

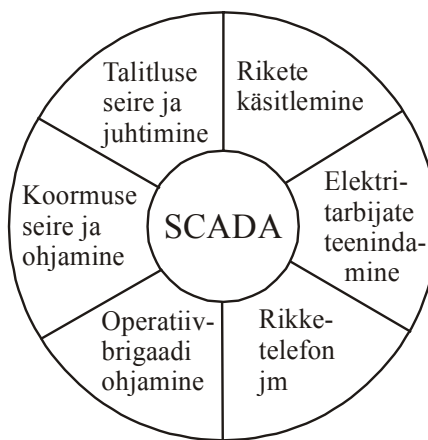
## 8 Jaotusvõrgu juhtimise tugi

Jaotusvõrgu juhtimise põhivahendiks nii nagu põhivõrgugi korral on dispetsisüsteem (*SCADA*), mis kogub ja edastab juhtimiseks vajalikke andmeid võrgu talitluse kohta ning võimaldab seadmete kaugjuhtimist. Selleks et personal võiks vastu võtta õigeid otsuseid ja neid ka täide viia, on vaja lisavahendeid, mis moodustavad **jaotusvõrgu talitluse tugisüsteemi** (*Distribution Management System, DMS*). Tugisüsteem toetab jaotusvõrgu põhilisi juhtimistegevusi nagu (joonis 8.1)

- talitluse seire ja juhtimine
- rikete käsitlemine
- koormuse seire ja ohjamine
- elektritarbijate teenindamine
- operatiivbrigadide ohjamine
- rikketelefon jm.

Lisaprobleeme jaotusvõrgu operatiivjuhtimisel tekitab elektriturk, kus on vaja arvestada elektriülekande kulutusi, kindlustada tootmise ja tarbimise tasakaal jne. Neid küsimusi käsitletakse jaotusvõrgu energiaohjesüsteemi raamides, mida vaadeldakse punktis 3.4.3.

Dispetsisüsteem hangib jooksvad (dünaamilised) andmed elektrivõrgu talitluse kohta. Juhtimisülesannete lahendamiseks vajalikud staatilised andmed saadakse infosüsteemidest, mille all mõistetakse andmebaase koos rakendusprogrammidega. Jaotusvõrgu operatiivjuhtimist illustreerib joonis 8.2.



**Joonis 8.1** Jaotusvõrgu talitluse tugisüsteem

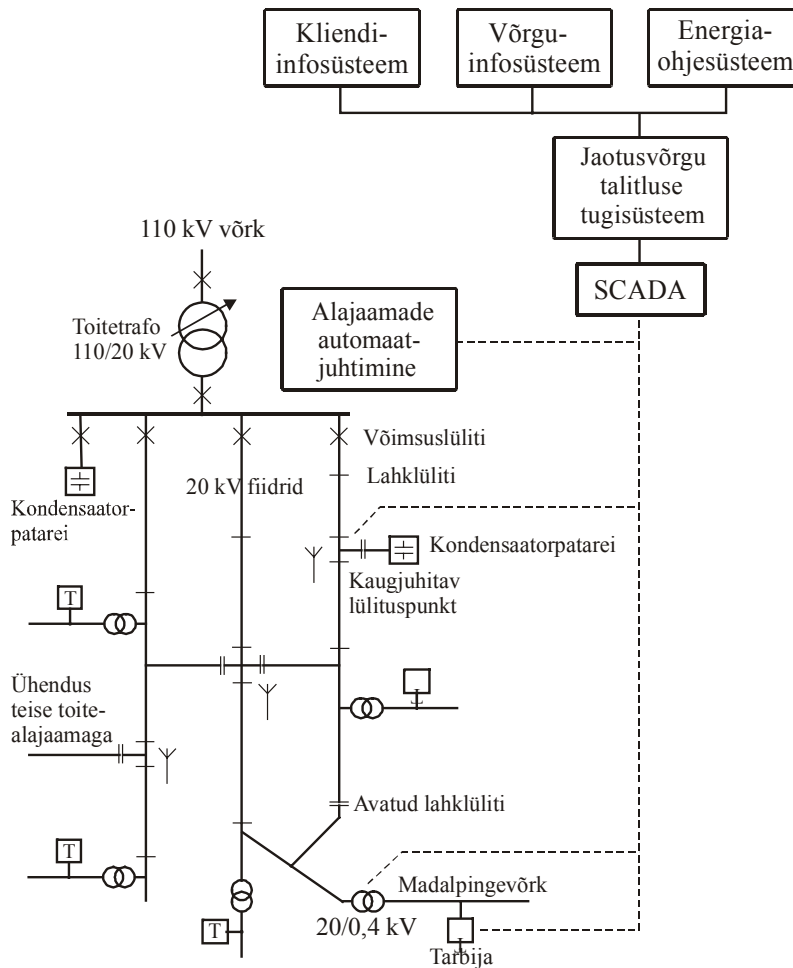
### 8.1 Jaotusvõrgu talitluse seire ja optimeerimine

Jaotusvõrgu talitluse seire seisneb võrgu skeemi (kaardi) ja lülituste hetkeseisu kindlakstegemises ja jälgimises. Tähtis koht on võrgu seisundi (võimsuste jagunemise) arvutustel. Kuna huvi pakuvad võimalikud tulevased seisundid, siis on oluline koormust prognoosida. Võrgu töökindluse tagamiseks ja kadude minimeerimiseks on vajalikud veel optimeerimisarvutused. Tähtis on tagada elektrienergia kvaliteet.

#### 8.1.1 Jaotusvõrgu topoloogia analüüs ja talitluse arvutamine

Jaotusvõrk hõlmab kesk- ja madalpingevõrku nimipingega 6...35 kV ja 0,4 kV. Märgatavalt erinevad linna- ja maavõrgud. Linnavõrgud põhinevad peamiselt kaabelliinidel, maavõrgud õhuliinidel (viimasel ajal ka õhukaabelliinidel). Kuigi

jaotusvõrkude käit toimub radiaalskeemi kohaselt, on nad ehitatud silmusvõrkudena, et oleks võimalik kasutada varuskeemi. Enamasti on linnavõrkudes selline võimalus olemas, maavõrkudes seevastu ainult 50...80% ulatuses. Toitealajaamade arv jaotusvõrgus kasvab elektritarbijate arvu suurenemise ning elektrivarustuse töökindluse ja kvaliteedi tõstmise vajaduse tõttu. Täiendavaid andmeid jaotusvõrkude kohta on tabelis 8.1.



