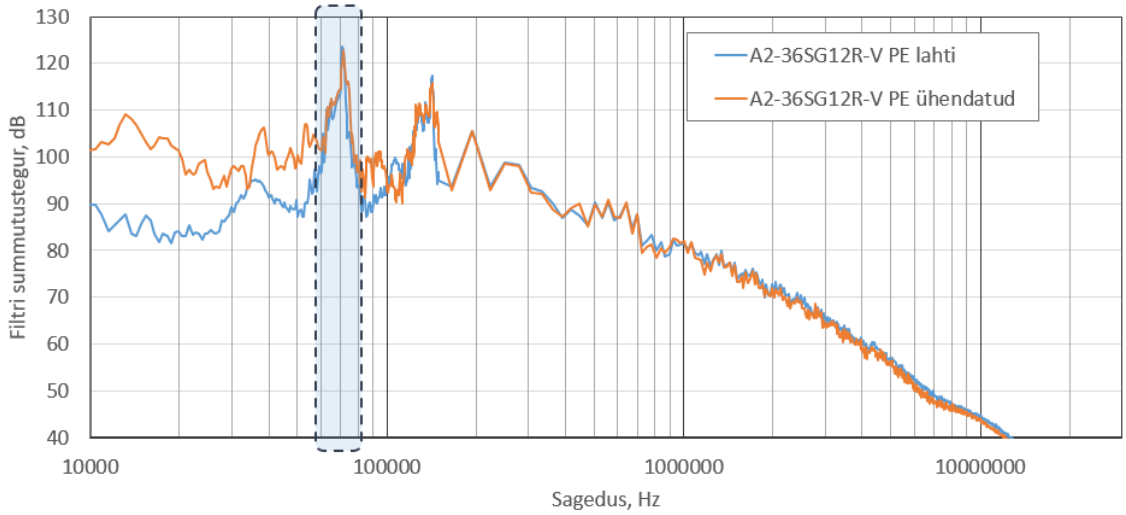


Joonis 8-24. Filtri PE-ühenduse mõju uurimiseks rakendatud katseskeem.

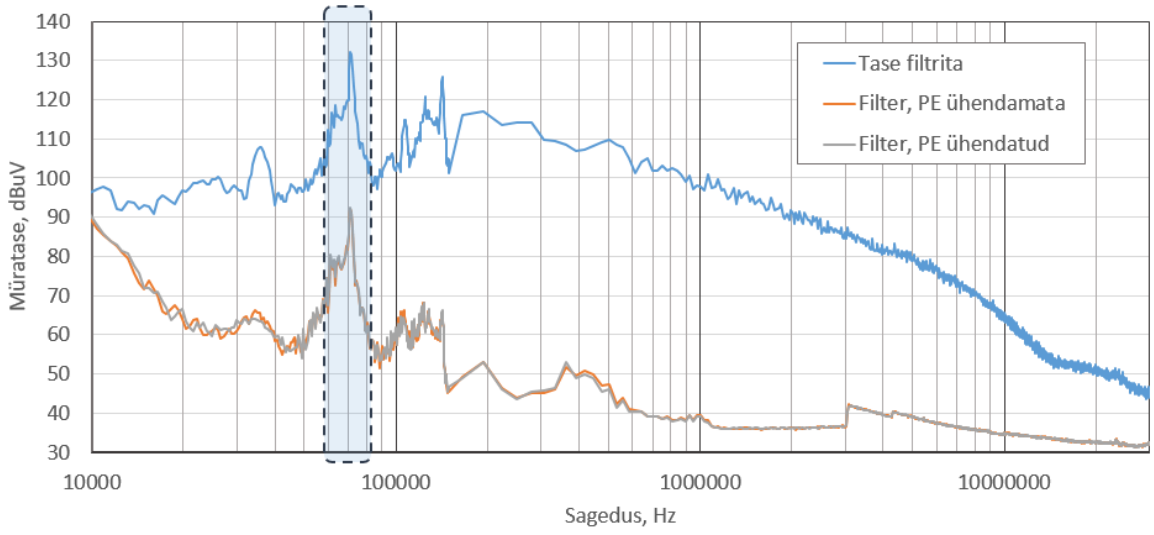


Joonis 8-25. Toiteallika PE-ühenduse mõju uurimiseks rakendatud katseskeem.

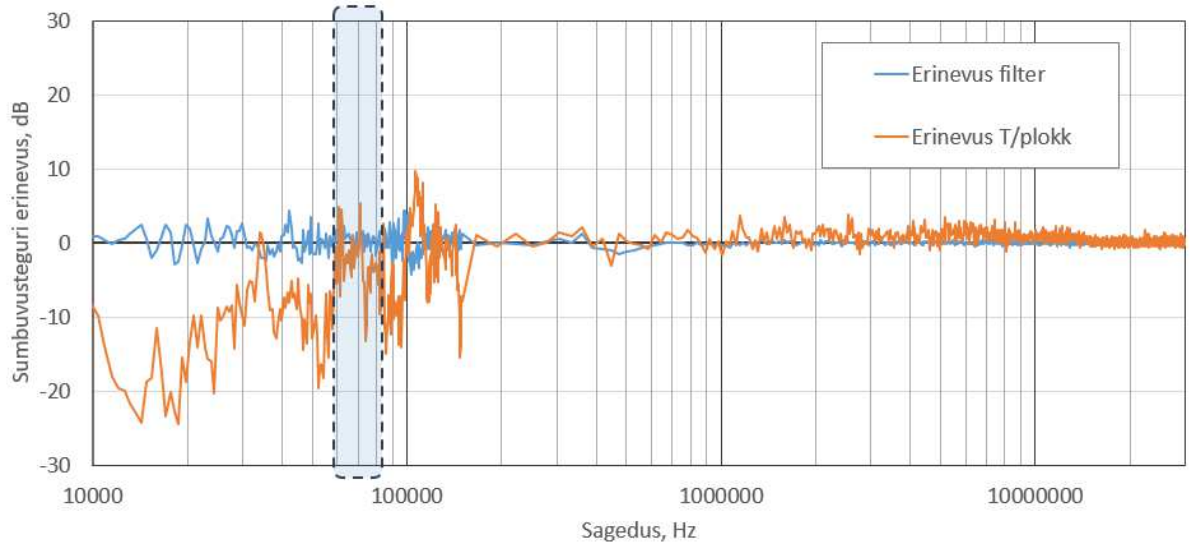
Katsete tulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 8-26 Joonis 8-27 Joonis 8-28).



Joonis 8-26. Toiteallika PE-ühenduse mõju uurimise katsete tulemused.



Joonis 8-27. Filtri PE-ühenduse mõju uurimise katsete tulemused.



Joonis 8-28. Toiteploki ja filtri summutusvõimekuse erinevused, kui PE on ühendatud vs PE ühendamata. Positiivne väärtus näitab PE ühendamisega saadavat tõhusamat tulemust.

Filtrite ja PE-ühenduse katsetest võib teha järgmised järeldused:

1) Olulist erinevust juhtivuslike mürade seisukohast, millised esinevad ELS sagedusribas, PE ühenduse kasutamine või mittekasutamine ei näita, seda nii toiteallika enda PE-ühenduse kui ka filtri PE-ühenduse katsetes.
2) Filtri mürasummutamise tõhusus praktiliselt ei muutu; see võib samas anda märku sellest, et toiteallikaga seotud mürad ei ole samafaassed/sümmeetrilised (CM) vaid rohkem erifaasse/asümmeetrilise (DM) iseloomuga.
3) Toiteallika katsetes on PE-ühendusega müratase isegi kõrgem, kui PE lahti ühendatult sooritatud katsete puhul. Siin on põhjus ilmselt pigem juhuslikest talitlustingimustest tulenevate erinevustega. Toiteallika mürakarakteristik on ebaühtlane ja järskude muutustega; sellest ei saa järeldust teha, nagu PE ühendamine müratasset kergitaks.

Peamine järeldus tuleneb siinsetest tulemustest ELS süsteemide ja paigaldiste ehituse vaates. Kui:

- **paigaldistes, milles kasutatakse TN-C juhistikusüsteemi, kus PE-ühendus puudub, rakendada EM-häiringufiltreid, siis ELS töökindluse seisukohast ei ole olulist kriitilist vahet filtri PE-ühenduse olemasolust.**
- paigaldistes, milles kasutatakse TN-S juhistikusüsteemi, ning mingi vahelüli (nt maandusühenduseta pikendusjuhet) siis ei saa maandusühenduse puudumine ilmselt olla peamine põhjus ELS andmesidehäiringutele.

Seega, üldiselt mürarikaste toiteallikate kasutamisel ei ole tõenäoliselt ELS talitluse seisukohast suurt vahet, kas PE ühendus on olemas ja on korrektne või mitte. Elektripaigaldiste, milles kasutatakse TN-C juhistikku, puhul ei ole oodata, et seadmetele ja filtritele PE ühenduse täiendav võimaldamine annaks ELS tõrgete seisukohast kindlalt olukorda parandava tulemuse.

8.9 FILTRITE RAKENDAMISE ANALÜÜS JA SUURE VOOLUGA FIIDRITEL FILTRITE RAKENDAMINE

Filtrite rakendamisel ELS-talitlust segavate mürade eemaldamiseks on kasutatud filtreid jadamisi ühendatutena. Sellisel juhul on filtri kui komponendi parameetrid üheks määravaks osaks fiidri parameetrite defineerimisel; näiteks võib liinile lisatud filter kasvatada fiidri takistust. Kriitilisena tuleb filtrite lisamist fiidrite töö seisukohast vaadelda näiteks juhtudel, kui:

1) Filtri lisamisel kasvab fiidri takistus sedavõrd, et lühisvoolud ei ületa väärtust, millise korral reageeriks kaitseaparatuur;
2) Filtri lisamisel kasvab fiidri takistus sedavõrd, et probleemseks kujuneb filtril esinev pingelang;
3) Filtri lisamisel ei oma filter piisavat taluvust jaotusvõrgus esinevate lühisvoolude vaates.

8.9.1.1 OODATAVAD RIKKESILMUSE NÄIVTAKISTUSE VÄÄRTUSED

Et kaitseaparatuuri rakendamiseks vajaliku voolu tagamine on kriitiline nii ohutuse tagamise seisukohast nii inimesele kui varale. Seetõttu ei saa lubatavaks pidada olukorda, mil filtri lisamise tõttu võiks olla märkimisväärselt tõenäoline kaitseaparaatide kiireks rakendumiseks vajaliku voolu puudumine lühiseolukorras.

Antud asjaolu analüüsiks võime vaadelda fiidrite takistuste väärtuseid, millised on madalpinge-jaotusvõrgus tõenäolisemad. Takistuste väärtuste alusel saame seejärel leida fiidri takistuse koos filtriga ning seeläbi hinnata filtri mõju lühisvooludele.

- Lähtejuhtumil, kui eesmärgiks on tagada lisaks kaitsefunktsioonidele ka hea pingekvaliteet tarbija juures, võib lühisvoolu kordsuse peakaitsme nimivoolu suhtes võtta näiteks 20-kordse väärtuse. Sellisel juhul ei kahane peakaitsme nimivoolu tarbides pinge tarbija liitumispunktis enam kui 5%. Ühefaasilises süsteemis, eeldades peakaitsme nimivooluks 25 A, võib seetõttu rakendada rikkesilmuse takistuse lähtesuuruseks väärtust

$$Z_{Rike} = \frac{E_{võrk}}{I_{nimi} \cdot k_{rike}} = \frac{230}{25 \cdot 20} = 0{,}092\ \Omega$$

- Alused tegelikus võrgus esinevate suuruste osas on võetud Elektrilevi OÜ uurimistööst „Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus" [TTÜ 2017] (vt Tabel 8-4). Selles kirjeldatud stsenaariumid esindavad juhtumeid, kus fiidri takistus on ka kaitseaparaatide seisukohast piiripealsete väärtustega ning seetõttu on seal täiendavalt vaja tähelepanu pöörata fiidrite takistuste väärtustele.

Tabel 8-4. Fiidrite ja liitumispunktide lühisvoolude määramise kontekstis kasutatavad näidis-alusandmed hinnangulise näivtakistuse näitajatega [ELV aruanne].

Kaugeim tarbimiskoht, m	kuni 499	500 … 999	1000 … 1499	üle 1500
Fiidreid kokku	56414	13668	2770	1171
Osakaal fiidrite koguarvust, %	76,2	18,5	3,7	1,6
Fiidri keskmine pikkus, m	253	1006	1692	2627
Keskmine LP max kaugus, m	174	687	1192	1912
Fiidrikaitsme keskväärtus, A	160	79	66	64
Keskmine kaugeima liitumispunkti minimaalne ühefaasiline lühisvool, A	2560	300	157	92
Keskmine kaugeima punkti rikkesilmuse näivtakistus Z_{rike}, Ω	0,09	0,77	1,46	2,5
Paljasjuhtme keskmine osakaal, %	11,8	26,0	54,7	74,8
Õhukaabli keskmine osakaal, %	37,4	49,6	37,1	22,3
Maakaabli keskmine osakaal, %	50,8	24,4	8,2	2,9

Tabelis (vt Tabel 8-4) esitatud suuruste osas on arvutusliku lähtejuhtumi takistus ligilähedane lühikese fiidri rikkesilmuse keskmise takistusega.

8.9.1.2 ELS-FILTRI RAKENDAMISE OHUTUSLIKUD ASPEKTID

Rikkesilmuse takistuse hindamisel filtri rakendamisel tuleks lähtuda järgmistest põhimõtetest:

1) Filtri lisamisel tuleb arvestada, et sagedusselektiivsed omadused sõltuvad eelkõige reaktiivkomponentide väärtustest. Samad induktiivsuste ja mahtuvuste väärtused annavad samad sagedusfiltreerivad omadused, sõltumata koormusvoolu või rakendatud pinge väärtustest. Nii tootmise kui ka kasutamise seisukohast on otstarbekas hoida komponentide väärtused võimalikult väikesed.
2) Jadaühenduses on filtritel induktiivsused komponendid, millele jadaskeemis lisandub aktiivtakistus. On oodata, et aktiivtakistuse väärtus sõltub filtri nimivoolust, st mida suurem on filtri vool, seda väikesem on filtri aktiivtakistus.
3) Eeldades püsivat induktiivsuse väärtust ELS sagedusalas tõhusalt töötavatel filtritel, saab eeldada, et induktiivtakistus on püsiva väärtusega filtri mistahes nimivoolu korral.

Antud seisukohad on olulised sh tugevama vooluga töötavate fiidrite ja liinide filtreerimisel. ELS talitluse huvides on filtreerimine eeskätt liitumispunktiga seotud ahelas, mistõttu

esmane analüüs siin lähtub olmetarbijatega seotud parameetritest. Tugeva vooluga ahelate filtreerimiseks rakendatavate filtrite kaalutlused on esitatud järgmises peatükis.

Rikkesilmuse takistuse hindamiseks ja filtri lisandunud takistuse osa mõjul muutuva lühisvoolu hindamiseks võib siin kasutada suhtelise oodatava lühisvoolu suuruse hindamist, kus:

$$I_{lühis} = \frac{E_{võrk}}{Z_{Rike}}$$

milles filtri lisamisel suureneb rikkesilmuse takistus väärtuseni

$$Z_{Rike+Filter} = Z_{Rike} + Z_{Filter}$$

ning sellest lühisvoolu vähenemise suhteline määr

$$\frac{I_{lühis+Filter}}{I_{lühis}} = \frac{Z_{Rike}}{Z_{Rike} + Z_{Filter}}$$

Et filter lisab ahelasse täiendava jadatakistuse komponendi, siis lühisvoolu väärtus väheneb. Lühisvoolude hinnangud liinidele paigutatud täiendavate filtrite lisamise järel on esitatud all olevas tabelis (vt Tabel 8-5). Filtrite takistuste väärtused on selgitatud katsete tulemustena (vt Tabel 8-1 ja Tabel 8-3). Lühisvoolu vähenemise määratlemisel on eeldatud halvimat juhtumit, mil rikkesilmuse takistuste faasid on identsed ning moodulid liituvad aritmeetiliselt.

Tabel 8-5. Uuringus vaadeldud ELS-filtrite parameetrite mõju lühisvoolude kujunemisele.

Kaugeim tarbimiskoht	**kuni 499 m**	**500…999 m**	**1000…1499 m**	**üle 1500 m**
Keskmine kaugeima punkti rikkesilmuse näivtakistus Z_{rike}, Ω	0,09	0,77	1,46	2,5
Lühisvoolu oodatav väärtus liinil ilma filtrita	2560	300	157	912
Lühisvool ELS filtri Spika Strike rakendamisel (Z_{filter} = 0,037 Ω)	1811	285	154	91
Lühisvool ELS filtri NF71.3-1 rakendamisel (Z_{filter} = 0,016 Ω)	2170	293	156	91
Lühisvool ELS filtri Emikon CPF 2565-4040 või häiringufiltri 10EMC1 rakendamisel (Z_{filter} = 0,020 Ω)	2091	291	155	91
Lühisvoolu vähenemise suhteline määr ELS filtri Spika Strike rakendamisel (Z_{filter} = 0,037 Ω)	0,71	0,95	0,98	0,99
Lühisvoolu vähenemise suhteline määr ELS filtri NF71.3-1 rakendamisel (Z_{filter} = 0,016 Ω)	0,85	0,98	0,99	0,99
Lühisvoolu vähenemise suhteline määr ELS filtri Emikon CPF 2565-4040 või häiringufiltri 10EMC1 rakendamisel (Z_{filter} = 0,020 Ω)	0,82	0,97	0,99	0,99

Lühisvoolu vähenemise suhteline määr häiringufiltri (Z_{filter} = 0,020 Ω)	1811	285	154	91

Lühisvoolude hindamise tulemustest (vt Tabel 8-5) selgub, et filtrid eelkõige vähendavad lühisvoolu väärtust tajutavalt fiidritel, kus rikkesilmuse takistus on madal ning lühisvoolu väärtus suur. Kõikide filtrite jaoks on siin töös kirjeldatud baasstsenaariumi (Z_{rike} = 0,09 Ω) kontekstis lühivool endiselt üle 1,8 kA, mis on piisav lühisekaitseaparaatide viiteta rakendumiseks.

- Lühisvoolu oodatav väärtus kahaneb suhteliselt vähe ning suurima takistusega ELS-filtri rakendamisel on lühisvool ligikaudu 30% madalam, kui ilma filtrita juhtumil.
- Suurema takistusega fiidrite/liinide ja korral filter lühisvoolu väärtust praktiliselt ei mõjuta; oodatava lühisvoolu 300 A või väiksema korral on lühisvoolu oodatav vähenemine kuni 5%.

Arvestades, et probleeme võivad põhjustada eeskätt olukorrad, mil oodatav lühisvool on alla 150 A (25 A peakaitsme korral 6-kordne ülevool), siis nendel juhtudel filtri lisamine lühisvoolu vähenemist ei põhjusta.

8.9.1.3 SUURE VOOLUGA FIIDRITE JA LIINIDE FILTREERIMINE (63 A JA ENAM)

Analüüsi alusena saame konstateerida asjaolu, et filtrite sagedusomadused, sh sagedusest sõltuvad summutusomadused, on määratud peamiselt filtri komponentide induktiivsuste ja mahtuvuste väärtustega. See tähendab, et jadaühenduses ahelasse lisatav induktiivkomponent ning sellega kombineeritud mahtuvuse väärtuse püsides, on võimalik kujundada filtreid väga erinevate võrgusageduslike (50 Hz) vooludega talitluseks. Suurema voolu korral tuleb ahela aktiivtakistust vähendada, mille tõttu väheneb ka vooluühiku kohta esinev kadu.

Katsete tulemusena selgitatud filtrite parameetrite hulgas domineerib selgelt induktiivtakistus, kuna aktiivtakistus on suurusjärgu või enam väikesem induktiivtakistuse väärtusest võrgusagedusel (50 Hz). See tähendab, et suure vooluga filtrite puhul, mille kujundus lähtub madalama aktiivtakistuse saavutamisest, on samuti domineeriv induktiivkomponendi mõju. Seetõttu tuleks tugeva vooluga süsteemides lähtuda induktiivtakistuse väärtusest, mille suurima väärtuse rakendamisel on filtri mõju kontuurile oluline.

Filtri induktiivkomponendi takistus ahelas 50 Hz sagedusel on arvutatav kui

$$Z_{Lfilt} = 100 \cdot \pi \cdot L_{Filt} = 314 \cdot L_{Filt}$$

Fiidri lühisvoolu määramiseks vaatleme rikkesilmuse takistust Z_{Rike}, mida filtri takistus kasvatab

$$\frac{I_{lühis+Filter}}{I_{lühis}} = \frac{Z_{Rike}}{Z_{Rike} + 314 \cdot L_{Filt}}$$

Baassuuruseks saab võtta pingekao nimikoormusel, mille alusel saab määrata ka oodatava rikkesilmuse takistuse.

- Trafode lühiskordaja on tüüpiliselt u_{kr} = 4 … 6%, mis iseloomustab ka pingekadu tühijooksu ja nimikoormuse olukorra võrdluses;
- Eeldame proportsionaalselt samasuurt pingekadu liinil trafo-tarbija;
- Seega siin kavandatud toiteahela pingekao suuruseks Δu_{toide} = 2 u_{kr}.

Rikkesilmuse takistuse leidmiseks rakendame analoogi trafo takistusega

$$Z_{trafo} = \frac{U_{nimi}}{I_{nimi}} \cdot u_{kr}$$

ning ülaltoodut arvestades

$$Z_{rike} = \frac{U_{nimi}}{I_{nimi}} \cdot \underbrace{\Delta u_{toide}}_{=2 \cdot u_{kr}}$$

ELS-filtrite jaoks kriitiliseks näivtakistuseks võiks pidada väärtust, kui filtrile jääks 10 … 20% pingekaost, ning see on proportsionaalne vastavalt ahelas olevate jadakomponentide takistuste väärtusega. Seega kriitiline takistus filtri jaoks oleks siin näites

$$Z_{Filt,max} = \frac{U_{nimi}}{I_{nimi}} \cdot (0{,}2 \ldots 0{,}4) \cdot u_{kr}$$

Selle alusel omakorda lubatav maksimaalne filtri induktiivtakistuse väärtus

$$L_{Filt,max} = \frac{Z_{Lfilt,max}}{314}$$

Jaotusvõrgus on ühefaasilises ahelas U_{nimi} tüüpiliselt 230 V, erinevate fiidrite stsenaariumide arvutus on esitatud tulemustena all olevas tabelis (vt Tabel 8-6).

Tabel 8-6. Suurema vooluga fiidrite jaoks filtri piirinduktiivsuse määramine.

Fiidri pinge U_{nimi}, V	230			
Fiidri vool I_{nimi}, A	63	100	160	250
Trafo lühiskordaja u_{kr}, %	5			
Rikkesilmuse takistus Z_{Rike}, Ω	0,37	0,23	0,14	0,09
Filtri suurim takistus $Z_{Filt,max}$, Ω	0,055	0,035	0,022	0,014
Filtri suurim induktiivsus $L_{Filt,max}$, mH	0,17	0,110	0,069	0,044
Oodatav ühefaasiline lühisvool filtrita $I_{k,alg}$, A	630	1000	1600	2500
Oodatav ühefaasiline lühisvool filtriga I_{k+Filt}, A	550	870	1400	2200
Lühisvoolude suhe	0,87			

Antud näites on fiidri/liini lühisvoolu vähenemise ulatuseks tänu filtri lisamisele u 13%. Selline muutus võib olla aktsepteeritav, kuid tuleks iga liini/fiidri puhul tähelepanu alla võtta.

Piirinduktiivsuste suurused on toodud fiidri nimivoolu kuni 250 A korral, millise puhul on filtri suurim aktsepteeritav induktiivsus 0,044 mH. See on suhteliselt lähedane siin töös vaadeldud ja katsetatud ELS-filtrite induktiivsuste väärtustele, milliste puhul NF71.3-1-tüüpi filter oli induktiivsusega 0,052 mH (vt Tabel 8-1). See tähendab filtri teatud määral ümber kujundamist, kuid põhimõtteliselt saaks filtri koostada väga lähedase väärtusega induktiivsusega komponentidest.

Kui suuremate voolude puhul on oodata maksimaalse induktiivsuse täiendavaid piiranguid, siis tegelikult on antud topoloogiaga filtrite jaoks võimalik ka väikesema induktiivsuse väärtusega sarnaste sagedusomaduste saavutamine, kasvatades filtris oleva kondensaatori väärtust.

Lühisvoolukriteeriumidest tulenevat suurima induktiivsuse väärtust oleks potentsiaalselt võimalik kasvatada, juhul kui kasutada saaks liigvoolude korral küllastuvaid induktiivkomponente. Selliselt oleks võimalik suurema vooluga töötavaid ELS-filtreid ehitada praktiliselt siin töös leitud induktiivsuse väärtusega. Seevastu pingekvaliteedi seisukohast ei ole ilmselt mõtet induktiivsust siintoodust suuremana ahelasse kaasata, vastasel juhul kujuneks fiidri pingekadu liialt suureks.

8.9.1.4 JÄRELDUSED

Uuritud filtrite üldised parameetrite analüüs osutab, et filtrite rakendamine ei ole üldiselt kriitiline rikkesilmuse näivtakistuse suuruse defineerimise seisukohast. Siin saab tugineda tüüpilistele Elektrilevi OÜ jaotusvõrgus olevate liinide ja tarbijate juures oodatavate lühise takistuste väärtustele.

Filtrite juures kujundab suure osa filtri näivtakistusest tema induktiivtakistuse väärtus, mis on vältimatu tema sageduslike omaduste (sh sumbumusteguri väärtus teatud sagedusel) määrajana. Erineval nimivoolu väärtusel saab kasutada põhimõtteliselt samade induktiivsuse ja mahtuvuse väärtustega komponente. Kuigi suurema vooluga filtritel on nende aktiivtakistuse väärtus, milline on nende filtrite suurimate koormusvoolude taluvuse määraja, oluliselt madalam, siis induktiivtakistuse väärtuse muutmine on mõnevõrra keerulisem, kuna sellest hakkavad sõltuma otseselt ka filtri sagedusomadused. Seega:

- Filtri koormusvoolutaluvus on määratud tema aktiivtakistusega (ning samas ka ferromagnetmaterjali küllastumispiiriga);
- Filtri sagedusomadused on määratud tema jadainduktiivsuse ja pikimahtuvuse väärtusega.

Katsetatud filtrite näivtakistuse väärtused olid sellised, milliste korral ei ole näha, et ohutuse seisukohast võiks nende lisamine ahelasse põhjustada kaitseaparaatide töö tingimuste muutumist. Nendel liinidel, millel võiks esineda probleeme kaitseautomaatide rakendumisega, on rikkesilmuse takistuse suur väärtus tingitud juba muudest parameetritest, ning sellisele takistuse väärtusele filtrite takistuse lisamine olulist muutust ei too.

8.10 KOKKUVÕTE

Katsetel määratud filtrite takistused (nii aktiiv- kui näivtakistus) on suhteliselt väikesed, võrreldes näiteks trafo ja liini takistustega, ja selliselt oodatavalt ei too kaasa olulist mõju lühisvooludele. **Filtrite aktiivtakistused on võrreldavad kaitsmete takistustega.**

Kuna filtrite sagedusomadused on määratud peamiselt läbi filtri komponentide induktiivsuse ja mahtuvuse parameetritega, siis saab samasuguse X_L väärtusega filtreid

rakendada ka kõrgematel koormustel. Seetõttu ei ole probleemiks ka suhteliselt suurte voolude jaoks filtrite ehitamine.

Vaadeldes filtri parameetreid (sh induktiivsuse ja mahtuvuse väärtuseid), on nende ehitus küllalt optimaalne ning sumbumustegur ELS-süsteemide talitluse seisukohast väga hea ja enamjaolt sobilik.

- Filtrite sageduskarakteristikud on selektiivsed ja sobilikud ELS-sagedusala tõkestamiseks. Filtrite mahasurumisvõime sagedustel 50 … 90 kHz on rohkem kui 100x, seetõttu on need filtrid sobilikud ka kõrge müratasemega paigaldiste filtreerimiseks. Kõrgematel sagedustel (100 kHz ja üles) on siiski oodata filtri tõkkeomaduste nõrgenemist.
- Parameetreid, mille valikut peaks täpsustama ning mille optimeerimist täiendavalt võiks tingimata vajalikuks pidada, üldises plaanis näidata ei ole, ning nende parameetrite optimeerimine jääks pigem paigaldisest tingitud üksikasjadega määratletuks.

Suurema koormuse filtrite ehitamise ja saadavuse praktika on hea, EM-mürade filtreerimiseks sagedustel 150 kHz ja üles on mitmeid filtrite tootjaid (sh Schaffner, TDK jpt), kelle tootevalikusse kuuluvad ka üle 200 A nimivooluga, madalpingevõrguga ühendamiseks sobilikud EMI-filtrid. Samuti on tootjate andmetel ka ELS-filtreid, mille nimivoolud ületavad 100 A.

Tuleb silmas pidada, et filtrite vajalike sagedusomaduste määratlemiseks on kriteeriumid tuletatud toodete endi EM-emissiooni ja häiringukindlust silmas pidades. EM-häiringufiltrite sobilikku valikut pakuvad tootjad sageli soovituslikena koos oma toodetega. Seetõttu antud filtrite kontekstis on EM-mürade (näiteks mürarikaste seadmete juures – inverterid, sagedusmuundurid) ikkagi tüüpiliselt vaja rakendada kahte filtrit korraga:

- ELS filtrit sagedustel kuni 150 kHz, asümmeetrilise müra filtreerimiseks;
- EMI filtrit sagedustel üle 150 kHz, sümmeetrilise ja asümmeetrilise müra filtreerimiseks.

Optimaalsema filtreerimislahenduse raamistikus võiks filtrite tootjatega täiendavate, ELS ja EMI kombineeritud filtrite arendamise arutelu algatamise, mis võiks aidata kaasa TKK keskkonnas töötavate seadmete võrguühenduste filtreerimiseks ühe filtriga.

9. ELEKTRILEVI OÜ POTENTSIAALSETE SIDETEHNOLOOGIATE ANALÜÜS

Andmesidetehnoloogiate valik on infrastruktuuriettevõtete jaoks keeruline ja kriitiline valik, kuna peab teenindama suurt hulka seadmeid/kliente ning seda eeskätt väikese hooldusvajadusega läbi kümnete aastate. Valitud tehnoloogia peab tagama järjest erinevamate teenuste vajaduste katmise. Elektrienergia tarbimise arvestite näitude lugemine on osutunud juba praegu funktsiooniks, millise töökindlus peab olema väga kõrgel tasemel; on oodata, et tulevikus taolisi jaotusvõrguettevõtete jaoks kindlalt toimivaid teenuseid lisandub. Seetõttu tuleb arvestada, et valitud andmeside tehnoloogiatele oleks omane paindlikkus kuid samas universaalsus

- Teenuse lisamine ei tohi katkestada juba käigusolevate teenuse toimimist;
- Teenuse katsetamine ei tohi katkestada muude teenuste toimimist;
- Teenused on eeldatavalt teostatud väga erinevate tootjate seadmete poolt.

Elektrilevi OÜ näitel on elektriliini-side (ELS) kasutuses elektrienergia tarbimise arvestite näitude edastamiseks. See on tüüpiline laiendatud mõõtmisfunktsioonide infrastruktuur (ik *AMI* – advanced measurement infrastructure), milline on osa nn jaotusvõrgu tarkadest funktsioonidest. Selliste funktsioonide omaduseteks on, et kuigi need pigem ei ole jaotusvõrgu talitluskindluse seisukohast kriitilise rolliga, on nõuded nende töökindlusele järjest kasvavad, et tagada kõrge teenuse kvaliteet. Väike andmemaht ja tolerants andmeedastusvigadele ja viidetele võimaldavad ühest küljest odava andmesideinfrastruktuuri rajamist. Teisalt, on sellise süsteemi probleemiks suhteline jäikus, mistõttu täiendavate funktsioonide võimaldamiseks tuleb sageli ehitada üles täiesti erinev andmesidevõrk. Eraldi võrkude ülevalpidamine ei ole ei kuluefektiivne ega ka üldjuhul töökindel, sest vajalik kvaliteetne teenus on tagatud ainult juhul, kui kõik funktsioonid töötavad.

Antud peatüki kokkuvõttena võib välja tuua järgmist:

1) Kuigi antud hetkel ELS süsteem on töökorras ja täidab talle ettenähtud funktsioone, siis ei ole ta ilmselt piisavalt paindlik tulevikuvaates. Otstarbekas on ehitada tuleviku andmesidevõrgud välja tehnoloogial, mis võimaldab paindlikkust.
2) „Uuema" andmesidetehnoloogia kasutuselevõtt saab toimuda mh selliselt, et varasem tehnoloogia jääb tööle uue ülesseadmisest sõltumatult.
3) Andmesidekindluse aspektidest ei ole universaalset lahendust, kuid arvestada tuleks teatud kriteeriumidega, mille abil otsustada sobiva lahenduse kasuks. Eesmärgiks peaks olema erinevate tehnoloogiate täpne ja ühetaoline ühendumine kommunikatsiooniprotokolli kõrgemal tasemel.
4) Turul on lähitulevikus leida lahendusi, millised võimaldavad suhteliselt madala hinnaga saavutada paindlikkuse funktsioonide ja andmevahetustehnoloogiate vahel.

Elektrilevi OÜ seisukohast perspektiivsena saab välja pakkuda lahenduse, kus

- Jaotusvõrgus seatakse üles **suurema andmeedastuskiiruse ja mürakindlusega ELS-süsteemid**, millega asendatakse olemasolev ELS-süsteem.
- Kaug-andmesidelahendustes tuleks liikuda 2G/3G mobiilsidelt LTE NB-IoT ja LTE-M andmeside-lahendustele.

Suurema võimekusega ELS-süsteem võimaldaks käivitada tarkvõrgu-funktsioone ja pakub tuge uuenduste sooritamiseks ELS-võrgu komponentidele. Perspektiivsete mobiilsidelahenduste komponendid ja teenusvõrk on käesoleval hetkel (2020) välja arendamisel, mistõttu on otstarbekas oodata ära komponentide ja teenusepakkujate mitmekülgsus, millega väheneb ka hinnatase.

9.1 OOTUSED ANDMESIDETEHNOLOOGIATELE

Eranditult kõik aruanded ja uuringud viitavad energiatõhususe eesmärkide tõstmiseks kõrgemal määral IT-vahendeid ja nn targa võrgu funktsioone kasutavaid jaotusvõrke. Kuigi tulevikutrendid on keeruliselt ennustatavad, võib hinnata, et siiamaani välja pakutud lihtsamad funktsioonid hakkavad järjest enam levima. Peaaegu eranditult vajavad sellised teenused andmeside kasutamist, kuigi nõuded andmevahetusele võivad oluliselt erineda [SG1]. Nendeks on näiteks:

- infrastruktuuriteenuste kasutuse hindamise jälgimine (sh elektrienergia arvestite näitude lugemine);
- klientide endi tarvitite talitluse ja energiatarbimise juhtimine;
- klientide energiasalvestite ja elektriautode energiatarbimise juhtimine;
- küttegraafikute seadmine ja kütte ajastamine;
- valgustuse juhtimine jms.

Alljärgnevalt on loetletud näitena hinnang erinevate tarkade funktsioonide ja teenuste nõuetele andmevahetuse kontekstis [LPWA].

Tabel 9-1. Näiteid tarkadest funktsioonidest ning nende vajadustest ja nõuetest andmesidele [LWPA].

Teenus / funktsioon	Edastuskaugus	Andmemaht	Energia-säästlikkus
Õhu kvaliteedi monitooring	Kõrge	Madal	Kõrge
Veekasutuse arvestite lugemine	Kõrge	Madal	Kõrge
Energiatarbimise arvestite lugemine	Kõrge	Madal	Keskmine
Maagaasi tarbimise arvestite lugemine	Kõrge	Madal	Kõrge
Hooneautomaatika juhtimine	Keskmine	Madal	Keskmine
Kütte juhtimine	Keskmine	Madal	Keskmine
Arukad liiklussüsteemid	Keskmine	Keskmine	Madal
Parkimise korraldamine	Keskmine	Keskmine	Kõrge
Tänavavalgustuse juhtimine	Kõrge	Madal	Kõrge

Uute andmesidevõrkude planeerimisel, võttes arvesse iga tehnoloogia ülalpidamisega kaasnevaid kulusid ja ressurssi, tuleks silmas pidada seda, et kord juba töötavale andmesidevõrgule saaks liita juurde uusi funktsioone. Seepärast on kindlasti vajalik kaaluda täiendava funktsionaalsuse juhtimiseks olevaid võimalusi.

Antud hetkel on Elektrilevi OÜ ELS seatud tööle primaarse eesmärgi energiatarbimise arvestite näitude edastamiseks. Sarnaselt on investeeringuid ELS andmesidetehnoloogiate kasutuselevõtuks, eesmärgiga peaaegu monofunktsionaalselt arvestite näitude lugemiseks, teinud lugematud jaotusvõrguettevõtted. Arvestades selleks rakendatud ja ka tulevikus rakendatavat ressurssi, tuleks tulevikukindlad nn tarkade funktsioonide andmesidevõrgud kavandada selliselt, et ühe võrgu abil oleks võimalik teostada võimalikult paljud eeldatavad funktsioonid.

Täiendavalt tuleb tehnoloogia pikaajalisusega seoses esile tõsta erinevate tarkvaraliste uuenduste roll, sh arvestite tööd ja andmesidesuhtlust korraldava tarkvara uuendamise vaates. Küberturvalisuse rolli, nõuete ja turvameetmete arenedes on kaug-uuendamisega võimalik operatiivselt tõsta seadmete vastavus uusimatele kaitsenõuetele ning parandada turvaauke, samuti avastada funktsionaalseid probleeme. Tarkvara uuendamise võimekus saab toimuda ainult võrgus, milles on:

- piisav läbilaskevõime, et igale arvestile või lõppseadmele tagada oma tarkvara, mille andmemaht on oluliselt suurem arvesti näitudest;
- piisav töökindlus, et uuendatava tarkvara mahus saadetav andmehulk jõuaks kohale kindlalt ning piiratud ajaga.

Selleks tuleb tagada märkimisväärne andmesidekiirus, samuti sidekindlus.

9.2 SIDE KRIITILISUSE ASPEKTID

Jaotusvõrgu erinevate punktide/komponentide omavahelise andmevahetuse tagamist võib käsitleda erinevates alamlõikudes:

1) Missioonikriitilisus – andmeside peab olema edukas kontekstis, kus kindlalt võimaldab kanda andmed üle ühest punktist teise. Tavaliselt on sellise kriteeriumi juures ka ooteaeg, mille jooksul andmed peab olema võimalik kadudeta üle kanda.
2) Ajakriitilisus – andmeside peab olema igal ajal võimalik, väikese viitega e latentsusega. Näiteks jaotusvõrgu talitlust tagavate kriitiliste komponentide juhtimisel ei tohi olla viiteid ega sidekatkestust; andmeside kaasabil peab selguma operatiivjuhtimise seisukohast ka süsteemi olekust piisav info jaotusvõrgu juhtimiseks.

Elektrijaotusvõrkude seisukohalt on talitluse jälgimine ja juhtimine väga kriitiliste ajaliste ja sidekindlusparameetritega nii teenuse (so elektrienergiaga varustatuse tagamine, elektrienergia ülekanne võrgu kaudu lõpptarbijani ja lõpptarbijalt võrgu muusse punkti) tehnilise kvaliteedi seisukohast (sh pingetase, elektrivarustuse pidevus) kui ka ohutuse tagamiseks. Nimetatud tunnused on kõrgeimad prioriteedid ning väärivad eraldi süsteemseid lahendusi sh sidelahenduste küsimustes.

- Elektrijaotusvõrgu talitluse (operatiiv)juhtimine kvaliteetse võrguteenuse tagamiseks on elektrijaotusvõrgu ettevõtjatele seatud kohustus, vt MKM määrus „Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral".

Teise äärmusena võib näitena tuua mõne komponendi vananemisest tingitud olekuinfo vaate. Sellise info maht on väike ja seda võib edastada (näiteks) kord päevas. Et olekuinfo ei muutu ajas oluliselt, siis ei ole ka probleemiks erinevate andmete kadu – järgmine päev edastatakse uuesti ja kesksüsteem jälgib suurema arvu teadete kumuleerumist.

- Elektrijaotusvõrgu komponentide olekuinfo järgimine on ettevõtte edukaks tegevuseks vajalik funktsioon, kuid ei ole antud hetkel kohustuslik.

Jaotusvõrgus klientide elektrienergia tarbimisandmete edastamine paikneb rollina kusagil vahepeal, mille tulemusena see on küll suhteliselt kõrge prioriteediga, kuid selline tegevus ei ole otseselt seotud teenuse tehnilise kvaliteedi ega ohutusega. Samas on andmemaht märkimisväärne ja peab olema kadudeta, st kinnitatud päritoluga ja tõene.

- Elektrijaotusvõrgu elektritarbimise andmete kogumine ja edastamine on elektrijaotusvõrgu ettevõtjatele „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskirjaga" seatud kohustus (§29, 1-6).

Tulevikku vaadates saavad suuremat rolli omama jaotusvõrkude klientide tööd ja talitlust juhtivad nn targa võrgu funktsioonidega süsteemid ja neid funktsioone võimaldavad komponendid (sh salvestusseadmed, tarvitite lülitus- ja reguleerimisseadmed jpt). Selliste seadmete andmesidele esitatavad nõuded võivad olla samuti väga kõrged, kuid siin tuleks neid käsitleda kui eraldi rolliga osa jaotusvõrgu talitluse seisukohast.

- Elektrijaotusvõrgus klientide paigaldistes olevate süsteemide juhtimine on kliendi optimaalsemaks tegutsemiseks vajalik funktsioon, kuid ei ole antud hetkel kohustuslik.

Jaotusvõrguettevõtte jaoks on prioriteediks tagada funktsioonid, millised on neile seatud seadusega kohustuseks.

9.3 ANDMEEDASTUSKIIRUS JA ANDMESIDEKINDLUS

Üks kanali sidekindluse saavutamise näide on kviteeringu (acknowledgement) alusel pakettide uuesti edastamine. Andmete edastaja saadab välja paketi, millele oodatakse kviteeringut – kinnitust (ACK). Viimase tulemata jäämise korral saadetakse pakett uuesti. Vastuvõtja võib samuti teatada, et pakett on vigane või ei ole kohal (NOACK). Sellisel põhimõttel töötab ka näiteks Elektrilevi OÜ poolt kasutatav ELS, samuti TCP/IP. Alternatiiv kviteeringule, andmekao vähendamiseks kuid mitte vältimiseks on pakettide korduvedastamine arvul, milline vastab oodatavale sideedukusele. Siin jääb alles võimalus, et mõne paketi edastamine ikkagi ebaõnnestub, ning saatja ei tea sellest. Kviteeringuga andmevahetuse eelduseks on operatiivne kahesuunalise sidekanali kasutamine.