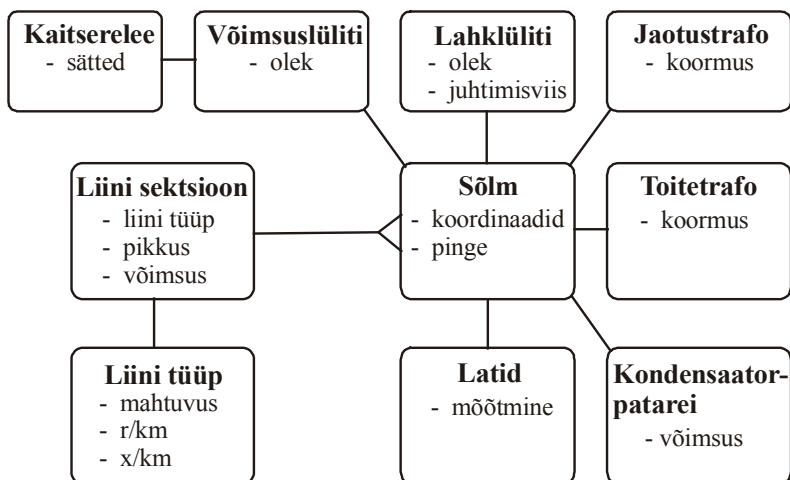
**Joonis 8.2 Jaotusvõrgu operatiivjuhtimise struktuurskeem**

Jaotusvõrk koosneb suurest hulgast liinidest, lattidest, trafodest, lülititest jne, mis talitluse arvutusskeemil moodustavad kümneid tuhandeid sõlmi ja harusid. Kuna jaotusvõrk töötab radiaalskeemi kohaselt, ei ole talitluse arvutamisel põhiprobleemiks mitte niivõrd võrguvõrrandite lahendamine kui jooksvale olukorrale

vastava võrgutopoloogia ja muude lähteandmete määramine. Üldisemalt võib rääkida võrgumudelitest, mis moodustub staatiliste ja dünaamiliste andmete alusel. Staatilised andmed nagu liini tüüp ja koordinaadid, transformatorite ja lülitite andmed jm saadakse võrguinfosüsteemist, dünaamilised andmed – pinged, võimsused, lülitite asendid jm dispetšisüsteemist. Võrgu objektorienteeritud mudel on joonisel 8.3, kus on ära näidatud jaotusvõrgu põhilised objektid ja nendevahelised sidemed.

Tabel 8.1 Jaotusvõrkude tüüpilised näitajad

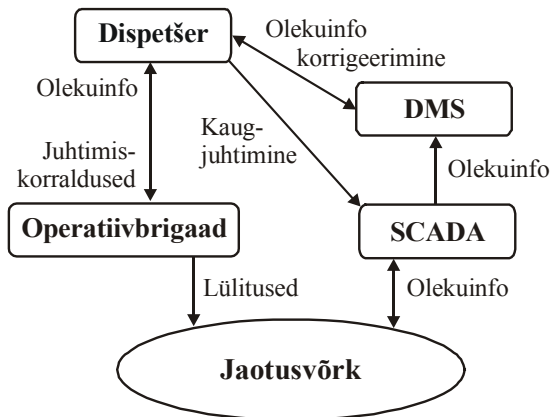
Näitaja	Linnavõrk	Maavõrk
Trafode arv toitealajaamas	1...4	1...4
Fiidrite arv toitealajaamas	4...20	4...20
Fiidri pikkus km	3...10	10...35
Fiidri koormus MVA	1...10	1...8
Jaotusalajaamade arv fiidril	5...15	15...50
Tarbijate arv jaotusalajaama kohta	40...500	40...100



Joonis 8.3 Jaotusvõrgu objektorienteeritud mudel

Võrgu talitluse arvutamise lähtekohaks on võrgu jooksev skeem, mis määratakse topoloogilise analüüsiga. Kuna jaotusvõrgus on vaid osa lüliteid kaugjuhitavad ja dispetšisüsteemi vahendusel jälgitavad, määratakse lülitite asendid operatiivbrigadidelt saadud teabe alusel (joonis 8.4). Talitluse ohjesüsteem analüüsib andmeid avastamiseks väljalülitatud skeemilõike või suletud kontuure, mis on vastuvõetamatud releekaitse toimimise seisukohast. Võrguskeem esitatakse kuvaril tavaliselt geograafilisel taustal, kusjuures väljalülitatud liini sektsioonid on valged. Selle järgi on dispetšeril lihtne jooksvat skeemi kontrollida ja omapoolseid korrekture teha.

Kuna dispetsisüsteemi vahendusel saadud mõõteandmed ei ole usaldusväärsed, tuleb jooksvat talitlust estimeerida. Siin on oluline koht sõlmekoormuste matemaatilistel mudelitel, mis annavad koormuste oodatavad väärtused ja tõenäolised kõrvalekalded. Mudelid on aluseks ka koormuste prognoosimisel, võimaldades analüüsida võrgu tulevast talitlust. Lähtutakse nii koormuste tõenäolistest väärtustest kui juhuslikest või ilmastikuoludest tingitud hälvetest. Lähemalt käsitletakse prognoosimist ja muid jaotusvõrgu koormuse probleeme punktis 8.4.



Joonis 8.4 Topoloogilise analüüsi skeem

Estimeerimise tulemusena leitud voolu ja pinge alusel võib kontrollida, kas võrgu talitlus on aktsepteeritav või mitte. Arvutatakse ka lühisvoole ja kontrollitakse nende lubatavust. Etteantud piiride ületamisel annab talitluse ohjesüsteem hoiatuse. Lõpliku otsuse talitluse sobivuse kohta teeb siiski dispetšer. Lisateavet annavad võrgu talitluse arvutused, mis on tehtud erinevatel tingimustel, nagu võimalikud häiringud, koormuse hälbed jm.