TCP/IP näide: andmete edastamine võib toimuda väikesema ajavahemiku jooksul, kui kulub aega andmete kohalejõudmiseks vastuvõtjani. Kviteeringu ootamine tähendaks, et kanalis andmevahetus on seisatud kuni kviteeringu saabumiseni ja kanali hõivatus oleks madal. Kanali ressursi tõhusamaks kasutamiseks saadetakse paketid teele suuremal hulgal, ning alles seejärel oodatakse neile kviteeringut.

Kanali kvaliteedi kahanemisel kulub suurem ressurss pakettide edastamisele. Pakettide sihtkohta mittejõudmisel või edastusel riknemise korral kulub kanali andmesidemaht ajaühikus pakettide uuesti saatmiseks. See tingib ka kasutatava reaalse andmesidekiiruse (NB! andmesidemaht ajaühiku kohta) vähenemise. Seetõttu on kanali kvaliteedi nõrgenemise üks tunnuseid kanali reaalsete andmesidekiiruste kahanemine.

Arvestitest edastatavaid elektritarbimise andmeid tuleb käsitleda kui kindlaid ja terviklikku ülekannet vajavaid andmeid. Vaatleme konteksti, kus päeva jooksul on vaja arvestitest lugeda teatud mahuga andmed. Andmeedastuskanalile esitatavad kvaliteedinõuded kasvavad tingimustes:

1) Kanali reaalne andmeside maht päeva jooksul kahaneb päevase loetava andmemahuni. Mistahes sidehäired võivad tähendada andmete kadu.
   Millest on tingitud: kanali häirumine, seadmete rikked, kanali piiratud andmeedastuskiirus, täiendav andmemahu kasv

   Kuidas lahendada: kanali andmeside hetkkiiruse kasvatamine, häirete vähendamine.

2) Kanali ajalise saadavuse piiratus tingib andmeside reaalse andmesidekiiruse kahanemise pikemas ajavahemikus.
   Millest on tingitud: kanal on häiritud pikka aega, teised osapooled kanalil.

   Kuidas lahendada: kui kasutada on suure andmeside hetkkiirusega kanal, siis seda saab kasutada lühema aja jooksul.

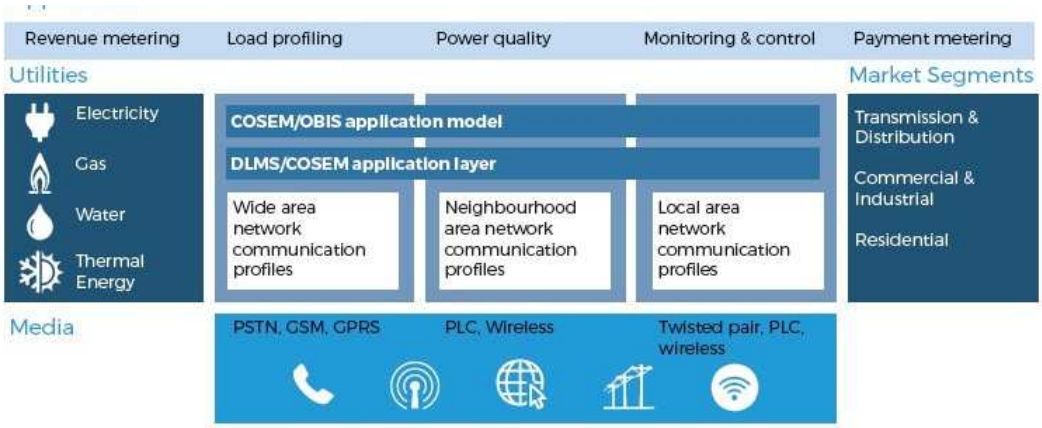
Kanali töökindluse kriitilisuse telje vaates, andmete edastuskindluse nõue kasvab, kui kasvab andmemaht ja kui andmete uuesti saatmine ei pruugi olla võimalik.

Elektrienergia tarbimise arvesti näitude lugemine üksikust arvestist on väikese andmemahuga. Selleks võib tarvitada suhteliselt aeglast kanalit, sh EVS-EN 50065 – standardile vastavat ühendust (näiteks Elektrilevi OÜ võrgus). Nõuded suuremale andmemahule kasvavad mitmete arvestite andmete edastamise vajadusest.

9.4 DLMS/COSEM

Tarkvõrkudes toimuva andmevahetuse seisukohast on välja pakutud kümneid kui mitte sadu erinevaid andmevahetustehnoloogiaid, -printsiipe, -süsteeme ja kasutusjuhtumeid, milliste omaduste, vajaduste ja võimete spekter katab ilmselt kogu maailmas olemasolevad kommunikatsioonilahendused. Suur hulk uuringuid ja alusdokumente seab seepärast eesmärgiks tagada erinevate süsteemide vahelise toimivuse (ik *interoperability*), et võimaldada vahetada teateid ja infot kõrge andmesidekindluse tasemega.

Olukorras, kus eri sidetehnoloogiad konkureerivad omavahel turupositsiooni pärast, on sihiks seatud see, et teatud tasemetel tagavad erinevad lahendused samasuguse „teenuse", ehk andmete edastamise teatud formaadis, kahe punkti vahel, teatud kiiruse ja ajaga. Eri sidetehnoloogiate füüsiliste kihtide (signaalide ja pakettide moodustamise), või üldisemalt transpordikihtide, reeglistikud on sügavalt eri alustel ja nende omavahelist toimivust ei ole praktikas ratsionaalne arendada. Samas lähtudes rakenduste infovoogude korraldamisest, on kõrgemal tasemel oluline peamiselt info sihtkoht oma aadressiga, info lähtekoht oma aadressiga ning infosõnumiga edastatava info sisu (vt Joonis 9-1). Seepärast sihitakse sidetehnoloogiate vastastikuse toimivuse reguleerimisega kõrgemaid andmesidekihte.

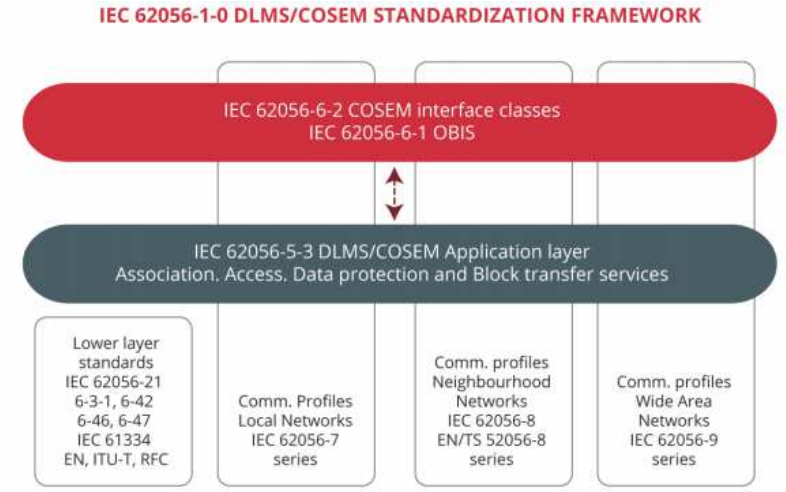


Joonis 9-1. DLMS/COSEM eesmärgiks olev toimivuse tagamise üldskeem [dlms.com].

Vastastikuse toimivuse näiteks võib tuua internetiühenduse, milles rakenduse tasemel (nt Skype) on võimalik suhelda erinevate seadmetega, mis on ühendatud kas kaabliga (füüsiline kiht 802.3 Ethernet), traadita kohaliku võrguga (füüsiline kiht 802.11b WLAN), andmesidevõrguga (LTE mobiilside). Madalamal tasemel ei ole mõistlik näiteks juhtmega ja juhtmeta tehnoloogiaid ühendada; sellistel meediumi tasemetel on näiteks teemaks tagada tagasiulatuv ühilduvus (802.3: 10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T). Samas rakenduse tasemel ei ole mingit vahet, millist meediumit miski kasutab, ja rakendus (antud näiteks Skype) ei vajagi eraldi osi, millised oleksid ette nähtud teatud meediumis andmevahetuse korraldamiseks.

Vastastikuse toimivuse tagamiseks kõrgemats kihtides on tarkvõrkude andmevahetuse vajaduste kontekstis välja töötatud DLMS/COSEM (IEC 62056, EN13757-1) (vt Joonis 9-2). See on üldine standardite grupp, mis defineerib tarkvõrgu(tehnoloogiate) jälgimise, juhtimise ja haldamise süsteemi. See koosneb objekti-põhisest mudelist, rakenduskihi protokollist ja nende liidestamise komponentidest, millega seotakse meediumi eripärasid arvestavad vahekihid. Selle olulisimad komponendid on:

- COSEM (Companion Specification for Energy Metering) on objekte kirjeldav mudel;
- OBIS (Object Identification System) on süsteemi osade kirjeldaja;
- DLMS (Device Language Message Specification) on rakenduskiht, mille ülesanne on objektide poolt omatava info teisendamine ülekantavates sõnumites.



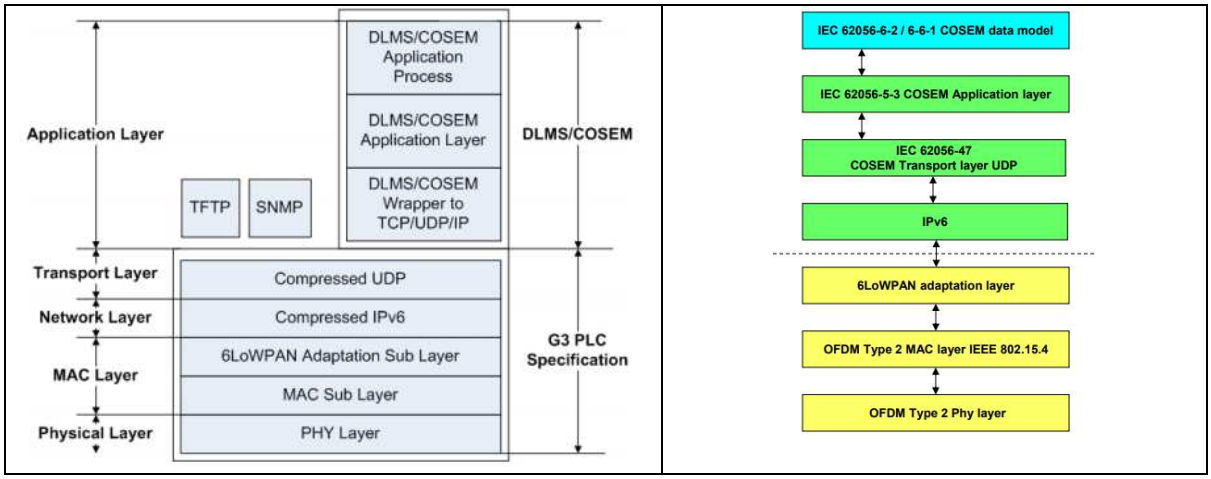
Joonis 9-2. DLMS/COSEM standardite struktuuri üldiseloomustus [dlms.com, certsi]

DLMS/COSEM kasutab klient-server mudelit, mis sobitub mh arvestite ja kontsentraatorite andmevahetuse kirjeldamiseks. Rakenduskihi eesmärgiks on tagada ülekandemeediumist/ transpordikihist sõltumatu, kuid samas kaasab komponente, millega optimeerida meediumi-spetsiifiliselt andmevooge.

Andmeside seisukohast pakub DLMS/COSEM välja kõrgemate kihtide vahendid (nn *stack*), millega võimaldada andmeside korraldust viisil, et tagada erinevate madalama taseme kihtide teineteisega sobituvus ja ühetaoline käsitlus. Madalama taseme kihid on siin tähenduses need, millised korraldavad andmevahetust füüsiliste signaalide, andmepakettide ja esmase tehnoloogiaspetsiifilise võrgutopoloogia korraldamisega (sh võrgusõlmede omavaheline vahetu suhtlemine). Kõrgema taseme andmevahetusprotokolli osad on sama kirjeldusega, võimalikult suurel määral sõltumatuna madalamal tasemel toimuvast spetsiifikast, ning see kirjeldus on antud DLMS/COSEM standarditega.

DLMS/COSEM kommunikatsiooniprofiilid kirjeldavad erinevatele sideprotokollikihistutele (stack) seosed madalama taseme kihtide reeglistikega. Selliste kommunikatsiooniprofiilidega toetatavad madalama taseme tehnoloogiad on näiteks:

1) Klassikalised tehnoloogiad
    - RS232 / RS485;
    - Mobiilside nt GPRS;
    - IPv6, IPv4, TCP ja UDP;
2) ELS füüsilist kihti kasutavad tehnoloogiad
    - S-FSK PLC;
    - G3-PLC koos UDP/ IPv6;
    - Prime PLC ilma IP-ta, koos IPv6, IPv4, TCP ja UDP;
3) Tööstuslikud andmesidetehnoloogiad
    - M-Bus, juhtmega ja juhtmevaba;
    - Mesh-võrgud läbi IPv6 ja 6LowPAN;
    - arenduses on näiteks Wi-SUN ja NB IoT.



Joonis 9-3. Näide DLSM/COSEM protokollikihtide rollist G3-PLC sideprotokollikihistus [Dev mon man th] ning seda kirjeldavad standardid [DLMS__EU M-441].

ELS toimivuse ja kasutatavuse seisukohast, samuti tagamaks erinevate tootjate/pakkujate tehnoloogiate samaväärse ning samade arenduskulude tasemega, on otstarbekas kasutada tehnoloogiaid, millel on selge DLMS/COSEM tugi. See hõlbustab ka erinevate rakenduste ja rakendusstsenaariumide arendamist ja kasutamist; turul olevad ja tulevikus turule järjest enam jõudvad nn tarkvõrgurakendused saavad sellisel juhul pruukida juba välja ehitatud andmesidevõrke.

1) Eesti ja Euroopa standarditena on antud hetkel saadaval järgmiste ELS-tehnoloogiate DLSM/COSEM spetsifikatsioonid

   EVS-EN 62056-8-3:2013. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite -- Part 8-3: Communication profile for **PLC S-FSK** neighbourhood networks.

   EVS-EN IEC 62056-8-4:2019. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 8-4: Communication profiles for narrow-band **OFDM PLC PRIME** neighbourhood networks.

   EVS-EN 62056-8-5:2017/AC:2018. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 8-5: Narrow-band **OFDM G3-PLC** communication profile for neighbourhood networks.

   EVS-EN 62056-8-6:2017. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM Suite - Part 8-6: High speed PLC **ISO/IEC 12139-1** profile for neighbourhood Network.

   Märkus: ISO/IEC 12139-1 on standard, mis kirjeldab Lõuna-Koreas kasutatava ELS-süsteemi füüsikalist kihti.

2) CENELEC standarditena on saadaval

   CLC/TS 52056-8-7:2015. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 8-7: **AMC-SS PLC** communication profile for neighbourhood networks

CLC/TS 50568-8:2015. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 8: **SMITP B-PSK PLC** communication profile for neighbourhood networks - Including: The Original-SMITP PLC B-PSK communication profile, The Original-SMITP Local data exchange profile and The Original-SMITP IP communication profile.

3) IEC standardina on saadaval

IEC TS 62056-8-20:2016. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 8-20: **Mesh** communication profile for neighbourhood networks

Märkus. Siin loetelus on esitatud andmesidetehnoloogiad paksus kirjas ja alla joonitult. Loetletud erinevate tehnoloogiate tutvustused on esitatud alljärgnevates peatükkides.

Elektrilevi OÜ jaoks on DLSM/COSEM edasiarendustes oluline tarkvõrgu-funktsioonide, sh arvestite kauglugemise seisukohast. DLSM/COSEM standarditele vastavat ning juba välja ehitatud ELS või muul tehnoloogial andmesidevõrku saaks rakendada täiendavateks tegevusteks ja ülesanneteks, mis tagaksid uued funktsioonid ka kliendile või ettevõttele, ilma madalamate kihtide täiendava arendustööta.

9.5 ELS ANDMESIDEMEEDIUMINA

Elektrijaotusvõrgu ettevõtete jaoks on elektrienergia edastamine kliendile teostatud möödapääsmatult tugevate elektrijuhtide abil. Need on füüsiliselt paigaldatud ühendusliinid, millised on kliendiga ja kliendi tarvititega ühendatud igal juhul. Sellised liinid primaarse funktsioonina ei ole üles seatud andmesideks, kuid ELS tehnoloogiaid kasutades on võimalik edukas andmete ülekandmine. ELS vaieldamatu eelis on see, et jaotusvõrgu liinid ühenduvad kõikide arvestitega. See tähendab ka suhteliselt madala kuluga (kui jätta välja filtrite hind, siis praktiliselt lisakuluta) potentsiaalset füüsilist andmesideühendust iga jaotusvõrgus kasutusel oleva arvestiga.

ELS süsteemid on olnud tuntud juba 1920. aastatest, ning on kasutuses väga erineva ulatusega (näiteks kodus: kaugus 50 m; jaotusvõrgus: kaugus 1 km) võrkude kontekstis. ELS süsteemide arendajaid ja väljatöötajaid on mitmeid, teisalt on ka rida standardeid, mis ELS süsteeme kirjeldavad. Siiski, ka tänasel päeval toimuvate arenduste kontekstis tuleb märkida arendus-organisatsioonide tööd, millised on seadnud omi reeglistikke.

Elektrilevi OÜ poolt rakendatud ELS süsteem kuulub 1. põlvkonna ELS-süsteemide hulka, milliseid iseloomustas kitsas sagedusriba, lihtne kandevsignaali modulatsioon ning suhteliselt madalad andmesidekiirused (kuni 2400 b/s). Kui ELS tehnoloogiate juures on samuti mainitud 2. ning 3. põlvkondade süsteemide juurutamist, siis ootuspäraselt parandavad ka vastavate järgmiste tehnoloogiate arendused süsteemi, vähemalt parameetrites, eelmiste põlvkondade puudused. Elektrilevi OÜ poolt kasutatav süsteem on tuntud kui PLAN, täiendavalt on 1. põlvkonna süsteemideks OSGP ning SMITP.

2. põlvkonna ELS kitsaribalised süsteemid rakendavad kiiruseid kuni 1 Mb/s ja kasutab selleks multi-kandevsageduste süsteemi, OFDM-modulatsiooni. Sagedusriba on tüüpiliselt

alla 500 kHz. Sellised süsteemid on täiendavalt saanud sageli ka robustsete töötingimuste funktsioone, mis sobivad väga müraste liinide kasutamisel andmete ülekandmiseks. 2. põlvkonna kitsaribalised ELS sidesüsteemid on näiteks PRIME, G3-PLC, G.hnem, AMC-SS.

3. põlvkonna ELS laiaribalised süsteemid seavad eesmärgiks tagada andmesidekiirused, mis ulatuvad 100 kb/s kuni 1 Mb/s suurusjärku. Sellised süsteemid töötavad tänu laiema sagedusriba vajadusele, kõrgematel kandevsagedustel, millised ulatuvad 1 MHz ülespoole.

NB! ELS tehnoloogiad ei ole mitte ainult jaotusvõrkudes ja pikkadel madalpingeliinidel kasutatavad, vaid käsitletakse ka süsteeme, mis on näiteks paigaldise- või sõiduki-põhiseid (sh tarbija enda kodu-ELS). Viimastes on kasutuses eeskätt laiaribaline ELS, ning eesmärkideks muuhulgas väga suur andmesidekiirus.

ELS funktsioone ja tööd reguleerivad erinevad rahvusvahelised standardid kuid ka suuremate arendajate juures toimivad mitteriiklikud liidud (*alliance*). Rahvusvaheliste standarditega reguleeritud ala silmas pidades tuleb rõhutada, et

- Eesti kontekstis on olulisimad eelkõige Eestis kehtivad EVS-EN standardid, ning IEC standardid.
- Muud standardiorganisatsioonid ei ole sedavõrd otsese sisendi andjad: Rahvusvaheline Telekommunikatsiooni Liit (ITU), Euroopa Telekommunikatsiooni Standardite Instituut (ETSI), Rahvusvaheline Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut (IEEE) jt on ametlikud ning üldkasutatavate standardite väljatöötajad.
- Arendajate juures tegutsevad liidud (*alliance*'d) on sõltumatud organisatsioonid ja nende standardiseerimis-spetsifitseerimistegevus ei ole reguleeritud ning võib olla seotud spetsiifilise litsentseerimise- või koostöölepperaamistikega.

9.5.1 ELS KANDEVSAGEDUSED JA SIGNALISEERIMISTASEMED KÕRGEMATE PÕLVKONDADE ELS SÜSTEEMIDES

ELS uuemad arendused arendatud sihiga olla töökindlamad, kui algne sagedusmodulatsioonil töötav tehnoloogia. Töökindluse saavutamiseks rakendatakse täiendavaid meetodeid, multikanalilistest süsteemidest kuni laiaribalise modulatsiooni kasutamiseni. Eeldusena on esile toodud, et kõrgemal sagedusel on jaotusvõrgu tegelik müratase hoopis madalam, kui EVS-EN 50065-1 pole määratletud nn CENELEC-A sagedusribas. Samas on sellistel süsteemidel mitmeid tagasilööke, mis on tingitud sagedusriba parameetritest ja kitsendustest.

Euroopas on ELS otstarbeks sagedusspektri kasutamise üldised avalikud vahemikud, samuti signaliseerimistasemed hetkel kuni sageduseni 87,5 MHz. Euroopa standardites on kirjeldamata sagedusvahemik, milline on kesklaine-ringhäälingu kasutuses vahemikus 525 – 1605 kHz, kuid arvestades nimetatud sagedusvahemiku ühest rakendust, ei võimaldaks täiendav standard-piirnormide dokumentide arendamine ilmselt täiendavaid leevendusi ELS andmeside jaoks.

PÕHIMÕTTED TÖÖKS EUROOPAS RINGHÄÄLINGU JAOKS RESERVEERITUD SAGEDUSTEL

Euroopa avaliku ringhäälingu sagedusalad on kirjeldatud ITU-R kokkulepete raamistikus ning sellised sagedusribad on näites

- Pikklaine sagedusala 148,5 kHz … 283,5 kHz;
- Kesklaine sageduala 535 … 1605 kHz;
- Erinevad lühilaine-sagedusalad nt 2300-2495 kHz, 2495-2498 kHz, 3200-3400 kHz jpt

All olevas tabelis (vt Tabel 9-2) on loetletud piiratud kasutusega sagedusalad, millistele on seatud teatud kasutuspiirangud.

Tabel 9-2. ELS funktsioonide jaoks piiratud kasutusega sagedusalad [50561-1].

Sagedusriba, MHz	Kasutusotstarve	Sagedusriba, MHz	Kasutusotstarve
1,800 … 2,000	Amatöörraadioside	10,100 … 10,150	Amatöörraadioside (10,10-10,15)
5,250 … 5,450	Amatöörraadioside	11,275 … 11,400	Liikuv lennundusside
7,000 … 7,300	Amatöörraadioside	11,550 … 12,100	Ringhääling
3,500 … 4,000	Amatöörraadioside (3,50-4,00)	13,260 … 13,360	Liikuv lennundusside
2,850 … 3,025	Liikuv lennundusside	13,550 … 13,900	Ringhääling
4,650 … 4,700	Liikuv lennundusside	14,000 … 14,350	Amatöörraadioside
5,480 … 5,680	Liikuv lennundusside	15,050 … 15,850	Ringhääling
6,525 … 6,685	Liikuv lennundusside	17,400 … 17,900	Ringhääling
8,815 … 8,965	Liikuv lennundusside	17,900 … 17,970	Liikuv lennundusside
3,400 … 4,000	Liikuv lennundusside (3,40-3,50)	18,068 … 18,168	Amatöörraadioside
2,300 … 2,498	Ringhääling	18,900 … 19,020	Ringhääling
3,200 … 3,400	Ringhääling	21,000 … 21,450	Amatöörraadioside
3,900 … 4,050	Ringhääling	21,450 … 21,850	Ringhääling
4,750 … 5,110	Ringhääling	21,924 … 22,000	Liikuv lennundusside
5,750 … 6,200	Ringhääling	24,890 … 24,990	Amatöörraadioside
7,200 … 7,700	Ringhääling	25,650 … 26,100	Ringhääling
9,300 … 9,950	Ringhääling	26,960 … 27,410	CB raadio
10,005 … 10,150	Liikuv lennundusside (10,005-10,10)	28,000 … 29,700	Amatöörraadioside

Põhimõtted, mille kohaselt ringhäälingu jaoks kasutatud sagedustel on nõutud ELS andmeside jaoks kasutatud signaalide piiramine keskväärtuse tasemele 56 dBuV, on sõnastatud mh EN 50561-1 standardis. Viimane on tuletatud üldiste EMÜ standardite nõuete alusel, kus näiteks IEC 61000-6-3 kohaselt on 5 … 30 MHz sagedustel lubatud seadmetele EM-emissioon võrgusidendisse tasemel kuni 50 dBuV (sümmeetriline/samafaasne). Kokkuvõtvalt on ELS andmesideks kasutatavad kandevsageduslikku signaali kõrgeimad piirtasemed kirjeldatud all oleval graafikul (vt Joonis 9-4).

EUROOPA/EESTI STANDARDID

EVS-EN 50065-1: 2011. Madalpingelistes elektripaigaldistes kasutatav signalisatsioon sagedusalal 3 kHz kuni 148,5 kHz. Osa 1: üldnõuded, sagedusalad ja elektromagnetilised häiringud

- Sagedusriba 3 kHz … 95 kHz on reserveeritud ainult rakendustele, millised juhivad ja jälgivad madalpingelise elektrijaotusvõrgu talitlust, sh energiakasutust jälgivate seadmete ühendamiseks. Sagedusvahemikku 3 kHz … 95 kHz nimetatakse ka „CENELEC A" – sagedusribaks, mis on eeskätt määratud infrastruktuuriettevõtete käsutusse.
- Lubatud on signaliseerimistasemed, millised on suhteliselt lähedal seadmete häiringukindlusnõuetele. See annab eelise ELS süsteemidele, millised on võimelised saatmisel arendama tugevat, müratasemest tuntavalt kõrgemat signaalitugevust.
- Sagedusriba 95 kHz … 148,5 kHz on ette nähtud kommunikatsiooniks kodustes, kaubanduslikes või tööstuslikes paigaldistes, samuti madalpingeliste süsteemide ühendamiseks, millised on haldaja paigaldistest väljaspool (nt tänavavalgustus, elektriautode laadimine).

EVS-EN 50561-1:2013. Elektriliinsideseadmed madalpingepaigaldistes. Raadiohäiringute tunnussuurused. Piirväärtused ja mõõtemeetodid. Osa 1. Majasisene aparatuur.

- Sagedusriba 150 kHz … 1,6065 MHz on määratletud täitma tingimusi, mille kohaselt ei tohi signaliseerimisel ületada EMÜ kontekstis nimetatud piirväärtusi sh IEC 61000-6-3 standardis loetletud seadmete EM-emissioonitasemeid.
- Sagedusriba 1,6065 MHz kuni 30 MHz on spetsifitseeritud juhtivuslikult edastatavate signaalide kasutuses, ning üldine lubatud rakendatav signaalitase on u. 55 dBuV (keskväärtus) kogu riba ulatuses.
- Piirangud teatud sagedusvahemikes töötamiseks, millised on kasutuses raadioteenuste poolt.

EVS-EN 50561-3: 2016. Elektriliinsideseadmed madalpingepaigaldistes. Raadiohäiringute tunnussuurused. Piirväärtused ja mõõtemeetodid. Osa 3: Sagedustel üle 30 MHz töötav aparatuur

- Käsitletav sagedusriba on 30 MHz … 87,5 MHz, kuid juhised on kuni 118 MHz-ni.
- Suhteliselt liberaalne ja lubab kandevsignaali tippväärtuseid kuni 85 dBuV (30 MHz), 80 dBuV (80 MHz), 60 dBuV (87,5 MHz).
- Piirangud teatud sagedusvahemikes töötamiseks, millised on kasutuses raadioteenuste poolt.

IEC STANDARDID

IEC 61000-3-8: 1997. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 8: Signalling on low-voltage electrical installations – Emission levels, frequency bands and electromagnetic disturbance levels

Sätestab võimalikud ELS signaliseerimistasemed üldiselt sagedusribas 3 kHz … 525 kHz. See dokument on ka EN 50065-1 dokumendis seatud signaliseerimistasemete aluseks.

- Üle 148,5 kHz on ELS otstarbeks kasutatav signaal lubatud sama tugevana, kui seadmete üldine EM-müraemissioon (IEC 61000-6-3, vahelduvvoolu võrgusidend). See on tingitud Euroopa-ala ringhäälingu sagedusaladest, kus pikklaine ringhäälinguriba algab 148,5 kHz-st ning lõppeb 283,5 kHz-ga.

- 148,5 kHz sagedusel on lubatud emissioon tasemel 66 dBuV, mis kahaneb proportsionaalselt sageduse logaritmiga tasemeni 56 dBuV sagedusel 500 kHz, ning püsib samal tasemel kuni sageduseni 525 kHz.

IEEE STANDARDID

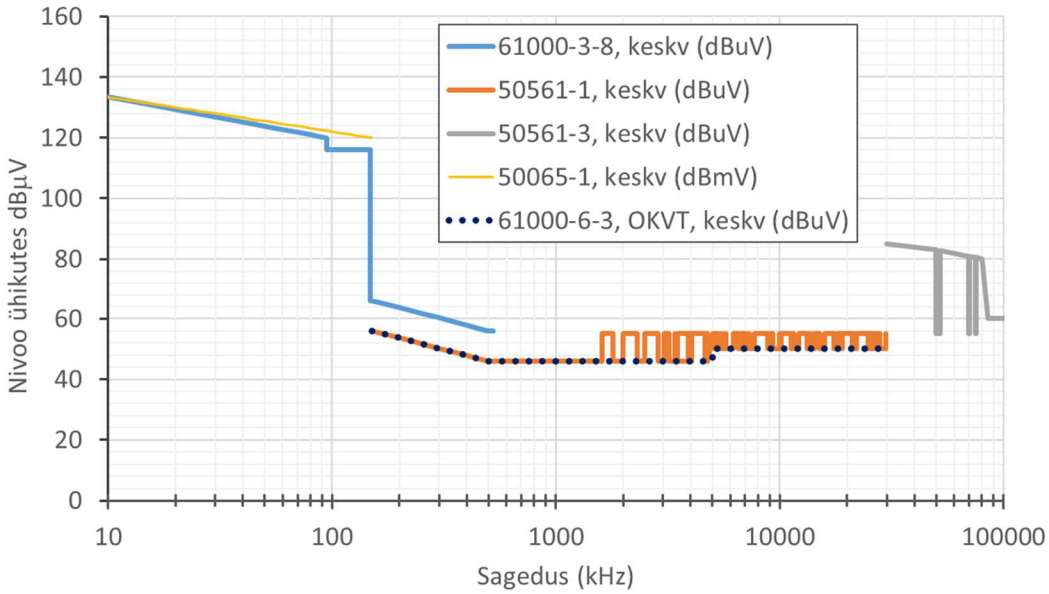
1901.2-2013. IEEE Standard for Low-Frequency (less than 500 kHz) Narrowband Power Line Communications for Smart Grid Applications

Eeskätt juhiseks väljaspool Euroopa piirkonda, sh USA ja Kanada. Sätestab ka tunnustatud reeglistiku, **mis lubab ELS süsteemide kasutust üle sageduse 148,5 kHz kuni 500 kHz.** Antud standard on põhjalik, koondades endasse lisaks füüsilise kihi signaliseerimispõhimõtetele ka modulatsiooni ja funktsioonid, samuti meediumi juurdepääsu kihi (MAC) info. Suures osas kattub see G3-PLC ja ITU-T G.9901, G.9902, G.9903-ga.

Eraldi osaga adresseeritakse Euroopa turule mõeldud seadmestikku, millele on lubatud järgmised signaliseerimisväärtused:

- Alla 148,5 kHz toetab samu põhimõtteid, mis on sätestatud EN 50065-1 printsiipides, sh signaliseerimis pingetasemed.
- Vahemikus 150 … 500 kHz sätestab piirid ja väärtused lähtudes signaalide spektraalvõimsustihedusest (power spectral density), millised väärtused on seatud lähtudes EMÜ piirväärtuste spetsifikatsiooni CISPR 22 seadmeklasside A (IEC 61000-6-4 / tööstuskeskkond) ja B (IEC61000-6-3/ olmekeskkond) piiridest. CISPR 22 viitab CISPR 16-2-1-le, mille kohaselt on mõõteribalaius 9 kHz.

NB! IEEE dokumendi sisust sõltumata on sellest ülimuslikumad Euroopa turul kehtivad standardid ja piirnorme sätestavad dokumendid.



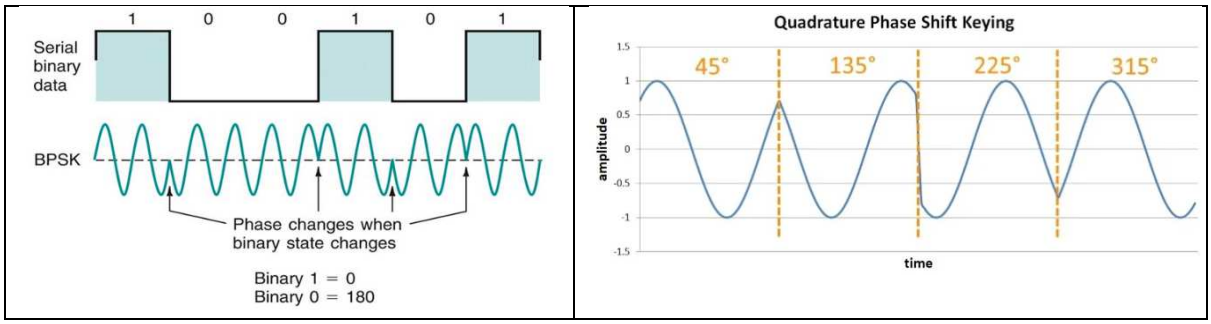
Joonis 9-4 ELS sagedusribad ja juhtivuslike suuruste emissioonipiirangud eri sagedustel, Euroopas sätestatud reeglistiku kohaselt.

9.5.2 ELS KITSARIBALISED, MADALA ANDMEEDASTUSKIIRUSEGA TEHNOLOOGIAD (NB-LDR)

Sellise tehnoloogia ELS süsteeme tähistatakse inglise keeles kui *narrowband low data rate – NB-LDR*.

FAASIMODULATSIOON

Faasimodulatsioon (i.k phase shift keying - *PSK*) põhimõtteks on info edastamine rakendades ühel kindlal sagedusel siinussignaali faasinurgaga manipuleerimist, ajalises kindlas reeglistikus. Selle näide on toodud all oleval joonisel (vt. Joonis 9-5), kus on esitatud üks BPSK e binaar-faasimodulatsiooni stsenaarium. Andmete ülekandmist tähistab see, kui faas järsult muutub, 180 kraadi võrra, millega antakse edasi ühe biti väärtus (0 või 1). Täiendavalt, saab andmete ülekandmist tõhustada, kasutades enamal arvul võimalikke faasikombinatsioone. Näiteks kvadraduurne faasimodulatsioon (QPSK) rakendab kokku 4 erinevat faasihüppe suurust, mille tulemuseks on 4 võimalikku koodi, e üle kantakse 2 bitti („00" – 45 kraadi; „01" – 135 kraadi, „10" – 225 kraadi, „11" – 315 kraadi).



Joonis 9-5. Faasimodulatsiooni skeemid: binaarne faasimodulatsioon (BPKS) ja kvadraduurne faasimodulatsioon (QPSK).

Siinussignaali, ning ühtlasi iga sageduskomponendi) matemaatiline kuju on

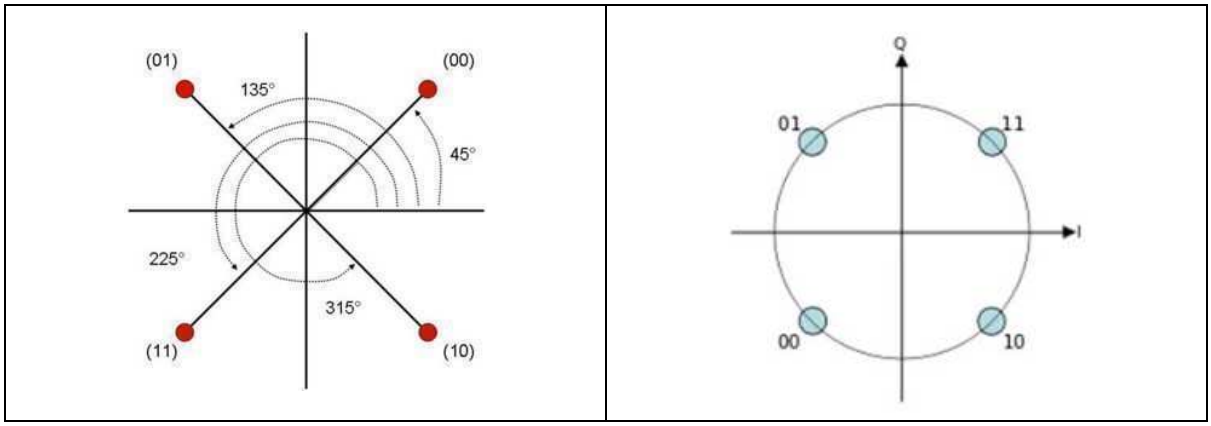
$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi),$$

kus faasimodulatsiooni korral manipuleeritakse φ väärtusega. Iga mistahes faasinihkega siinuskomponenti saab iseloomustada kui kahe komponendi – faasis olevat komponenti I ja sellega ortogonaalse komponendi Q summat, kus

$$I = cos(\varphi)$$

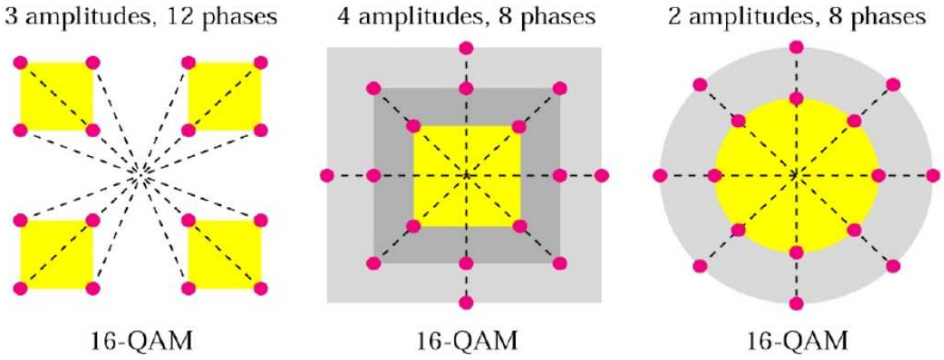
$$Q = \sin(\varphi)$$

Sellist tähistust kasutades on faasimodulatsioon esitatav teljestikus, mis kujutab I ja Q-telgedel olevate komponentide võimalikke väärtuseid ja neile vastavaid numbrilisi koode, nagu näidatud all oleval graafikul (vt Joonis 9-6). Selline väärtuste parv on tuntud ka kui *koodikonstellatsioon*, vastavalt sarnasusega planeetide orbiidil tiirlemisega ümber tähe-keskpunkti.



Joonis 9-6. Kvadraduur-faasimodulatsiooni esitus I- ja Q-teljel.

Keerukamate koodisüsteemide puhul kasutatakse amplituudi- ja faasi manipuleerimist korraga ja tulemuseks on amplituud-faasimodulatsioon, millega kantakse ka edasi suurem hulk koode ja infot. QAM tähistab kvadraduur-amplituud-faasimodulatsiooni, millele lisatakse sageli ka võimalike koodide arv. Kodeeringu aluseks on teatud kokkuleppelised lubatud faasi- ja amplituudiväärtuste kombinatsioonid, mis moodustavad kodeeringukonstellatsiooni. Näiteks kandevsageduse 16-QAM moduleerimisel rakendatakse kokku 16 lubatud kombinatsiooni faasi- ja amplituudiväärtustest, mille tulemusena saab ühe kandevsagedusega samas ajavahemikus üle kanda 16 erinevat võimalikku väärtustaset e 4 bitti infot (vt Joonis 9-7).



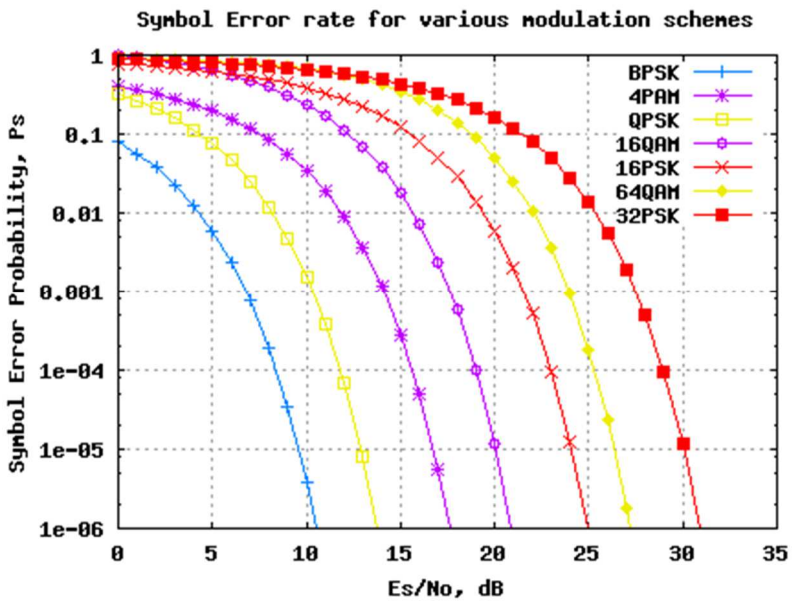
Joonis 9-7. 16 võimaliku väärtuse e. 4 biti ülekandmiseks sobilik 16-QAM amplituud-sagedusmodulatsiooni näidis-konstellatsioonid.

Faasimodulatsioonide tähistustes rakendatakse järgmist skeemi: kõigepealt number, mitu kombinatsiooni (koodi) modulatsiooniga võimaldatakse ja seejärel modulatsiooni tüüpi iseloomustav tähis:

- BPSK või 2PSK on binaar-faasimodulatsioon
- QPSK või 4PSK on kvardaduur-faasimodulatsioon
- QAM on kvadraduur-amplituud-faasimodulatsioon

Keerulisemad ELS-süsteemid võimaldavad rakendada erinevaid modulatsioone, millel erineb nii modulatsiooni keerukus kui ka nende mürakindlus. Näiteks QAM on suhteliselt müratundlik; amplituudmodulatsiooni mitterakendavad ja vähemate võimalike faasinurkadega modulatsioonid on mürakindlamad (vt Joonis 9-8). **Kõige robustsem ja**

edukam mürases kanalis andmete üle kandmiseks on BPSK, sellele järgneb QPSK jne.



Joonis 9-8. Erinevate faasimodulatsioonide tüüpide veakindlus, sõltuvalt kanali mürasuhtest.

SMITP / METERS AND MORE

Meters ja More on EL FP7 projekti „European OPEN Meter" põhjal loodud ELS arendus (algataja: ENEL, Itaalia), mille põhjaks on ühel kandevsageduselt töötav binaar-faasimodulatsiooni (i.k binary phase shift keying, BPSK) rakendav füüsiline kiht. Antud ELS tehnoloogia üks märgatavam tehnoloogiline arendus puudutas kõrgemas kihis toimuvat, mis sai nimeks **SMITP** (Smart Metering Information and Telecommunication Protocol) ja viimase lühendi kaudu tuntakse seda ELS arendust sh standardites. Antud lahendus lisab võrreldes nn esimese põlvkonna ELS süsteemidega parema veaparanduse, kõrgema krüpteeringu jpm. Andmevahetuskiirus on 4800 b/s. Antud arenduse täpsemad detailid on kajastatud mh. CENELEC spetsifikatsioonidena, millest füüsilise kohi vaates põhilisem on **CENELEC CLC/TC 50568-4:2015.** Electricity metering data exchange - Part 4: Lower layer PLC profile using SMITP B-PSK modulation.

OPEN SMART GRID PROTOCOL

Open Smart Grid Protocol Alliance (**OSGP**), endise nimega Echelon / LonWorks, lahendused põhinevad ETSI TS 103 908 füüsilise kihi standarditel, binaar-faasimodulatsiooni kasutamisega andmete ülekandmiseks rakendades ISO/IEC 14908 kirjeldatud kõrgemate kihtide protokolle ja vahendeid. OSGP füüsiline kiht põhineb EN 14908-3:2014 määratlustel, milline oli algselt ette nähtud kirjeldama hoonesisest ELS andmesidet. ETSI dokument **ETSI TS 103 908.** Power Line Telecommunications (PLT) BPSK Narrow Band Power Line Channel for Smart Metering Application defineerb OSGP kasutatavaks ELS sagedusribaks jaotusvõrguettevõtetele ette nähtud ja arvestitega kommunikeerimiseks sobiliku CENELEC A (30 … 95 kHz), kui EN 14908-3 kirjeldab sagedusriba 125 … 140 kHz. Seeläbi kasutatakse OSGP puhul samu signaliseerimispingete tasemeid kui EN 50065-1.

9.5.3 ELS KITSARIBALISED, KÕRGE ANDMESIDEKIIRUSEGA TEHNOLOOGIAD (NB-HDR)

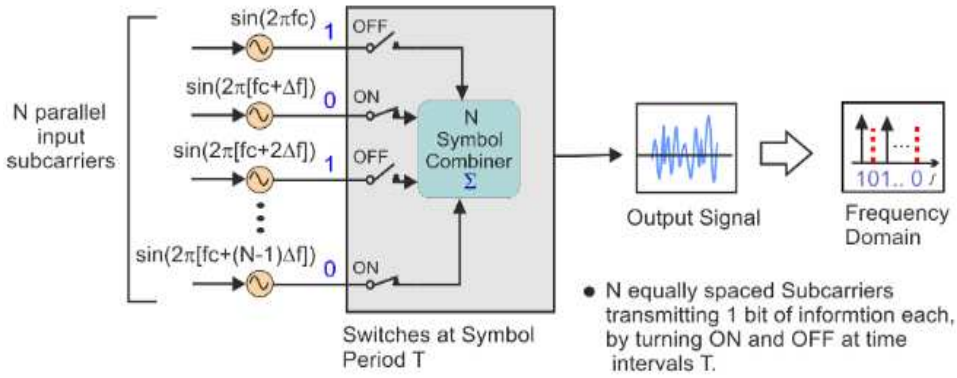
Sellise tehnoloogia ELS süsteeme tähistatakse inglise keeles kui *narrowband high data rate – NB-HDR*.

OFDM MODULATSIOON

Mitmekandjaline faasimodulatsioon OFDM (põhineb Fourier' teisendusel ja pöördteisenduse rakendamisel info ülekandmiseks. Mistahes signaali saab Fourier' teisenduse kaudu iseloomustada kui summat erinevatest siinussignaalidest - sageduskomponentidest. Fourier' teisenduse sooritamisel on väljundiks signaali iga sageduskomponendi sageduse, amplituudi ja faasinurga väärtused. Samuti saab ka algset signaali taastada, sisestades kõikide sageduskomponentide ajalises esituses siinusväärtused, kasutades selleks iga sageduskomponendi siinuse amplituudi ja lähtefaasi väärtuseid. Viimast tegevust tuntakse ka kui Fourier' pöördteisendust.

Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) rakendab info edastamiseks kindlate sageduste väärtustega sageduskomponente, millistest igaühe abil kantakse üle teatud infot sisaldav kood. Selleks moduleeritakse iga sageduskomponenti individuaalselt, kasutades amplituud-faasimodulatsiooni. OFDM on tänu konkreetsetele kandevsignaalide sagedustele kombinatsioon hulgast kitsaribalistest signaalidest. Sageduskomponentide väärtused valitakse selliselt, et nende vahel oleks teatav sageduserinevus, mis võimaldaks selget sageduskomponentide eristust.

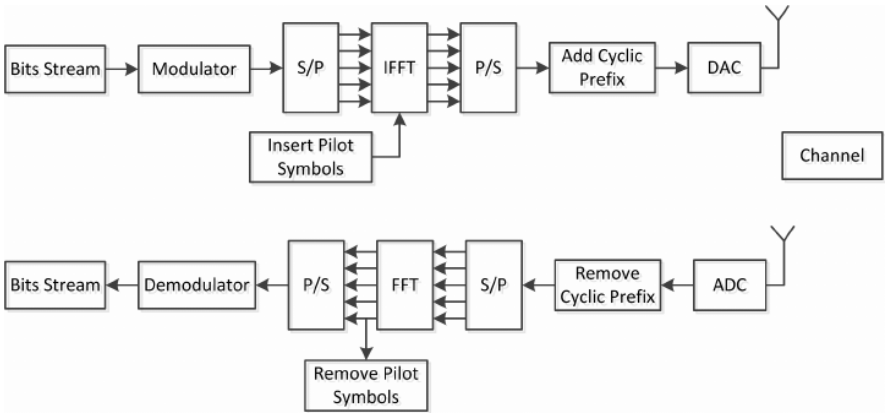
Saatmisel antakse OFDM-saatjale edasi alam-kandevsignaalide amplituudi- ja faasiväärtused, koodikonstellatsiooni väärtusena. OFDM saatja sooritab sisendsuuruste abil Fourier' pöördteisenduse (IFT) ning tulemuseks saadakse vastavate alamsignaalide summasignaal ajalises esituses (ajadomeenis), vt Joonis 9-9. Fourier' pöördteisenduse sooritamine põhimõtteliselt kujutab endast ajalises plaanis siinussignaalidele vastava numbrilise andmejada konstrueerimist, seejuures erinevate sageduskomponentide hetkväärtused summeeritakse.



Joonis 9-9. Mitmekandjalises süsteemis erinevate sageduskomponentide pöörd-Fourier teisendus [Keysight].

OFDM ühe infoedastuskombinatsiooni nimetatakse sümboliks; sümbolile vastavat signaali hoitakse kanalis teatud sümboliaja jooksul, mil on võimalik teostada sümboli tuvastamine

ja dekodeerimine. Pöörd-Fourier' teisendus teostatakse numbrilises esituses ning tulemuseks saadakse aegesituse jaoks numbriliste väärtuste jada, millest igaüks esitab oma teatud ajahetke reaalse suuruse väärtust, kogu sümboli-aja kestel. Sellised väärtused saadetakse edasi analoog-digitaalmuundurisse, milles töötluse järel saadud analoogsignaaliga võidakse veel täiendavalt teostada moduleerimine kõrgemale kandevsagedusele.



Joonis 9-10. OFDM süsteemi struktuur saatja ja vastuvõtja struktuuri näitega.

Signaali vastuvõtmisel muundatakse vastuvõetud analoogsignaal numbrilisele kujule, sooritatakse Fourier' teisendus, mille abil eristatakse ja taastatakse erinevate alam-sageduskomponentide amplituudi- ja faasiväärtused.

ITU-T SPETSIFIKATSIOONIDEL PÕHINEVATE TEHNOLOOGIATE ÜLDSPETSIFIKATSIOON

ITU-T poolt kinnitatud reeglistike ja spetsifikatsioonide toel on all olevalt esitatud näited enim viiteid saanud tehnoloogiatest. Tuleb rõhutada, et antud kontekstis on tegemist mitteriiklikult reguleeritud põhimõtetega.

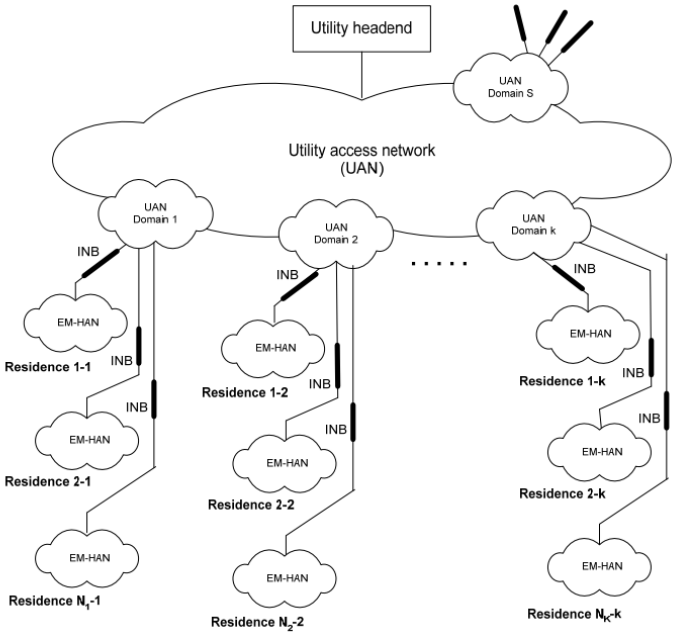
Recommendation ITU-T G.9901 Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks määratleb sh alamkandevsageduste jaotuse nii G.hnem, PRIME kui G3-PLC spetsifikatsioonide jaoks.

- G.hnem: Euroopa nn CENELEC sagedusribas (3 … 148,5 kHz) on 128 alam-kandevsagedust, mille eristus on 1,5625 kHz. CENELEC A ribas on kanalid 35,9 kHz … 90,6 kHz ja kokku on neid 36 tk. G.hnem-printsiipidele on suhteliselt lähedane G3-PLC poolt rakendatavad põhimõtted.
- G3-PLC: CENELEC A ribas on kanalid 35,9 kHz … 90,6 kHz ja kokku on neid 36 tk. Märgitakse ära ka võimalus koosrakendamiseks S-FSK tüüpiliste sagedustega, mil piiratakse saatmist kokku 11 alamkandjal (60,94 … 76,56 kHz).
- PRIME: Alam-kandevsageduste eristus u. 488 Hz, millest CENELEC A sagedusribas on kasutuses kanalid alates sagedusest 42 kHz … 89 kHz, kokku 97 alamkandjat.

ITU-T G.HNEM

ITU-T G.9960 on ITU-T seeria „G" koduvõrgu (i.k *Home Network - hn*) nimetuse põhiselt saanud akronüümi G.hn ja selle edasiarenduse ITU-T G.9955 ja ITU-T G.9956 on koondatud dokumendi **Recommendation ITU-T G.9902** Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for ITU-T G.hnem networks.

Füüsikalise kihi omadused alluvad EN 50065-seeria põhimõtetele, kuid oluline panus on suurema hulga võrgusõlmede haldamine andmeside lülikihis (i.k *data link layer*). Selleks koondatakse erinevad kasutajad sõlmedena (i.k node) domeenidesse ja võimaldatakse domeenide vahelist suhtlust koordinaatorsõlme kaasabil (vt Joonis 9-11).



Joonis 9-11. G.hnem võrguhalduse põhimõtted domeenidesse korraldatud sõlmedega.

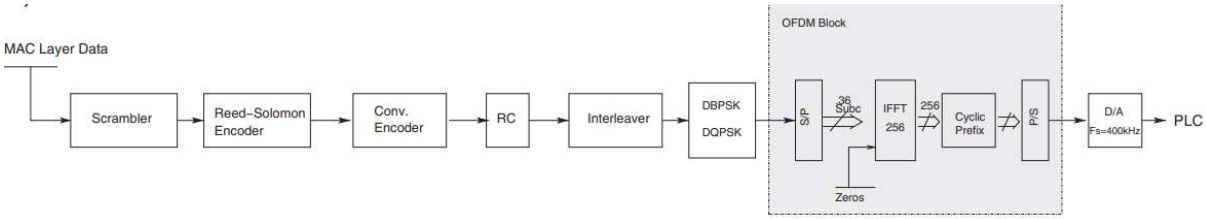
Võrgu andmevahetuse halduseks on ette nähtud IPv6 protokolli osade rakendamine, milline võimaldab korraldada ka piisava sõlmede adresseerimise.

G.hnem näeb ette ka nn robustse andmevahetuse olukordades, kus andmevahetuskeskkond on mürane; sellisel juhul rakendatakse mh erinevate sümbolite ajaliselt korduvat esitamist.

G.hnem on füüsilisel kihilt väga sarnane IEEE 1902.1 standardi ja G3-PLC määratlustele, kuid siiski detailides erinev. See on üks näide erinevate katusühingute vahelistest erimeelsustest ja selle tõttu esinenud lahknemispunktidest, millisega tuleb arvestada ka tehnoloogia valikul.

G3-PLC

Prantsuse ENEDIS (end. ErDF - *Electricité Réseau Distribution France*) ja pooljuhtide tootja Maxim algatatud G3-PLC "Automated Meter Management" (AMM), rõhub suuremale paindlikkusele läbi kahe andmevahetusviisi: Normal ja Robust. Põhjalik kontroll- ja veaparanduskood tõstavad küll pakettide teenindusosa pikkust, kuid andmeedastuskiirus on tavatalitluses piisav, et teostada IPv6 põhimõtete ja teenuste tugi. Täiendavalt on ette nähtud ka laiendus kohaliku side raadiolinkidele, sh 802.15.4 füüsilise kihi kasutamise põhimõtted. Täiendavad põhiseisukohad on madalamate kihtide osas kirjeldatud dokumendis **Recommendation ITU-T G.9903** Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks. Erinevate kandevsageduste kodeeringutega on tavatalitluses CENELEC A sagedusribas saavutatav kiirus üle 43 kb/s.



Joonis 9-12. G3-PLC füüsilise kihi andmetöötluse ja moduleerimise struktuur [PRIME_G3_COMP1].

Antud standardi väljatöötamisel on selgelt rõhku pööratud erinevatest elektriliini-müradest tingitud andmeedastushäiringute minimeerimisele. Näiteks on tugevaks küljeks järjestikuste bitivigade (so olukord, kui müra või häiringu tõttu riknevad kaks või enam järjestikust bitti) elimineerimine. Samuti on antud G3-PLC spetsifikatsiooniga saavutatav andmeside eriti mürarikastel juhtumitel, kui signaal ja müra on põhimõtteliselt samal tasemel. G3-PLC andmetöötlus- ja moduleerimise funktsionaalne struktuur sisaldab väga mitmeid alamosi ning on matemaatiliselt kompleksne ja ka arvutusvõimsuse-nõudlik (vt Joonis 9-12). Tänastes oludes ei ole andmesidekiiruse absoluutarv küll suurepärane, kuid selle kompenseerib ülim mürakindlus, mille tõttu ilmselt suurem osa kord juba saatmisele läinud ka pakettidest jõuab edukalt kohale. Selleks on kasutuses:

- andmete ümberkorraldamine vaheldamisega (i.k interleaving), kus andmebittide järjestust muudetakse kindlal viisil. Selliselt tagatakse mürade korral näiteks järjestikuste bitivigade vältimine ning parem veaparandus;
- robustne talitlus on olukordadeks, mil kanali omadused füüsilise kihi funktsioonides on keerulised, sh kõrge kanali müratase. Robustses talitluses korratakse iga saadetud sümbolit 4 korda. Robustses talitluses on andmesidekiirus 4500 b/s.

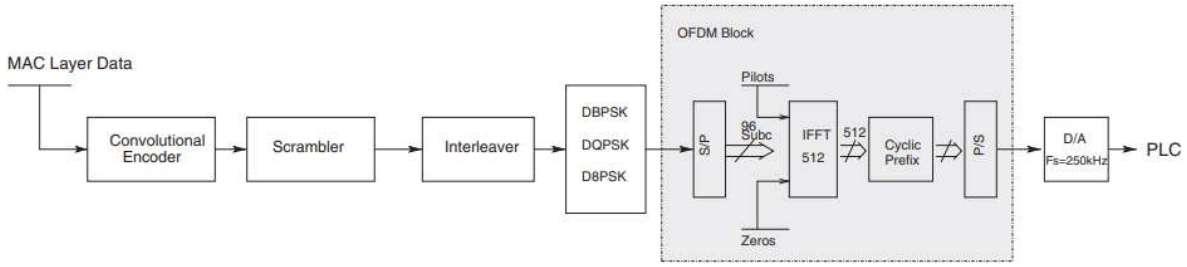
G3-PLC ühendus ise reklaamib, et võrreldes ühe kandevsagedusega modulatsiooniga (sh S-FSK, mis on Elektrilevi OÜ poolt kasutuses) on G3-PLC süsteemil 10 dB suurune eelis mürases keskkonnas tööks.

Kuigi G3-PLC spetsifikatsioon andis sisendi väljaspool Euroopat tunnustatud IEEE 1901.2 standardile, siis need spetsifikatsioonid on erinevad ja tänasel päeval tuleb neid käsitleda eraldi tehnoloogiatena.

PRIME

PRIME (PoweRline Intelligent Metering Evolution) on algatatud Hispaania Iberdola ja pooljuhtide tootja Texas Instruments'i poolt ning üldjoontes pürgib samadele eesmärkidele, mis G.hnem, G3-PLC ja IEEE1902.1.

PRIME füüsikalise kihi spetsifikatsioon on esitatud dokumendis **Recommendation ITU-T G.9904** Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for PRIME networks. PRIME poolt ühe alamkandja poolt rakendatud sagedusriba on kitsas, mistõttu on võimalik rakendada suuremal hulgal alamkandjaid ning seeläbi tagada suurem andmesidekiirus.



Joonis 9-13. PRIME füüsilise kihi andmetöötlus ja moduleerimise struktuur [PRIME_G3_COMP1].

PRIME rõhutab samuti töökindlusele füüsikalise kihi jaoks mürarikastes oludes ning omab ka nn robustset talitlust. PRIME puhul on erisusi robustse talitluse sisus: kui G.hnem, IEEE 1902.1 ja G3-PLC spetsifikatsioonid kasutavad numbrilise koodi väärtuste kordamist, siis PRIME kasutab robustses talitluses mh ODFM sümbolite vaheldamist. See on tuntav ka erinevates müraolukordades, **ning G3 PLC saab PRIME osas paljudel juhtudel eelise.** Erinevad analüüsid osutavad, et PRIME on võimeline toimima usaldusväärselt pakettide edastamisel, kui signaal-mürasuhe on 5 dB tasemel. PRIME andmetöötlus- ja moduleerimisstruktuur on vähem ressurssi nõudvam (vt Joonis 9-13). PRIME tugevuseks on tema andmesidekiirus, seda isegi robustses talitluses, kus on saavutatav 21 kb/s [PRIME_G3_COMP1].

PRIME puhul on eesmärgiks seatud laiem kõrgemate kihtide võimekus ja koostoimivus, mistõttu on selle tehnoloogiaga võimalik IP, TCP, UDP jpt protokollide tugi.

SIEMENS AMIS CX1 / AMC-SS

Siemensi poolt Austrias arendatav tehnoloogia. Selle kasutuselevõtust ei ole infot, kuigi on olnud Siemensi poolt ametlikult välja kuulutatud. Kõrgel tasemel käsitlust lisab sellele DLMS/COSEM standardiseeritud kirjelduste olemasolu. See tehnoloogia töötab CENELEC A sagedusribas (3 kHz … 95 kHz); rakendab DPSK modulatsiooni ning erinevatel sagedustel olevaid kanaleid. AMC-SS füüsikaline kiht on kirjeldatud dokumendis **CLC/TS 50590:2015**. Electricity metering data exchange - Lower layer PLC profile using Adaptive Multi Carrier Spread-Spectrum (AMC-SS) modulation.

9.5.4 ELS TEHNOLOOGIATE VÕRDLUS

Ülaltoodud tehnoloogiad erinevad mh ka keskmiste andmesidekihtide funktsioonide poolest, kuid tänaseks päevaks on nad oma võimekuselt suhteliselt sarnaseks saanud. Viimane puudutab eeskätt nende integreerimist kõrgema taseme (sh rakenduskihi) tarkvaralistesse süsteemidesse, mille tugi on EL tasemel spetsifitseeritud näiteks DLSM/COSEM kontekstis, standardiseerituna. Nii võib ELS tehnoloogiate tasemel öelda, et:

- teatud kihini (näiteks rakenduskiht DLSM/COSEM) töö tagamiseks on kõik pakutud tehnoloogiad sobilikud, kuid nimetatud rakenduskihi tasemel peab tehnoloogia tagama selle, et on üldiselt kasutatav, lõpprakendusest sõltumatu ja paindlik;

- ELS süsteemid on võrreldes erinevate raadiosidetehnoloogiatega väga jäigad ja fikseeritud. Seepärast ei ole ELS tehnoloogiate puhul sedavõrd kriitiline marsruutimine, kuid samas tuleb silmas pidada teatud juhuslikkuse võimalust ühenduse loomisel (e üks lõppseade võib liikuda ühe kesksõlme/kontsentraatori juurest teise kesksõlme).

Mürakindlus ja edastuskiirus on suhteliselt kriitilised vaates, kus kõrgemate kihtide teenused kasutavad pikki andmepakette. Kuigi näiteks IP-kihi võimaluste spekter rakenduste vaates on ideaalne, on ELS-süsteemis vaja ka IP-paketid vigadeta kohale toimetada. Siin saavad suure eelise NB-HDR tehnoloogiad.

- **Parimat mürakindlust pakub antud hetkel turul olevatest tehnoloogiatest G3-PLC.** Kuigi mürakindluse saavutamiseks on vajalik kõrge keerukusega signaali- ja andmetöötlus, siis tänasel hetkel ei ole selline arvutusvõimsus probleem, kuigi hinda tõstab väljatöötamise tööjõukulu.
- Parimat kiirust pakub PRIME, mis on ka suhteliselt kõrge mürakindlusega. PRIME kompenseerib mürarikkas olukorras pakettide eduka saatmise kiirusega, kui on võimeline ebaõnnestunud pakettide saatmist kordama kuni eduka ülekandeni.
- Nn 1. põlvkonna PLC küpsed tehnoloogiad on turul tugevalt, kuid ilmselt on suhteliselt võimete piiril välja arendatud. Madalam andmesidekiirus ja OFDM-st madalam mürakindlus jätab neile vähem eeliseid. Nende ühenduvus ja toimivus kõrgematel kihtidel on samas tagatud.

Tabel 9-3. ELS tehnoloogiate võrdlus, mis töötavad Euroopa sagedusalas[ACCESS, CX1] [IJDSN]

	NB-LDR			NB-HDR		
Tehnoloogia	PLAN+ / S-FSK	OSGP	SMITP	PRIME	3G-PLC	AMC-SS
Kiirus, max	2,4 kb/s	3,6 kb/s	9,6 kb/s	129 kb/s	34 kb/s	64 kb/s
DLSM/COSEM	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH
Mürakindel talitlus	Ei	Ei	Robustne talitlus	Robustne talitlus, 21 kb/s	Robustne talitlus 3,2 kb/s	?
Modulatsioon	S-FSK	DBPSK	DBPSK	OFDM DBPSK,DQSPK	ODFM DBPSK,DQSPK	DBPSK

- ELS süsteemide juures on näiteks USAs (IEEE 1902.1), Jaapanis (AIRB) ja Hiinas lubatud sagedusribad sh 150 kHz … 500 kHz, mille eeliseid ka paljudes uuringutes rõhutatakse. Selliste eeliste avaldumise eelduseks on, et sellises ribas lubatakse oluliselt kõrgemaid EM-emissioone, kui „tavapäraste" EMÜ standardite nõuete järgi lubatud. Sagedusest 150 kHz üles on EMÜ nõuded seadmete juhtivuslikele häiringutele konkreetsed ja üleüldised.
- Euroopa piirkonnas on pikk- ja kesklaineala nimetatud ringhäälingukasutusse, mistõttu Euroopas on lubatud ainult sellisel tasemel EM signaalide rakendamine ELS-i jaoks, millised ei mõjutaks ringhäälingusaate edastuse kvaliteeti (standardid IEC 61000-3-8; EVS-EN 50561-1). Samuti on Euroopas suhteliselt madal lubatud

ELS signaliseerimise emissioon sagedustel üle 1,6 MHz, kuid seal on suhteliselt madal lubatud emissioon.

- Euroopa regiooni kontekstis esinevad piirangud laiaribalise ELs rakendamisele, kuna normidekohane ning infrastruktuuriettevõtetele ette nähtud sagedusriba on hetkel nn CENELEC A-riba (vt EVS-EN 50065-1), alates 3 kHz … 95 kHz. **Laiaribalise või ka muus regioonis edukate ELS tehnoloogiate kontekstis pakutakse sagedusribasid üle 150 kHz, sh IEEE 1902.1 150 kHz … 500 kHz, millises ei ole Euroopas lubatud märkimisväärne signaliseerimispingete kasutamine.**
- **Euroopa regioonis võib 150 kHz ... 500 kHz sagedusriba küll ELS jaoks rakendada, kuid emissioonide tase selles sagedusvahemikus peab olema väga madal**. Arvestades, et EM-emissioonide tase mistahes muudest seadmetest võib olla samal tasemel kui ELS signaliseering, on oodatavalt signaal-müra suhe selles sagedusalas ELS töötamisel halb. Seetõttu Euroopa regiooni kontekstis ei ole praegu antud sagedusriba võimalik edukalt rakendada. **Euroopa regioonis ei ole 150 kHz … 500 kHz sagedusribas oodatavalt eeliseid ka mürarikka keskkonna jaoks mõeldud ELS tehnoloogiatel.**

Arvestades tuleviku perspektiivseid arenguid, on põhjendatud ELS tehnoloogiate valikute **tegemine OFDM-tehnoloogiate kasuks.** Küpsed tehnoloogiad selleks on olemas ja antud hetkeks on nii G3-PLC kui ka PRIME puhul võimalik välja tuua aastatepikkune kogemus vähemalt arvestite ühenduvuse tasemel.

OFDM tehnoloogia puuduseks on nende spetsifikatsiooni nõrk aluspõhi rahvusvaheliste riiklike standardite osas. Nii G3-PLC kui PRIME on Euroopas standardiseerimata, eriti mis puudutab madalamate kihtide tööd. Spetsifikatsioonid seetõttu sõltuvad haldava katuseorganisatsiooni tuultest; G3-PLC, IEEE 1901.2 ning G.hnem omavad kõik teatavaid erisusi, kuigi arenesid samadest alustest. Selliste tehnoloogiate pakkujad võivad samuti olla sõltuvuses litsentseerimis- ja liikmelisusskeemidest, mille kaotamise järel võib katkeda tehniline tugi ja/või uuendused.

9.6 LOKAALNE RAADIOSIDE KOHALIKU ANDMESIDE MEEDIUMINA

Kohaliku piiratud ulatusega andme-raadioside on eeskätt mõeldud väikeste vahemaadega vabale kasutamisele, mille alusel on võimalik:

- tagada suure hulga tootjate juurdepääs turule lihtsustatud korras
- tagada suure hulga seadmete juurdepääs raadiokanalile.

Kui kaugmaa-sideseadmete puhul eeldatakse suuremaid saatevõimsusi, millised võimaldavad sama saatja signaali vastu võtta suurtel kaugustel, siis on suure

saatevõimsuse rakendamiseks vaja ka sagedusluba. Sagedusluba annab teatud sagedusalas kommunikatsioonile määratud eelisõiguse, millega välistatakse sagedusspektri mitteotstarbeline kasutamine ja määratakse ära sagedusloa omaniku võimalikud parameetrid ja/või funktsioonid. Sagedusloa hind võib olla märkimisväärne. Lähiümbruse sidelahenduste puhul rakendatakse vabalt kasutamiseks ette nähtud sagedusala, milles eraldi sagedusluba ei ole vaja. Samamoodi, on lähiümbruse sideks ettenähtud sagedusalad välistatud kaugmaa side kasutusest.

Kohaliku andmeside seadmed omavad sageli meetmeid, et tuvastada enda talitlusreeglistiku alusel võrgu saadavus ning samuti vajaliku ühendustee moodustamine erinevate punktide vahel. Sellised põhimõtted on sõnastatud mh EK rakendusotsuses (EL) 2017/1483, mille kohaselt

> *(9) Käesolevas otsuses käsitletud konkreetsetel sagedusaladel luuakse lähitoimeseadmete kategooriatesse jagamist ja nende kategooriate suhtes kohaldatavate tehniliste tingimuste (sagedusala, edastusvõimsuse/väljatugevuse/võimsustiheduse piirväärtused, täiendavad parameetrid ja muud kasutuspiirangud) kindlaksmääramist kombineerides prognoositav ja **ühtlustatud ühiskasutuskord**, mis võimaldab lähitoimeseadmetel kasutada spektrit ühiselt ilma ainuõiguseta ja olenemata sellise kasutuse eesmärgist.*
>
> *(10) Sellise ühtlustatud ühiskasutuskeskkonna õiguskindluse ja prognoositavuse tagamiseks tuleks lähitoimeseadmetel, mis ei kuulu ühtlustatud kategooriasse või mille suhtes kehtivad vähem piiravad tehnilised parameetrid, lubada ühtlustatud sagedusalasid kasutada ainult ulatuses, mis ei ohusta asjaomast **ühiskasutuskeskkonda**.*

Raadiovõrgu saadavus ühiskasutuskeskkonnas tähendab seda, et mingi konkreetne seade saab kanalit edukalt kasutada selleks, et enda info edastada. Et raadiosidekanalid on määratud teatud kesksagedusega ning selle kanali poolt moduleerimiseks rakendatava ribalaiusega, siis iga sagedusvahemik kujutab endast unikaalset ressurssi. Raadioside õnnestumiseks on tüüpiliselt eelduseks, et raadiosignaali saatjana saab töötada ainult üks seade, milline on vastuvõtva(te)le seadme(te)le selgelt eristatava signaali allikaks. Sagedusalade sõltumatuks kasutamiseks on võimalik jagada seadmete tööd ajalises või ka ruumilises plaanis.

- *Ajaline jaotus tähendab, et seadmed töötavad ainult piiratud aja teatud ajavahemiku jooksul. Seda hinnatakse töötsükli pikkuse järgi, milline EK juhiste ((EL) 2017/1483 kohaselt on protsentides väljendatud suhtarv $\Sigma(T_{on})/(T_{obs})$, kus T_{on} näitab ühe saatja aktiivse edastuse aega ja T_{obs} on vaadeldud ajavahemik. T_{on} mõõdetakse vaadeldavas sagedusalas (F_{obs}). Kui [...] ei ole muud moodi sätestatud, on T_{obs} ühe tunni pikkune järjestikune ajavahemik ja F_{obs} käesoleva tehnilise lisa kohaselt kohaldatav sagedusala.*
- *Ruumiline eristus on tagatud näiteks eeldusega, et saatja võimsus määratleb asjaolud, kui kaugele levib saatja poole emiteeritud signaal selliselt, et see võib potentsiaalselt segada mingi muu saatja signaali. Ruumilise eristuse tagamiseks rakendatakse võimsuspiiranguid*.

Lähiside ja lokaalside on eeskätt mõeldud väga piiratud ulatusega (eeskätt alla 100 m) andmevahetuseks seadmete vahel (ik *Short Range Devices - SRD*). Kuigi teatud rakendused toetavad ka audio- ja video voogülekannet, ongi nimetatud SRD kasutamise põhimõteteks vaid tsükliline andmeedastus, mille tulemusena on raadiospekter ühe seadme käsutuses vaid vähest aega. Piisava ajalise jaotusega püritakse erinevate seadmete vaheliste konfliktide vältimisele ning piisava arvu seadmete juurdepääsule samale sagedusspektri alale.

Avalikku juurdepääsu võimaldavatel võrkudel on Euroopas rakendatavad tüüpilisimad sagedusalade kesksagedused (vastavalt 2017/1483-le),

- 433 MHz, tuntud ka kui LPD433 (sagedusvahemik 433,05 – 434,79 MHz)
- 860 MHz, tuntud ka kui SRD860 (sagedusvahemik 863 – 865 MHz)
- 2,4 GHz, tuntud ka kui ISM 2,4 GHz (sagedusvahemik 2 400 – 2 483,5 MHz)
- 5,8 GHz, tuntud ka kui ISM 5,8 GHz (sagedusvahemik 5 725 – 5 875 MHz)

Lühimaa-raadioside standarditest on Euroopa kontekstis jõus:

ETSI EN 300 220-1. Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement.

ETSI EN 300 440. Short Range Devices (SRD);Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range.

ETSI EN 300 328. Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU.

Täpsemad sagedusalad ja nende kasutamine on loetletud ka Eesti Vabariigi Raadiosagedusplaani lisas, mis on Ettevõtlus- ja infotehnoloogia ministri määrusega kehtestatud 28.01.2019. Alljärgnevalt on esitatud koondülevaade sagedusaladest, millised on Eesti Vabariigis sagedusloata, väikese võimsuse ja kasutusajaga avalikuks kasutamiseks.

Tabel 9-4. EK rakendusotsuses (EL) 2017/1483 esitatud piirangud avalikuks kasutuseks mittespetsiifiliste lähitoimeseadmete raadiosagedusribades. NB! Ühik Weik tähistab efektiivset isotroopset kiirgusvõimsust vattides.

433,05–434,04 MHz	1 mWeik ja võimsustihedus – 13 dBm/10 kHz laiema kui 250 kHz ribalaiusega modulatsiooni puhul	Vt märkus 1.
433,05–434,04 MHz	10 mWeik	Töötsükli piirang [vi]: 10 %.
434,04–434,79 MHz	1 mWeik ja võimsustihedus – 13 dBm/10 kHz laiema kui 250 kHz ribalaiusega modulatsiooni puhul	Vt märkus 1.
434,04–434,79 MHz	10 mWeik	Töötsükli piirang [vi]: 10 %.
434,04–434,79 MHz	10 mWeik	Töötsükli piirang [vi]: 100 % kuni 25 kHz kanalisammu juures. Vt märkus 1.
446,0–446,2 MHz	500 mWeik	Vt märkus 2.
863–865 MHz	25 mWeik	Vt märkus 2.

		Selle asemel võib kasutada ka töötsükli piirangut [vi] 0,1 %.
863–865 MHz	10 mWeik	
863–868 MHz	25 mWeik	Vt märkus 2. Sagedusala: ≤ 1 MHz. Töötsükkel [vi]: ≤ 10 % võrgu juurdepääsupunktide puhul [26] Töötsükkel [vi]: ≤ 10 % võrgu juurdepääsupunktide puhul [26]
865–868 MHz	25 mWeik	Vt märkus 2. Selle asemel võib kasutada ka töötsükli piirangut [vi] 1 %.
865–868 MHz	500 mWeik Edastamine on lubatud ainult sagedusvahemikes 865,6–865,8 MHz, 866,2–866,4 MHz, 866,8–867,0 MHz ja 867,4–867,6 MHz. Vt märkus 3.	Vt märkus 2. Sagedusala: ≤ 200 kHz. Töötsükkel [vi]: ≤ 10 % võrgu juurdepääsupunktide puhul [26] Töötsükkel [vi]: ≤ 2,5 % muudel juhtudel
868–868,6 MHz	25 mWeik	Vt märkus 2. Selle asemel võib kasutada ka töötsükli piirangut [vi] 1 %.
868,6–868,7 MHz	10 mWeik	Kanalisamm: 25 kHz Kiireks andmeedastuseks võib kogu sagedusvahemikku kasutada ühe kanalina. Töötsükli piirang [vi]: 1,0 %.
868,7–869,2 MHz	25 mWeik	Vt märkus 2. Selle asemel võib kasutada ka töötsükli piirangut [vi] 0,1 %.
869,2–869,25 MHz	10 mWeik	Kanalisamm: 25 kHz. Töötsükli piirang [vi]: 0,1 %.
869,25–869,3 MHz	10 mWeik	Kanalisamm: 25 kHz Töötsükli piirang [vi]: 0,1 %.
869,3–869,4 MHz	10 mWeik	Kanalisamm: 25 kHz Töötsükli piirang[vi]: 1,0 %.
869,4–869,65 MHz	500 mWeik	Vt märkus 2. Selle asemel võib kasutada ka töötsükli piirangut [vi] 10 %.
869,65–869,7 MHz	25 mWeik	Kanalisamm: 25 kHz Töötsükli piirang[vi]: 10 %.
869,7–870 MHz	5 mWeik	Vt märkus 1.
869,7–870 MHz	25 mWeik	Vt märkus 2. Selle asemel võib kasutada ka töötsükli piirangut [vi] 1 %.
2 400 – 2 483,5 MHz	10 mW ekvivalentne isotroopne kiirgusvõimsus (e.i.r.p.)	
2 400 – 2 483,5 MHz	100 mW e.i.r.p ja 100 mW/100 kHz e.i.r.p. võimsuse spektraaltihedus, kui kasutatakse moduleerimist sagedushüplemisega, ning 10 mW/MHz e.i.r.p. võimsuse spektraaltihedus, kui kasutatakse muid moduleerimisviise	Vt märkus 2.

Märkus 1. Kõnerakendused on lubatud, kui kasutatakse nüüdisaegseid häirevähendamise meetmeid.

Märkus 2. Tuleb kasutada spektrile juurdepääsu ja häireleevendusmeetmeid, mille tulemuslikkus on vähemalt samaväärne direktiivi 2014/53/EL alusel vastuvõetud harmoneeritud standardites kirjeldatud meetmete tulemuslikkusega.

Märkus 3. Kasutama peab võimsuse adaptiivjuhtimist (Adaptive Power Control ehk APC). Selle asemel võib kasutada muid häireleevenduse meetodeid, millel ühilduvus spektriga on vähemalt samaväärne.

9.6.1 FÜÜSILINE KIHT, RAADIOKANALID

Füüsiline kiht, mida süsteemid rakendavad, defineerib kasutatava süsteemi raadiosageduslikud kanalid ning nende kasutamise reeglistiku. Lokaalside-vaates võib käsitleda edastuskauguseid, mis piirnevad kuni mõnesaja meetriga (nt IEEE 802.15.4-põhised võrgud). Lühimaa-side tuntud esindaja on ka Bluetooth-tehnoloogia (IEEE 802.15.1) mille edastuskaugus on ainult kuni 10 m.

Praktikas rakendatakse suurel määral 2,4 GHz sagedusala, milline on ülemaailmselt vabaks kasutamiseks saadaval (860 MHz on ainult Euroopas) ning mille sagedusulatus on piisavalt suur, et tagada erinevate osapoolte ja tehnoloogiate (ka suhteliselt laiaribaliste) kanalite kasutuse. Praktikas on ennast hästi tõestanud näiteks IEEE 802.11 –füüsilise kihi standardil põhinevad süsteemid, mille üks tuntumaid esindajaid on WiFi / traadita lokaalne kohtvõrk. Teiseks tuntuimaks on IEEE 802.15.4 –füüsilise kihi standardil põhinev ZigBee, milline on kujundatud eeskätt seadmete-vaheliseks andmevahetuseks.

IEEE 802.15.4-2015 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks

Määratleb suhteliselt madala andmesidekiirusega, madala energiatarbega võrkude füüsilise kihi. Raadiokanalid on defineeritud sagedusalas 868,3 MHz (kanal 0, ribalaius 100 kHz, kiirus kuni 20 kb/s), 915 MHz (kanalid 1 – 10, Euroopas mittekasutatav ala, ribalaius kuni 1000 kHz, kiirus kuni 80 kb/s), 2450 MHz (kanalid 11 – 26, ribalaius kuni 2000 kHz, kiirus kuni 250 kb/s).

Täiendavalt kirjeldab antud standard ka marsruutimise põhimõtted (MAC – meedia juurdepääsu juhtimise kiht). Selle kohaselt kasutatakse ühendustes marsruutimise funktsioonides esmaseid koordinaatoreid, koordinaatoreid, seadmeid ja piiratud seadmeid. Seadmed loovad ühendused seadmetega, koordinaatorid saavad ühenduda ka omavahel ja võrgu konfiguratsiooni juhib esmane koordinaator.

IEEE 802.11 -2016 - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications

Põhjalik spetsifikatsioon ulatub tuhandetesse lehekülgedesse ja see kujutab antud hetkeks kõrge komplekssusega süsteemi kirjeldust, milline on sobilik nii lähiümbruse-side kui ka kesk-kaug-side ülesannetesse. Sellel on erinevad lisad füüsilise osa kirjeldajatena, millest tuntumad ja kaubanduslikult kasutatavad on

- 802.11b, kanaleid 14, kanali ribalaius 22 MHz ning kanalite eraldus 5 MHz, kiirus kuni 11 Mb/s;
- 802.11g, kanaleid 14, kanali ribalaius 22 MHz ning kanalite eraldus 5 MHz, kiirus kuni 54 Mb/s; on tagasiulatuvalt ühilduv 802.11b-ga;

- 802.11n, kanaleid grupeeritakse 20, 40 või 80 MHz gruppidega, on tagasiulatuvalt ühilduv 802.11g-ga, kiirused kuni 600 Mb/s;

802.11 puuduseks võib pidada sõltumatute kanalite vähesust; selle tingib kanali ribalaius 22 MHz ning kanalite vähene eristus, tüüpiliselt 5 MHz. Selline kanalite sagedusribade jaotus vähendab paindlikkust ning samuti piirab ühendatavate seadmete arvu. Siiski, ühel kanalil saab korraga tegutseda mitu sõltumatut alamvõrku.