Sisuliselt tähendab see püsitalitluse häiringuanalüüsi, mida jaotusvõrgus tehakse interaktiivselt.

Jaotusvõrgu talitluse juhtimise tehnilised piirangud seisnevad pinge taseme, termiliste piirangute ja releekaitse õige toime kindlustamises. Pinge tarbija juures peab enamasti olema -10...+6% nimipingest. Termiliselt võivad trafod ja muud seadmed taluda lühiajalisi ülekoormusi.

Võrgu skeemi muutused toovad kaasa vajaduse muuta releekaitse sätteid. Talitluse tugisüsteem võimaldab teha rikketalitluse (lühis- ja maauhendusvoolude) arvutusi ja määrata vajalikud sätteid. Mikroprotsessoritel põhinevate releekaitseadmete (eriti kohtterminalide) korral võib sätteid muuta juhtimiskeskusest dispetsisüsteemi vahendusel.

Normaaltalitluse ja lühisvoolude arvutusi võib teha nii radiaal- kui silmusvõrgule. Radiaalskeemi kohaselt, mis vastab jaotusvõrgu tegelikule käidule, arvutatakse talitlus enamasti pikema ajavahemiku, näiteks aasta igale tunnile. Sel teel leitakse aasta raskeimad käidutingimused ja kontrollitakse releekaitse sätete sobivust. Silmusskeem tekib lühikeseks ajaks jaotusvõrgu skeemi muutuste käigus, kui soovitakse vältida tarbijate toitekatkestusi. Ka võrgu optimaalsete lahutuskohtade määramine eeldab silmusskeemi arvutusi.

### 8.1.2 Jaotusvõrgu talitluse optimeerimine

Talitluse optimeerimise eesmärk on minimeerida elektri jaotamisega seotud kulutusi võrgukadude vähendamise ja töökindluse suurendamise teel. Optimeerimise vahenditeks on võrgu skeemi (lahutuskohtade) muutmine ning pinge reguleerimine trafode astmelülitite ja kondensaatorpatareide abil. Arvutused tehakse kas interaktiivselt või automaatselt talitluse ohjesüsteemi poolt.

Lahutuskohtade optimeerimine on jaotusvõrkudes, mis küll töökindluse eesmärgil on ehitatud suletud kontuuridega, kuid töötavad tegelikult avatuna, üks efektiivsemaid organisatsioonilisi meetmeid võrgukadude vähendamiseks. Lahutuskohtade optimeerimisest saadav efekt on suurem linnavõrkudes, kus koormusgraafikute iseloom ja ka optimaalsed lahutuskohad on püsivamad. Maarajoonides, kus koormused on sesoone iseloomuga, tuleks lahutuskohti sageli muuta.

Võrgukaod on teatavasti pöördvõrdelised pinge ruuduga. Seetõttu tuleb võrgukadude vähendamiseks kasutada kõrget pingeniivood. Teisalt kaasneb pingetõstmisega trafode tühijooksukadude tõus ja tarbijate koormuse suurenemine, mis on ebasoovitav tippkoormuse ajal. Pinge lühiajalist alandamist kasutatakse kui ühte koormustippude vähendamise vahendit.

Jaotusvõrgu pingeniivood optimeeritakse toitealajaama koormuse all reguleeritavate trafode juhtimisega ja jaotusvõrgu trafode sobivate astmete valikuga. Lisavõimalusi pakub kondensaatorpatareide käsitsi- või automaatreguleerimine. Genereeritava reaktiivvõimsuse suurendamine tõstab jaotusvõrgu pingeniivood ja vähendab kadusid, kuid tõstab samas tippkoormust. Veel tuleb tähele panna, et kondensaatorpatareide üks ülesanne on minimeerida põhivõrgust hangitavat reaktiivvõimsust.

Elektrikatkestuste kahjumit võib vaadelda võrguettevõtte ja tarbija seisukohalt. Võrguettevõttel väheneb energia müügist saadav tulu ning suurenevad remondi- ja hoolduskulud. Tarbija kahjum koosneb andmata jäänud toodangu maksumusest, praaktoodangust (kaasa arvatud külmkapis riknenud toit) jm. Kahjumi hindamisel lähtutakse andmata jäänud elektrienergia ühikmaksumusest, mis olenevalt tarbija iseloomust, võib kümneid või isegi sadu kordi ületada energia hinna normaal-talitlusel. Võrguskeemi valikul tuleb lisaks hinnata võimalike toitekatkestuste kestuse matemaatilist ootust iga fiidri ja tarbija kohta.

Kui jaotusvõrgu talitluse optimeerimisprogramm puudub, kasutatakse radiaal- ja silmusvõrgu püsitalitluse arvutusprogrammi, mis muuhulgas võimaldab määrata võrgukadusid. Optimaalsete lahutuskohtade leidmiseks lülitatakse skeemil sisse kõik lülid ja arvutatakse tekkinud silmusvõrgu talitus. Toitealajaamade pingereguleerimisega saavutatakse olukord, kus kaod võrgus on minimaalsed. Lahutuskohtadeks valitakse vähekoormatud harude lülid. Ühtlasi selguvad ka toiteala-

jaamade optimaalsed pinged. Oluline on arvestada tarbijate koormuse regulaarseid muutusi ja juhuslikke kõrvalekaldeid, mis muuhulgas võivad olla tingitud koormuste temperatuurisõltuvusest.

Optimeerimisülesanded lahendatakse enamasti ühekaupa, kusjuures sihifunktsiooniks on kas võimsuskaod või elektrikatkestuste oodatav kahju. Võrgu skeemi optimeerimine toimub suunatud otsinguna, kus igal sammul lülitatakse ümber üks lülitipaar – avatud lüliti sisse ja suletud lüliti välja, loomulikult nii, et kõikide tarbijate toide säilib. Optimeeritakse kas üle kõikide lülitite või ainult kaugjuhitavate lülitite osas. Optimaalne skeem leitakse ennekõike koormustipu ajaks, sest võrgukaod on siis suurimad, teisalt on ka energia hind tippkoormusel tunduvalt suurem kui keskmine hind. Töökindluse seisukohalt põhjustab üks ümberlülitamine kahe fiidri oodatava kahju muutusi.