9.6.2 SPONTAANVÕRGUD (AD-HOC NETWORKS)

Rangelt määratletud võrkudes on andmeside võrgulülideks kindlalt määratud sõlmed, millised on näiteks marsruuterid ning nendevahelised kindlad ühendused (nt võrgujuhtmed). Sellise topoloogia talitluse eelduseks on, et kriitilised sõlmed andmevahetuseks (marsruuterid) on töös ja samuti on töös nende vahelised ühendusliinid ja vahepealsed vajalikud marsruuterid. Juhuslikult töös olevatest seadmetest koosneva ning geomeetriliselt juhusliku asukohaga seadmete võrku ühendamine sellisel viisil on suhteliselt kohmakas ning energiakulukas.

Spontaanvõrkude aluseks on seadmete endi tegevus sobiliku konfiguratsiooni leidmisel, et vahetada infot kahe sihtkoha vahel. Iga seade käitub kui marsruuter ja võimaldab edastada infot läbi enda, teostades samuti erinevaid andmete ülekandega seotud funktsioone (paketi edastamise kontroll) jne. Selliselt on võimalik ehitada üles dünaamilisi võrke, millised leiavad endale sobiliku andmete ülekandmise viisi, rakendades seadmete omavaheliseks suhtlemiseks parimat saadavalolevat kanalit. Samuti võimaldab sellist tüüpi võrk luua andmete ülekandmiseks ühendused juhul, kui mõni seni ühenduses osalenud seade lõpetab töö (lülitab ise välja, rike või lülitatakse välja) või osutub võimete poolest piiratuks.

Võrktopoloogiaga võrgud (ik mesh-network) rakendavad seadmete juures funktsioone, millega iga seade on andmete repiiter (ik repeater). Seadmed ühenduvad omavahe läbi üksteise ja sellega tagatakse märkimisväärne paindlikkus. Kui üks seade on saanud ühenduse kas võrguhaldussõlmega või muu tugisõlmega, siis selle seadme kaudu saavad ühenduda ka teised seadmed. Kuigi ideaalis tähendaks see, et võrgu töökindlus on suurenenud, siis praktikas annab mesh-võrk küll eelise, kuid võib tänu marsruutimise kohmakusele tähendada väikesemat andmeedastuskiirust, äärmuslikul juhul sõlmumist (ik deadlocking), millise tulemusena on kogu andmevahetuse peatumine. Seetõttu on mesh-võrkudel tüüpiliselt seatud ranged piirangud näiteks ühenduvate seadmete arvule.

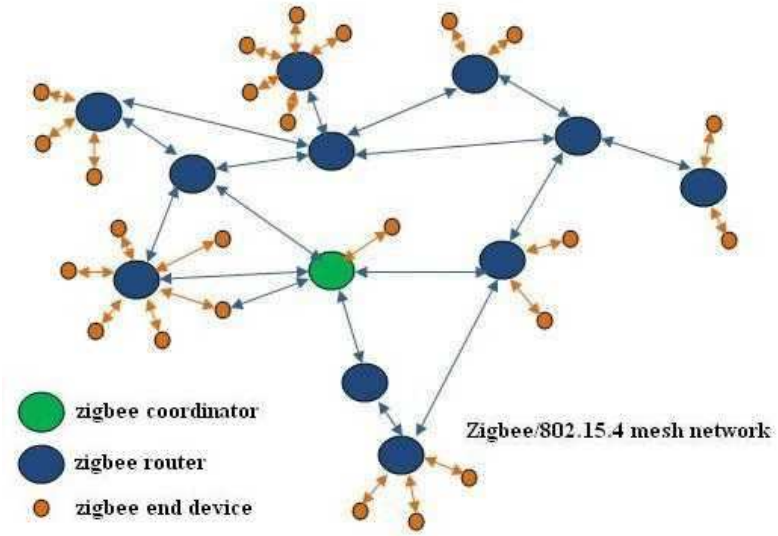
9.6.3 ZIGBEE

Zigbee Alliance spetsifitseerib IEEE 802.15.4 füüsilisel kihil põhineva lahenduse andmeside protokollide kihistu, mis on mõeldud eeskätt seadmetevahelise andmevahetuse

korraldamiseks. Tegemist on küpse tehnoloogiaga, mida on arendatud aastast 1998. Antud tehnoloogia arendamisel on sihiks seatud küll avatud spetsifikatsioon, kuid lahenduste arendamiseks on vaja asuda Zigbee Alliance liikmeks ja tasuda liikmemaksu.

Zigbee moodustab sideprotokollikihistu, millega kaetakse võimalikult suure haardega IoT seadmete andmesidenõuded kõrgematel kihtidel. Zigbee rakendab füüsilises kihis IEEE 802.15.4 traadita meediumit, mis rakendab tööks 868 MHz ja 2,4 GHz sagedusloata sagedusala. Sidekiirused on esimesel juhul kuni 20 kb/s ja teisel kuni 250 kb/s. Sidekaugused on tüüpiliselt 10 m, kuid võivad ulatuda 100 m-ni.

Zigbee laialt reklaamitud funktsionaalsuseks on ülimalt paindlik mesh-võrgu rakendamine erinevate lõpp-seadmete vaheliseks andmete ülekandmiseks. Funktsioonide nimistusse kuuluvad mh. iseparanev (ik self-healing) mesh-võrk. Kuigi sõlmed suhtlevad aktiivselt omavahel, haldab võrku keskne koordinaator (vt Joonis 9-14). Laiendatud andmevahetusvõimekusega ruuterid ühendavad enda külge lõppseadmeid.



Joonis 9-14. Zigbee mesh-võrgu osapoolte vaheliste sidemete ülesehitus.

Praktikas on Zigbee kohmakas, kuna on väga universaalne. Koordinaatori roll on kriitilise tähtsusega kogu ühenduskeemi loomiseks ja andmeteede määratlemiseks. Koordinaatoriga seotud rikete või temaga ühenduskanalite mittesaadavuse korral võib kogu võrk kaduda ja tuleb luua uus ühendusvõrk, mis tähendab täiendavat ajakulu, enne uute andmeedastusoperatsioonide sooritamist. Seetõttu on mingist piirist suuremate võrkude haldamine praktikas siiski probleemne ja mitte nii edukas, kui spetsifikatsioon määratleb.

9.6.4 **Z-WAVE**

Z-Wave Alliance poolt arendatav tehnoloogia, mis kasutab madalamates kihtides ITU-T G.9959 spetsifikatsioonil põhinevat tehnoloogiat. Selle tehnoloogia arendamiseks on vajalik litsents Z-Wave alliance' poolt. Z-Wave tugevuseks on tema ühilduvus kõikide tema

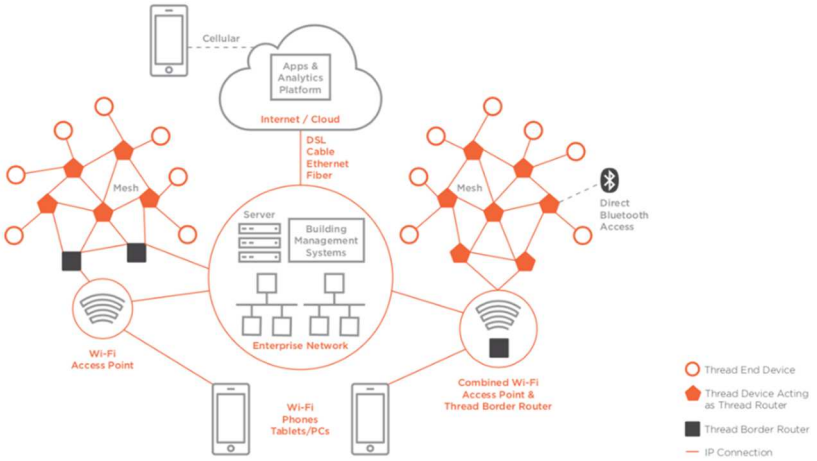
spetsifikatsiooni eelmiste versioonidega. Samuti on Z-Wave Alliance deklareerinud, et ka tulevikus kõik antud hetkel töötavad süsteemid jäävad ka tulevkus tööle.

Joonis 9-15. Näide Z-Mesh topoloogiagraafist

Euroopas töötab see süsteem 868 MHz sagedusalas ning saavutab andmeedastuskiiruse 40 kb/s kuni 30 m kaugusele andmete edastamiseks. Z-Wave võrgu halduse teostajana vaja võrgu kontrollerit (primary controller) ning ühendumine võib olla teostatud ka läbi erinevate seadmete (vt Joonis 9-15). Ühte võrku saab korraga ühendada kuni 232 seadet.

9.6.5 THREAD

Thread Group poolt välja töötatud spetsifikatsioon rakendab IEEE 802.15.4 madalamaid andmesidekihte ja sagedusloata kasutatavat sagedusriba 2,4 GHz. Thread põhineb IP-protokollil ja võimaldab lisaks seadmete omavahelisele suhtlusele ka pilvekeskkonnaga ühilduvust. 6LoWPAN (Ik *Low-Power Wireless Personal Area Networks*) võimaldab üleminekut füüsilise kihi ja IPv6 kihi vahel.



Joonis 9-16. Thred mesh-võrgu topoloogia ülevaade.

Thread-võrgu ühed olulisimad komponendid on ääre-ruuterid (border routers), vt Joonis 9-16. Sellises võrgus on need lüüsiks, mis seovad seadmetevahelise mesh-võrgu suurema võrguga.

9.6.6 BLUETOOTH MESH

Bluetooth Low Energy (BLE) mesh on Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SGI) arendatav mesh-andmesidelahendus. Selle füüsikaline kiht töötab 2,4 GHz avalikuks kasutamiseks mõeldud sagedusalas ja rakendab sagedusriba 2 MHz (tava-Bluetooth 1 MHz), füüsilise kihi töö on spetsifitseeritud IEEE 802.15.4 alusel.

BLE mesh on võrguühenduste loomise ja andmevahetusprintsiipide seisukohast otsekohene – kõik vastuvõetud sõnumid, mis ei ole antud seadme jaoks ette nähtud, korratakse ja saadetakse edasi. Sellise teguviisiga mesh-võrku nimetatakse ka „flood" network'iks, viidates ülekülluslikule andmete hulgale. Selline teguviis samas viib kiirelt võrgu ülekoormuseni ja võib koormata andmevahetuse üle. Samas on selline võrk võimalikult kindel erinevate osade ühenduste kadumise puhul ning tõrked ühest punktist ei halva võrku.

9.6.7 KOKKUVÕTE JA VÕRDLUS

Spontaanvõrkude heaks omaduseks on nende suur paindlikkus, mis võimaldab neid rakendada väga erineva keerukusastmega ülesannetes ja väga erinevates võrkudes. Antud peatükis on esitatud näited, millised tehnoloogiad potentsiaalselt sobiksid sellistesse kohtadesse, kus erinevad andmeside ülekandes osalevad seadmed on suhteliselt lähestikku, näiteks koduautomaatiks kontekstis. Samas paremate antennide ja saatjakiipide arenduste korral edastuskaugus kasvaks märgatavalt. Alljärgnevalt esitab Tabel 9-5 eelnevalt vaadeldud andmesidetehnoloogiate võrdluse.

Tabel 9-5. Spontaanvõrkude tehnoloogiate võrdlus [Adhoc1].

Tehnoloogia	Thread	Z-Wave	ZigBee	Bluetooth Low Energy
Sagedusala	2,4 GHz	868 MHz	868 MHz 2,4 GHz	2,4 GHz
Edastuskaugus	20-30 m	100 m (otsesihis)	10-20 m	10-100 m
Max ühendatud seadmeid (teoreetiline)	250	232	65,536	7
Andme-edastus-kiirus	250 kb/s	40kbit/s	110kb/s	24 Mbit/s

Spontaanvõrgu komponendid on taotluslikult universaalse funktsionaalsusega, mis puudutab erinevat andmete marsruutimist ja ühendusteede tuvastamist. Kvaliteetsemad ja keerukamad võrguühenduste defineerimise funktsioonid on vajalikud sh juhtudel, kui võrgusõlmed liiguvad või on andmete vahetuseks saadaval erinevatel aegadel (viibides vahepeal näiteks madala energiatarbega olekus).

Nn. targa võrgu funktsioonide seisukohast on andmesideoperatsioonides osalevad lõppseadmed suhteliselt staatilised. **Kui lõppseadmeks on arvesti,** võib eeldada, et

- Arvesti positsioon võrgus ei muutu; arvesti on ikkagi saadaval pidevalt läbi samade võrgusõlmede;
- Arvesti on kogu aeg andmesideks saadaval (välja arvatud juhtumid, kui esineb rike võrgus või ümberühendamine).

Spontaanvõrkude eeliseks on ka nende suhteline odavus.

Elektrilevi OÜ arvestite kauglugemise ja targa võrgu funktsioonide vaates, on sellised võrgud küllaltki head kandidaadid ELS-le alternatiiviks, juhul kui viimane peaks osutuma ebatöökindlaks.

9.7 MADALA VÕIMSUSTARBEGA KAUG-RAADIOSIDE VÕRGUD

Kaug-raadioside puhul tuleb välja tuua andmete ülekandmisel saatjast vastuvõtjasse signaali levimisel ülisuur sumbuvus. Kanalis esinevaid kadusid (link coupling loss [IEEE_LinkB]) hinnatakse üle 100 dB suurusteks, suured kaod on tingitud nii saatvate seadmete kohatisest lihtsakoelisusest (antenni mõõtmed ja paigutus) kui ka sellest, et kaug-raadiosidet rakendavad väikeseadmed on paigutatud ruumidesse/tingimustesse, kus EM-välja levimine on pärsitud. Saatjate tööle on tüüpiliselt seatud piirangud, kas sidetehnoloogia standardist /regulatsioonist tulenevalt, või seadme enda võimekusega

piiratuna. Teisalt evivad vastuvõtjad teatud tundlikkust, st võimekust dekodeerida vastuvõetud signaal korrektselt, teatud piir-EM-väljasuuruste korral. Kommunikatsiooni edukuse määrab nii saatja võimsuse väärtus, kanali sumbuvus kui ka vastuvõtja tundlikkus koos [LBC].

Madala võimsustarbega kaugvõrgud (ik *Low Power Wide Area* – LPWA) seavad eesmärgiks eelkõige asjade interneti (IoT) seadmete teenindamise ja nende väikese andmemahuga mitte-ajakriitiliste andmete edastamise. Kõrgel kohal on akudest tarbitava energia kokkuhoid, kuna IoT sensorseadmete mõõtmed/võimalused on tihtipeale piiratud suure mahutavusega akude paigaldamiseks. Seetõttu piiratakse tugevalt saatmisvõimsus-intensiivseid operatsioone, teisalt seatakse seadmed enamasti ooteolekusse või madala energiatarbega olekusse ajaks, kui neil endil andmeid edastada ei ole vaja. Kõik loetletud aspektid sisaldavad kompromisse erineva funktsionaalsuse osas, mida andmesidelt oodatakse/nõutakse.

Andmeside funktsioonide naturaalseid piirajaid on nendel tehnoloogiatel mitmeid. Esmalt, kuna need kuuluvad avalikuks sidepidamiseks kasutatavate sagedusribade koosseisu, on piiratud nende saatevõimsus ja eetris olemise (st saatja sisselülituse) aeg. IoT nn Fair Access Policy [thethingsnetwork.org/] on täiendavalt sõnastatud õiglase juurdepääsu printsiibina, millega piiratakse eetris olemise aeg 30 s/ iga 24h kohta saatmiseks ning täiendavalt seadme kohta 10 alla laetava sõnumini / iga 24 h kohta (LoRaWAN näitel).

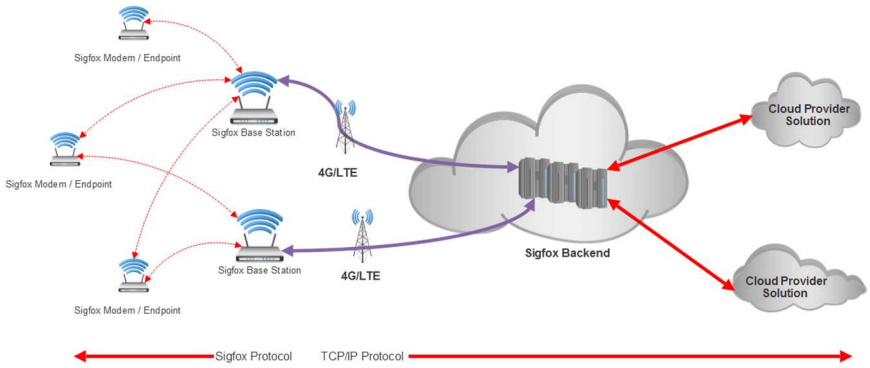
Struktuuris on oluline roll tugijaamade ja lairiba-tuumvõrgu ühenduvusel suuremasse pilve-põhisesse võrku. Nii on LPWA võrgud pigem reeglina ühendatud ülemiste kihtide funktsioonide kaudu avalikku mobiilsidevõrku, sealtkaudu läbi Interneti ja IP-protokolli kesksesse serverisse.

Teisalt rõhutakse füüsilise kihi tasemel tõhususe suurendamisele. Üheks näiteks ongi kitsaribalise andmeside kasutamine, kuna müratase sõltub ribalaiusest, mida kanal kasutab. Ülikitsas sagedusribas töötavad süsteemid hiilgavad sellega, et nende kanali paratamatu müra on niivõrd madalal tasemel, et eristada on võimalik ka väga madala amplituudiga signaali. Näiteks SigFox kasutab 100 Hz ribalaiust, milline võimaldab võtta edukalt vastu /üle kandmiseks rakendada ka signaale tasemega -130 dB saatja võimsuse suhtes, madala taustamüra korral.

SIGFOX

Sigfox on tuumvõrgu-(backbone)-operaator (Prantsusmaa), kes pakub 868 MHz sagedusloata avalikuks kasutuseks sagedusloata sagedusalas rakendavat IoT tehnoloogiat. Tegemist on kommerts-litsentsiga tehnoloogiaga, mille kasutamine on tasuline.

Sigfox-süsteemi eelis on see, et kuna kõik sõnumid edastatakse baasjaamadest üle kogu maailma samasse tuumvõrku Prantsusmaal, siis on tagatud seadmete ülemaailmne (otse)juurdepääs.



Joonis 9-17. Sigfox tehnoloogia arhitektuur.

Füüsilises kihis kasutatakse BPSK modulatsiooni, 100 Hz ribalaiust ning tänu kitsale ribale on andmete ülekandekiirus kuni 100 b/s. Kitsas ribalaius võimaldab üliväikese müratasemega tööd, mis omakorda tähendab sama saatevõimsuse juures kaugemat levi.

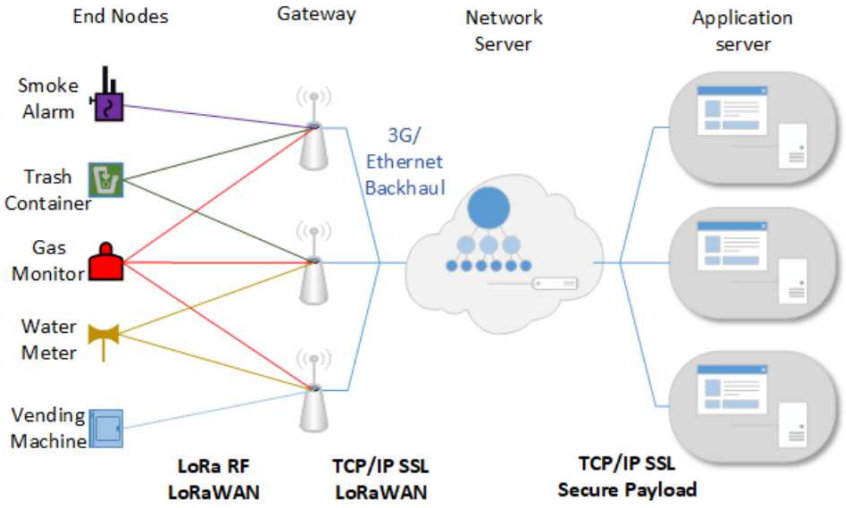
Lõppseadme poolt edastatavate sõnumite andmekoormus on saatmisel 12 B (96 bitti) ja neid võib päevas edastada kokku 14 korral. Allalaetavate sõnumite arv lõppseadme jaoks on 4 tk / iga 24 h jooksul, kuid paketi andmekoormuse maht seejuures on 8 B (baiti) ja nõutav paus 15 minutit. Kviteeringut ei rakendata, mistõttu ei ole saatjale teada paketi edukas ülekandmine, mistõttu tuleb pakette korrata. Igat lõppseadme sõnumit korratakse 3 korda, kasutades erinevatel sagedustel olevaid kanaleid (Euroopas 400 tk, iga 100 Hz). Lõppseade edastab paketid tema enda poolt juhuslikult valitud kanalil, ja juhuslikul ajahetkel, kasutades RFTDMA-kontseptsiooni (Random Frequency and Time Division Multiple Access). Süsteem ei ole ajakriitiline ja sobib aeglaste süsteemide ja sensorite andmevahetuseks.

Eestis on SigFoxi teenuste vahendajad käesoleval hetkel Connected Baltics ja Telia Eesti.

LORA

LoRa (Long Range) on Semtech Corp. poolt arendatav madala võimsustarbega kaugsidevõrk, mille sideulatusteks on vabas õhus üldises plaanis 10 km. Hetkel tegutseb selle võrgutehnoloogia juures ka LoRa alliance, kes arendab samal füüsilisel kihil põhinevat protokollikihistut. Tuntuim neist on näiteks LoRaWAN.

LoRa töö toimub sagedusloata sagedusalas Euroopas 433 ja 868 MHz, ning rakendab sideks tüüpiliselt 125 kHz ribalaiust. Sealhulgas on võimalik rakendada robustset talitlust (andmesidekiirus siis alates 80 bit/s) [LWPAs], parimas talitluses on sidekiirus kuni 50 kb/s [LORA2] . Ribalaius on valitav ka kuni 500 kHz, mille korral on andmesidekiirus ka suurem, kuid edastuskaugus väikesem. Kasutatav andmesideaeg päevas on piiratud 1%-ga koguajast, mis piirab ka sõnumite arvu, sõltuvalt nende andmekoormusest. Näiteks 20 B koormusega on võimalik päevas edastada kuni 400 sõnumit [LWPAs], mis tõttu maksimaalne andmemaht päevas on selgelt piiratud.



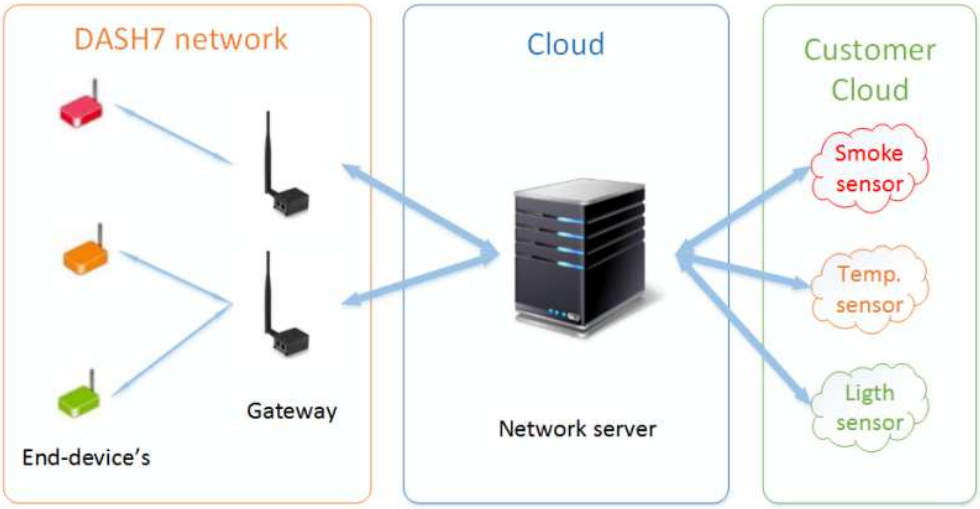
Joonis 9-18. LoRaWAN võrgu täht-topoloogia ja struktuuri näide [LORA1].

LoRa Alliance litsentseerib tehnoloogiat. Samas on LoRa komponendid suhteliselt odavad ja saadaval avatud põhimõtetel kasutuseks. Hetkel riistvarale ja tarnijale olemas 1 tarnija. Ükskõik kes võib panna üles LoRa gateway (olukorda on sarnane WiFi/WLAN põhimõtetega) mistõttu LoRa võrgu toimivust ei ole võimalik alati tagada sarnases olukorras. LoRa tugevus on levik, samas kui üles pannakse konfliktne seade, siis on sidekanal rikutud ja selle üle kontrolli ei ole. LoRa sõnumeid kuulavad kõik gateway'd ning edastavad need saabumisel kõrgematesse kihtidesse, kus duplikaadid hiljem välja filtreeritakse. See lisab süsteemile täiendavat töökindlust, kuid erinevate andmeside ebakooskõlade tõttu esinevate probleemide tõenäosus püsib.

LoRaWAN paketid on krüpteeritud, nende andmekoormus on 19 – 250 baiti. Pakettide edastamine toimub ilma kviteeringuta (acknowledgement). Sidepidamine toimub baasjaamaga, mille külge saab ühendada paarsada erinevat seadet. Samas kõik individuaalsed seadmed otsustavad ise, millal andmeid edastavad. Andmepakettide saatmisel konflikte (collision) ei kontrollita ja neid ei ole võimalik vältida. Samas võimaldab LoRa arvestataval määral kahesuunalist sidet, mis siiski võrgu toimivuse juhtimiseks on liialt suure viitega. Kõrgemas kihis on LoRaWAN pilvearhitektuurile orienteeritud, mis võimaldab tõhusamat arendustööd rakenduste tasemel.

DASH7

DASH7/BLAST on Dash7 Alliance poolt välja töötatud ja arendatav LWPAN tehnoloogia, mis rakendab 433 ja 868 MHz sagedusalasid, tuginedes ISO/IEC 18000-7 standardile. Andmeside kaugus on tüüpiliselt 1-2 km, kuidas andmesidekiirus võib ulatuda kuni 200 kb/s.



Joonis 9-19. DASH7 arhitektuuri ülevaade.

DASH7 pakettide suurus on piiratud 256 baidiga. Ühendustes osalevad gateway-seade, alamkontrollerid ja lõpp-punkt seade. Seadmest üle kantavad andmed suunatakse pilveserversisse, kust kasutaja neile rakenduse tasemel siis juurde pääseb. Kliendi pilveserver on suhteliselt sarnane näiteks LoRaWANi spetsifikatsioonis rakendatule.

ÜLEVAADE JA KOKKUVÕTE

LPWA-võrgud on esmapilgul odavad ja võimekad, kuid see puudutab siiski ainult teatud võrdlemisi piiratud rakenduste ulatust. Kuigi andmete ülekanne iseenesest võib olla turvaline, ei ole tagatud arvestatavaid mehhanisme, et kindlustada andmete ülekanne ja terviklikult sihtkohta jõudmine**. Arvestite andmed samas peavad vääramatult terviklikult andmelattu kohale jõudma.**

Tarkvõrgufunktsioonide puhul võiks selliste tehnoloogiate rakendamist kaaluda erinevates diagnostikasüsteemides. Sellised võivad olla näiteks **katkestuste asukoha leidmine**, mõne võrgu sõlme talitluse kontroll jms. **Arvestite andmesideks, arvestades nõudeid lugeda alati tarbimise andmed iga tunni kaupa, või tihedaminigi, ülal kirjeldatud LPWA sidetehnoloogiad ei ole sobilikud.** Samas, kui turule peaks ilmuma mõni uus lahendus, millel oleks parem võimekus andmete ülekandmise kindlustamiseks, ning suurem andmesidekiirus, võib osutuda see ka arvestite näitude edastamiseks sobivaks.

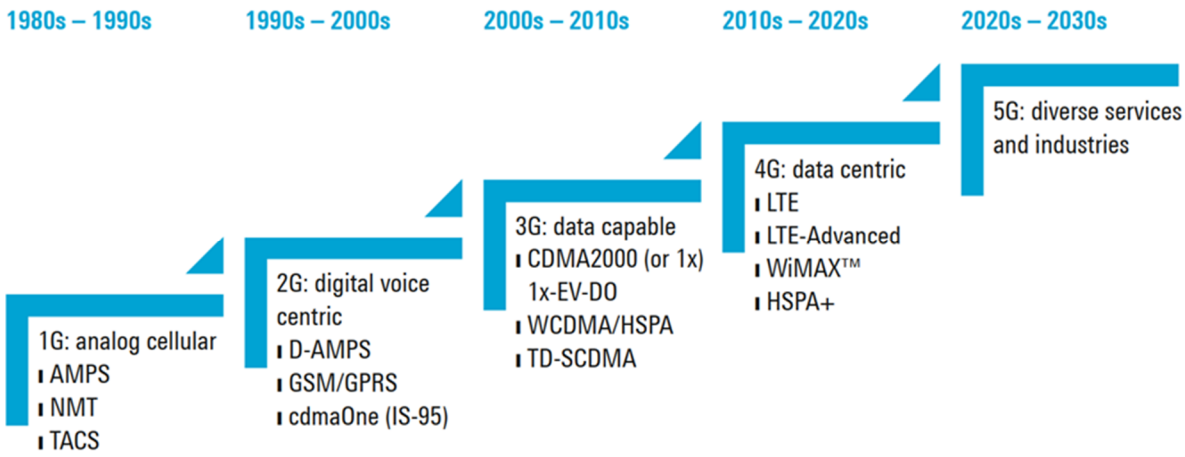
9.8 AVALIKUD LAIARIBALISED RAADIOTEENUSVÕRGUD

Avalikuks teenuseks kasutatavate mobiilsidevõrkude katvus on Eesti oludes pea täielik ning teenuse kvaliteet reaalaegseks sideks igati hea. Sellised raadiosidevõrgud on ideaalselt sobilikud ka andmesideks, toetades sh suures mahus ning reaalajas voogedastust. Tänasel päeval võib 4G mobiilsidevõrke kasutades jälgida kõrglahutusega video reaalajas ülekantavaid vooge, milliste andmemaht ja nõuded andmeside kiirusele, samuti sujuvaks reaalajas tööks on kordades suuremad, kui erinevad tarkvõrgu funktsioonid, sh elektrienergia tarbimise arvestite näitude edastamine.

Avaliku raadioteenuse arendajad/pakkujad tegutsevad kommertsalustel, kuid nende tegevus on suhteliselt hästi reguleeritud. Teenusepakkujad tunnistavad mh asjade interneti (IoT) potentsiaali ka teenuste mahu ja teenuste profiili suhtes, millel tulevikus nähakse kiirelt kasvavat rolli. Võrreldes inimesele suunatud teenusega on asjade interneti teenusel märgatavaid erinevusi, **milleks tüüpiliselt on andmemaht ja andmesidekiirus, kuid ka pidevas ühenduses olevate seadmete arv**.

IoT perspektiivid on seotud suurema andmemahuga ning reaalajalisusega. Antud hetkel konservatiivsed masina-suhtlus funktsioonid saavad suurepäraselt hakkama aeglastel andmesidetehnoloogiatel põhinevate lahendustega (sh 2G GPRS). Tegelik reaalajalisus on piiratud võrdlemisi suurte viidetega andmesides, kuid seda ei ole ka sedavõrd kriitiliselt tarvis. 5G arendused sihivad mh reageerimisaja lühendamisele, seades eesmärgiks reageerimisaja (latentsuse) alla 1 ms jooksul edastamise. 5G arendus on siiski alles algusjärgus ning tehnoloogia küpsuseni läheb veel üksjagu aega.

Mobiilsidetehnoloogiate esmaseks motivatsiooniks olnud inimkõne edastamine piisava kvaliteediga ja tuntava viiteta on liikunud 3G ning 4G võrkudega tuntavalt andmeside prioriteetidele (vt *Joonis 9-20*). Kõne kvaliteedi tagamiseks on vajalik suhteliselt tagasihoidlik andmemaht, kuid kvaliteetne pidev andmevoog. Kui andmeside suurte mahtude edastamisel arvestatakse andmete puhverdus-võimalustega, siis kõne puhul isegi 4G LTE puhul on tegemist prioriteetse vooga, mis saab endale spetsiifilise prioriteedi andmete ülekandmisel. Kui 2G, 3G tehnoloogiad hoiavad kanalid aktiivsena tavalise kõne kasutuses, siis 4G VoLTE (ik voice over LTE) tehnoloogias sooritatakse kõik kõned andmepaketi-põhistena, kuigi kõrgema prioriteediga.



Joonis 9-20. Avaliku mobiilside põlvkonnad ja neid kirjeldavad tehnoloogiad [RS_Rfund].

Elektrijaotusvõrgu seisukohast on targa võrgu funktsioonide täitmine avalikke mobiilsidevõrke kasutades tänasel päeval igati tagatud. Samas on andmemaht tüüpiliselt väga väike ja sidekanali/vahendi kasutus ajaliselt väga lühike. Avaliku raadioteenusvõrgu kasutamisel on järgmised eelised:

1) Sagedusloa alusel määratletud sagedusribade kasutamine toimub tehnoloogia- ja teenusepakkuja reeglite alusel, ja võimsusega. Saatjate võimsused (eriti

tugijaamas) on oluliselt kõrgemad, kui sagedusloata avalikuks kasutamiseks eraldatud sagedusribade reeglistike järgi. Samuti on ka tugijaamade antennid suuremate mõõtmetega ja tagavad oluliselt paremad saate- ja vastuvõtuomadused.

2) IoT seadme enda saatevõimsus võib olla oluliselt suurem, kui avalikus kasutuses oleva sagedusala seadmetel, samuti võib saatja pidevalt olla töös. Näiteks on tüüpiline suurim saatevõimsus NB-IoT süsteemi seadmetel 200 mW, samas kui näiteks IEEE 802.11 / WiFi tehnoloogiatel on lubatud saatevõimsus kuni 100 mW ja oluliselt väikesema kasutusajaga.

3) Sagedusloa alusel on võimalik kasutada laia sagedusriba, mis võimaldab suurte andmeedastuskiiruste kasutamist.

Sagedusalade kasutamist ning sageduslubade andmist Eestis reguleerib riiklikul tasemel Eesti raadiosagedusplaan (Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaministri määrus nr 54, hetkel kehtiv redaktsioon alates 28.01.2019).

Tuleb rõhutada, et avalike mobiilsidevõrkude teenus töötab kommertsalustel, ning taskukohaseima teenuse saab tagada juhul, kui sellise profiiliga teenuse kasutajaid on piisavalt palju. IoT teenuste osas võib oodata samuti väga erinevaid teenusepakette, olenevalt andmesidele nõutavast reaalajalisusest, andmemahust, ja saadavusest. On oodata, et mobiilside tehnoloogiad on ka tulevikus siiski suhteliselt kallid, ja teenusepakkuja soovib perioodi tasu.

Teisalt tingib teenuse hinna tavapärane infrastruktuuri- ja hoolduskulu. Vananev seadmestik nõuab suuremat hoolduskulu ning komponentide ja süsteemi osade saadavuse halvenedes kasvavad ülalpidamiskulud kiirelt. Verstapostiks on ka teenusekvaliteedi piirtase, mis on firmade puhul väga erinevalt sõnastatud ja keeruliselt määratletud. **Kui nähtavas tulevikus on oodata näiteks 2G ja 3G süsteemidest loobumist, siis otsused selle teenuse katkestamiseks teevad erinevate teenusepakkujate juhtorganid ilmselt lähtudes neile teadaolevatest perspektiividest ja tasuvuse hinnangutest. 2G asendamiseks ilmselt ei ole paremat alternatiivi, kui liikuda LTE / NB-IoT suunas.**

Tabel 9-6. Mobiilsidevõrkude üldised tehnilised parameetrid.

Tehnoloogia	Sagedus-alad (MHz)	Ribalaius	Andme-edastuskiirus (teoreetiline)	Kasutatav saatja võimsus (dBm)	Viiteaeg (ms)
2G GSM	900 1800	200 kHz	9,6 kb/s	33 dBm / 2 W (900 MHz) 30 dBm / 1W (1800 MHz) [3GPP_GSM]	600 [ATT_WP1]
2G GPRS			127 kb/s		650 [LAT_SRC]
2G EDGE			300 kb/s		400 [LAT_SRC]
3G UMTS	900 2100	5 MHz	2 Mb/s	24 dBm / 200 mW	150 [LAT_SRC] 200 [ATT_WP1]
3G HSPA			14,4 Mb/s		80 [LAT_SRC]
3G EHSPA			84 Mb/s	20 dBm / 100 mW	50 [ERC_HSPA]

				([RS HSPA+]	
4G LTE	800 2100 2600	20 MHz	100 Mb/s	23 dBm / 200 mW	20 [LAT_SRC]
4G E-LTE		100 MHz	1,5 Gb/s		20 [LAT_SRC]
5G NSA	3600 + varasemad	5 … 100 MHz	20 Gb/s	23 dBm / 200 mW [5G PCL]	4 [IHS_5GB]
5G NR			20 Gb/s		1 [IHS_5GB]

9.8.1 2. PÕLVKONNA MOBIILSE ANDMESIDE TEHNOLOOGIAD

2G GSM-tehnoloogia (ik *Global System for Mobile communication*) oli algupäraselt ette nähtud eeskätt kõneteenuseks, kuigi kasutades kõne edastuseks täielikult digitaalandmeid. Kõneteenuse jaoks oli piisav andmemaht 9,6 kb/s, mis vastas arendamise aja tehnika tasemele (1980. lõpp), kuid ei olnud mõeldud otseselt andmete ülekandmiseks. Kõne ülekandmiseks rakendati kanali jaotamist 8 ajapilu (ik timeslot) [GPRS_WP] [RS_RFund] kaupa raadiokaadriteks.

2G-põlvkonna GSM/GPRS/EDGE rakendab sideks sagedusala 900 MHz ja 1800 MHz; kanali laiuseks on 200 kHz (osa 900 MHz sagedusribast on 3G poolt kasutuses).

2G tehnoloogiad on küpsed, kuid ajale jalgu jäämas. 2G võrkude likvideerimisega on osades riikides lõpule jõutud (nt USA), **ning Euroopas eeldatakse 2G „sunset"-i enne 2029.** Komponentide tootmine 2G tugijaamadele lõppeb eeldatavalt 2024. Sideteenuse kvaliteet on peale seda küsitav, seadmete riknemisel ei ole võimalik tagada jätkuvat teenuse saadavust ega katvust. GPRS kliendid suunatakse eeldatavalt NB IoT / LTE-M lahendustele.

GPRS

General Packet Radio Services on GSMi arendus, mis võimaldas rakendada andmete ülekandmiseks mitmeid ajapilu koos, 21,4 kb/s timesloti kohta [R&S] võimaldas saavutada tugijaamalt seadmesse (e allalaadimis-suunalise) edastuskiiruse 85,6 kb/s ja vastupidises suunas (seadmelt tugijaama, e üleslaadimis-suunalise) edastuskiiruse kuni 42,8 kb/s.

EDGE/EGPRS

Enhanced Data for GSM Evolution on omakorda GPRS edasiarendus, mis võimaldab kolmekordistada läbilaskevõimet ja ühe timesloti kohta on see 59,2 kb/s. Selliselt on saavutatav andmete allalaadimisel edastuskiirus kuni 300 kb/s. Selleks rakendatakse andmeedastuseks keerulisemat faasmodulatsiooni (8PSK), mis nõuab GPRSiga võrreldes märksa kvaliteetsemat kanali kvaliteeti.

EDGE EVOLUTION

EDGE Evolution / EGPRS2 võimaldab saavutada täiendava allalaadimis-edastuskiiruse kasvu kuni 1 Mb/s, mis saavutatakse sh veel keerukama modulatsiooni rakendamisega andmete ülekandel, ja nõuab täiendavalt parema kvaliteediga kanalit.

9.8.2 3. PÕLVKONNA MOBIILSIDE TEHNOLOOGIAD

Tüüpiliselt rakendatakse 5 MHz ribalaiusega raadiokanaleid ning sagedusaladeks on Euroopas tüüpiliselt 2100 MHz ja seda on laiendatud edasi 900 MHz sagedusalas.

Antud hetkel ei peeta 3G sidetehnoloogiaid enam pikaealisteks ning osades riikides on juba alanud 3G võrkude sulgemine tõhusama LTE/4G kasuks. Maailmas juba sulgemisele läinud võrkude näitel võib eeldada, et 3G võrkude sulgemine toimub üsna pea (vaid mõned aastad) peale 2G võrkude sulgemist. **Seega on oodata, et 3G andmeside-teenused peatuvad millalgi 2020. teise poole keskel.**

UMTS

Universal mobile telecommunication system – algse andmeedastuskiirusega 384 kb/s alamkanali kohta töötav süsteem oli mõeldud prioriteetselt nii kõne- kui andmesideks [3G_3GPP1]. Raadio optimaalsemaks kasutamiseks rakendatakse laiaribalist koodipõhise jaotusega mitmik-juurdepääsu (ik wideband code division multiple access (WCDMA))-tehnoloogiat. Laiaribaline viitab, et kasutusel laiem sagedusriba, kui on edastuskiiruse realiseerimiseks vaja. Põhimodulatsioon on QPSK; modulatsoonil rakendatakse lisaks edastatavatele andmetele lisakoodi, milline iseloomustab neid signaali ja koodi alamosi, mis aitavad edastada ja vastuvõtul eristada spetsiifilist kanalit teistest. Täiendavalt rakendatakse sagedus- ja aegeristust: iga andmevahetusepisoodi jaoks on defineeritud 10 ms pikkune raadiokaader, milles on kokku 15 alam-ajapilu, neist 3 on kasutuses side juhtimiseks ja signaliseerimiseks. Ülejäänud 12 ajapilu on kasutuses sideteenusteks, sh andmesidepakettide edastamiseks.

HSPA

High-speed packet access – laiendab WCDMA ressurssi ja võimaldab alamkanaleid dünaamiliselt planeerida, lubades kasutajatel rakendada vastavalt nende andmevoogudele mitmeid kanaleid korraga. Seejuures igas järgnevas ajalises paketis võivad olla erinevate kasutajate andmed ja nendele eraldatud kanalid. Andmesidekiirused on tänu 16 QAM modulatsioonile võrreldes UMTS-ga 14,4 Mb/s [ERC_HSPA1].