Koormuse all reguleeritavate trafode pingereguleerimisvõime ja mittereguleeritavate trafode astmete valik lähtub pingehälvete lubatavusest tarbijate juures maksimaal- ja minimaalkoormustel. Nii tuleb võrgu pingekadude kompenseerimiseks hoida jaotusvõrgu toitealajaama pinget kõrgena maksimaalkoormuste puhul ja madalana minimaalkoormuste puhul (vastureguleerimine). Koormuse muutumisel maksimaal- ja minimaalväärtuste vahel muutub pingelineaarset. Kui trafo pole koormuse all reguleeritav, toimub reguleerimine kõrgema pingega alajaamas. Sellisel juhul ei õnnestu alati tagada vajalikke pingeid kõigi 6...15 kV jaotusvõrkude toitealajaamades ning valida tuleb kompromisslahendus. Jaotusvõrkude pingeniivoo reguleerimissüsteemi häälestamist alustatakse tavaliselt pingete optimeerimisega 6...15 kV võrkude alajaamades, seejärel aga 15...35 kV võrkude toitealajaamades, kusjuures konkreetne tegevus sõltub sellest, kas trafo on koormuse all reguleeritav või mitte.

### 8.1.3 Operatiivbrigaadide ohjamine

Enamik jaotusvõrgu lüliteid ei ole tänapäeval kaugjuhitavad. Seetõttu vajatakse lülitusoperatsioonide tegemiseks operatiivbrigaade, kes vajaduse korral sõidavad kohapeale. Operatiivbrigaade vajatakse veel rikete asukoha ja iseloomu täpsustamiseks ning kui võimalik, siis ka kõrvaldamiseks. Ka võib operatiivbrigaade rakendada seadmete profülaktiliseks kontrolliks ja teenindamiseks.

Operatiivbrigaadide ohjamine (*Field Crew Management, FCM*) jaguneb sellisteks funktsioonideks nagu brigaadide asukoha määramine, ülesande täitmiseks sobiva brigaadi ja marsruudi valik, lülituse aja määramine jm. Brigaadide asukoha kindlakstegemisel on suureks abiks **globaalne positsioneerimissüsteem** (*Global Positioning System, GPS*) ja muidugi raadioühendus ning mobiiltelefonid. Keerulise maastiku ja suurte kauguste korral on omal kohal talitluse ohjesüsteemi funktsioon, mis leiab brigaadi liikumise optimaalse marsruudi ja hindab eesmärgile jõudmiseks vajalikku aega. Brigaadi liikumise aega tuleb võimalust mööda vähendada, sest sellest sõltub tarbijate toitekatkestuse kestus ja sellest tingitud

kahju.

Operatiivbrigaadide ohjamise aluseks on andmed, mis saadakse geograafilisest infosüsteemist: maastik (metsad, sood, nurmed), teed, elektriliinide trassid ning nende iseärasused. Globaalne positsioneerimissüsteem, mis aitab määrata brigaadi asukohta, on kasulik nii dispetšerile kui brigaadile, eriti kui liigutakse pimedas või muidu rasketes oludes. Positsioneerimissüsteem on kasutatav ka muudel eesmärkidel, nagu liinimastide koordinaatide määramisel, uute liinitrasside märkimisel jm. Positsioneerimise vajalik täpsus on brigaadi liikumisel 30...40 m, liinimastide asukohta määramisel 2...3 m.

## 8.2 Jaotusvõrgu rikete käsitlemine

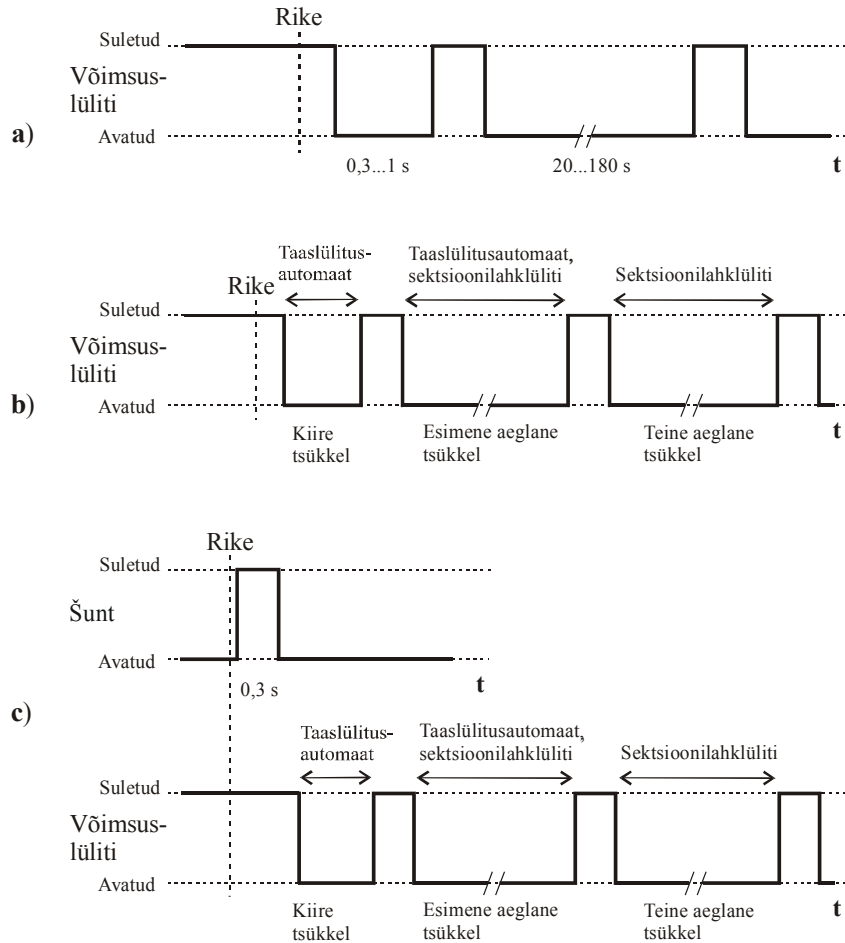
Elektrikatkestuste ja muude talitlushäiringute (rikete) käsitlemisel on esmane ülesanne välja selgitada vea asukoht ja iseloom ning seejärel taastada tarbijate toide. Operatiivpersonalil on abiks infosüsteemid, mis sisaldavad andmeid võrgu talitluse kohta, aga ka tõenäoliste vigade tekkekohtadest ja likvideerimise võimalustest. Vea asukohta määramiseks arvutatakse mõõteandmete alusel vea elektriline kaugus. Probleemiks on ühefaasilised maaühendused, kus veakoha takistus võib varieeruda suurtes piirides. Väga efektiivsed on kaugloetavad rikkeindikaatorid. Neile on aga vaja sideliine. Kui vea asukoht on kindlaks tehtud (või seda oletatakse), tehakse elektritoite taastamiseks vajalikud lülitused lahkülütite abil. Siis on suureks abiks kaugjuhitavad lahkülütid.

### 8.2.1 Lühisekoha lokaliseerimine

Faasidevahelisele lühisele reageerib releekaitse, mis lülitab fiidri välja. Üldjuhul järgneb automaatne taaslülitamine. Kui taaslülitusautomaat puudub, annab sama efekti fiidri käsitsi sisselülitamine. Taaslülitamine on eriti efektiivne õhuliinide korral. Mõõduvate rikete arv võib ulatuda 70% ja enam. Automaatse taaslülitamise tehnikad on järgmised (joonis 8.5).

- *Alajaamapoolsel taaslülitamisel* on võimalik kaks tsüklit – esmalt on taaslülituse paus 0,3...1 s ja seejärel, kui lühis taastub, veel 20...180 s. Kui lühis ei ole ka siis kadunud, lülitatakse fiider lõplikult välja (joonis 8.5 a).
- *Taaslülitamisel sektsioneerimisega* järgneb teisele lülituspausile veel üks kestev väljalülitamine, mille ajal lülitatakse välja mõni sektsioonilahklüliti. Taaslülitatuks osutub siis vaid osa fiidreid. Seda tehnikat rakendatakse siis, kui on andmeid (näiteks rikkeindikaatoritelt), et rike paikneb vaadeldava sektsioonilüliti taga (joonis 8.5 b).
- *Taaslülitamist šundiga* kasutatakse maandamata neutraaliga võrgus. Maaühenduse korral lülitatakse esmalt lühikeseks ajaks sisse nn šuntvõimsuslüliti, mis ühendab rikkis faasi maaga. Kui selle tulemusena maaühendus kaob, taastub normaalolukord ilma tarbijate toite katkestamiseta. Vastasel juhul järgneb tavaline taaslülitamine sektsioneerimisega või ilma (joonis 8.5 c).

Maandamata neutraaliga või kaarekustutuspoolidega võrgus võivad ühefaasilise maaühenduse voolud jääda väiksemaks releekaitse selektiivseks tööks vajalikest vooludest. Tulemuseks võib olla, et maaühenduse elektrikaart ei lülitata välja ja kaare kestev termiline toime kahjustab oluliselt elektriseadet. Sellise olukorra vältimiseks kasutatakse mitmes riigis (Austria, Prantsusmaa) vigastatud faasi või kaarekustutuspooli šunteerimist, mis, suurendades lühisvoolu, tagab kaitse selektiivsuse.



Joonis 8.5 Taaslülitamise tehnikad

Kui tegemist on püsirikkega (taaslülitamine ei õnnestu), on operatiivpersonalil ülesanne rikkekoht võimalikult kiiresti lokaliseerida ja lahkülütite abil eraldada ning vaadeldav fiider taas sisse lülitada. Kuna ühe fiidri kohta tuleb kümneid lahkülütiteid, õnnestub sel teel kiiresti taastada enamiku tarbijate (neid võib olla sadu ja tuhandeid) toide. Vaid väikese osa tarbijate elektrikatkestus kestab kogu rikke

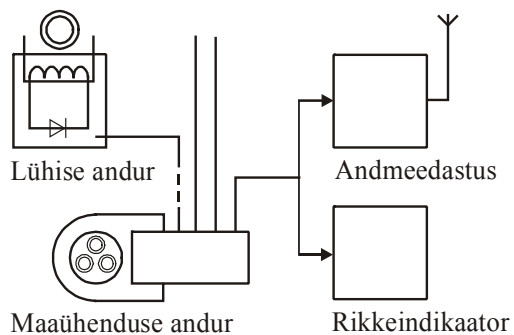


likvideerimise (avariiremondi) aja.

Rikkekohta leidmise lähtekohaks on lühise elektriline kaugus, mis arvutatakse lühisvoolu alusel. Selleks edastatakse releekaitselt saadud andmed dispetšisüsteemi ja võrreldakse arvutatud lühisvooluga. Lühisvool arvutatakse jooksvalt või eelnevalt talitluse planeerimise käigus fiidri iga 50- kuni 500-meetrise segmendi kohta. Kui kasutusel on distantskaitse, arvutab see lühise impedantsi ja mõnikord ka rikkekoha kauguse. Rikkekohta määramise täpsus on 1 km järgus. Põhiline vigade allikas on lühisekohta takistus. Kuna see ei ole teada, eeldatakse, et lühistakistus on null (tegemist on jäiklühisega). Seega on võimalik positiivne viga – rikkekoht võib olla lähemal kui arvutuslikult saadud kaugus. Teiseks vigu põhjustavaks teguriks on koormusvool lühise ajal. Kui rikkekoht on suhteliselt kaugel, võivad pinge ja sellest tulenevalt ka koormusvoolud fiidri alguses säilida. Sel juhul on lühisest tingitud vool mõõdetust väiksem ja ka arvutatud rikke kaugus tegelikust väiksem. Seega on võimalik viga negatiivne. Täiendava vea rikkekoha kauguse määramisel põhjustavad mõõtetrafod ja muud mõõteseadmed. Täpselt ei ole teada ka võrguelementide takistused, trafode astmelülitite asendid jm.