HSPA+

HSPA+ võimaldab täiendavalt tõsta andmeedastuskiirust tänu 64 QAM modulatsioonile ja MIMO mitmiksisend-mitmikväljund süsteemi, kus ühe andmevoo jaoks rakendatakse mitut eraldisesivat antenni ja täiendavat modulatsiooni. MIMO võimaldab tõsta andmeedastuskiirust 2 korda sama laial kanalil. Kokku saavutatakse andmeedastuskiirused allalaadimisel tugijaamast seadmesse teoreetiliselt kuni 84 Mb/s.

9.8.3 4. PÕLVKONNA MOBIILSIDE TEHNOLOOGIAD

4. põlvkonna andmesidetehnoloogiate võimalused andmeedastuskiiruse osas võimaldavad mitmete andmeintensiivsete meediavahendite, nt kõrg-eraldusvõimega video tarbimist reaalajas. Sellised võrgud sobivad eelkõige inimestele suunatud teenuste pakkumiseks, kuid suurema hulga seadmete, millised oma andmeid soovivad avaliku võrgu kaudu

edastada, **ühendamiseks on see ebatõhus. Seepärast on välja töötatud seeria madalama jõudlusega, kuid sarnaseid tehnoloogilisi omadusi evivad seadmete-vahelise (nn seadmete-internet, IoT) ühendust võimaldavad 4. põlvkonna tehnoloogiad.** LTE sobib väga hästi andmesideks, kuid signaalitöötluse keerukus tingib suhteliselt kalli riistvarakomponendid ja ühtlasi kallid modemid. LTE andmeside latentsus on suurusjärgus 20-30 ms.

4. põlvkonna raadioside sagedusaladeks on Euroopas tüüpiliselt 700, 800, 1800, 2100 ja 2600 MHz. 2100 MHz sagedusalad on võetud üle 3G-lt ja 1800 MHz on üle võetud GSM-ilt.

LTE

LTE (UMTS long term evolution) – Prioriteetselt andmeedastusele orienteeritud tehnoloogia, mis võimaldab edastuskiirused vähemalt 100 Mb/s allalaadimisel tugijaamast seadmesse ning 50 Mb/s üleslaadimisel seadmest tugijaama. Selliste kiiruste saavutamiseks rakendatakse OFDMA (ortogonaalse sagedus-dupleksimisega mitmik-juurdepääsu (ik Orthogonal Frequency Division Multiple Access) [RS LTE1] allalaadimisel tugijaamast seadmesse ning seadmest tugijaama andmeedastusel SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access põhimõtteid. Täiendavalt lisab LTE võimaluse rakendada nn MIMO ehk mitmiksisend-mitmikväljund süsteemi, kus ühe andmevoo jaoks rakendatakse mitut eraldi antenni ja täiendavat modulatsiooni.

OFDMA omab otseseid sarnasusi OFDM-ga, kus võrdlemisi laias ribas rakendatakse kitsaid alamkandevsagedusi. LTE alam-kandevsagedused on 15 kHz vahega; 12 alamkandjad moodustavad ühe ressursiploki. Ajalise kaadri pikkus on 10 ms, mis on jagatud alampakettidesse pikkusega 1 ms ning selle sees olevatesse ajapiludesse pikkusega 0,5 ms. LTE võimaldab rakendada ribalaiuseid alates 1,4 MHz (kokku 6 ressursiplokki) kuni 20 MHz (kokku 100 ressursiplokki).

LTE-ADVANCED

LTE-Advanced on LTE edasiarendus, mis võimaldab kandevsageduste agregeerimist kuni 5 kandja koos-hõlmamisega. Kandevsagedustel raadiokanalite 20 MHz ribalaiuste korral võimaldab see saavutada kasutatavaks ribalaiuseks 100 MHz ning allalaadimisel tugijaamast seadmesse andmeedastuskiiruseks kuni 3 Gb/s ja üleslaadimisel seadmest tugijaama kuni 1,5 Gb/s.

9.8.4 5. PÕLVKONNA MOBIILSIDE TEHNOLOOGIAD

5. põlvkonna mobiilsete sidetehnoloogiate spetsifitseerimisel on vaade mh rakendustel ja nende nõuetel, mistõttu 5G-süsteemide alustena on nimetatud laialdast kasutusjuhtude spektrit kuid ka paindlikkust [ERC_5GW]. Üldiselt nimetatakse kolme alus-kasutusjuhtumit:

1) täiustatud mobiilne lairibaside (ik *enhanced mobile broadband* (eMBB)), eesmärgiga tagada inimese poolt tarbimiseks mõeldud andmevood, mille maht ja andmeedastuskiirus on suur;

2) massiivne masin-kommunikatsioon (ik *massive machine type communications* (mMTC)), millega ühendada tohutu arvukusega lihtsaid seadmeid (sensorid, tajurid jpm); ressursi säästmiseks rakendatakse selleks kitsaribalisi kanaleid.

3) ultra-töökindel madala viitega kommunikatsioon (*ultra-reliable low latency communications* (URLLC)), tuntud ka kui kriitiline masin-kommunikatsioon (ik *critical machine type communications* (cMTC)), mille näiteks on isesõitvate sõidukite juhtimiseks vajalike andmete töötluseks reaalajas edastamine, ning juhtimisotsuste edastamine isesõitvasse sõidukisse.

5G-süsteemide iseloomustaja on ülimalt suur paindlikkus, nii kasutatavate tehnoloogiate kui ka nn „uue raadio" (ik *new raadio* – NR) raamistikus. Nii võib 5G füüsikaline kiht põhineda mh teistel tehnoloogiatel, LTE-st tuntud alustel või muul laiaribatehnoloogial. 5G NR võimaldab aga seada igas kasutatavas sagedusribas samaaegselt täiesti erinevad kanali ribalaiused jpm. Tehnoloogiliselt võimaldaks 5G NR pakkuda ühendunud seadmete tihedust 10^6 seadet / km^2 [IHS-5GB].

Hetkel on välja pakutud 5G süsteemidele ülemineku kontekstis 2 erinevat lähenemist [IHS-5GB].

1) 5G SA (ik *standalone*, iseseisev) tähistab võrgu ülesehitust, mis põhineb täielikult 5G tehnoloogial, sh tuumvõrk (5GC). Selline võrk on alguses suurema investeeringukuluga, kuid selle arendamise pidurdavaks asjaoluks võib pidada küpse tehnoloogia puudumist 5G võrgu algfaasis.

2) 5G NSA (ik *non-standalone*, mitte-iseseisev) tähistab võrgu ülesehitust, mis kasutab seadmetega suhtluseks 5G füüsikalist kihti, kuid tuumvõrk ja sellega seotud kommunikatsiooni juhtimine on rajatud 4G / LTE võrgu baasile. Selline võrk võimaldab ületada 5G tehnoloogia küpsuse probleeme, kuid võib hiljem nõuda suuremaid investeeringuid.

Andmeedastuskiiruse ja võimekuse osas ei ole antud lähenemistel vahet. Tehnoloogia vahe avaldub oodatavalt selles, et 5G SA võimaldab 1 ms sideviidet, kui 5G NSA viiteks on 20-30 ms, samaselt 4G võrkudega. Samuti on vaja 5G seadmetelt, et need toetaksid NSA puhul koostalitlust LTE võrkudega.

5G NR tehnoloogia võimaldab sama riistvaraga ka 4G talitlusele lülitada ja samuti on 5G tugijaamade riistvaraga võimalik tagada LTEx/NB IoT seadmetega ühenduvus. See annab toetuspunkti nimetatud tehnoloogiate pikaealisuse aspektidele.

Euroopas töötaksid 5G seadmed kavandatult sagedusalas 700 MHz ning 3400 – 3800 MHz, millised veel ei ole muude tehnoloogiatega hõivatud. Samas on tuntav surve erinevate sagedusalade taaskasutamisele. Ülemineku lihtsuse ja ühilduvuse tõttu, on tulevikus ilmselt kõik 4G sagedusalad samuti 5G tehnoloogiate kasutuses, samuti varasemate tehnoloogiate eemaldamisel.

9.8.5 4. PÕLVKONNA TEHNOLOOGIAD SEADMETE-VAHELISEKS ANDMEEDASTUSEKS

3GPP katusorganisatsioonis on välja pakutud terve rida spetsifikatsioone, millised võimaldavad 4. põlvkonna mobiilside tehnoloogiatele tuginedes realiseerida seadmete interneti (IoT) ühendusi ja andmesidefunktsioone.

Koondnimetusega LTE-MTC (ik machine type communication), low power wide area (LPWA) raadioteenuste tehnoloogia on välja pakutud 3GPP spetsifikatsioonide väljalasetes 13 ja 15 (3GPP Releases 13 to 15). Üldistes põhimõtetes, alates madalatest kuni kõrgete andmesidekihtideni, põhinevad need tehnoloogiad 4G / LTE tehnoloogiatel, mis võimaldab ühildada nii seadmeid kui ka tuumvõrgu taristut. Siiski on tegemist eraldi teenustega, mis võivad kasutada ka täiesti eraldi sagedusriba.

LTE-l põhinevad IoT-ühenduvustehnoloogiad on eeldatavalt väga pikaealised, kuna nende tugi ja ühilduvus on defineeritud sh 5G spetsifikatsioonides. Samuti, tänu 5G spetsifikatsioonidele on võimalik LTE-l põhinevate süsteemide vahetu ületoomine 5G võrkude alla. Seetõttu on osad teenusepakkujad hakanud LTE-l põhinevaid süsteeme ka reklaamima kui 5G lahendusi [ERT_5GNB].

LTE NB IOT

LTE NB IoT (LTE Narrowband IoT) on kanali ribalaiusega töötav süsteem, milline võimaldab andmeedastuskiirust kuni 200 kb/s statsionaarsetel süsteemidel. NB IoT tugevuseks on tugi ülimadala energiatarbega süsteemide tööle, mis on välja töötatud mh pidades silmas erinevaid infrastruktuuri-teenuste arvesteid. **NB IoT kohta on antud hetkeks täpsustatud kaks spetsifikatsiooni, nn „kategooria 1" (LTE Cat-NB1) ja „kategooria 2" LTE Cat-NB2 (ik LTE narrowband category).** LTE Cat-NB2 pakub suuremat andmesidekiirust, täiustatud positsioneerimisfunktsionaalsust ja suurema hulga ühendatavaid seadmeid. Turule on jõudnud alles NB IoT Cat 1 / LTE Cat-NB1 seadmed ja Cat2 lahenduste turuküpsuseni jõutakse.

NB IoT sidesessiooni loomine ja konfigureerimine on pikaajaline protsess, ning kulutab märkimisväärselt energiat. Samas juba määratletud konfiguratsioon on kasutatav ka väga pika aja pärast. NB IoT teoreetiliselt lubab ühendada sama tugijaama külge kuni 100 000 seadet [IEEE_ANB1].

Tava-mobiilsides toimub liikumisel kõne- ja andmesessiooni üleandmine teisele tugijaamale, millega tagatakse katkematu teenus. NB IoT sellisel kujul sessiooni üle andmist ei võimalda ja ei talu sidesessiooni ajal liikumist tugijaamade vahel. **Seetõttu on NB IoT sobilik eelkõige paiksetele seadmetele.**

NB IoT soodustab energiasäästlikku talitlust. Suurima energiasäästu huvides on toetatud seadmete pikaajalised suhtluspausid. Kui seade „ärkab", annab teada enda andmevahetusvalmidusest ja jääb mingiks ajaks ootama edasisi andmeid, mis saadetaks tema suunas. Sügavas unes seadet ei saa vahepeal NB IoT kaugsidet kasutades äratada, vaid tuleb oodata, kuni seade ise aktiveerub. Seadmed võivad ka olla pidevas töös.

NB IoT puuduseks on suur latentsus ja viited, millised on kuni 10 s ja tüüpiliselt 1,5 s. Kasutatav kanali ribalaius on 180 kHz ning edastuskaugus kuni 15 km. **NB IoT on**

GPRSiga võrreldes mürakindlam ja on töökindel ka halvema kanali korral, signaalikaoga 164 dB (sidekvaliteet püsib vähemalt 20 dB nõrgema signaali tingimustes kui GPRS [IEEE_LinkB]). Eestis on hetkel küpseim NB IoT võrk Telial, kus on üles seatud mitmeid sadu tugijaamu, sagedusalas 800 MHz, ning teenus on avatud.

NB IoT tehnoloogia on hetkel veel turule sisenemise faasis, samas on terve rida komponente ja lahendusi, mis seda toetavad, samuti on integreeritud erinevad andmesidekihid. On teateid infrastruktuuriteenuse arvestite suuremahulisest ülesseadmisest, millised kasutavad NB IoT andmesidet [ERT_5GNB]. Eesti oludes on tehnoloogia küpsemise vajadust näidanud seegi, et erinevate teenusepakkujate NB IoT lahendused ei ole olnud ühilduvad teistega. Praktilised kogemused näitavad, et algselt spetsifikatsiooni aluseks olnud eesmärgid energiatarbe osas ei ole olnud täidetud.

LTE-M

LTE-M (Long term evolution for machines) on LTE tehnoloogia arendus, milline rakendab väikesemat ribalaiust, vastavalt ka väikesemaid andmeedastuskiiruseid. Sõltuvalt spetsifikatsioonist, on kasutatavate ribalaiuste valik alates 1,4 MHz ja andmeedastuskiirused algavad 1 Mb/s. LTE-M on põhimõtteliselt alamosa LTE mobiilvõrgu „täisfunktsioonidest", sh on võimalik seda kasutada mobiilsetes seadmetes (toimub sessioonide üleandmine tugijaamade vahel). Eetrikasutuses on LTE-M optimeeritud akusäästlikkusele.

LTE-M on kiirem kui NB-IoT latentsusaja poolest, mis on tüüpiliselt LTE-M puhul 50 – 100 ms. Suurem kiirus tingib samas ka suuremad nõuded signaalikvaliteedile; LTE-M leviomadused on nõrgemad, kui NB-IoT tehnoloogial. LTE-M puuduseks on ka suurem võimsustarve (st ei ole sedavõrd akusäästlik, kui NB-IoT), ning kõrgem hind. On hinnatud, et LTE-M modem võiks masstootmises olla vähemalt 30% kallim, kui NB-IoT modem [ACC-WP].

LTE CAT-1 on LTE IoT rakenduste haru algseim esindaja (NB! mitte CAT-M1), milline oli nimetatud juba algses LTE dokumendis. Seetõttu on selle lahenduse nimetuses viide LTE kategooriale (täisfunktsionaalne LTE on kategooria 4). Kui selle ülekandekiirused (10 Mb/s) olid madalamad LTE täisfunktsionaalsuse näitajatest, nõudis see ikkagi keerulist (ja energiajanust) modemit. Ribalaiusega 20 MHz kanalil oli lubatud rakendada 23 dBm väljundvõimsust. [ERC_IOT]

LTE CAT-0 oli oluliselt lihtsam tehnoloogia, kus andmeedastuskiirused olid langetatud 1 Mb/s-ni, kuid rakendati ikkagi LTE-st tuntud tavakanalit ribalaiusega 20 MHz. Selle spetsifikatsiooniga oli võimalik vähendada modemite keerukust ja saada märkimisväärne energiasääst. LTE CAT-0 ja LTE CAT-1 töötavad tava-LTE võrgus.

LTE-M1/LTE CAT-M1 tähistab LTE-M „kategooria 1" tehnoloogiat. Kanali ribalaiusega 1,4 MHz saavutatakse andmeedastuskiirus 1 Mb/s, kuid samuti oluliselt lihtsama keerukusega sidesüsteem ja modem. Teiste LTE põhi-tehnoloogiatega võrreldes on LTE CAT-M1 saatevõimsus piiratud 20 dBm (100 mW) tasemel, kuid süsteemil on siiski 15 dB parem tundlikkus. Eestis on LTE CAT-M1 valmidus olemas, see töötab LTE süsteemide põhiselt, kuid on hinnatud, et selle teenusena käivitamine võib tekitada teatud probleeme seoses LTE telefonide kõne-edastusega. LTE CAT-M1 võrkudes on viiteaeg tavapärase LTE-võrgu tasemel, mis annab sellele eelise võrreldes NB-IoT-ga.

Mainida tuleb, et täisfunktsionaalne LTE-süsteem on orienteeritud andmesidele ja tänasel päeval kaubanduslikult saadaval olevad 4G / LTE modemid rakendavad täis-LTEd, mitte IoT jaoks orienteeritud lahendusi.

TEHNOLOOGIAD JA PAINDLIKKUS

Suure hulga seadmete haldamises on mõistlik olla konservatiivne ning toetuda küpsetele lahendustele. Arvestades erinevate sidelahenduste arengut asjade interneti varjundis, on oodata erinevate tehnoloogiate turule tulemist järgnevatel aastatel. Tehnoloogiaid on palju ja alles aastate möödudes on kogemusele põhinev praktika saadaval. Viimane määrab väga sageli selle, milline tehnoloogia on edukas ja jätkusuutlik. Selline lähenemine tähendab laias laastus, et

- Küpsed ennast tõestanud tehnoloogiad, mis saavad kiidusõnu tänasel päeval, elavad ilmselt päris kaua, vähemalt individuaalsete komponentide tasemel. Lisaks on oodata, et küpsete tehnoloogiate üleminekul uutele versioonidele tagatakse ka tagasiühilduvus eelmistega. Heaks näiteks sellisest on IEEE 802.11, milles ka uuemad füüsilise kihi komponendid on tagasiühilduvad mh standardiga, mis kiideti heaks 1997 (IEEE 802.11b).
- Tõestatud tehnoloogiatele sobilike komponentide tootjaid on palju; konkurentsiolukord tingib nende kvaliteedi ja kiire tarne suurtes kogustes.
- Turul on mitmeid küpseid valmislahendusi, mille käitumine on suhteliselt hästi teada, sh sidekiirus erinevates olukordades, energiatarve, tüüpprobleemid ja nende lahendused jne.

Tehnoloogia, mis on avalike teenusepakkujate haldusalas, lähtub väga sageli majanduslikest kaalutlustest. Näiteks mobiilsidetehnoloogiaid mõjutab sh raadiloatasu, mida tasutakse tehnoloogiapõhiselt. See tähendab, et isegi, kui vananevast tehnoloogiast ei loobuta, läheb selle ülalpidamine seadme kohta paratamatult kulukaks, milline kajastub ka teenuse hinnas ja omakorda vähendab veelgi seda kasutatavate seadmete arvu majandusliku taluvuspiirini. Seepärast ei ole mõtet hääbuvast tehnoloogiast ka kinni hoida, kuna selle hinnastamine ei ole ennustatav.

Turule sisenevad tehnoloogiad vajavad aega küpsemiseks ning nn lastehaiguste läbipõdemiseks. Sellistel aegadel on süsteemide saatjateks:

- tootjatevaheline ühildumatus, kus ühe tootja seadmed töötavad ja teised mitte, kuigi peaksid olema samale tehnoloogiale kohaldatud;
- probleemide esmakordne läbitöötamine, milleks kulub suurem hulk töötunde ja spetsialisti-ressurssi;
- sagedased versiooniuuendused, mis võivad sisaldada sedavõrd põhimõttelisi muudatusi, mille tõttu eelmiste versioonide tarkvara uue versiooniga ei ühildu;
- turvalisuse probleemid, turvaaukude parandamine ja sellest kantud probleemid jpm.

Seepärast suure lõppseadmete arvuga süsteemide korral ei ole mõistlik kasutada selliseid lahendusi, mis ei ole veel arvestatavat küpsust saavutanud. 100 seadme käsitsi uuendamine on mingil määral teostatav, kuid tuhanded seadmed, mis vajavad kohapealset sekkumist, on ilmselgelt vastuvõetamatu.

ESIM JA 4G/5G AUTENTIMINE

Mobiilseadmete ühendumisel on turvaline kanal realiseeritud läbi spetsiifilise seadme-põhise autentimise. Selliseks andmete krüptimise aluseks on teenusepakkuja poolt antud

SIM-kaart, milline kujutab ennast füüsilist kiipkaarti. Varasemad tehnoloogiad on ainult SIM-autentimise põhised.

Klassikalise SIM-kaardi põhise autentimise suureks puuduseks on teenusepakkujate-spetsiifilise SIM-kaardi olemasolu. Kui IoT seadmed teiste funktsioonidega saavad hakkama inimese sekkumiseta, siis mobiilsideühenduse pakkuja vahetamisel tuleb ka SIM kaart füüsiliselt vahetada.

Elektrilevi OÜ vaates on SIM-kaartide vahetus hooldustöö, milline viiakse läbi vähemalt igas GPRS-modemi asukohas, st ELS-kontsentraatorite juures (u 10 000 SIM-kaarti), näiteks teenusepakkuja vahetamisel.

SIM-kaartide halduskoormust saab vähendada ja paindlikkust saab suurendada näiteks kasutades eSIM-tehnoloogiat (embedded SIM). See kujutab endast sisuliselt kiipi, milline täidab füüsilise SIM-kaardi funktsioone, kuid sellele on võimalik teenusepakkuja autentimisprofiile turvaliselt laadida ja muuta.

4G ja 5G võrkudes on spetsifikatsioonides toetatud mh SIM-vaba autentimine. **LTE CAT-M1 ja NB-IoT Cat NB1 tehnoloogiad siiski kasutavad SIM-põhist autentimist.**

9.9 ELEKTRILEVI OÜ KOMMUNIKATSIOONILAHENDUSTE VÕIMALUSED

9.9.1 SÜSTEEMI HINNAKOMPONENDID

ELS-SÜSTEEMID

ELS-süsteemid, vähemalt antud peatükis esitatud nimetuste osas, on suhteliselt küpsed ning kasutatavad Euroopas, sh Elektrilevi OÜ poolt juba rakendatavas sagedusvahemikus. ELS süsteemide eeliseks on nende suhteline lihtsus, mis võimaldab komponentide tasemel realiseerida ühtlase kuluga (põhimõtteliselt sõltumatult standardist) ELS-toega arvesteid enam-vähem sama hinnaga. ELS-toega arvestite pakkujaid on mitmeid; üldiselt iga standardi/spetsifikatsiooni juures on mitmeid tootjad, mis peaks välistama riski ja hoidma hinda kontrolli all. ELS-süsteemide tarnimise juures on suurte koguste korral mõistlik arvestada, et teiste ELS-spetsifikatsioonide kohaste süsteemide komponendid on sama hinnaga, kui Elektrilevi OÜ poolt kasutatava ELS-süsteemi komponendid tänasel hetkel.

Teiste ELS-süsteemide üles seadmine ei esita jaotusvõrgule täiendavaid nõudmisi, kui ei kasutata tingimata kõrgema sagedusega kanaleid. Eestis perspektiivsed ELS-lahendused saavad tänu standardiseeringu ja Euroopa Liidu raadiosagedusliku spektri kasutusreeglitele rakendada pigem ainult sama sagedusriba, mida kasutab ka Elektrilevi OÜ olemasolev ELS-süsteem (EN 50065: CENELEC A).

LÄHIRAADIOSIDE-KOMPONENDID

Avalike, sagedusloata lähivälja-raadio-mesh võrgu komponendid on suhteliselt odavad. See on tingitud ühest küljest asjaolust, et nende kasutatavad saatevõimsused on väikesed,

mistõttu nende keerukus on väikesem. **Teisalt võib piiratud saatevõimsus tuua kaasa vajaduse erinevates asukohtades lisaantennide kasutamise järele, mis on eraldi komponendina ja vajavad eraldi paigaldust.** Mesh-võrkude füüsikaline kiht on väga sageli IEEE 802.15.4-le tuginev, mistõttu on võimalik samade füüsilise kihi kiipide ja süsteemidega ühendada ja üles ehitada erinevaid mesh-tehnoloogiaid.

IEEE 802.15.4 tehnoloogiaga riistvara füüsikaline kiht on odav ja komponentide lahenduste vaates on pakkujaid rohkelt. Turul on nii füüsilise kihi lahendusi kui ka modemeid, milles on võimalik kujundada mikrokontrolleril kõrgemate tasemete kihtide funktsionaalsus. Kiibitasemel on modemi hinnaks kuni 3 EUR, kuid sellele võivad lisanduda litsentsitasud, muude väliskomponentide hinnad (sh antennid, kaablid) ning tugisüsteemide komponentide hinnad. Mesh-modemi ühikhinnaks võib kujuneda oodatavalt alates 10 … 15 EUR tasemest. Võimalik on ühendada erinevaid modemeid ja nende tugisüsteeme, näiteks on võimalik leida ka mobiil-kaugside (nt LTE) ja mesh-raadiovõrgu samaaegse toega modemid.

MOBIILSIDE/KAUG-RAADIOSIDE KOMPONENDID

2G ning 3G tehnoloogiate turult taandumisega seoses ei ole nendele põhinevad lahendused enam mõistlikud. Tugevama positsiooni saavad 4G LTE-l arendatud tehnoloogiad ja 5G IoT lahendused. Kuigi 5G IoT teenuste täpsetest parameetritest ja võimekusest on tänase päeva seisuga vähe teada, siis järgmiseks tulevikukindlaks platvormiks võib pidada ka 4G LTE-l baseeruvaid LTE NB IoT ja LTE CAT-M1 lahendusi. Kuna 5G tehnoloogiate tugi LTE süsteemidele on standardiga määratletud, siis võib ennustada loetletud NB IoT ja LTE CAT-M1 tehnoloogiatele pikka kasutusiga.

Nii LTE-M kui LTE NB-IoT on suhteliselt uued spetsifikatsioonid, mis avaldati juunis 2016. Kuigi arendustööd algasid juba varasemalt, ning süsteem põhineb LTE küpsetel tehnoloogiatel, on süsteemide arendus ja tugivõrkude arendamine ja ülesseadmine veel käimas. Sellest annavad tunnistust näiteks see, et Eestis oli 2020. aasta aluse seisuga avalik NB IoT teenusvõrk avatud ainult ühel mobiilsideteenusepakkujal kolmest (Telia); LTE-M teenuste pakkumine oli avamata. **Esialgsete ühenduvuskatsete põhjal on teada, et erinevate teenusepakkujate võrkudes osad seadmed ei tööta. Seetõttu tasub laiema LTE-M / LTE NB-IoT teenuseid rakendavale võrgule ülemineku osas olla veel ettevaatlik**; otstarbekas on oodata näiteks kõigi Eesti mobiilsideteenusepakkujate poolt teenuste avamist ning süsteemide toimivuskontrolli kõikide teenusepakkujate võrkudes.

LTE NB IoT saadavus on tagasihoidlik. Use-keisid on energiatarbe poolest näljased, uuem generatsioon küpsem, seadmetootjad ootavad küpsust. Ootavad nähtavalt mõõturite-tootjad. Gaasivõrkudes ka GPRS arvestite paigaldus tänu seadus-kohustustele. Hetkel on juba arvukalt NB IoT seadmeid olemas ja töötavad hästi. Väga hea tugi on TCP/IP andmesidekihistuga.

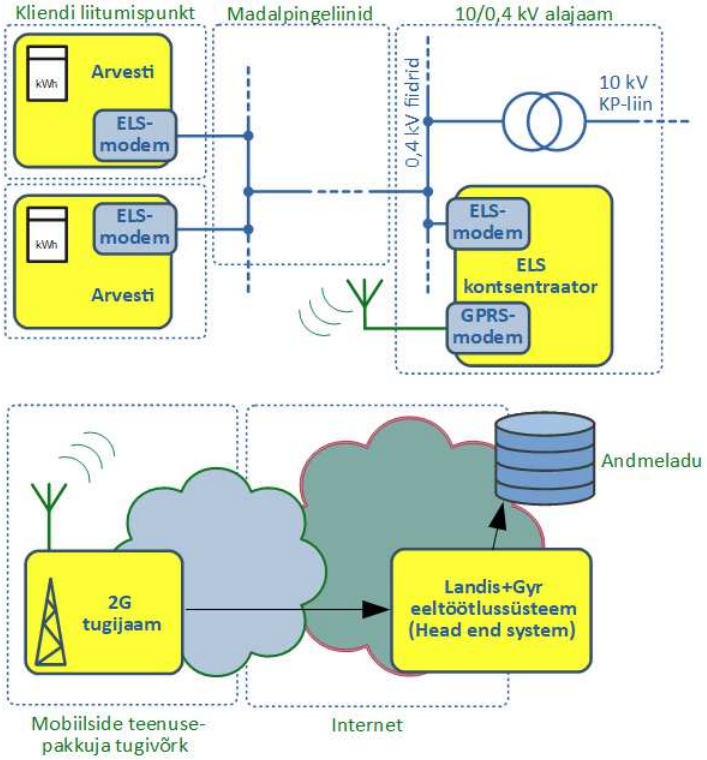
LTE NB-IoT modemite hinnad on suhteliselt sarnaste hindadega muudele LTE modemitele hetkel ning ühikhinnaks on 50 EUR, samas tehnoloogia küpsedes on ennustatav modemi ühikhinnatase u 10 EUR., samas LTE täisfunktsioonidega modemite puhul oleks tegu u. 30% kallima hinnaga. Suurem kulu moodustub ühenduse püsitasust. Hetkel Hiinas on pakutud NB-IoT aastatasuna ühenduvus 1-2 EUR/aastas; Euroopa piirkonnas on hinnanguliselt võimalik pikemas perspektiivis 0,5 EUR/kuus. Esialgu Eestis on oodata

hindade kujunemist alates 2G/3G tasudega võrdsel tasemel. Mainutud on hindade suhtelist püsimist, märgatavat odavnemist ei ole oodata.

9.9.2 HETKEOLUKORD JA PERSPEKTIIV (ELS: CENELEC A/EN 61334 GPRS)

Antud hetkel on Elektrilevi OÜ tugev ühenduslüli arvestiga suhtlemisel madalpingeliinide kaudu toimiv ELS, mis ühendab vahetult omavahel arvesti ja võrgukontsentraatori, milline paikneb seda liinilõiku toitvas alajaamas. Suurema hulga arvestite ühendamiseks kasutatakse kontsentraatoreid, mis on seotud magistraalvõrguga läbi GPRS ühenduste. GPRS kaudu kasutatakse andmesideks IP-baasil töötavat magistraalvõrku (internet), milline on ühendatud Landis+Gyr eeltöötlussüsteemiga (ik head end system). Viimane teostab arvestite andmete esmase halduse ja kogumise, peale mida edastatakse info Eleringi poolt hallatavasse Andmelattu (vt Joonis 9-21).

Kesk- ja lühiside-ühendused on teostatud põhimõtteliselt eranditult läbi ELS süsteemi (CENELEC A sagedusribas, S-FSK modulatsioonil EN 61334/ PLAN+ põhimõtted). Kontsentraatorid on eranditult magistraalvõrku ühendatud mobiilse andmesideteenuse kaudu.



Joonis 9-21. Elektrilevi OÜ kasutuses olev arvestite kauglugemissüsteemi struktuur.

Arendusperspektiiv:

- **Süsteemi komponentide tarkvara uuendamine**: võimekus madal ja osaline

Uuendada saaks usaldusväärselt ainult ELS-kontsentraatorite tarkvara (kõikides asukohtades).

ELS andmesidekiiruse piiratus ja müratundlikkus seab piirangud lõppseadmete (nt arvestid) tarkvara edastamisele.

- **Tarkvõrgu funktsioonid**: võimekus osaline.
  ELS andmesidekiiruse piiratus ja müratundlikkus seab piirangud lõppseadmete (nt lõpptarbijale suunatud funktsioonid) talitlusparameetrite/juhiste edastamisele.

Süsteemi nõrgad kohad:

- Süsteemi **andmeedastuskiirus on madal.**
  Andmesidekiirus on 2400 b/s, mis ei võimalda paljusid teenuseid ega uuendusi. Suurema hulga arvestite andmete lugemine on aeganõudev, sidekiirus ei pruugi olla piisav lühema aja andmete edastamiseks. See vähendab antud struktuuriga ELS-süsteemi tehnoloogilist jätkusuutlikkust ja jääb pikema perspektiivi suhtes lühiealiseks.

- Süsteem on **jäiga konfiguratsiooniga.**
  Arvestiga kommunikatsiooni tagamiseks on vaja kontsentraatorit, milliseid võib olla samal madalpingefiidrite/liinide süsteemil üks. Mitme kontsentraatori samaaegne ühendamine liinidele on keeruline, arvestite avastamine võrgust ja haldamine aeganõudev. Täiendavate tarkvõrgu-tehnoloogiate arendamine samasse ELS süsteemi on küsitav.

- Andmeside on **kliendi seadmete mürade poolt haavatav.**
  Erinevate pooljuht-muunduritega kliendi seadmete kõrgsagedusmürad võivad halvata andmeside suuremas alas, mitte ainult müra põhjustaja enda liitumispunktis. Süsteem ei ole sageli reaalajaline, kuna igal ajal ei ole võimalik ELS kaudu edukalt andmeid edastada.

Süsteemi tugevused:

- Süsteemi **kõrgemate sidekihtide tasemel on töökindlus väga kõrge**.
  Kõrgemate sidekihtide tasemel on olemas vajalikud komponendid ja need töötavad arvestite andmete lugemise ja arvestite halduse seisukohast hästi. Suuremad arendustööd süsteemi ülalpidamiseks ei ole vajalikud. **Tegemist on küpse tehnoloogiaga**.

- Arvestite **haldus on lihtne, andmete töötlus madala ressursinõudlusega**
  Kui magistraalvõrk on piisavalt kiire andmete ülekandmiseks, töötab süsteem hästi ja on usaldusväärne. ELS-kontsentraatorite ühendus on ühilduv erinevate teenusepakkujatega ja seega paindlik.

- **Kõrgemal tasemel on süsteemi seadmete tootja poolt pakutud välja terviklik haldussüsteem**
  Arvestite halduseks, sh andmevahetuse ja diagnostika eesmärkidel, on Elektrilevi OÜ käsutuses terviklikke tööriistu ja mooduleid pakkuv tarkvaralahendus.

Kriitilised arendusvajadused:

- ELS kontsentraatorite ühendused on teostatud avalikke mobiilsidevõrke kasutavate teenustega seotud modemitega, mis põhinevad valdavalt 2G aga ka 3G tehnoloogial. Selliste tehnoloogiate tugi kaob Eestist eeldatavasti 2020. aastate keskpaigaks, mistõttu on vaja välja vahetada vähemalt ELS-kontsentraatorite modemid.
  Nimetatud ELS-kontsentraatorite modemite vahetus ei muuda süsteemi arendusvõimekuse väljavaateid, milline on seotud lõpptarbija juures olevate arvestitega. St madalaks jääb nii tarkvara-uuenduste kui ka tarkvõrgu funktsioonide juurutamise väljavaade.

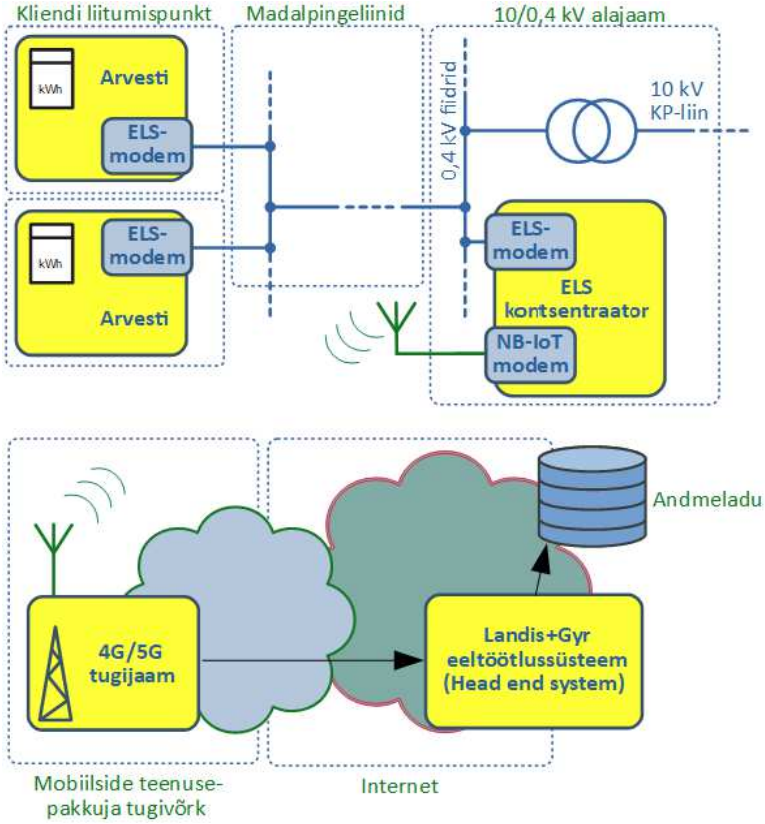
9.9.3 PERSPEKTIIV 1: TÄIUSTATUD ELS + MOBIILSIDE

Tarkvarauuenduste võimekuse ja tarkvõrgufunktsioonide arendamise seisukohast on võimalus läbi ELS-süsteemide, mis rakendavad edasiarendatud (nt G3-PLC, PRIME) spetsifikatsioonidele vastavat tehnoloogiat. Nendega tagatakse oluliselt kõrgem andmeedastuskiirus ning samas ka oluliselt parem mürakindlus. Sidekanaliks lõpptarbija juures olevates seadmetega on ELS, milline on realiseeritav põhimõtteliselt samadel alustel kui praegune ELS. ELS-süsteemi arhitektuur jääb suuremas osas samaks ja tugineb alajaamas olevatele ELS-kontsentraatoritele, millised on ühendatud mobiilsidevõrkudega andmete kaugmaa-ülekandeks. **Mobiilsideplatvormiks tuleks siin valida NB IoT või LTE CAT-M1**, kuna andmemahud on suhteliselt väikesed.

Arendusperspektiiv:

- **Süsteemi komponentide tarkvara uuendamine**: võimekus hea
  Uuendada saaks suurema usaldusväärsusega enamustes lõpptarbija asukohtades, mida võimaldab ELS parem mürakindlus. ELS andmesidekiirus on piisav, et kanda üle terviklikke tarkvara osi, suurele arvule lõpptarbija juures olevatele seadmetele.

- **Tarkvõrgu funktsioonid**: võimekus hea.
  ELS andmeside mürakindluse kasvu tõttu on talitlusjuhised edastavavad kvaliteetselt enamikele lõppseadmetele (nt lõpptarbijale suunatud funktsioonid).



Joonis 9-22. Elektrilevi OÜ poolt võimalik rakendatav skeem 2G/3G ja ELS tehnoloogia vahetamisel arvestite kauglugemise süsteemis.

Lahenduse nõrgad kohad:

- Süsteemi põhilisteks lähtekohtadeks olevad **täiustatud ELS-tehnoloogiate füüsikalise kihi parameetrid ja funktsioonid on standardiseerimata**
  Erinevate liitude koostatavad spetsifikatsioonid võivad muutuda lühikese etteteatamisega. Erinevad versioonid ei pruugi olla tagasiühilduvad.

- **Süsteemi komponendid on uued**
  Uue ELS-tehnoloogia kasutuselevõtmisel on vaja tagada eelmise süsteemiga vähemalt võrdne teenuse tase. See nõuab laialdast ehitus/hooldustööd, väljaõpet; kogemuste omandamine tõhusa töö tagamiseks algab algusest.

Lahenduse tugevused:

- Süsteemi **kõrgemate sidekihtide tasemel on töökindlus oodatavalt kõrge.**
  Tehnoloogia pakkujate poolt kajastatud tehnoloogiat rakendavate võrkude nimistu on pikk ja väärikas. On oodata, et neilt kogutud oskusteabe kaudu on arendajatel täna olemas küpsed komponendid arvestite andmete lugemiseks ja halduseks.

- Süsteemi **ülesehitus on identne praegu kasutatava ELS-süsteemiga**
  Lahenduse struktuur on tuttav Elektrilevi OÜ poolt rakendatava olemasoleva arhitektuuri näitel. Komponendid sh arvestid, kontsentraator ühendatakse jaotusvõrgu fiidrite ja liinidega vahetult. Süsteem ei vaja täiendavat ruumi ega lisaseadmeid võrreldes praegu rakendatud tehnoloogiaga.

- **Süsteemi uuele ELS-süsteemile üleviimise ajaks saab vana ELS-süsteem töötada**

  G3-PLC ja PRIME pakuvad võimalust OFDM alam-kandevsageduste seadistamiseks selliselt, et kasutuselt jäetakse välja need sagedused, mis langevad kokku praeguse Elektrilevi OÜ ELS sagedustega. Selliselt on võimalik potentsiaalselt kasutada jaotusvõrk ühendatult võrgus nii S-FSK PLAN kui ka G3-PLC /PRIME arvesteid ja ELS-kontsentraatoreid. Üleminek varasemalt ELS tehnoloogialt uuemale saab toimuda seeläbi sujuvamalt.

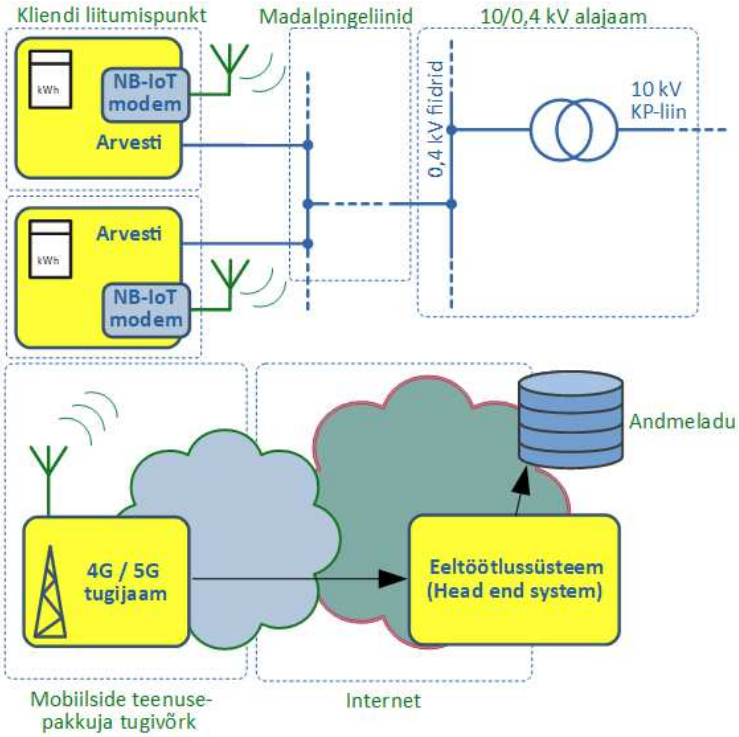
- **Selgemalt defineeritud põhimõtted ja alusspetsifikatsioonid**

  Arvestite ja muude tugiseadmete valmistajate toodete aluseks olevate spetsifikatsioonide selgepiirilisus võimaldab lihtsustada seadmete hankimist ja heakskiitu. Hangetel saab tingimustes selgelt nimetada alusdokumendid ja näidata tingimused, milles seadmed peavad ühilduma.