Jaotusvõrgu keeruka skeemi korral on tõsiseks probleemiks, kuidas määrata rikkis skeemiharu. Siin kuluvad ära täiendavad andmed ja operatiivpersonali kogemus. Näiteks tugeva tuule korral tuleb riket otsida ennekõike õhuliini lõikudelt, mis kulgevad metsas ja on risti tuule suunaga. Territooriumil, kus töötab ekskavaator, on võimalik kaabli vigastus. Nende ja muude asjaolude arvestamine kiirendab rikkekoha leidmist. Võimalik on rakendada ekspertsüsteemi, mis kasutab ära nii osutatud teabe kui ka rikkekauguse arvutuslikud tulemused ning väljastab otsuse tõenäolise rikkekoha kohta. Lähtekohaks on operatiivpersonali kogemused, mis formaliseeritakse ja salvestatakse ekspertsüsteemi teadmusbaasi.

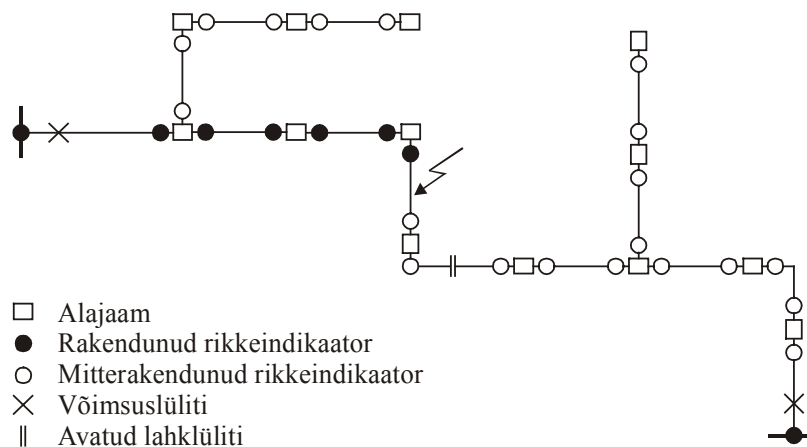
Efektiivne vahend rikkekoha kiireks ja täpseks määramiseks on 6...35 kV õhuliinidel **rikkeindikaator**, mis toimib nii lühiste kui ka maaühenduste korral. Joonisel 8.6 esitatud kaabelliini rikkeindikaatori lülitusskeemil on vooluanduriks valgusdiodid, mille valgustugevus sõltub elektrijuhtme magnetvälja tugevusest. Valgus edastatakse valguskaabli kaudu. Maaühendusvoolu anduriks on summaarse voolu transformaaator, mis kujutab endast kõiki kolme faasijuhet haaravat metallriba. Ka maaühendusvoolu andur on indikaatoriga ühenduses valgusjuhtme abil. Õhuliini



**Joonis 8.6 Kaabelliini rikkeindikaatori põhimõtteskeem**

korral kasutatakse magnet- ja elektriväljatundlikkusel põhinevaid voolu- ja pingeaandureid, mis võivad asetseda 3...5 m kaugusel elektriliini juhtmetest. Õhuliinide indikaator on võimeline reageerima ka maaühendusvooludele, mõõtes nulljärgnevuskomponendi poolt tekitatud magnetvälja. Rikkeindikaatori efektiivsuse tagab sidekanal, milleks suurte kauguste korral on raadioühendus, linnades aga andmesidekaabel või ka telefoniühendus. Õhuliinide ristumispunktidesse kirjeldatud vooluandur ei sobi magnetväljade interferentsi tõttu. Seal tuleks kasutada lülititega komplekteeritud voolutrafosid (joonis 2.23). Kasutatakse ka lihtsaid mehaanilise, vedelik- või valgusindikaatoriga rikkeindikaatoreid, mis enamasti ei ole seotud sidekanaliga, vaid on jälgitavad ainult kohapealt.

Väljundteave sõltub rikkeindikaatori tööpõhimõttest. Lihtsamal juhul toimib rikkeindikaator nagu voolurelee ja väljastab vaid voolu suuruse. Voolu suuna määramiseks tuleb lisaks mõõta ka pinget. Joonisel 8.7 on rikkeindikaatorite toimimise skeem.



**Joonis 8.7 Kaabelliini rikkeindikaatori lülitusskeem**

Lühisekoha lokaliseerimine toimub järgmiselt:

- releekaitse salvestab rikketeabe (vool, rikke tüüp, rikkega seotud faasid ja fiider, info taaslülituse kohta)
- lähima küsitlustsükli ajal formeeritakse kaugterminalis alarmiteade
- järgmise küsitlustsükli ajal edastatakse alarmiteade juhtimiskeskusesse
- dispetsisüsteem analüüsib teadet ja vajaduse korral saadab kaugterminali kaudu kohtterminalile päringu lisateabe kohta
- kohtterminal vastab päringule
- dispetsisüsteem täiendab teadet lisaandmetega (võimsusvood alajaamas jm) ning edastab teabe talitluse tugisüsteemile (*DMS*)

- talitluse tugisüsteem arvutab lühise kauguse ja vastavate funktsioonide olemasolul pakub välja lühise asukoha.

### 8.2.2 Maaühenduskohta lokaliseerimine

Keskpingevõrkudes trafode neutraali ei maandata või maandatakse läbi takisti. Võimalused on järgmised:

- maandamata
- resonantsmaandatud
- impetantsmaandatud
- lühiaegselt impetantsmaandatud.

Eestis kehtivate normide kohaselt tuleb kasutada mahtvuslike maaühendusvoolude kompenseerimist, kui voolutugevus ületab tabelis 8.2 esitatud väärtusi. Raudbetoon- ja metallmastidega õhuliini korral kasutatakse kaarekustutusseadmeid, kui mahtvuslik maaühendusvool on üle 10 A.

Tabel 8.2 Maaühendusvoolu lubatud piirväärtused

Võrgu nimipinge kV	6	10	15...20	35
Voolu piirväärtus A	30	20	10	15

Enamik jaotusvõrgu rikkeid on ühefaasilised maaühendused, mis isoleeritud ja eriti resonantsmaandatud (kompenseeritud) neutraali tõttu ei põhjusta suuri voole. Nii nagu lühiste korral on enamik maaühendustest mööduvad, s.t kaovad taaslülituse käigus. Erinevalt lühistest võib osa maaühendustest kaduda ka iseenesest, ilma et toimiksid releekaitse ja taaslülitusautomaat. Kui maaühendusvool ei ole suur, võib rikkekohta otsida ka fiidrit välja lülitamata.