9.9.4 PERSPEKTIIV 2: LAIALDANE MOBIILSIDE

Selle perspektiivse skeemi korral oleks eranditult kõik arvestid otse ühendatud arvestite näitude kogumiseks eeltöötlussüsteemiga vahetult läbi avaliku mobiilsidevõrgu. **Mobiilsideplatvormiks tuleks siin valida NB IoT või LTE CAT-M1**, kuna andmemahud on väga väikesed. Süsteemi struktuur oleks ülimalt lihtne ja eeldatavalt oleks mobiilside kvaliteet väga hea võrreldes ELS-kanali kvaliteediga (eeskätt müratasemega). Selline kvaliteedi kasv avaldub nii ülesseadmise kui käigus hoidmise kuludes. Olulise kuluga on nii sideks kasutatav modem, täiendavalt lisatavad seadmed (nt antenn ja kaablid), kui ka ühe seadme eest teenusepakkujale tasutav kuutasu.

Kuigi NB IoT / LTE CAT-M1 poolt kasutatavad saatevõimsused on madalamad näiteks GPRS –süsteemi näitajatest, on neil vastuvõtja tundlikkus sedavõrd parem, et võimaldab andmete edastust märksa keerulisemates oludes. NB IoT-l põhinevad näiteks veekasutus-arvestite kauglugemissüsteemid, kus saatja-vastuvõtja asuvad keldris võimatult ebasobivates tingimustes ning andmeside on sellegipoolest edukas.



Joonis 9-23. Arvestite kauglugemise süsteemi arhitektuur, kasutades arvestite juures NB IoT modemeid.

Arendusperspektiiv:

- **Süsteemi komponentide tarkvara uuendamine**: suurepärane võimekus
  Uuendusi saaks teostada pea 100% usaldusväärsusega kõikides lõpptarbija asukohtades.

- **Tarkvõrgu funktsioonid**: suurepärane võimekus
  Andmesidekanali kvaliteedi tõttu on talitlusjuhised edastavavad kvaliteetselt kõikidele lõppseadmetele (nt lõpptarbijale suunatud funktsioonid).

Lahenduse nõrgad kohad:

- Suurem **sõltuvus mobiilsideteenuse pakkujast**
  Süsteemi kihid, mis korraldavad andmete ülekandmist arvestist eeltöötlussüsteemi, saavad suurema sõltuvuse mobiilsideteenuse pakkuja tehnoloogiast. Et arvestid on ühendatud otse teenusepakkuja võrguga, siis erinevad andmevahetuse ja diagnostika funktsioonid võivad vajada otsest tuge/funktsionaalsuste mobiilside teenusepakkuja süsteemist.

- **Süsteemi hind on kallis**
  Ülesseadmine muutub kallimaks, kui on vaja tagada täiendavate antennide ühendamine. See võib vajada ka paigaldatud süsteemidega võrreldes erinevaid tingimusi, sh ruumi. Põhjalikult tuleb välja õpetada arvestite hooldusega tegelev personal. Ülalpidamiskuludes annab tooni püsiv teenuse kuumakse ühe lõppseadme kohta.

- **Antud hetkel rakendamiseks tehnoloogia pöördelisus**

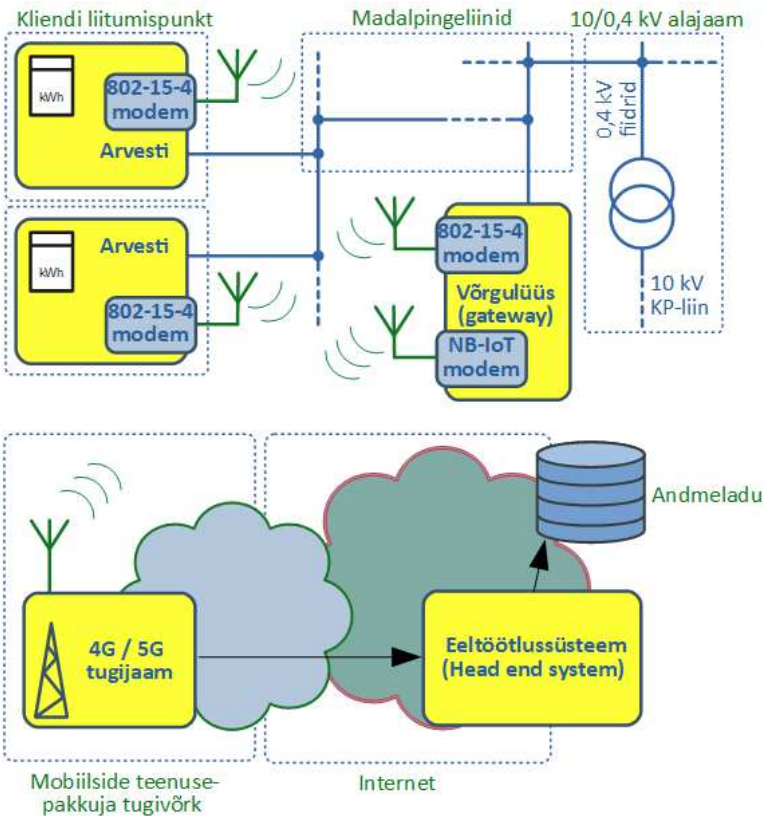
Kuivõrd 2020 aasta vaates ülilähimas tulevikus on oodata 2G/3G tehnoloogiate andmesideteenuste lakkamist, ei ole mõistlik antud hetkel sellisel tehnoloogial põhinevaid süsteeme juurutada. Teisalt, ka nende asendamiseks potentsiaalsed NB IoT/LTE CAT-M1 ei ole veel jõudnud piisavale küpsustasemele. Tava LTE-l põhinevad süsteemid on samas oluliselt kallima ühendustasuga, kui NB IoT/LTE CAT-M1.

Lahenduse tugevused:

- Süsteemi **ülesehitus on triviaalne ja töökindel**
  Erinevate jaotusvõrkude riketest või väärtalitustest tingitud sideprobleemid on suuremas osas välistatud. Tänu kõrgele andmesidekindlusele mh rikete olukorras annab see võimaluse võrkude rikete kõrvaldamisega seotud süsteemide arendamisele.
- **Uuele süsteemile üleviimise ajal saab vana ELS-süsteem töötada**
  Uute modemitega arvestite ülesseadmisel ei mõjuta LTE/NB IoT modem kuidagi jaotusvõrgu tööd. Selliselt on võimalik potentsiaalselt kasutada jaotusvõrku ühendatult võrgus nii S-FSK PLAN+ ELS-kontsentraatoreid ja arvesteid kui ka LTE/NB IoT modemitega arvesteid. Üleminek varasemalt ELS tehnoloogialt saab toimuda seeläbi sujuvamalt.

9.9.5 PERSPEKTIIV 3: KOHALIK RAADIOSIDE MESH-VÕRK + MOBIILSIDE

Antud lahendus sarnaneb Elektrilevi OÜ antud hetkel kasutuses olevale ELS-süsteemiga lahendusele selles ulatuses, et ELS meediaks olnud jaotusvõrgu madalpingeliinide asemel on siin rakendatud vabas kasutuses olevat raadiokanalit (866 MHz, 2,4 GHz vms). Võrgus on kindlad juurdepääsu-lüüsid (sarnaselt kontsentraatoritele ELS-struktuuris), mille kaudu edastatakse arvestite andmed läbi avaliku mobiilsidevõrgu eeltöötlussüsteemini. Raadiovõrgu kaudu töötav lahendus oleks ühest küljest paindlik ja võimaldaks vältida jaotusvõrgu müradest või talitlusest sõltuvaid andmesideprobleeme. Andmesidekiirused on suhteliselt suured ja kõrgema kihi protokollis realiseeritud veakindel kviteeringul põhinev edastus väga hästi teostatav. Teisalt ei ole hetkel turul üldist lahendust, milline võimaldaks teostada tootjast võimalikult sõltumatult andmeside ning seadmete halduse lahendused. Kuigi sobilikud riistvaralised lahendused (nt IEEE 802.15.4 ühilduvad süsteemid) on turul olemas ja laialt levinud, on kõrgemates andmesidekihtides pigem tootja-spetsiifiline ülesehitusega süsteemid. Laiemalt levinud Zigbee-tehnoloogia ei pruugi olla piisava funktsionaalsusega. Samas on levinud mesh-võrkudes IP-protokolli kasutamine ja interneti-tuumvõrgu kaudu erinevate teenuste võimaldamine.



Joonis 9-24. Avaliku raadioside-sagedusala mesh-võrgu kasutamisele põhinev arvestite näitude edastamise süsteemi struktuur.

Arendusperspektiiv:

- **Süsteemi komponentide tarkvara uuendamine**: võimekus väga hea
  Andmesidekiirus, andmete edastuse tõrkevabadus ja kanali sõltumatus talitlusmüradest võimaldaksid uuendusi teostada pea 100% usaldusväärsusega kõikides lõpptarbija asukohtades.

- **Tarkvõrgu funktsioonid**: suurepärane võimekus
  Andmesidekanali kvaliteedi tõttu on talitlusjuhised edastavavad kvaliteetselt kõikidele lõppseadmetele (nt lõpptarbijale suunatud funktsioonid). Täiendavate tarkvõrgu-seadmete ja funktsioonide lisamine võrku on odavaim ja paindlikuim.

Lahenduse nõrgad kohad:

- Otsene **sõltuvus andmesidelahenduse pakkujast**
  Kuigi füüsikaline kiht ja raadiokanal on suure tõenäosusega sama, ei ole erinevatel mesh- andmesidesüsteemide pakkujatel ilmselt laiemalt ühilduvat ega standardiseeritud süsteemi. Seetõttu tuleb mesh-võrgu ülesehitamisel arvestada, et erineval ajal ja erineva lahenduse pakkuja poolt ehitatud võrk võib olla suurel määral erineva võimekuse ja funktsionaalsusega. Erinevate tootjate ja seadmetega on oodatavalt erinev haldusvahendite valik.

- **Avalikuks kasutamiseks olevate raadiokanalite signaalitugevus**
  On oodata, et kvaliteetseks sideks vajalik raadiokanal nõuab seadmete paigaldamisel suuremat hoolsust, kui avaliku mobiilsidevõrgu lahenduse puhul,

kuna saatja võimsus on piiratud. Ülesseadmine muutub kallimaks, kui on vaja tagada täiendavate antennide ühendamine, sh mesh-võrgulüüsi jaoks on vaja tagada head levitingimused. Teisalt võib mesh-võrgulüüsi paigaldada põhimõtteliselt mistahes sobilikku kohta. Põhjalikult tuleb välja õpetada arvestite hooldusega tegelev personal.

- **Avalikuks kasutamiseks olevate raadiokanalite kasutusvõimalus**
  Avalikus kasutuses olevate raadiokanalite kasutamisega seotud seadmete hulk suureneb pidevalt. Et nendel raadiokanalitel töötavad väga tihti põhimõtteliselt standardiseerimata seadmed, on kanalite saadavusnäitajad kohati madalad (nt WiFi seadmete suurte hulkadega seotud probleemid). Tulevikus on oodata, et kanalite saadavus ei parane. Probleemiks võivad osutuda ka seadmed, millised on kasutuses, kuid ei täida tegelikult EL regulatiivseid nõudeid.

Lahenduse tugevused:

- Süsteemi **ülesehitus on triviaalne ja töökindel**
  Erinevate jaotusvõrkude riketest või väärtalitustest tingitud sideprobleemid on suuremas osas välistatud. Mürarikkas keskkonnas võib mesh-võrgulüüside paiknemise tihendamisega sidekindlust oodatavalt tõsta, samuti saab ühendusvõimalusi dubleerida. Samuti saab täiendavate lüüside lisamisega tõsta tõhusalt andmesidekiirust. Tänu kõrgele andmesidekindlusele mh rikete olukorras annab see võimaluse võrkude rikete kõrvaldamisega seotud süsteemide arendamisele.

- **Uuele süsteemile üleviimise ajal saab vana ELS-süsteem töötada**
  Mesh-raadiovõrguliidesega süsteemide ülesseadmine ei mõjuta kuidagi jaotusvõrgu tööd. Selliselt on võimalik potentsiaalselt kasutada jaotusvõrku ühendatult võrgus nii S-FSK PLAN+ ELS-kontsentraatoreid ja arvesteid kui ka mesh-raadiovõrguliidesega arvesteid. Üleminek varasemalt ELS tehnoloogialt saab toimuda seeläbi sujuvamalt.

- **Paindlik täiendavate funktsioonidega seadmete lisamine**
  Tänu mesh-lahenduste ülesehitusele ja IP-protokollide rakendamise võimekuse, on ülilihtne lisada täiendavaid võrgu tööd ja tarkvõrgu funktsioone omavaid seadmeid. Lisafunktsioonid ei ole sellisel juhul sõltuvad arvestitega seotud osadest, vaid ühenduvad ise tuumvõrku.

9.9.6 VÄLJAPAKUTUD STRUKTUURIDE VÕRDLUS

Elektrilevi OÜ hetkel paigaldatud ELS-süsteemi seisukohast tuleb igal juhul tagada riistvaralise süsteemi uuendus, kui lähiaastate jooksul lõppeb avaliku mobiilside teenusepakkujate tugi 2G / GPRS teenustele. Sellises vaates on otstarbekas planeerida ka muude andmesidetehnoloogiaga seotud lahenduste arendamine. All olevalt saab esitada kokkuvõtte valitud kriitiliste asjaolude raamistikus (vt Tabel 9-7).

Tabel 9-7. Jaotusvõrgus potentsiaalselt kasutatavate lahenduste võrdlus.

	Andme-edastus-kiirus	Töökindlus	Tarkvõrgu perspektiiv	Uuendus-võimekus	Sõltumatus pakkujast
Hetkeolukord: S-FSK PLAN+ ELS ja 2G/3G mobiilside	2,4 kbit/s kontsent-raatorist	o	o	-	o
Perspektiiv 1: Täiustatud ELS + mobiilside	Vähemalt 24 kbit/s kontsent-raatorist	+	+	+	++
Perspektiiv 2: Laialdane mobiilside	Vähemalt 240 kbit/s igasse punkti	++	+	++	o
Perspektiiv 3: Kohalik raadio-side mesh-võrk + mobiilside	Vähemalt 24 kbit/s mesh-lüüsist	+	++	+	-

Andmeedastuskiirus: võrreldes hetkel Elektrilevi OÜ poolt rakendatud ELS-lahendusega, pakuvad kõik perspektiivsed lahendused suuremat andmesidekiiruseid. Parim on avalikul teenusel põhineva LTE-M / NB-IoT andmeedastuskiirus, kuid kaheldav on, kas sellist kiirust otseselt vaja oleks. Arvestite andmeedastuse, uuenduste ja tarkvõrgufunktsioonide jaoks piisab ilmselt suurusjärk kõrgemast andmesidekiirusest, kui hetkel Elektrilevi OÜ poolt ELS-süsteemis kasutuses on. Sellest seisukohast lähtudes on kõik väljatoodud perspektiivsed struktuurid võimekuse suhtes nõudeid täitvad.

Töökindlus: Eelise saab siin selgelt avalikule mobiilsideteenusele ehitatud süsteem, milles süsteemi võimekus tagab enamikes võimalikes kohtades hea andmeside. Veetarbimise arvestite kogemused näitavad, et NB IoT on töökindel ka raadioside seisukohast keerulistes oludes. Mesh-võrgud ning täiustatud ELS on oodatavalt kohaliku algupäraga mürade suhtes oluliselt tundlikumad. Kõik tehnoloogiad on ilmselt piisavalt töökindlad, et võimaldada suuremat andmesidekindlust.

Tarkvõrgufunktsioonide perspektiiv: andmesidelahenduse juures on oluline osa maksumusest seotud võrguliidese ja sellega seotud ühenduvuse tagamisega. ELS-modemi ning NB IoT/LTE-M puhul on perspektiivne omada nende juures välisseadmete ühendamise funktsiooni ja selleks sobilikku liidest, mesh-võrkudes on tänu lahenduse füüsikalise taseme universaalsusele ja odavusele sobilik rakendada tarkvõrgufunktsioonide jaoks omaette seadmeid.

Uuendusvõimekus: uuendusvõimekuse määratlus tugineb töökindluse ja andmeedastuskiiruse hinnangutel. Üldiselt kõik perspektiivsed struktuurid omavad head

uuendusvõimekust. Parim uuendusvõimekus on otseselt mobiilsidetehnoloogiaid rakendavatel sõlmedel.

Sõltumatus pakkujast: Täiustatud ELS saab siin eelise keskmaa-sidemeetodina, kuna selle kohta kehtivad spetsifikatsioonid on piisavalt laia haardega, mis võimaldab nende talitluse kirjeldada hangetel ja samuti võimalik esitada nõuded erinevate süsteemide ühenduvuseks. Mesh-võrgud saavad siin nõrgima hinde, kuna oodatavalt ühe pakkuja spetsifikatsioon ei pruugi olla täielik ning üle antav järgmistele partneritele. Mobiilsideteenuste osas teeb sõltumatuse pakkujast nõrgemaks asjaolu, et teenusepakkujate tingimused teenuse sisus, samuti andmete ülekandmise arhitektuuris, on tulevikus oodatavalt olulisi erinevusi.

Kõiki loetletud perspektiivseid struktuure saab järk-järgult kasutusele võtta selliselt, et Elektrilevi OÜ olemasoleva ELS talitlus ei katke ega ole kahjustatud.

- Uute kommunikatsioonitehnoloogiate toega arvestid ja tugiseadmed saab üles seada selliselt, et need ei segaks tööd Elektrilevi ELS sagedusribas.
- Uute kommunikatsioonitehnoloogiate toega arvestid ei oleks suure tõenäosusega nähtavad Elektrilevi OÜ olemasoleva S-FSK PLAN+ süsteemi jaoks, seega ei põhjustaks need probleeme ühe arvesti mitme süsteemiga lugemise korral.

Ülaltoodust lähtuvalt on perspektiivseimate lahenduste pingerida järgmine:

1) Täiustatud ELS andmeside (eelised tänu hinnale ja oodatavale ühilduvusele)
2) Mesh-võrgud (eelised tänu hinnale ja laiendatavusele)
3) Mobiilsidevõrgud (eelised tänu töökindlusele).

9.10 KOKKUVÕTE JA KAALUTLUSED PERSPEKTIIVSE SÜSTEEMI RAKENDAMISEST

Kõik perspektiivsetena loetletud andmesidelahendused sisaldavad endas teatavaid tehnoloogilisi riske, mis võib kaasa tuua kirjeldatud struktuuride vahetu sõltuvuse tehnoloogia- ja/või teenusepakkujast. Alljärgnevad kaalutlused on kirjeldatud lähtudes kolmest kaalutlusest:

1) Elektrienergia tarbimise arvestite näitude edastamine
2) Tarkvõrgufunktsioonide lisamine
3) Haldus-ja tugisüsteemi funktsioonid

Perspektiivsed ELS-lahendused (nt PRIME, G3 PLC), millised on mürakindlamad ja suuremat andmeedastuskiirust pakkuvad, põhinevad nimetatud seadmeid tootvate ettevõtete organisatsioonide spetsifikatsioonidel. Seetõttu ei ole tagatud kindlus alusspetsifikatsioonide püsivusest; organisatsioonide struktuurist lahkuvad seadmeid tootvad ettevõtted võivad kaotada õigused tehnoloogiat toetada. Tarkvõrgufunktsioonide toe arendamine arvestite juurde, või haldussüsteemi tugi ELS-sidet kasutavatele lisaseadmetele võib samuti olla seadmete tootja-pakkujakeskne. Siiski, et nimetatud tehnoloogiad on arendatud jaotusvõrgu-keskseid vajadusi ja võimalusi silmas pidades, on tõenäosus väga kõrge, et pakutavad terviklahendused katavad enamiku vajadustest.

Mesh-raadiovõrgu lahendused on suure tõenäosusega seadmete tootja kesksed. Hetkel ei ole näha laialdasema levikuga spetsifikatsiooni, mis võimaldaks hea haldusvõimega ja väikese viiteajaga edastada piisavas koguses andmeid nii mitmest sihtpunktist, nagu jaotusvõrgu arvestite lugemine ja tarkvõrgu funktsioonid vajaksid. ZigBee võiks olla rakendatav pigem väikesema arvuga sihtpunktide korral. Et mesh-raadiovõrkude ülesanded on väga erinevad, leidub turul lahendusi, mis on lähedased jaotusvõrgu poolt vajalike funktsioonidega, kuid ei pruugi tegelikus rakenduses nõudeid täita. Tootjate poolt pakutavad haldussüsteemid võivad olla väga erineva võimekusega, ja ei pruugi olla arvestite kauglugemise funktsioonide jaoks optimaalsed.

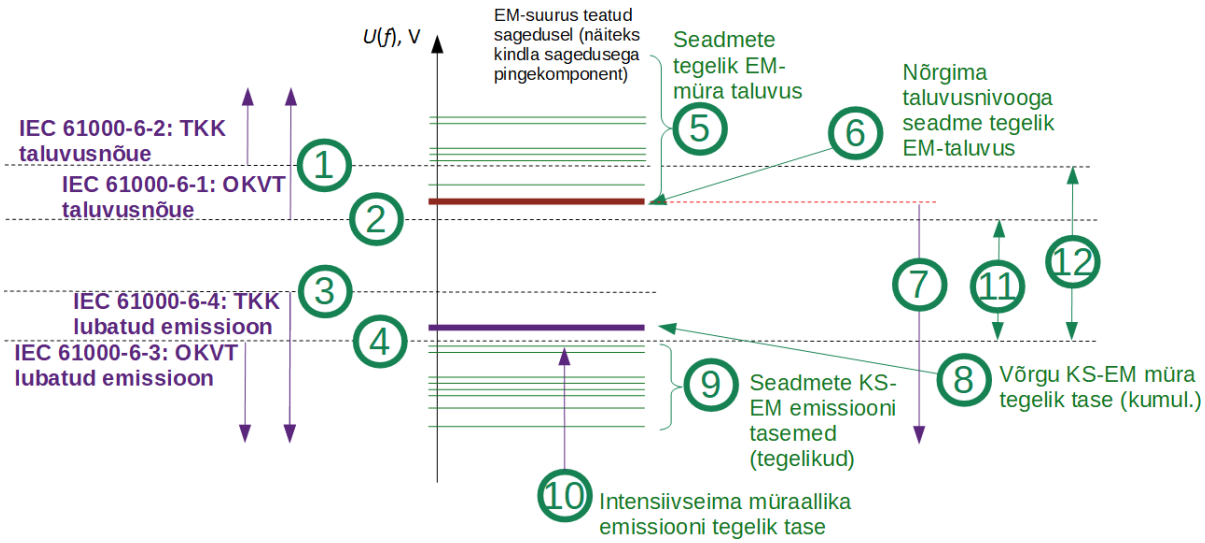
Avaliku raadioteenusvõrgu kaudu ühenduvust pakkuvate tehnoloogiatega kaasneb kõrge hind ning teenusega seotud liides võib olla tulevikus teenusepakkuja-keskne. On oodata, et erinevate arvestite, mõõturite ja abisüsteemide hulk, millised rakendaksid NB IoT või LTE CAT-M1 tehnoloogiaid, kasvab kiirelt. Selliselt jõuavad varem või hiljem turule ka lahendused, millised võimaldavad sh tõhusate üldiste haldussüsteemide arendamist. Riistvaraliselt on avaliku raadioteenusvõrgu jaoks mõeldud seadmed kõrgeima standardiseerituse astmega.

Elektrienergia tarbimise arvestite kauglugemise sihtpunkte, ning potentsiaalseid targa võrgu funktsiooniga punkte (sh tarbijad, võrkude seadmed (andurid, mõõturid, lülitid jpm)) on Elektrilevi OÜ võrgus sedavõrd palju (suurusjärgus 10^6), et ühest **võib olla perspektiivne arendada välja** tuntud komponentidel põhinev andmevahetussüsteem. Teisalt vajavad paljud nimetatud funktsioonid väga töökindlat andmesidevõrku, sh arvestite näitude edastamine ei tohi katkeda ja peab tagama kõrgemal tasemel andmesidekindluse. Osad tarkvõrgu-funktsioonid, millised on vahetult seotud jaotusvõrgu seadmete juhtimise ja haldamisega, peavad olema töökindlad ja suhteliselt väikese ajalise andmeedastus-viitega. Seepärast juhul, kui Elektrilevi OÜ oma spetsifikatsiooniga süsteemi väljaarendamine on kaalumisel, tuleks alustada madalama prioriteediga tarkvõrgurakendustest, nt tarbimise juhtimine, mõõturid (mitte arvestid), ning seejärel lisada kriitilisemaid funktsioone.

LISA 1. AVALIKU VÕRGU KASUTUSREEGLID JA SELLEST TULENEVAD TÄIENDUSED KLIENDIGA SEOTUD LEPINGUTESSE

Avalikuks kasutamiseks ette nähtud elektrivõrgus tuleb arvesse võtta, et kuigi jaotusvõrku ühendatud seadmete iseloom ja talitlus on väga erinev, peavad võrku ühendatud seadmed olema võimelised koos töötama samas suhteliselt väga heade juhtivuslike omadustega keskkonnas, sh juhtudel, kui seadmeid on ühendatud samasse võrku tuhandeid.

Võrku ühendatavate seadmete iseloomulikeks omadusteks on mh kõrgsageduslike (KS) elektriliste suurustega (pinge ja vool) seotud mürade emissioon võrgu keskkonda ja tundlikkus võrgus olevate mürade suhtes. Viimase äärmuslikuks näiteks on seadme talitluse lakkamine või ebasoovitavaks muutumine. Jaotusvõrgu keskkonnas levivatele ja mõjuvatele EM-suuruste (näiteks pinge) emissiooni kui ka taluvust kirjeldav alusgraafik on esitatud all oleval joonisel (vt Joonis 0-1).



Joonis 0-1. Selgitused erinevate piirnormide rakendamise kontekstist, mis on seotud kõrgsageduslike mürade emissiooni piirangute ja häiringutaluvusega.

Järgnevad kirjeldused on esitatud viidates kasutatud nummerdust, milline on esitatud joonisel (vt Joonis 0-1).

Erinevate seadmete poolt emiteeritud mürade tasemed (9) madalpinge-jaotusvõrgus kumuleeruvad, ning kujundavad teatud võrgu punkti jaoks summaarse/koond-mürataseme (8). Selline võrgu punkt võib olla liitumispunkt, alajaama fiider, latistik vms. Eri müra-allikatest lähtuva müra summeerumine ei ole tüüpiliselt lineaarne ja sõltub väga erinevatest kriteeriumidest. Seetõttu tuleb jaotusvõrgu müratasset vaadelda tõenäosusliku

suurusena, kuid kehtib seaduspära, et mida kõrgem on individuaalsete seadmete müraemissiooni tasemed, seda kõrgem on ka võrgu summaarne müratase. Tõenäoliseks tuleb pidada olukorda, kui võrgu punktis on KS-müratase kõrgem, kui intensiivseima EM-emissiooni allikana esineva seadme emissiooninivoo (10), kuid võib olla ka vastupidi.

Kõik avalikku jaotusvõrku ühendatud seadmed on tundlikud kõrgsagedusmüradele, millised jõuavad seadmetesse tänu ühendusele jaotusvõrguga. Kõikide võrku ühendatavate seadmete iseloomulikeks omadusteks on tundlikkus võrgus olevate mürade suhtes. Viimase äärmuslikuks näiteks on seadme talitluse lakkamine või ebasoovitavaks muutumine, juhul, kui võrgu kõrgsagedusliku müra tase ületab teatud kriitilise väärtuse. Selline müratase on defineeritud kui seadme taluvus (immuunsus) (5). Tuleb silmas pidada, et probleemivaba töö tagatakse võrgu kõigi seadmete jaoks juhul, kui võrgu kõrgsagedus-müratase jääb alla nõrgima seadme taluvuspiiri (6). Viimane on ka kogu võrgu talitlust iseloomustav tegelik kõrgsagedusmüra taluvustase (7), millest väikesema tegeliku müratasemе korral ei esine võrgu seadmete jaoks talitlushäireid.

Tänu võrgu topoloogia keerukusele, sellega ühendatud klientide käitumise erinevale iseloomule, klientide seadmete valiku variatiivsusele tuleb arvestada ettevaatusabinõudega, et üldine kõrgsagedus-müratase ei tõuseks klientide seadmete jaoks üle väärtuste, millised oleksid klientide seadmete tegelikke taluvuspiire ületavad. Sellise meetme üheks näiteks on kliendi seadmete emissioonide taseme lubatud taseme ülempiiri seadmine selliselt (3, 4), et see oleks piisavalt kaugel seadmetele esitatavatest taluvusnõuetest (1, 2). Taluvusnõue tähendab seda, et seade peab olema võimeline talitlust jätkama juhul, kui tegelik seadmele mõjuva müra tase on kuni võrdne esitatud nõutud taluvusnivooga, aga seade võib ka olla vastupidavam, st omada kõrgemat tegelikku taluvust.

Elektrilevi avalikuks kasutamiseks oleva jaotusvõrgu klientide jaoks on otstarbekas kasutusele võtta IEC dokumentide alusel sätestatud piirmäärad, mis on ellu kutsutud just nimelt avalike elektrivõrkude tõrgeteta töö tagamiseks (2, 4). Elektrilevi OÜ madalpinge-jaotusvõrgus on otstarbekas silmas pidada asjaolu, et tööstuskeskkonna seadmetele esitatavad taluvusnõuded on oluliselt kõrgemad, kui avaliku elektrivõrgu (OKVT-keskkonna) seadmetele esitatava nõuded. Kõik võrgu talitlust juhtivad ja korraldavad seadmed peaksid probleemide vältimiseks olema taluvustasemetega, mis vastavad vähemalt TKK-keskkonna nõuetele. Et TKK-keskkonna taluvusnõue on kõrgem, kui OKVT-keskkonna taluvusnõue, siis on TKK taluvusnõuete täitmisel täidetud ka OKVT taluvustingimused.

Tuleb rõhutada, et kuna Elektrilevi jaotusvõrgu iseloom (avalikus kasutuses piiramatu juurdepääsuga jaotusvõrk) ei ole sätestatud muude normdokumentidega, on soovitus selline määratlus viia sisse kõikidesse kliendiga sõlmitavatesse dokumentidesse. Seadmete EL tootevastavusdeklatatsioon (CE-märgise kontekstis) ja vastavus seadusega kohaldatavatele nõuetele ei taga, et näiteks EL ühisturu nõuetele vastavad seadmed oleksid avalikku jaotusvõrku ühendamiseks sobilikud. See tuleneb sellest, et EL ühisturu ja CE-markeeringu reeglite alusel, võivad CE-markeeringuga olla varustatud ka seadmed, millised ei ole ette nähtud mitte ainult olmekeskkonna, vaid ka tööstuskeskkonnas talitlemise kontekstis.

Alljärgnevalt on välja pakutud sõnastused, milliseid kaaluda erinevate klientide ja tarnijatega sõlmitavate lepingute ja tingimuste kontekstis.

1. Elektriprojekti tehnilised tingimused

1.1. Elektrilevi OÜ poolt võrguteenuse osutamiseks kasutatav elektrivõrk on avalikus kasutuses piiramatu juurdepääsuga madalpinge-jaotusvõrk. See tähendab, et

1.1.1 Kliendi poolt sellega ühendatavate elektrienergia tarvitite või –allikate (edaspidi seadmete) hulk ei ole piiratud, tingimusel, et viimased vastavad nendele kohalduvatele nõuetele, mis on ette nähtud avalikus madalpingelises elektrijaotusvõrgus kasutamiseks mõeldud seadmetele ja komponentidele;

1.1.2 Võrgus osalevad võrdsetel alustel ja tingimustel nii Elektrilevi OÜ seadmed, kui ka kõikide klientide seadmed;

1.1.3 Elektrilevi OÜ tagatud teenuse kvaliteedi eelduseks on see, et võrguga seotud elektrilised parameetrid vastavad avalikus kasutuses olevate jaotusvõrkudele ette nähtud elektrilise keskkonna parameetritele.

1.2. Mistahes kliendi poolt võrku ühendatav seade peab täitma nõudeid, millised on ette nähtud avalikus kasutuses oleva madalpinge-jaotusvõrgu elektrilise keskkonna tingimuste määratlemiseks. Selliste nõuete täitmise hindamise üheks aluseks võib olla seadmete ELs jõus olevate direktiivide ja/või Eesti Vabariigi Toote nõuetele vastavuse seaduse kohaselt määratletud vastavuskinnitus. Eelkõige on lähtealusteks olevateks direktiividеks

1.2.1 EP JA EN direktiiv 2014/35/EL (Madalpinge direktiiv);

1.2.2. EP JA EN direktiiv 2014/30/EL (Elektromagnetilise ühilduvuse direktiiv);

1.2.3. EP JA EN direktiiv 2014/53/EU (Raadioseadmete direktiiv).

Seadmete vastavuse nende avalikku elektrivõrku ühendamise nõuetele saab hinnata, järgides otsustusdiagrammi (vt Lisa 2) ning selles näidatud normdokumentidele vastavuse märget.

1.3. Juhul, kui taotletakse seadmete ühendamist, millised ei ole ette nähtud avalikku elektrivõrku ühendamiseks, või millistel puudub Eesti Vabariigis heaks kiidetud toote vastavuse kinnitus, tuleb täiendavalt läbi viia järgmist:

1) Määratleda seadmete talitluseks ette nähtud keskkonna klass ja selgitada sellele klassile esitatud nõuded, näiteks võib kasutada IEC 61000-2-5 elektriliste keskkondade määratlusi;
2) Määrata parameetrid, millistele on seadme deklareeritud nõuded leebemad, või rangemad, kui avaliku jaotusvõrgule vastava keskkonnaga seotud vastavad nõuded; käsitleda kõiki nõuded pessimistlikult ja eeldada maksimaalset erinevust keskkondade vahel vaadeldava seadme kahjuks;
3) Määratleda abimeetmed, mille rakendamisel oleks võimalik tagada tinglik seadmete vastavus avalikku jaotusvõrku ühendatavate seadmetele esitatavatele nõuetele (vt näide inverteri ühendamisest all). Nimetatud meetmete rakendamise eest vastutab klient.
4) Selgelt ning dokumenteeritult esitada selgitus seadme erisuste kohta võrreldes avalikku jaotusvõrku ühendatavatele seadmetele esitatud nõuetega, samuti rakendatud abimeetmete kirjeldus, koos asjassepuutuvate tehniliste andmetega.

1.4. Liitumislepingu sõlmimiseks esitab klient:

1.4.1 Kõikide tarvitite, millised langevad vähemalt ühe järgnevatest alla, toote nõuetele vastavuse deklaratsiooni dokumentatsiooni:
- Päikeseenergia inverterid;
- Soojuspumbad;
- Eraldiseisva sagedusmuunduriga ajamid, sh pumbad;
- Elektriauto laadijad.

Klient säilitab kõik nimetatud seadmetega seotud dokumentatsiooni, mis on seotud toote nõuetele vastavuse deklaratsiooniga, paigaldamis- ja kasutusjuhistega.

1.4.2 Kõikide punkti 1.3 alla langevate seadmete ühendamise dokumentatsiooni, millise on eelnevalt üle vaadanud vastavat pädevust omav isik elektripaigaldise nõuetekohase auditi käigus (sh enesehindamine). Liitumislepingu sõlmimise järel on kliendil kohustus esitada ka vastav dokumentatsioon igal järgmisel auditil.

1.5. Klient on kohustatud ehitama välja seadmega seotud paigaldise, järgides seadme paigaldus- ja/või kasutusjuhendis toodud juhiseid, materjale ja tingimusi.

1.6. Liitumislepingu sõlmimise järgselt on klient kohustatud andma Elektrilevi OÜ-le teada enda tegevusest täiendavate punkti 1.3 alla langevate seadmete ühendamise kavatsusest Elektrilevi OÜ jaotusvõrguga. Elektrilevi OÜ võib kohustada selliste seadmete võrguga ühenduse lubamisele eelnevalt läbi viima kohalduva elektripaigaldise auditi ja/või ekspertiisi, et veenduda seadme võrguga ühendamise tehnilise lahenduse korrektsuses.

1.7. Elektrilevi OÜ võib nõuda kõikide seadmete, mis on toodud punktis 1.4 ning langevad punkti 1.3 alla, nõuetele vastavuse olukorra selgitamiseks kontrollmõõtmiste läbiviimist.

2. Teenuseleping

2.1. Elektrilevi OÜ poolt võrguteenuse osutamiseks kasutatav elektrivõrk on avalikus kasutuses piiramatu juurdepääsuga madalpinge-jaotusvõrk. See tähendab, et

2.1.1. Kliendi poolt sellega ühendatavate elektrienergia tarvitite või –allikate (edaspidi seadmete) hulk ei ole piiratud, tingimusel, et viimased vastavad nendele kohalduvatele nõuetele, mis on ette nähtud avalikus madalpingelises elektrijaotusvõrgus kasutamiseks mõeldud seadmetele ja komponentidele;

2.1.2. Võrgus osalevad võrdsetel alustel ja tingimustel nii Elektrilevi OÜ seadmed, kui ka kõikide klientide seadmed;

2.1.3. Elektrilevi OÜ tagatud teenuse kvaliteedi eelduseks on see, et võrguga seotud elektrilised parameetrid vastavad avalikus kasutuses olevate jaotusvõrkudele ette nähtud elektrilise keskkonna parameetritele.

2.1.4. Klient käsitleb oma tegevust, milline seostub tema poolt kasutatavate seadmetega, mille klient võrku energia tarbimiseks liidab, läbi üldiste normdokumentide, mille eesmärk on reguleerida avalike madalpingeliste jaotusvõrkude kasutamise põhimõtteid, ohutusnõudeid ja parimaid tavasid, kui muudes dokumentides ei ole teisiti sõnastatud.

2.2. Mistahes kliendi poolt võrku ühendatav seade peab täitma nõudeid, millised on ette nähtud avalikus kasutuses oleva madalpinge-jaotusvõrgu elektrilise keskkonna tingimuste määratlemiseks. Selliste nõuete täitmise hindamise üheks aluseks võib olla seadmete ELs jõus olevate direktiivide ja/või Eesti Vabariigi *Toote*

nõuetele vastavuse seaduse kohaselt määratletud vastavuskinnitus. Eelkõige on lähtealusteks olevateks direktiividekс

2.2.1 EP JA EN direktiiv 2014/35/EL (Madalpinge direktiiv);

2.2.2. EP JA EN direktiiv 2014/30/EL (Elektromagnetilise ühilduvuse direktiiv);

2.2.3. EP JA EN direktiiv 2014/53/EU (Raadioseadmete direktiiv).

Seadmete vastavuse nende avalikku elektrivõrku ühendamise nõuetele saab hinnata, järgides otsustusdiagrammi (Vt Lisa 2) ning selles näidatud normdokumentidele vastavuse märget.

2.3. Klient kohustub jälgima seadmetega koos esitatud kasutusjuhendis toodud juhiseid ja tingimusi seadmete rakendamisel ja kasutamisel. Sellek0s on klient kohustatud tutvuma ja olema teadlik kasutusjuhendis esitatud juhistest enne seadme võrku ühendamist ja kasutusele võtmist. Klient peab selleks säilitama seadme kasutusjuhendid või omama selget ülevaadet seadme kasutusjuhiste saadavaloleku asukohast, kogu seadme kasutusaja vältel.

Klient säilitab kõik seadmetega, millised langevad vähemalt ühe järgnevatest alla, toote nõuetele vastavuse deklaratsiooni, paigaldamis- ja kasutusjuhised, paberkujul:

- Päikeseenergia inverterid;
- Soojuspumbad;
- Eraldiseisva sagedusmuunduriga ajamid, sh pumbad;
- Elektriauto laadijad.
- Keevitusseadmed

2.4. Juhul, kui taotletakse seadmete ühendamist, millised ei ole ette nähtud avalikku elektrivõrku ühendamiseks, või millistel puudub Eesti Vabariigis heaks kiidetud toote vastavuse kinnitus, tuleb täiendavalt läbi viia järgmist:

1) Määratleda seadmete talitluseks ette nähtud keskkonna klass ja selgitada sellele klassile esitatud nõuded, näiteks võib kasutada IEC 61000-2-5 elektriliste keskkondade määratlusi;
2) Määrata parameetrid, millistele on seadme deklareeritud nõuded leebemad, või rangemad, kui avaliku jaotusvõrgule vastava keskkonnaga seotud vastavad nõuded; käsitleda kõiki nõuded pessimistlikult ja eeldada maksimaalset erinevust keskkondade vahel vaadeldava seadme kahjuks;
3) Määratleda abimeetmed, mille rakendamisel oleks võimalik tagada tinglik seadmete vastavus avalikku jaotusvõrku ühendatavate seadmetele esitatavatele nõuetele (vt näide allpool). Nimetatud meetmete rakendamise eest vastutab klient.
4) Selgelt ning dokumenteeritult esitada selgitus seadme erisuste kohta võrreldes avalikku jaotusvõrku ühendatavatele seadmetele esitatud nõuetega, samuti rakendatud abimeetmete kirjeldus, koos asjassepuutuvate tehniliste andmetega.

2.5. Klient on kohustatud andma Elektrilevi OÜ-le teada enda tegevusest täiendavate punkti 2.4 alla langevate seadmete ühendamise kavatsusest Elektrilevi OÜ jaotusvõrguga, esitades vastavate seadmete ühendamise dokumentatsiooni, sh rakendatavate abimeetmete kavandi, millise on eelnevalt üle vaadanud vastavat

pädevust omav isik elektripaigaldise nõuetekohase auditi käigus (sh enesehindamine). Elektrilevi OÜ võib kohustada selliste seadmete võrguga ühenduse lubamisele eelnevalt läbi viima kohalduva elektripaigaldise auditi ja/või ekspertiisi, et veenduda seadme võrguga ühendamise tehnilise lahenduse korrektsuses.

3. Hangitavate komponentide ja süsteemide tehnilised tingimused

3.1. Kõik komponendid ja süsteemid, millised tarnitakse ja rakendatakse peavad omama sertifikaati, et ei ületa juhtivuslike häiringute emissiooni taset, milline ületab avalikus kasutuses oleva elektrivõrku ühendatavatele seadmetele võrgusidendi kaudu lubatud nivoosid. Sellised tingimused on tagatud näiteks juhtudel, kui komponentide ja süsteemide vastavuskontrollil on tehtud kindlaks vastavus standardi IEC 61000-6-3 nõuetele.

3.2. Erand punktile 3.1 kehtib ainult elektriliinsidega vahetult seotud komponentidele ja seadmetele, millised peavad vastama standardis EVS-EN 50065-1 esitatud nõuetele.

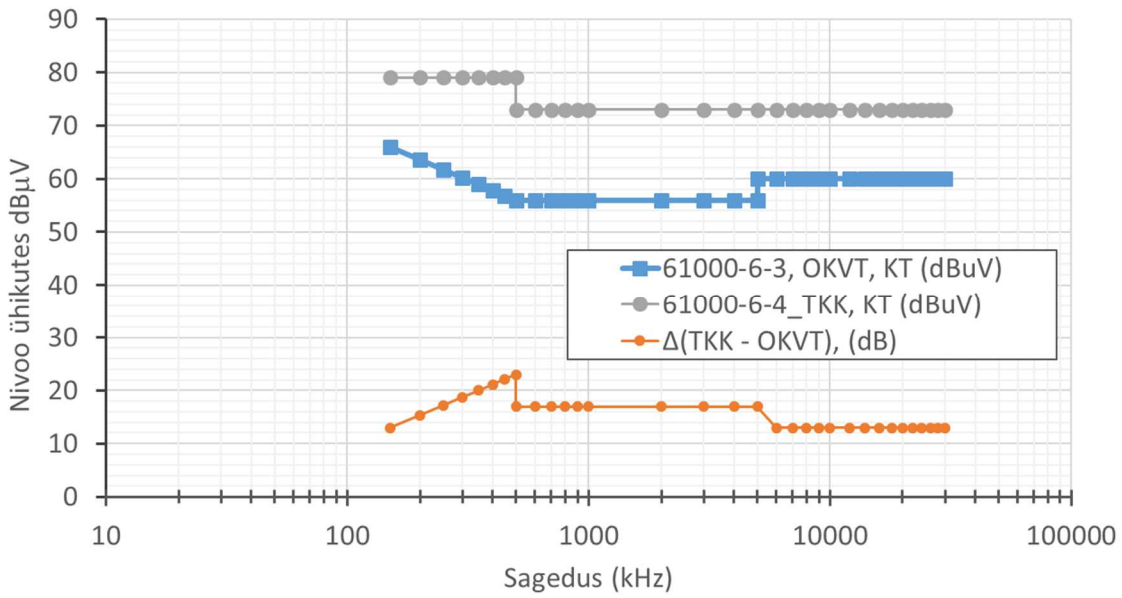
3.3. Kõik komponendid ja süsteemid, mis tarnitakse ja rakendatakse peavad omama sertifikaati, et omavad juhtivuslike häiringute suhtes vastupidavuse taset, milline ulatub vähemalt tööstuskeskkonnas kasutuses olevasse elektrivõrku ühendatavatele seadmetele võrgusidendi kaudu lubatud nivoodeni. Sellised tingimused on tagatud näiteks juhtudel, kui komponentide ja süsteemide vastavuskontrollil on tehtud kindlaks vastavus standardi IEC 61000-6-2 nõuetele.

Märkused:

Varasemast praktikast on teada põhimõte, et viimasena võrguga liituja, kes näeb oma seadmetega probleeme, tagab oma seadmete talitluseks piisavad meetmed, et tema seadmed oleksid talitlusvõimelised. Sellist põhimõtet ei saa soovitada, kuna piirama peab kõiki võimalikke probleemsetel tasemetel emissioonide allikaid. Samuti on varasema praktika põhimõtted vastuolus võrdse kohtlemise printsiibiga.

NÄIDE INVERTERI ÜHENDAMISEST JAOTUSVÕRKU

Päikeseenergia võrku andmiseks kasutatakse vaheldit/inverterit, milline dokumentides kinnitatakse vastavust standardile IEC 61000-6-4, kuid mitte IEC 61000-6-3, milline on tööstuskeskkondadele ette nähtud juhtivuslike emissioonide standarditele. Antud standardiga seotud piirnormid on kirjeldatud all oleval graafikul (vt Joonis 0-2), võrdluses avaliku jaotusvõrgu jaoks ette nähtud seadmetele kohalduvate piirnormidega.



Joonis 0-2. Erinevused IEC 61000-6-4 (tööstuskeskkonna) ning IEC61000-6-3 (avaliku madalpingelise jaotusvõrgu) emissiooninormise suhtes.

Antud võrdlusest lähtub, et juhtivuslike müraemissioonide seisukohast oleks võimalik seadet Elektrilevi OÜ võrguga ühendamiseks ja selles talitlemiseks lubada, kui seadme ja võrgu vahele ühendada madalpääs-tõkkefilter, milline omaks sumbuvustegurit erinevatel sagedustel väärtuses, milline on vähemalt 61000-6-4 ning 61000-6-3 esitatud nivoode vahega võrdne (graafikul Δ(TKK – OKVT)). Näiteks sobiks filter, mille sumbuvustegur oleks sagedusvahemikus 100 kHz … 500 MHz vähemalt tasemel 25 dB ning sagedusvahemikus 500 kHz … 30 MHz vähemalt tasemel 17 dB.

LISA 2. LÄBI VIIDUD TOODETE VASTAVUSTINGIMUSTE KATSETE TULEMUSED

KOHALDUVAD JA VÕRRELDAVAD STANDARDID JA PIIRNORMID

Katsetatavad tooted on eeldatavalt ette nähtud ühendamiseks avalikku madalpinge-vahelduvvooluvõrku.

Kohalduv(ad) EM-emissiooni üldstandard(id):

- EVS-EN IEC 61000-6-3. Elektromagnetiline ühilduvus. Osa 6-3: Erialased põhistandardid. Olme-, kaubandus- ja väiketööstuskeskkondade emissioonistandard.
  Kommentaar: seab üldised piirangud avalikku madalpingevõrku ühendatavate seadmete juhtivuslike emissioonide tasemetele sagedusvahemikus 150 kHz … 30 (80) MHz. Aluseks tootestandardis esitatud nõuetele.

Kohalduv(ad) EM-emissiooni tootestandard(id):

- EVS-EN IEC 61204-3. Madalpingelised alalisvooluväljundiga toiteallikad. Osa 3: elektromagnetiline ühilduvus.
  Kommentaar: tootestandard, millele vastavust tuleb antud toote juures kontrollida; seab piirangud seadmete juhtivuslike emissioonide tasemetele sagedusvahemikus 150 kHz … 30 (80) MHz. NB! Sisaldab lauset ja viidet, mis kohustab antud toodete puhul kontrollima juhtivusliku emissiooni taset sagedusest 150 kHz.

Täiendav(ad) standard(id):

- EVS-EN IEC 55015. Elektrivalgustite ja nendetaoliste seadmete raadiohäiringu-tunnussuuruste piirväärtused ja mõõtemeetodid
  Kommentaar: lähim sarnane tootestandard, mis kajastab ka lubatud emissiooni sagedusvahemikus 9 … 150 kHz, sh ka sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz. Ei kohaldu antud tootele nõudena.

- EVS-EN 61000-2-2:2003/A1:2017/A2:2019. Electromagnetic compatibility (EMC) - Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.
  Kommentaar: lähim üldstandard, mis kajastab ka eeldatavaid ühilduvusnivoosid emissiooni sagedusvahemikus 9 … 150 kHz. Ei kohaldu antud tootele nõudena.

TOOTE TALITLUS JA ÜHENDAMINE KATSETEL

Vt peatükk 7.2 KATSED ELS-HÄIRIVATE SEADMETE EM-EMISSIOONI TASEME JA NÕUETELE VASTAVUSE MÄÄRAMISEKS.

KATSESEADMED, MEETODID JA KATSESKEEM

Vt peatükk 7.2 KATSED ELS-HÄIRIVATE SEADMETE EM-EMISSIOONI TASEME JA NÕUETELE VASTAVUSE MÄÄRAMISEKS.

KATSETE ARUANNE (ENG 3A-122WT12)

TOOTE INFO

Tootja	ENG Electric Co., Ltd.
Mudel	3A-122WT12
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	WT532101
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 220 … 240 V; 50-60 Hz; nimivool 0,3 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 1,0 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes, kasutamiseks ainult infotehnoloogia seadmetega
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

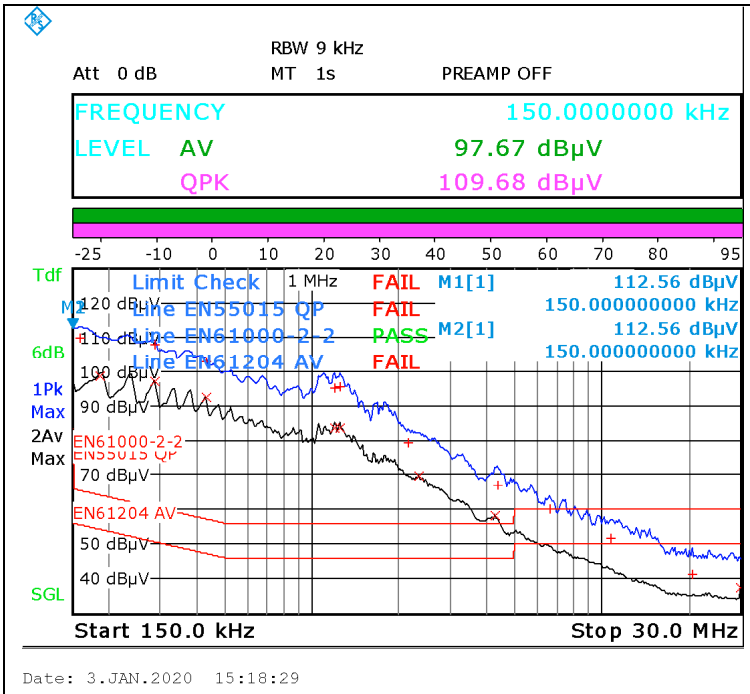
Joonis 0-1. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-2. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

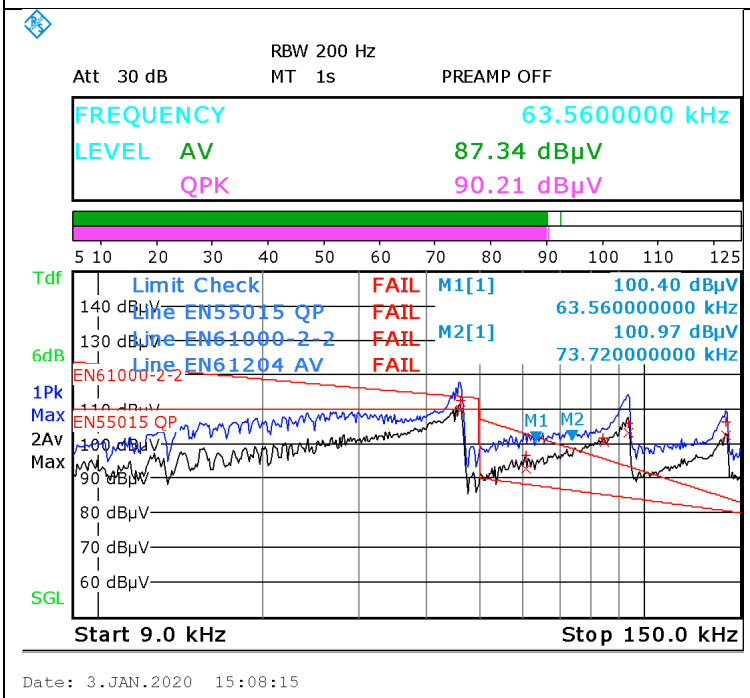
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-3. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

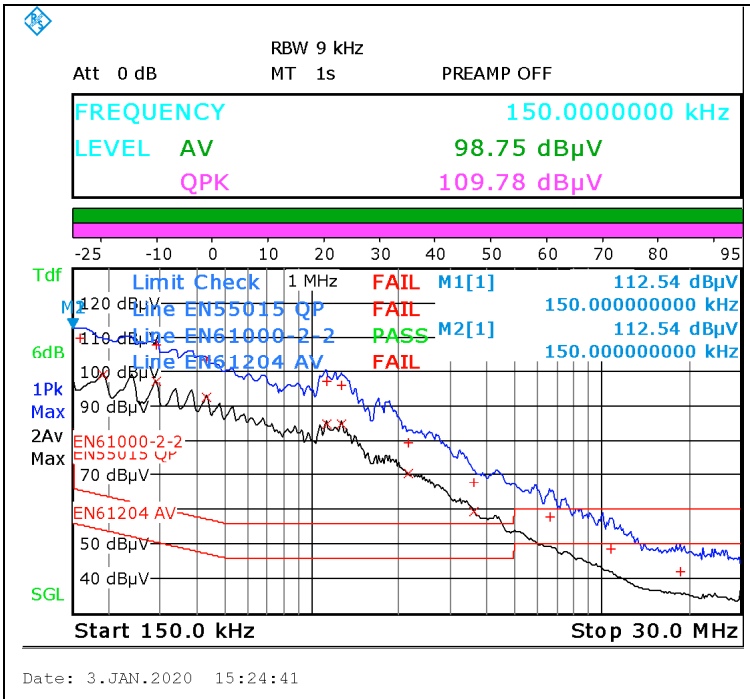
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-4. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

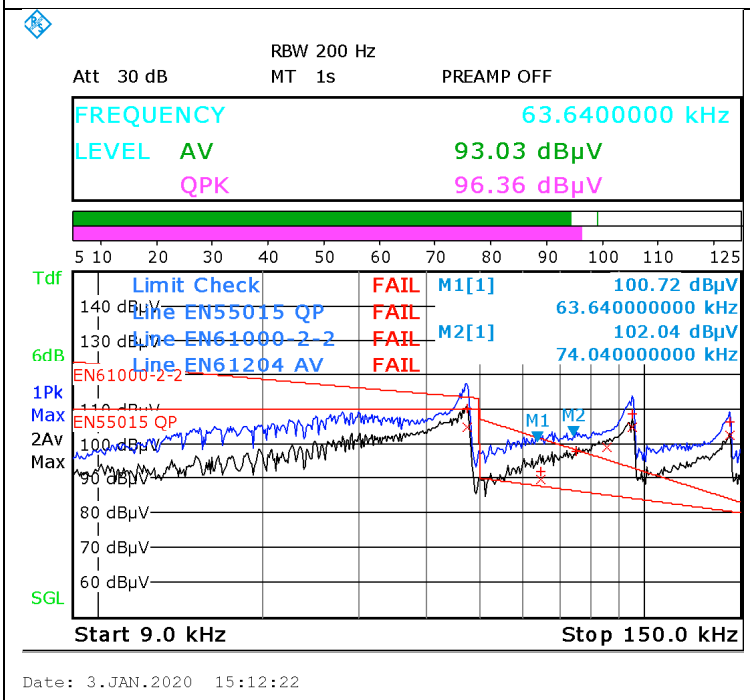
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-5. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (FIRST ELECTRONICS)

TOOTE INFO

Tootja	Firstelec.Co., Ltd. (Hiina)
Mudel	FA-1210-V
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	F1139002872
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50/60 Hz; nimivool 0,35 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 1,0 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

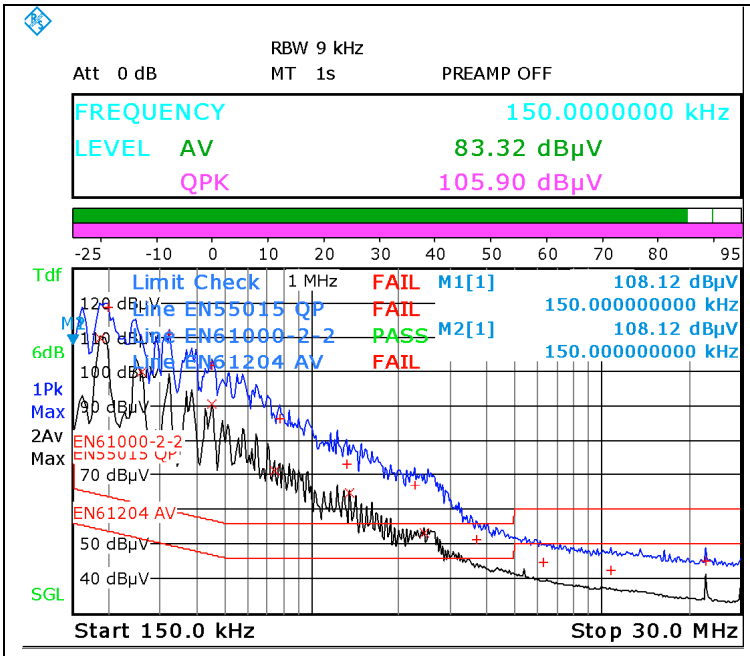
Joonis 0-6. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Date: 3.JAN.2020 14:50:28

Joonis 0-7. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

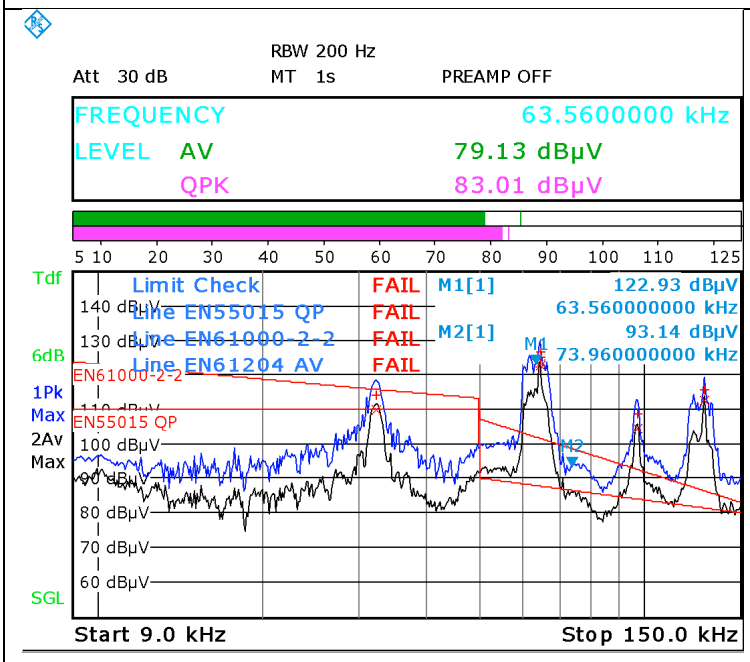
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Date: 3.JAN.2020 14:40:44

Joonis 0-8. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

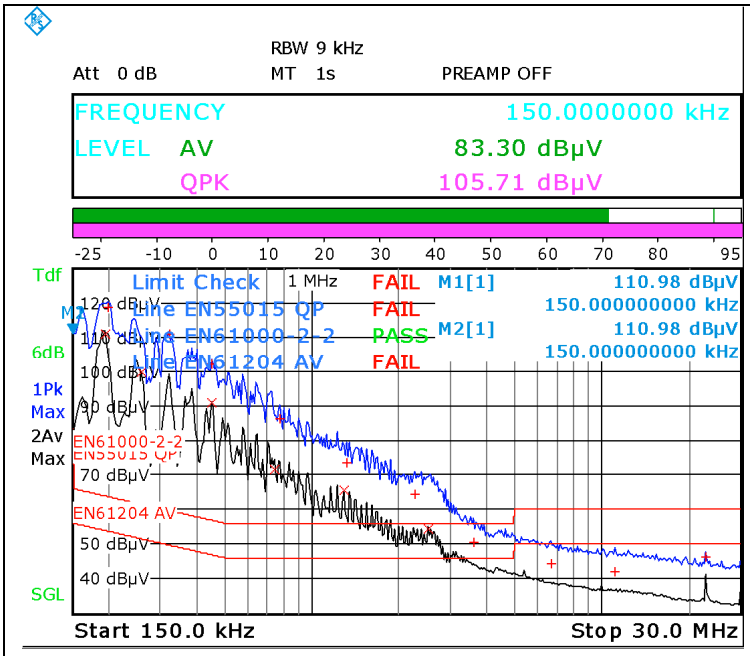
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-9. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

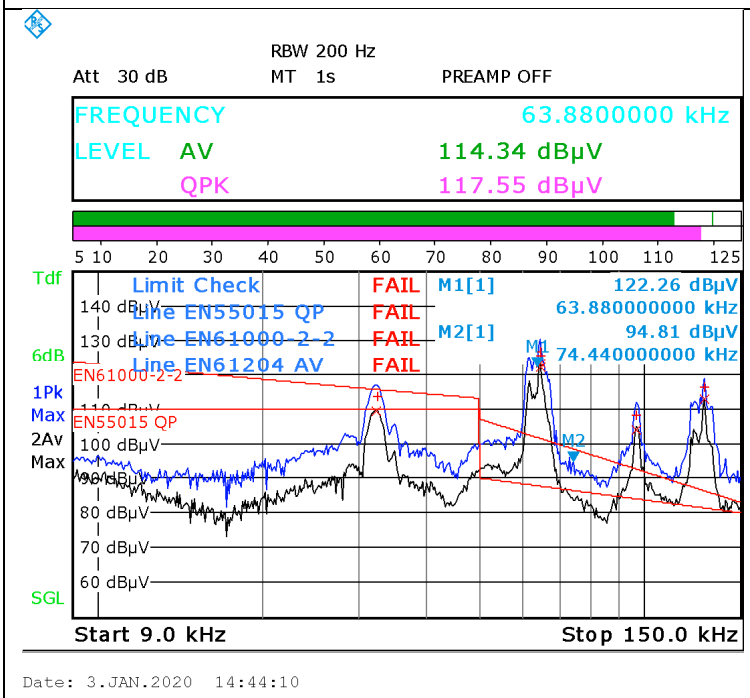
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-10. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (LINEARITY 1)

TOOTE INFO

Tootja	Linearity Electronics Co., Ltd. (Hiina)
Mudel	LAD6019AB4
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	11031106004799
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50-60 Hz; nimivool 1,5 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 3 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes, kasutamiseks ainult infotehnoloogia seadmetega
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	-, maandusühendusega

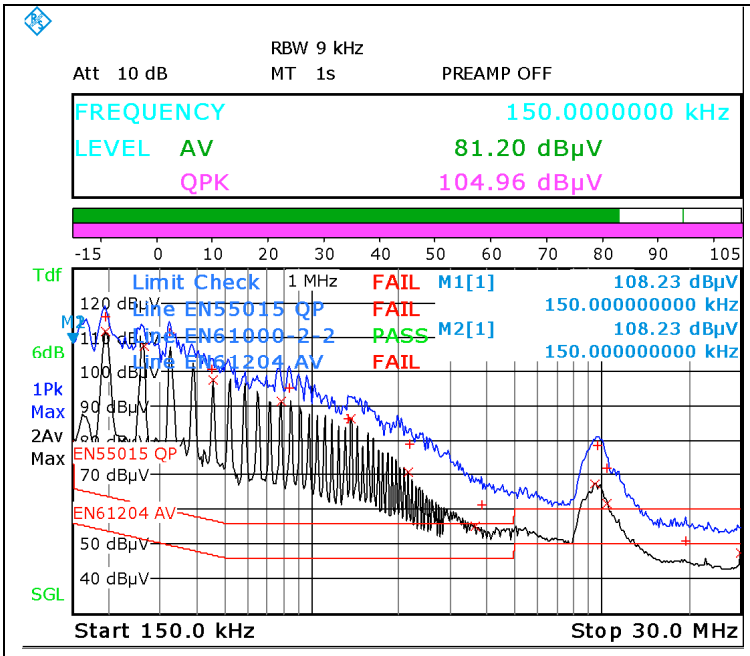
Joonis 0-11. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-12. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

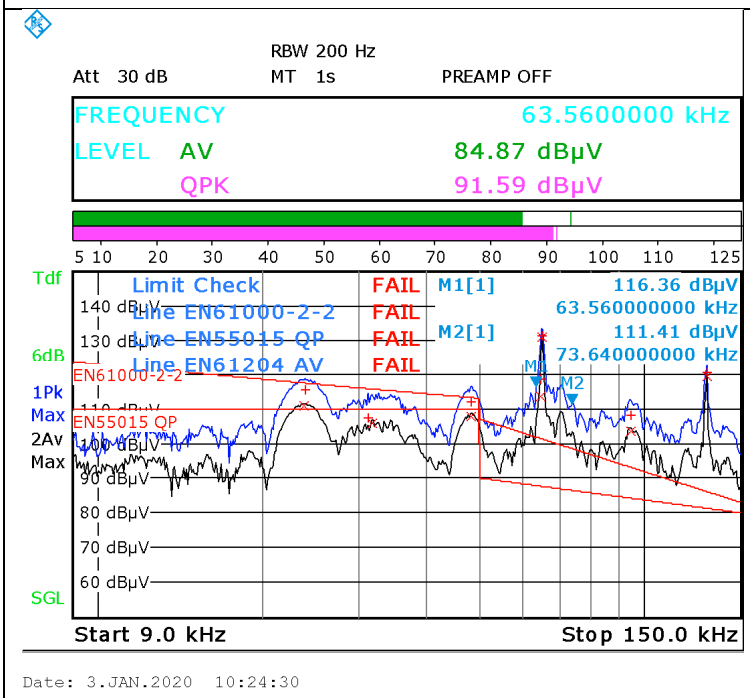
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-13. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

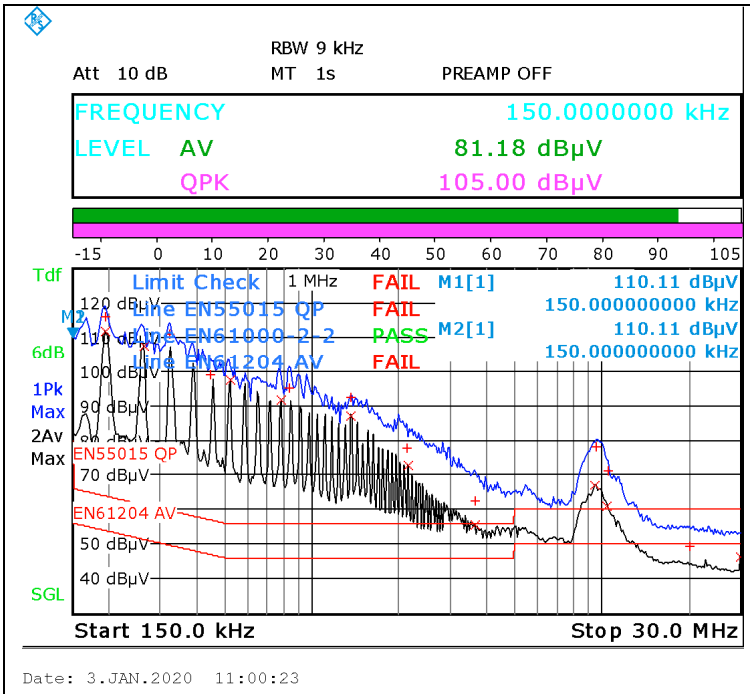
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-14. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

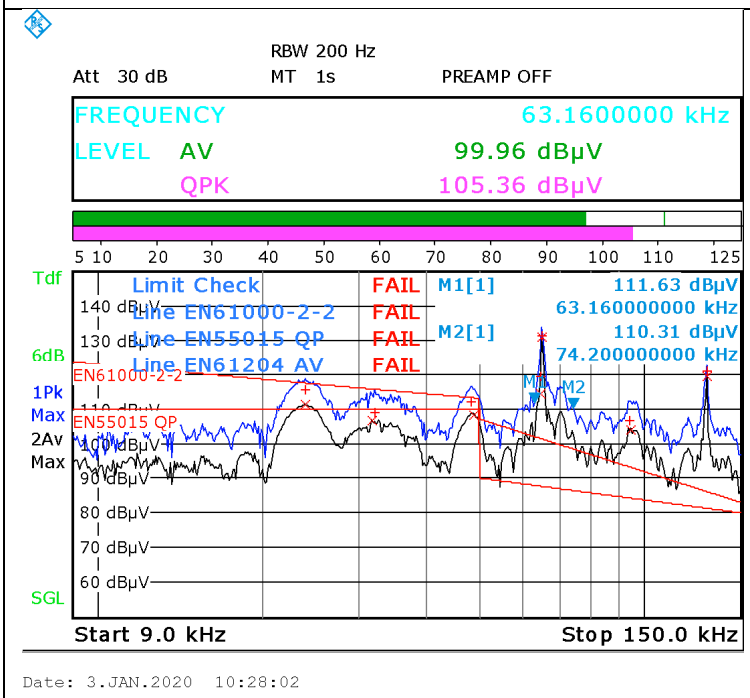
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-15. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (LINKSYS)

TOOTE INFO

Tootja	First Vision Int'l Ltd. (Hiina)
Mudel	A2-36SG12R-V
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	R02113200898
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50-60 Hz; nimivool 1,2 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 3 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes, kasutamiseks ainult infotehnoloogia seadmetega
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	-, maandusühendusega

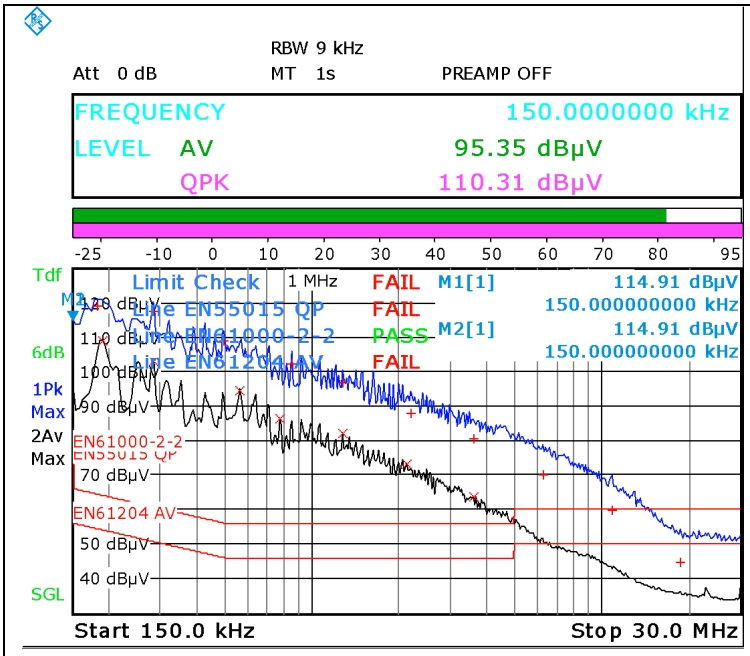
Joonis 0-16. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-17. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

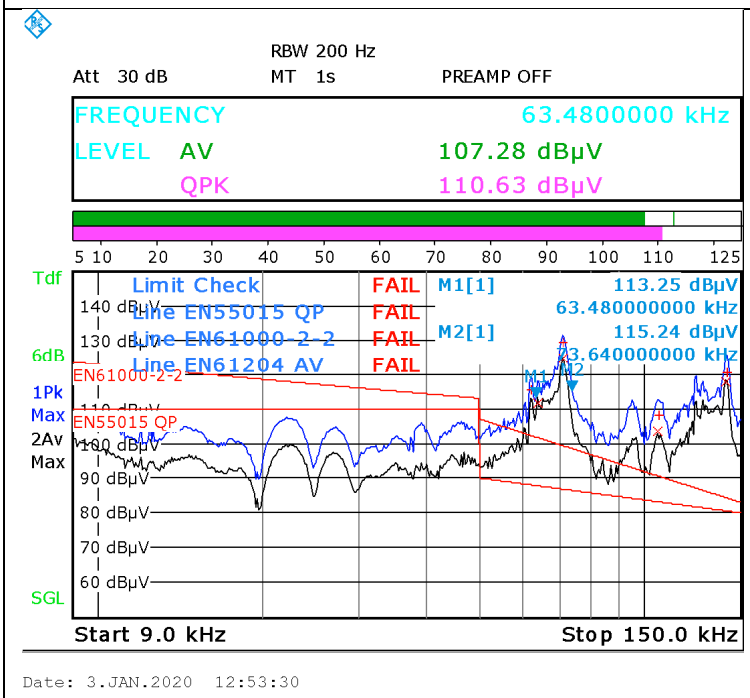
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-18. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

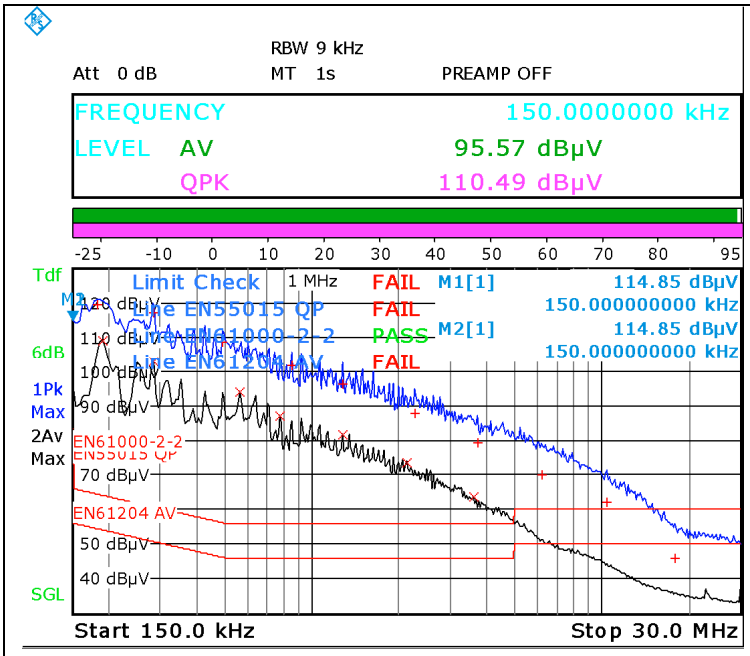
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Date: 3.JAN.2020 13:08:47

Joonis 0-19. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

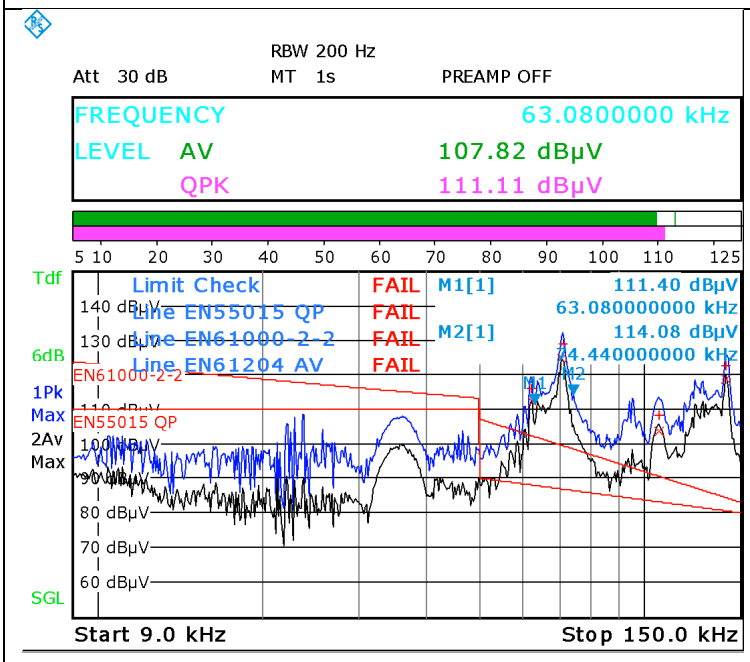
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Date: 3.JAN.2020 12:56:51

Joonis 0-20. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (LY1203)

TOOTE INFO

Tootja	- (Hiina)
Mudel	LY1203
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	-
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50/60 Hz; nimivool 1,6 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 3 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes, kasutamiseks ainult infotehnoloogia seadmetega
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	-, maandusühendusega

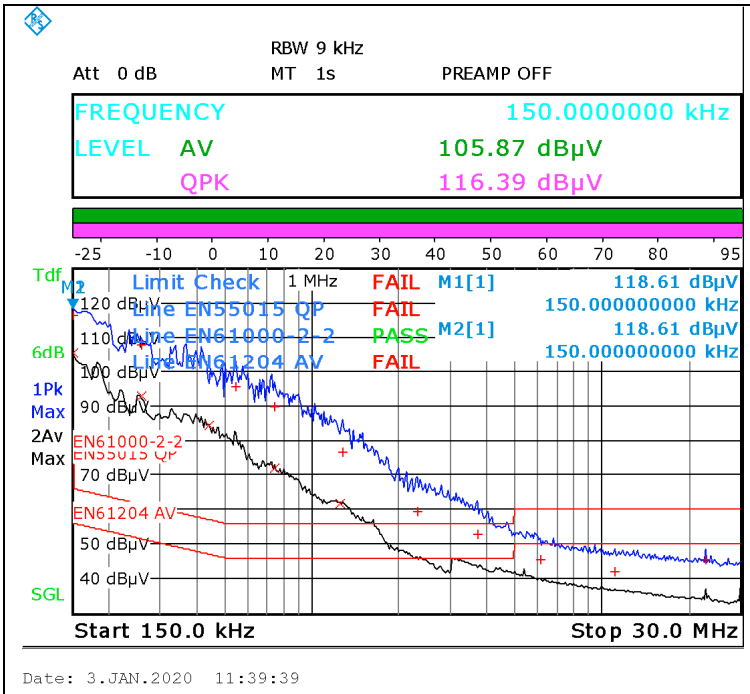
Joonis 0-21. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-22. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

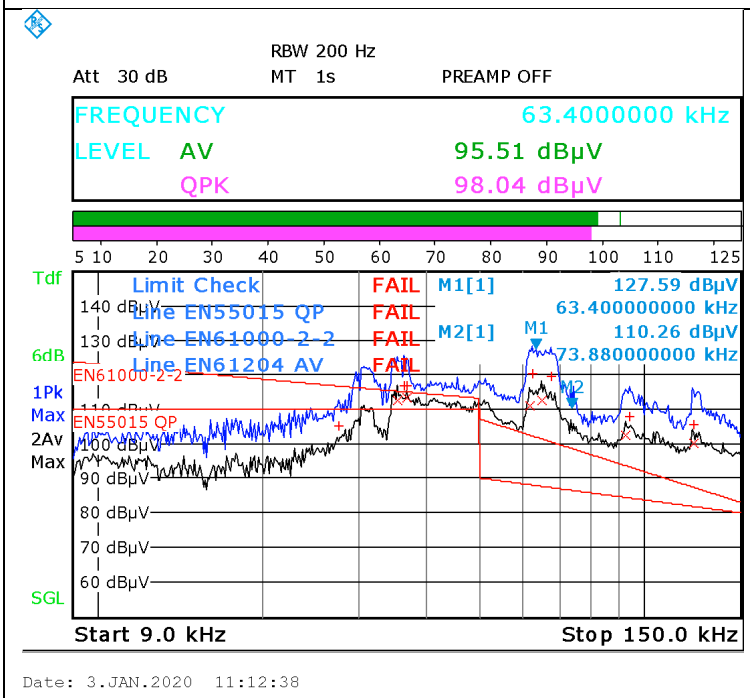
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-23. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

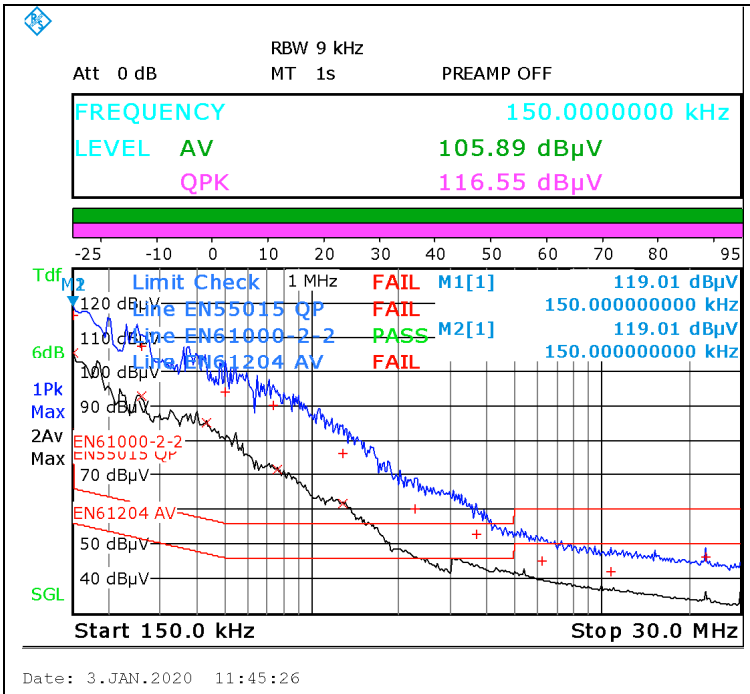
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-24. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

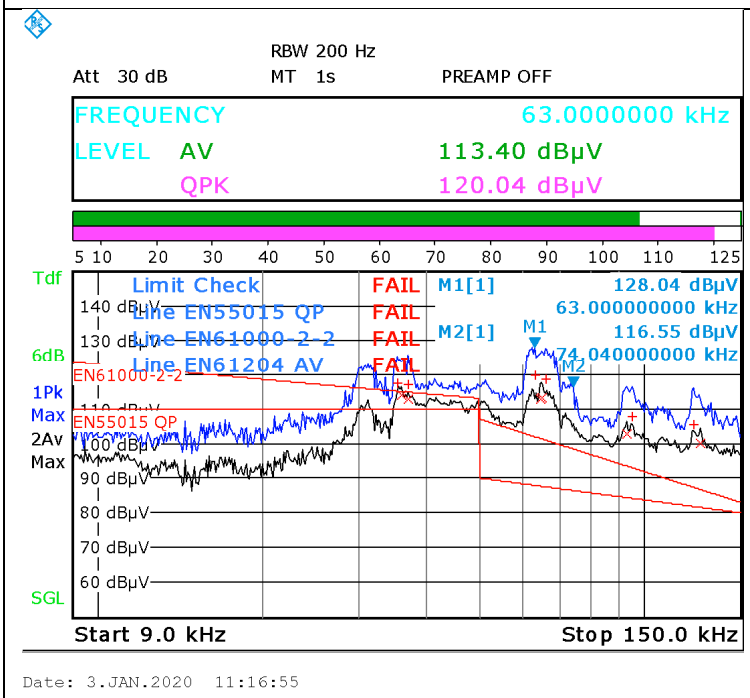
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-25. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (SBE SP3012A)

TOOTE INFO

Tootja	SBE (Hiina)
Mudel	SP3012A
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	SB1002004430
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50/60 Hz; nimivool 0,6 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 2,5 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ei ole lubatud vihmas ja niiskes keskkonnas
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