Maaühendus isoleeritud neutraaliga võrgus võib põhjustada vahelduva elektriikaare. Resonantsmaandatud neutraaliga võrkudes esineb elektriikaart harva. Elektriikaar rikub isolatsiooni ja on tuleohtlik. Ka tekitab elektriikaar nimipingega võrreldes kuni kahekordseid liigpingeid, mis võivad ohustada elektriseadmetega töötavaid inimesi. Maaühenduse kiire väljalülitamine on vältimatu elektriikaare tekkimisel ja juhtudel, kui ühenduskoha takistus on väike (suurusjärgus 100  $\Omega$ ). Muudel juhtudel võib maaühendus säilida kuni rikkekohta kindlakstegemiseni. Elektriikaare tekkimisel võib ette näha neutraali maandamise läbi väikese aktiivtakistuse neutraalimaandusautomaadi toimet. Tulemuseks on lühis, mille lülitab välja releekaitse. Sama võtet kasutatakse kompenseeritud neutraali korral, saavutamaks maaühenduse väljalülitamisele lisaks ka selle asukoha kindlakstegemise.

Maaühenduse puhul on esmane probleem, kuidas see tuvastada. Maaühenduskaitses võib rajaneda järgmistel põhimõtetel.

- *Transientvoolu identifitseerimine.* Maaühendusega kaasneb eelkirjeldatud siirdeprotsess. Löökvoolu väärtus on enamasti piisavalt suur, kuid sõltub pinge faasist, mille juures maaühendus tekib. Kui pinge väärtus on

nullilähedane, jääb ka vool väikeseks.

- *Nulljärgnevuspinge mõõtmine.* Kaitse reageerib, kui maaühendusest põhjustatud pingete mittesümmeetriast tingitud nulljärgnevuspinge ületab näiteks 30% nimipingest. Sel teel on võimalik avastada maaühendust sõltumata selle asukohast, kuid maaühenduskoha suure takistuse korral võib rike jääda märkamatuks.
- *Nulljärgnevusvoolu impulsi mõõtmine.* Kui kaarekustutuspooli induktiivsust muuta, siis muutub vaid maaühenduses faasi vool. Nulljärgnevusvoolu muutuse võib fikseerida releega. Pooli induktiivsuse muutmiseks lülitatakse sisse ja välja kondensaatorit, mis on ühendatud kaarekustutuspooli lisamähisega. Induktiivsuse muutus võib olla näiteks 3% ja sisselülitamise sagedus 0,5...1 Hz.
- *Aktiivvõimsusrelee.* Nulljärgnevuskomponendi aktiivvõimsus võrdub normaalolukorras vaid kadudega kaarekustutuspoolis. Rikke korral lisanduvad kaod rikkefaasis. Need on siiski suhteliselt väikesed, mistõttu kaitse tundlikkus (muuhulgas mõõtetrafode täpsus) peab olema suur.
- *Reaktiivvõimsusrelee.* Maandamata neutraali korral võib jälgida nulljärgnevuskomponendi reaktiivvõimsust, mis rikke tekkimisel järsult kasvab ja on maaühenduse tunnuseks. Meetod ei ole kasutatav kompenseeritud võrgus, kus reaktiivvõimsus sõltub kompenseerimise astmest.
- *Viienda harmoonilise mõõtmine.* Kaarekustutuspool ei avalda olulist mõju kõrgemate harmoonikute levikule, sest selle takistus kõrgel sagedusel on suur. Viienda harmooniku sagedus (250 Hz) on piisav, et see käituks nagu põhiharmoonik maandamata neutraali korral. Jälgitakse nii viienda harmooniku voolu efektiivväärtuse kui amplituudi või selle põhjustatud magnet- ja elektri- välja muutusi.
- *Faasivoolude mõõtmine.* Kuigi rikkis faasi vool on lähedane töökorras faaside voolule, võib faasivoolude võrdlemise teel rikke siiski avastada.
- *Rikkeindikaatorite rakendamine* kaitseotstarbeks on põhimõtteliselt võimalik, kuid nõuab sidekanalit.
- *Numbriline distantkaitse,* kui see on faasikohane, võib avastada ka maaühendusi.

Kõikidel eespool mainitud meetoditel on nii teoreetilisi kui praktilisi eeliseid ja puudusi. Tundub, et kõigis olukordades toimiv ja praktiliselt vastuvõetav lahendus on võimalik saavutada vaid mikroprotsessoripõhise kaitsega.

Maaühenduse korral toimib rikkeindikaator vaid siis, kui neutraal on isoleeritud või osaliselt kompenseeritud, sest täielikult kompenseeritud võrgus võib maaühendusest tingitud summaarvool osutada liiga väikeseks. Väikeste maaühendusvoolude puhul võib rikkekoha määramiseks kasutada rikkevoolu ostsilogrammi, mis on fikseeritud piisavalt väikese sammuga (suurusjärgus 0,0001

s). Seejärel leitakse rikkekoht siirdeprotsessi analüüsimise teel. Maaühenduse tekkimisel rikkis faasi mahtuvus maa suhtes kaob ja ülejäänud kahe faasi mahtuvus tõuseb. Tekib siirdeprotsess, mis on paremini jälgitav rikkevabades faasides. Siirdevoolude ja -pingete amplituud, sagedus ja sumbumiskiirus sõltuvad võrgu parameetritest ja maaühenduse asukohast. Rikkis faasi suuruste muutumissagedus on 100...800 Hz, muudel faasidel 500...2500 Hz.

Rikkekaugust võib siirdeprotsessist lähtudes määrata

- diferentsiaalvõrrandi alusel
- Fourier' teisenduse abil
- vähimruutude meetodil.