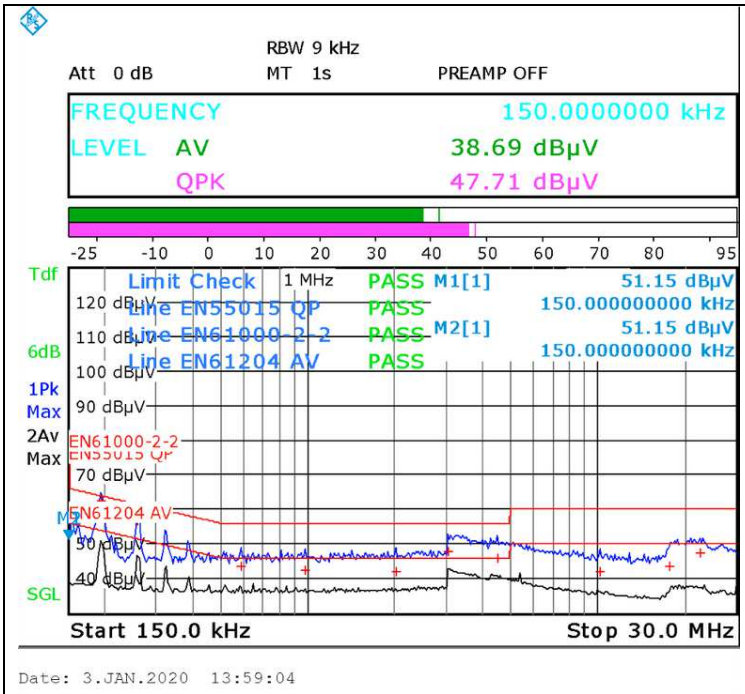
Joonis 0-26. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-30).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode vastab sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-27. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 61204-3:

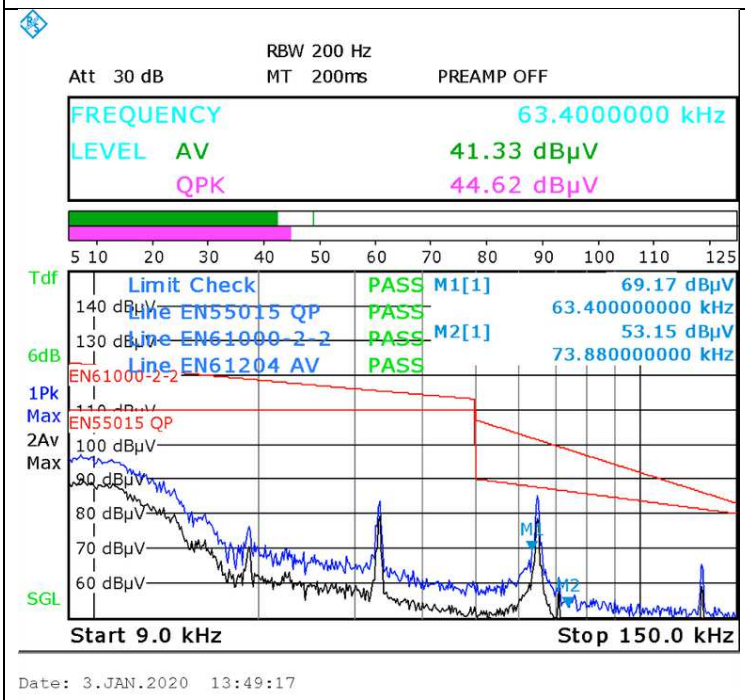
- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-28. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

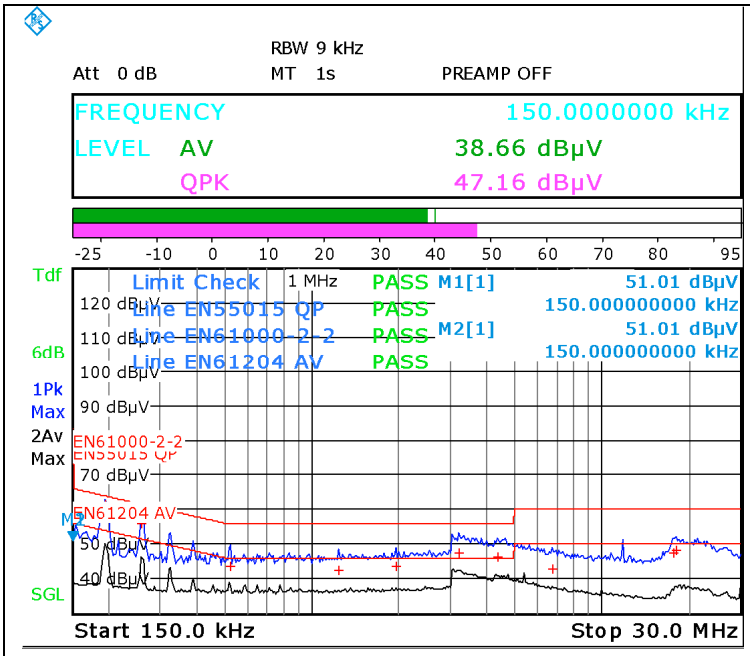
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Vastab nõuetele



Joonis 0-29. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 61204-3:

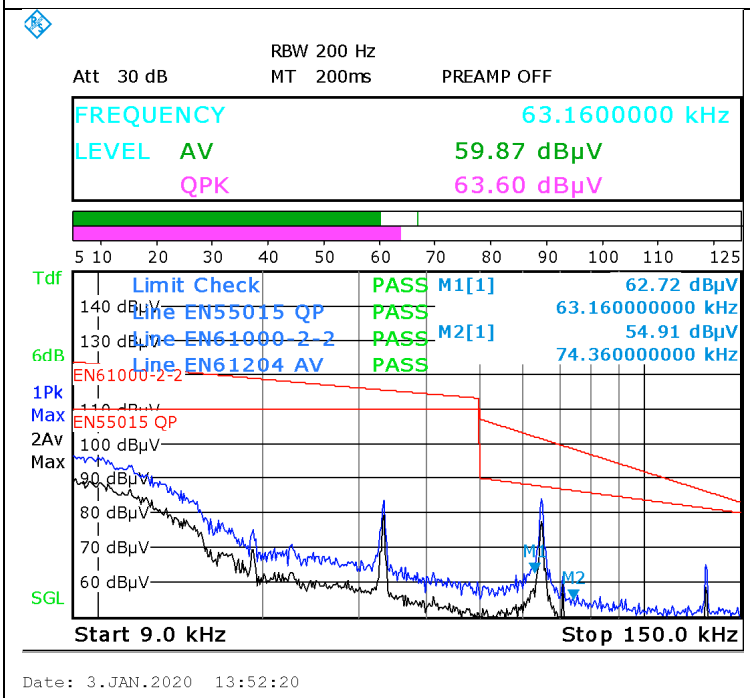
- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-30. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Vastab nõuetele

KATSETE ARUANNE (SBE SP3012A)

TOOTE INFO

Tootja	SBE (Hiina)
Mudel	SP3012A
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	SB0809043702
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50/60 Hz; nimivool 0,6 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 2,5 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ei ole lubatud vihmas ja niiskes keskkonnas
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

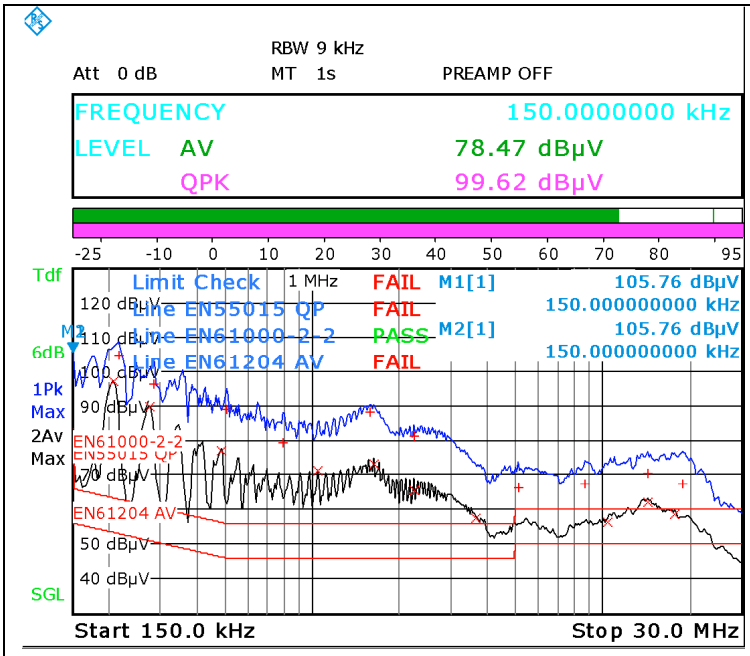
Joonis 0-31. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-35).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-32. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

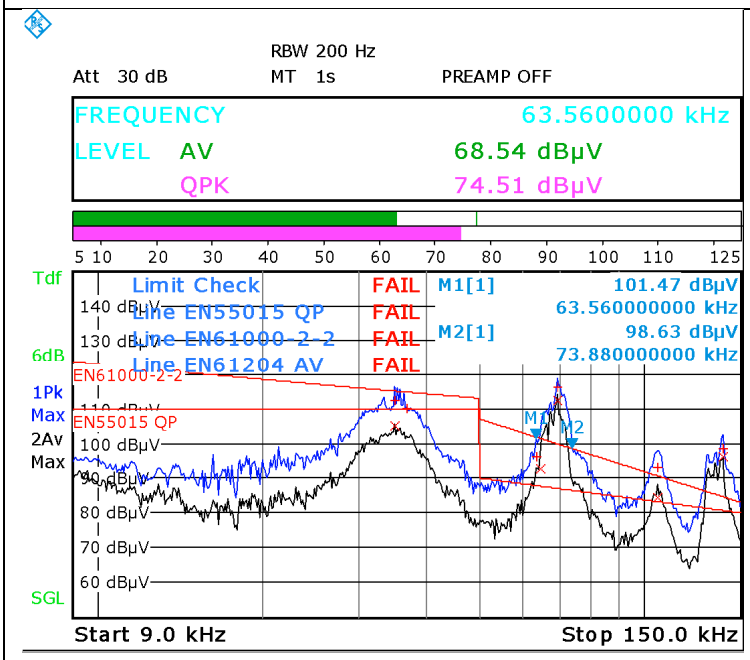
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-33. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

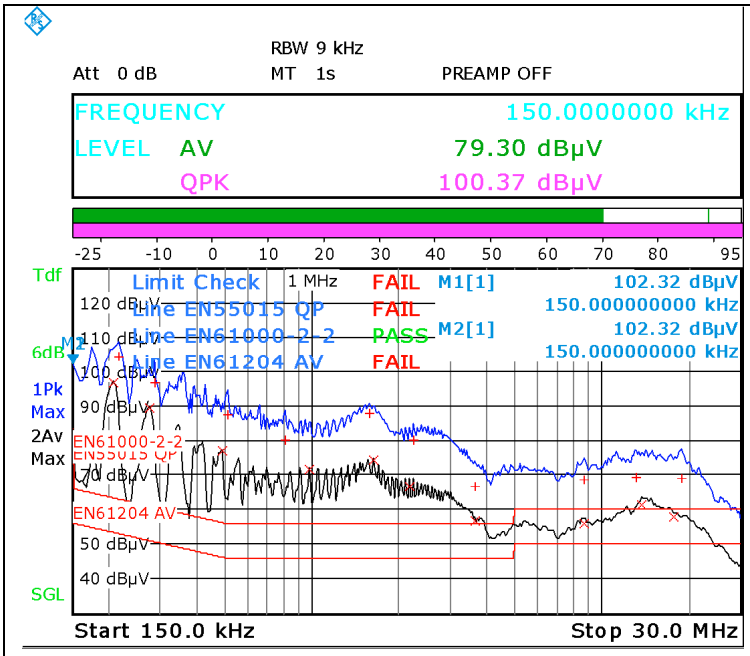
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-34. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

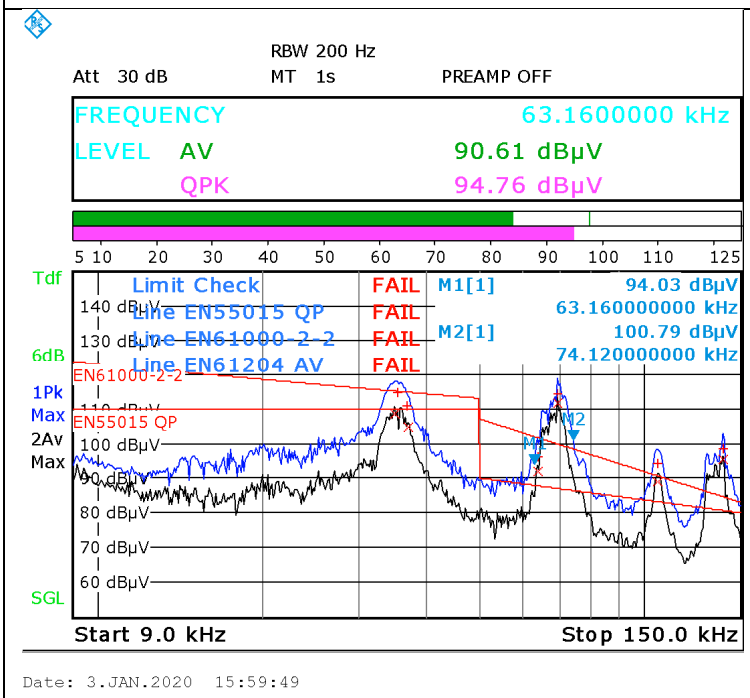
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-35. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (SUN-1200300)

TOOTE INFO

Tootja	Shenzhen Sunup Electronics Co., Ltd
Mudel	Sun-1200300
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	1337
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50/60 Hz; nimivool 0,9 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 3 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

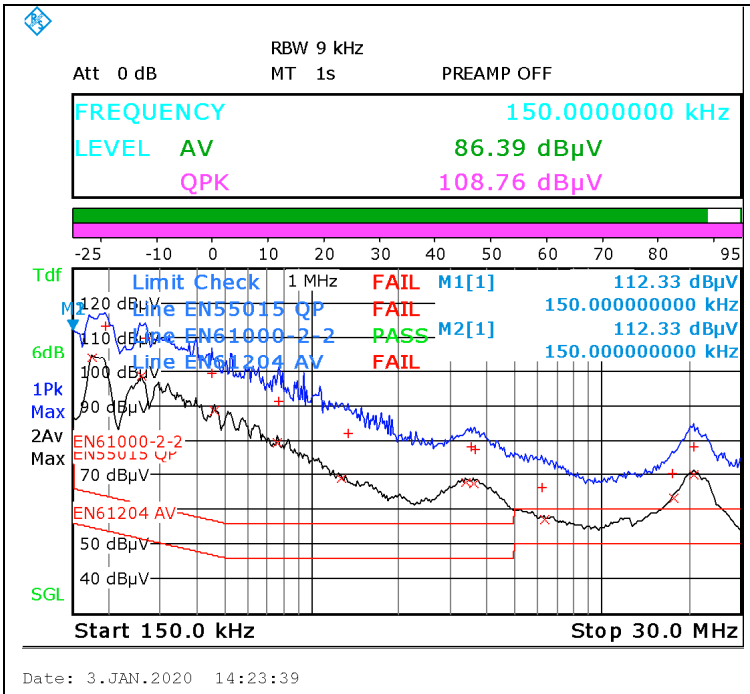
Joonis 0-36. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-37. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

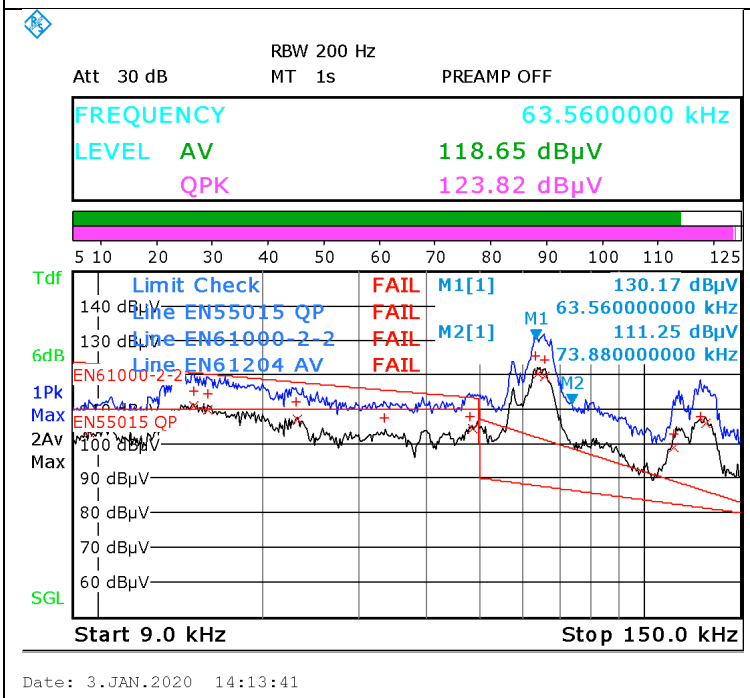
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-38. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

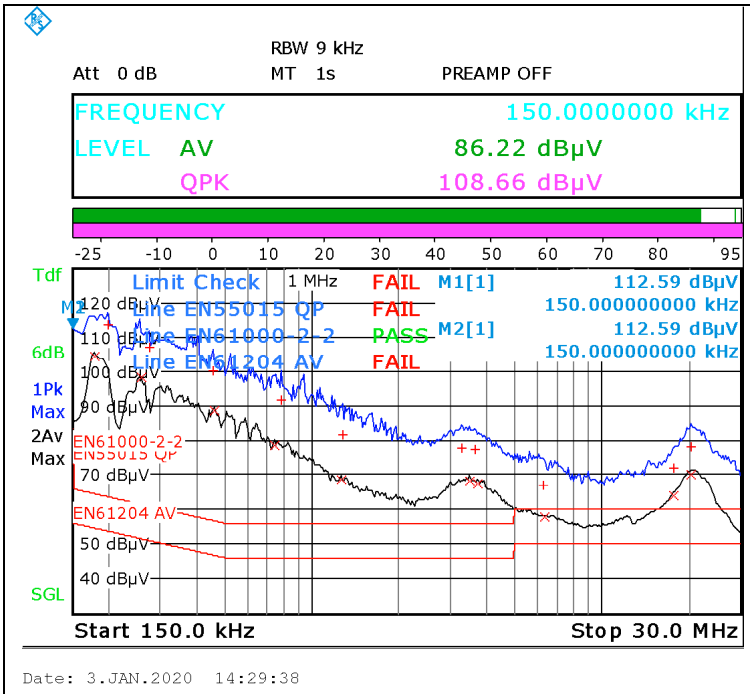
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-39. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

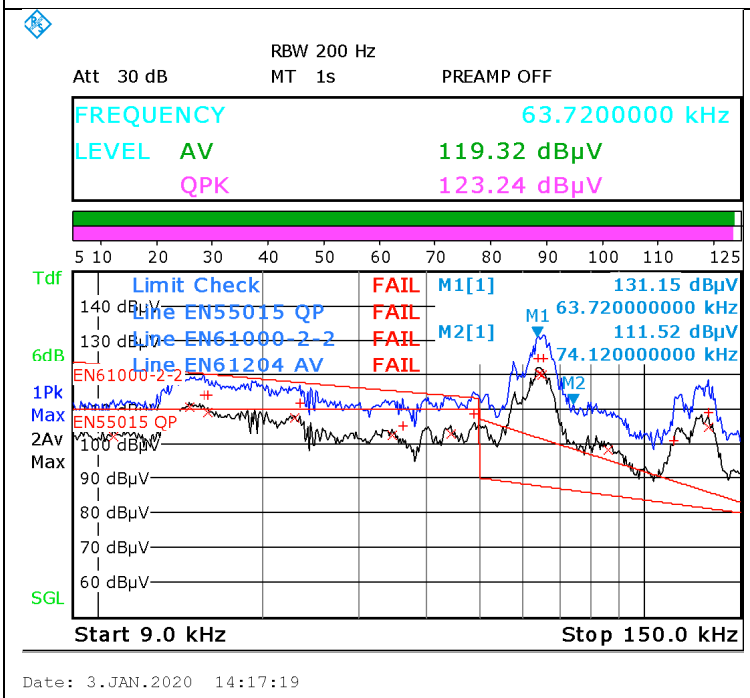
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-40. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

KATSETE ARUANNE (SUNNY SYS1428-2412-W2E)

TOOTE INFO

Tootja	Sunny Computer Technology Co., Ltd. (Hiina)
Mudel	SYS1428-2412-W2E
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	G150706001408
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 100 … 240 V; 50/60 Hz; nimivool 1 A
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 2 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamiseks ainult sisetingimustes
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

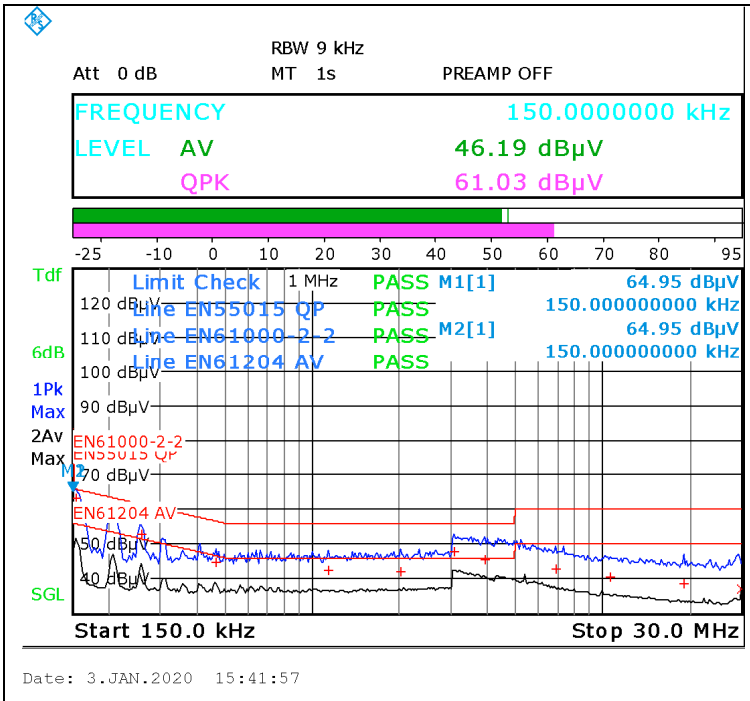
Joonis 0-41. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-30).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode vastab sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-42. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 61204-3:

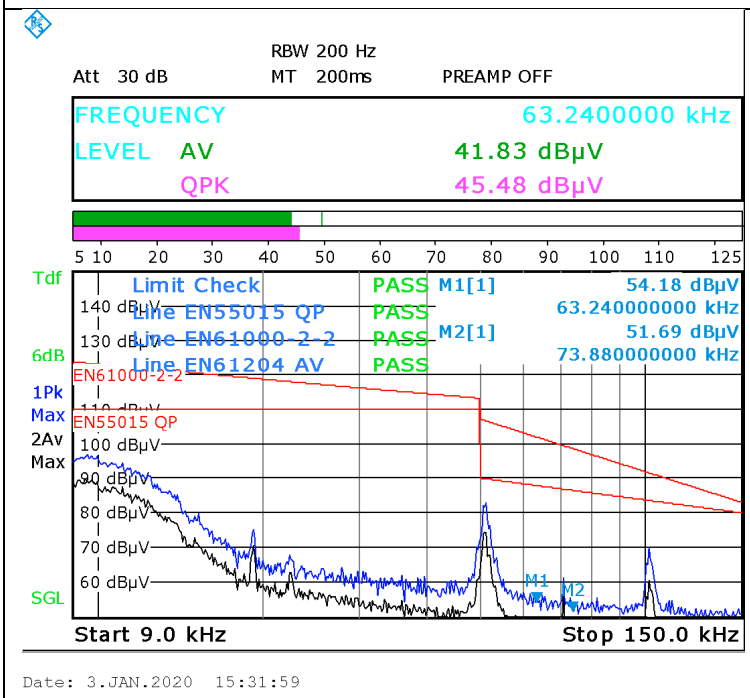
- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-43. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

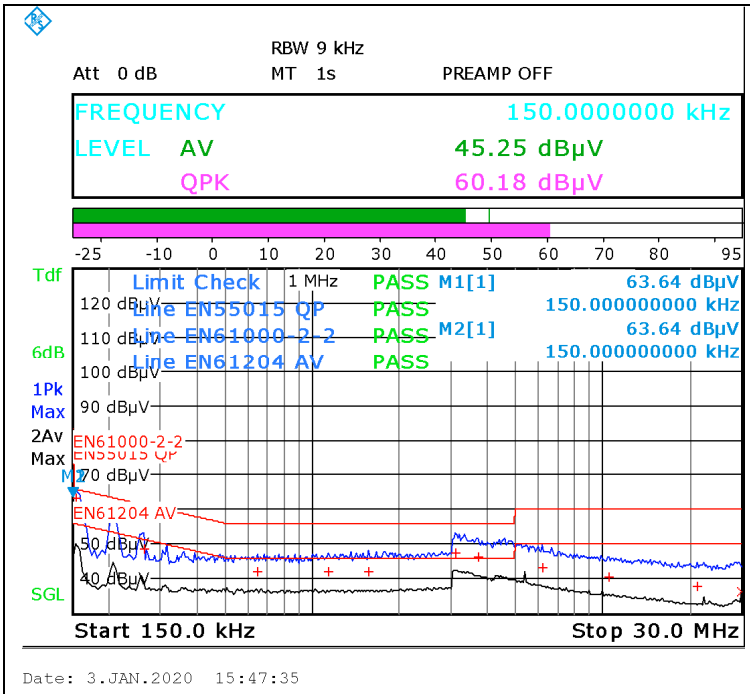
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Vastab nõuetele



Joonis 0-44. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz … 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 61204-3:

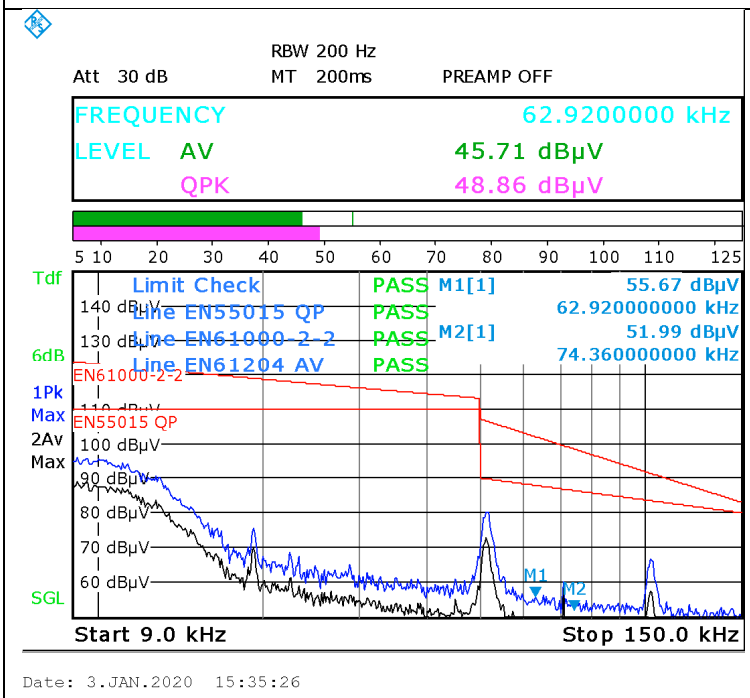
- Vastab nõuetele

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-45. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz … 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- Vastab nõuetele

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Vastab nõuetele

KATSETE ARUANNE (XWY-060-20-C)

TOOTE INFO

Tootja	-
Mudel	XWY-060-20-C
Seerianumber/väljalaske aeg/partii	-
Toote tüüp	Vahelduv-alalis muunduriga madalpingeline toiteallikas, alalisvooluväljundiga
Olulised sisendpara-meetrid	Vahelduv-toitepinge, 240 V; 50/60 Hz;
Olulised väljundpara-meetrid	Alalis-toitepinge; 12 V; nimivool 5 A
Toote vastavus Euroopa turunõuetele	Tootel CE märgis
Toote kasutamise tingi-mused/ piirangud/ juhendid	Kasutamine ainult sisetingimustes
Seadme isolatsiooniklass (EVS-EN61140) ja maan-dusühendus	Klass II, maandusühenduseta

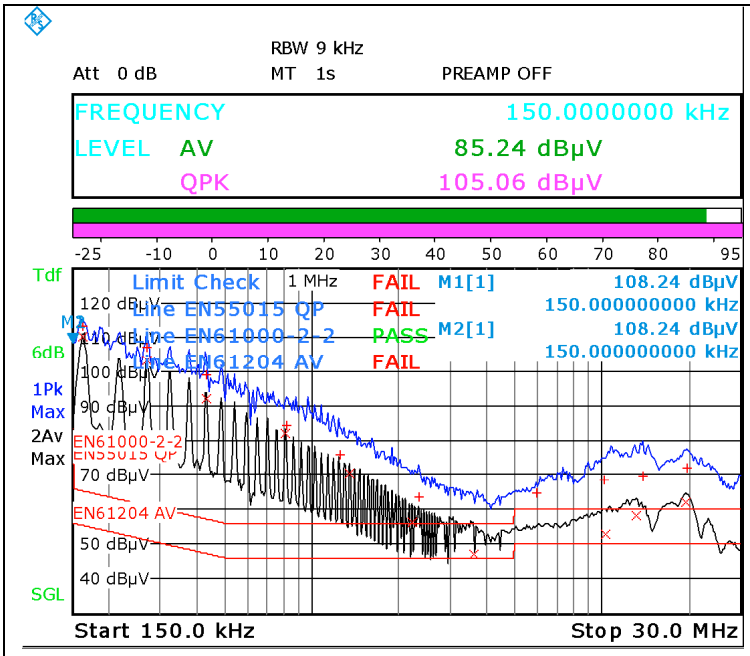
Joonis 0-46. Toote foto

MÕÕTMISTULEMUSTE ÜLEVAADE

Mõõtmistulemused on esitatud all olevatel graafikutel (vt Joonis 0-2 … Joonis 0-5).

MÕÕTMISTULEMUSTE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mõõtmistulemused kinnitavad, et antud toode ei vasta sellele esitatud EM-emissiooninõuetele ning ka täiendavate võrdlusstandardite kriteeriumidele.



Joonis 0-47. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

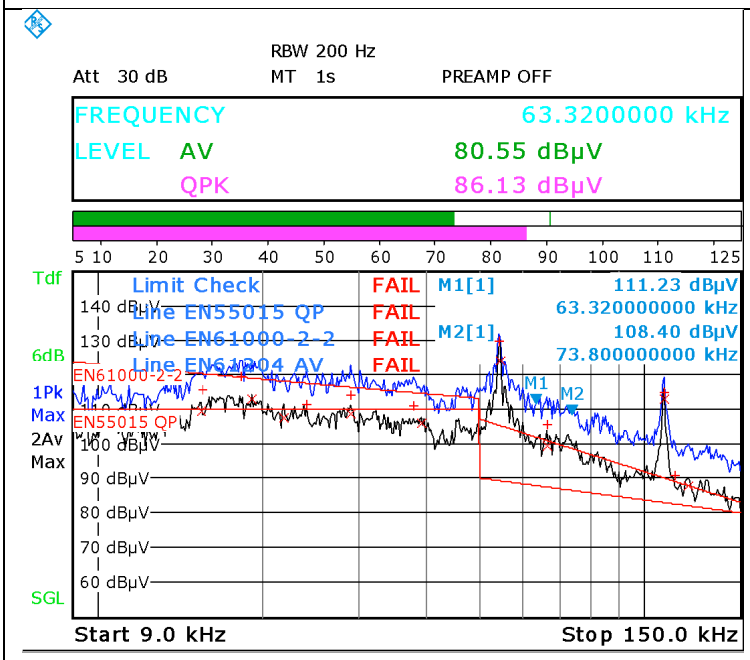
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-48. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim L.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

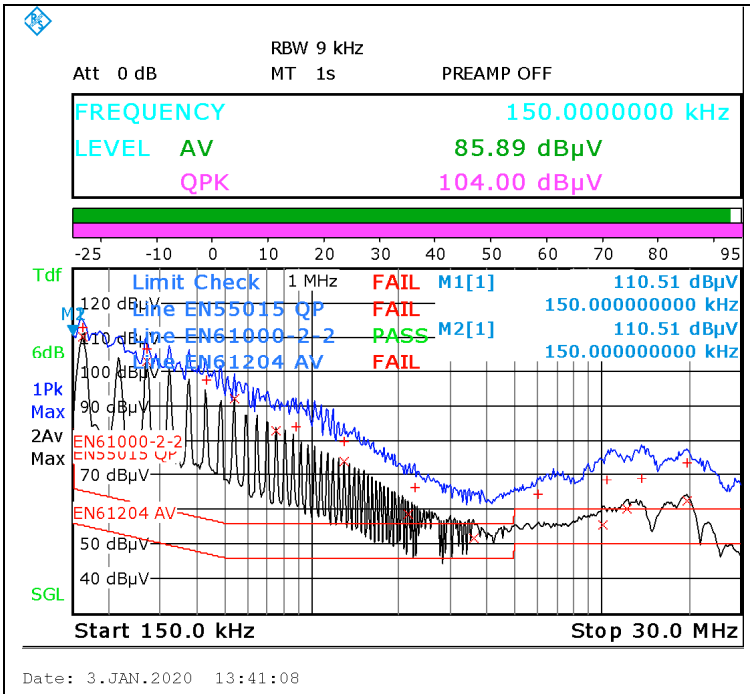
- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**



Joonis 0-49. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 150 kHz ... 30 MHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 61204-3:

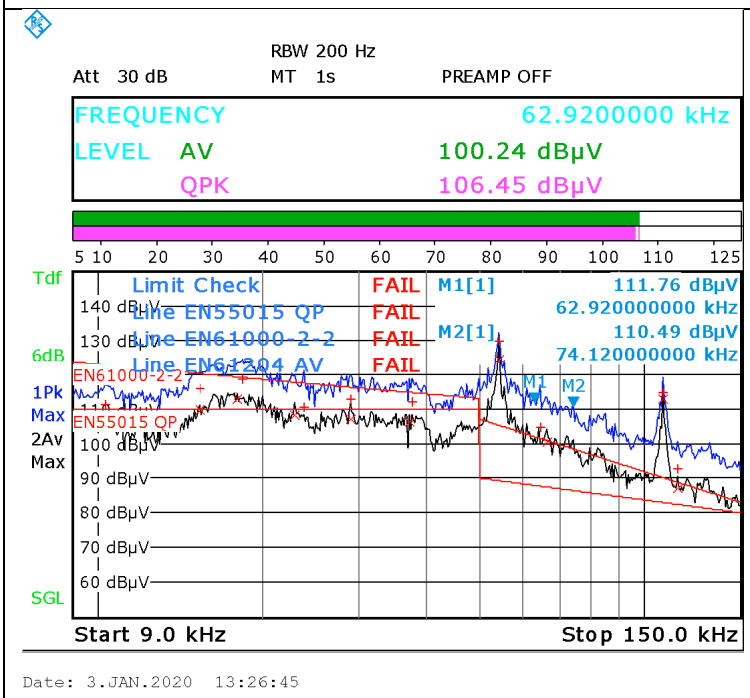
- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- Ei võrrelda



Joonis 0-50. Toote EM-emissiooni mõõtetulemused sagedusvahemikus 9 kHz ... 150 kHz, mõõterežiim N.

Võrreldavad standardid ja piirnormid:

EVS-EN IEC 61000-6-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 61204-3:

- Ei võrrelda

EVS-EN IEC 55015:

- **Ei Vasta nõuetele**

EVS-EN 61000-2-2:2003/ A1:2017/ A2:2019:

- **Ei Vasta nõuetele**

LISA 3. OTSUSTUSPUU KASUTATAVATE SEADMETE ELEKTRILEVI OÜ AVALIKKU JAOTUSVÕRKU ÜHENDAMISE LUBAMISE TINGIMUSTEST

All olevalt on esitatud otsustustingimused, mille aluseks on tootega koos esitatavate dokumentide valik, millised on esitatud koos toote CE-vastavusdeklatatsiooni EMÜ alamosas. Avalikus jaotusvõrgus kasutamise lubamiseks on oluline jälgida, et täidetud oleksid seadmete piirnõuded EM-emissiooni tasemete osas, standardis IEC 61000-6-3 toodud nõuetele vastavalt.

Aluseks on CE –deklaratsiooniga koos esitatud vastavuse tõendusdokumendis loetlevad normdokumentide nimistu

Üldiseim juhtum kõigile seadmetele: märgitud on vastavus IEC 61000-6-3 dokumendile

Kui seade on kodumajapidamisseade, tööriist, mänguasi või valgusti

Kui seade on mõõteriist, induktsioonikuumutusseade vms

Kui seade on multimeedia- ja/või IT-seade

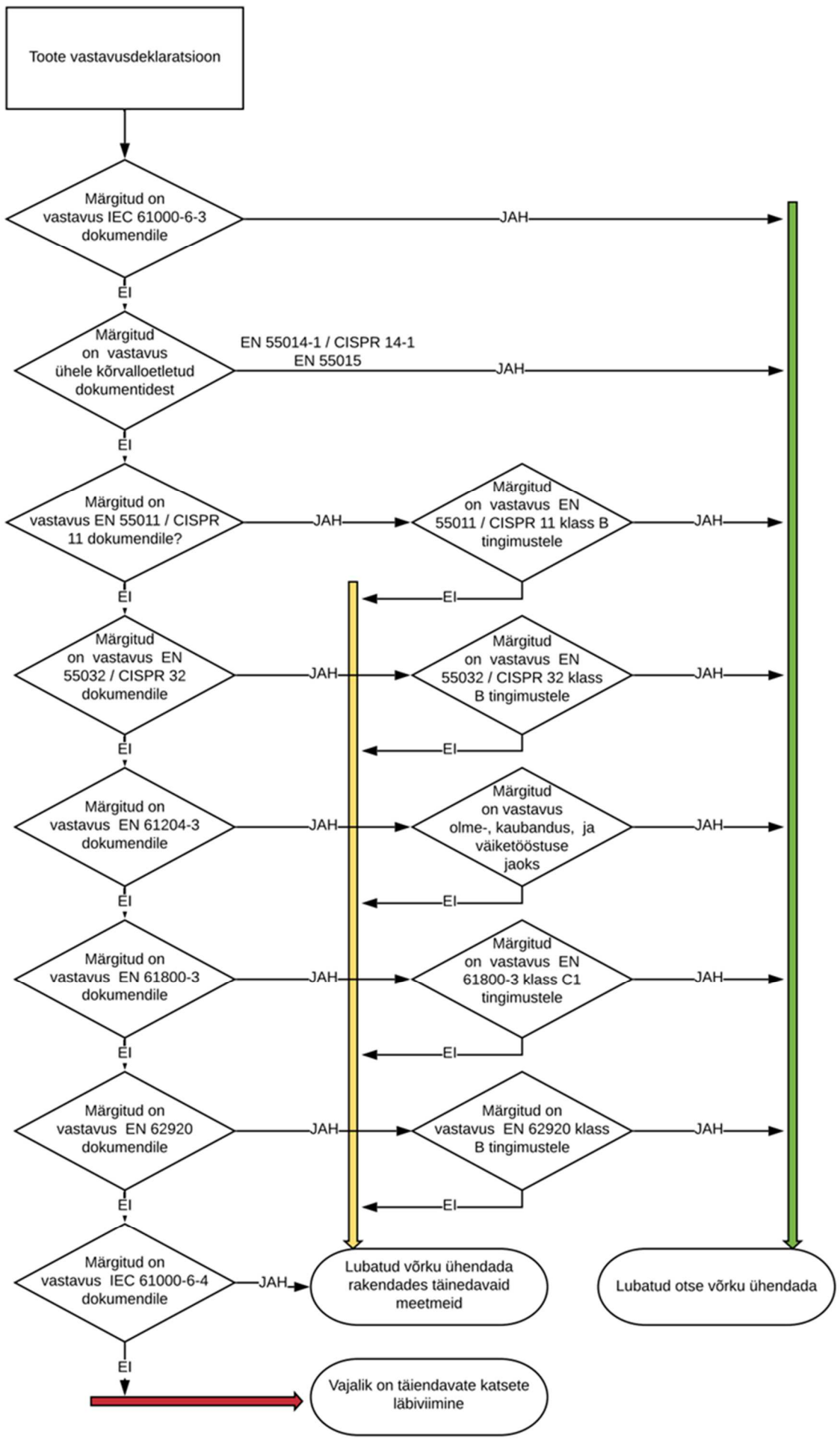
Kui seade on toiteplokk

Kui seade on ajamisüsteemi komponent, sagedusmuudur

Kui seade on päikesepaneelidega kasutamiseks vaheldi-muundurseade (inverter)

Kui seade ei ole vastanud ühelegi ülaltoodud normdokumendile, kuid sisaldab viidet IEC 61000-6-4 standardile.

Ühtegi ülaltoodud normdokumenti ei ole CE-kinnituses näidatud, või puudub CE-vastavusdeklaratsioon



Magistriõppe lõputööde teemad ja juhendajad **2016 kevad**

Jrk. nr	Eesnimi	Perekonna-nimi	e-post	Lõputöö esialgne teema	Juhendaja
1.	Silvestr	**Belozjorov**	fanera91@mail.ru	?	
2.	Harri	**Laks**	harri_laks@hotmail.com	Vahelduvoolumasinate sünteetilise koormuse analüüs ja võrdlus	Anton Rassõlkin
3.	Jaanis	**Palm**	jaanis.palm@gmail.com		
4.	Urmas	**Põdra**	podra.urmas@yahoo.com	Elektrimasinate elektriliste suuruste mõõtmine ja mõõtmistäpsus	Ants Kallaste
5.	Mihkel	**Raadik**	raadik.mihkel@gmail.com	Eramajale saarestumise võimekusega elektrisüsteemi väljatöötamine	Argo Rosin
6.	Jaan	**Reinok**	jaanreinok@gmail.com	?	
7.	Aleksandr	**Ruljov**	alwwwex@gmail.com	?	
8.	Aleksandr	**Serbin**	aleksandr.serbin@gmail.com	Elektrimasinate katsepink reluktantsmasinale	Anton Rassõlkin
9.	Norman	**Vaga**	normva@gmail.com	Kahe 3-faasilise mootori vektorjuhtimise võimekusega elektriajami arendus väikeelektrisõidukitele	Anton Rassõlkin
10	Aksel	**Vain**	kriitik@gmail.com	Asünkroonmasina akustiline diagnostika	Toomas Vaimann
11	Hindrek	**Kaeval**	kaeval_hindrek@hotmail.com	?	
12	Siim	**Omri**	crudus.omri@gmail.com	Masinnägemise valideerimine	Margus Müür
13	Tambet	**Land**	tambetland@gmail.com	Arvprogrammjuhtimispingi „MultiCNC“ ehitusprojekt	Raivo Teemets
14	Taniel	**Sinijärv**	tanel.sinijarv@gmail.com	Väikese eelarvega elektrienergia mõõtmise süsteem	Heigo Mõlder