Esimene põhineb eeldusel, et rikkis faasi pinge ja vool muutuvad diferentsiaalvõrrandi

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

kohaselt. Lahendades võrrandi induktiivsuse  $L$  suhtes, võibki hinnata rikkekoha kaugust. Fourier' teisendusega leitakse pinge- ja vooluspekter, milles domineerivate sageduste järgi arvutatakse rikkekoha kaugus. Vähimruutude meetodi rakendamine seisneb siirdeprotsessi arvutustulemuste sobitamises tegelike graafikutega. Vähimruutude meetod annab parima tulemuse, kuid on ülejäänud meetoditest keerukam ja ebastabiilsem (tulemustes võib olla eksitusi). Kui rikkekoha takistus ei ületa  $50 \Omega$ , võib kirjeldatud meetoditega saavutada täpsuse 1...2 km.

Perspektiivne tundub olevat Tampere Tehnoloogiaülikooli ja ABB ühistööna valmiv ning praegu katsetusjärgus olev fiidriterminal kompenseeritud keskpinge-võrgus maaühenduskoha määramiseks. Meetodi idee sarnaneb maandatud neutraaliga võrgus liini lühisekoha leidmisega. Liinil üldpikkusega  $L$  tekkinud maaühendus, mille kaugus on  $l$ , on nulljärgnevuspinge ja -voolu allikaks, mis jaguneb liinis vastavalt võrgu maandustakistustele. Kui liini otstes mõõdetud nulljärgnevuspinged ja -voolud on  $U_{01}$ ,  $I_{01}$  ja  $U_{02}$ ,  $I_{02}$  ning lihtsuse mõttes arvestame vaid liinikilomeetri induktiivtakistusega  $x_0$ , saame lühisekoha määramiseks võrrandi

$$U_{01} + I_{01}x_0l = U_{02} + I_{02}x_0(L-l)$$

millest

$$l = \frac{U_{02} - U_{01} + I_{01}x_0L}{(I_{02} + I_{01})x_0}$$

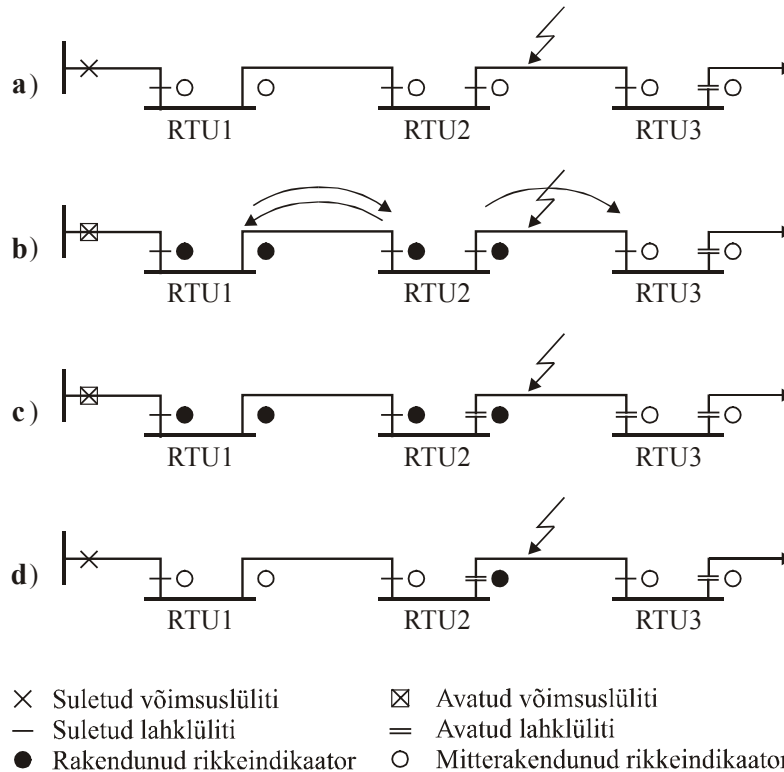
Samasugune olukord tekib kompenseeritud neutraaliga jaotusvõrgus, kui fiidrite kaitseterminalides mõõta nulljärgnevuspingeid ja -voole ning maaühenduse tekkimisel lülitada fiider mõõtmiste ajaks kokku mõne teise fiidriga.

Maaühenduskohta võib otsida ka fiidrit välja lülitamata Tingimuseks on, et voolutugevus ei oleks liiga suur (ei põhjusta elektrikaart) ega tekiks ohtu inimesele. Ka ei tohi maaühendusvoolud tekitada häiringuid sideliinides ja kahjustada

torujuhtmeid. Näiteks nõuab Euroopa standard EN 50179, et maapinna potentsiaali kasv rikkekohas ei tohi ületada 150 V ja seadmete puutepinge 75 V. Maaühenduskoha otsimise aega piiravad nõuded seadmete liigse ülekoormuse vältimiseks. Nii võivad faasipinge tõusu tõttu mõõtetetraford rikneda, kui rikke aeg ületab 8 tundi. Sageli on kaarekustutuspool arvestatud tööks piirvoolul vaid 2 tundi jne. Rikkekoha leidmiseks tuleb maaühendus esmalt tuvastada, seejärel määrata fiider ja liini seksioon ning lõpuks avastada rikkekohat. Sageli jääb see operatiivbrigaadi ülesandeks.

### 8.2.3 Rikete isoleerimine ja toite taastamine

Rikke korral lülitab võimsuslülitid fiidri välja. Seejärel tuleb leida ja lahklülitite abil isoleerida rikkekohat ning fiider taas sisse lülitada. Tegevus on küllalt keerukas ja tuleb täita lühikese aja jooksul vähendamaks tarbijate toitekatkestuse kestust ja sellest tulenevat majanduslikku kahju.



Joonis 8.8 Rikete automaatse käsitlemise skeem

Rikete haldamine haarab lisaks rikkekoha lokaliseerimisele rikke isoleerimiseks ja

toite taastamiseks vajalikke tegevusi. Lülituste plaani koostamine tugineb lülituste imiteerimisele, mis tagatakse vajalike normaaltalitluse ja lühisvoolude arvutustega. Imiteerimine võimaldab optimeerida rikete haldamisega seotud tegevusi. Ühtlasi määratakse ka üksikute elektritarbijate toitekatkestuse aeg, andmata jäänud energia maksumus jms. Samad tegevused sobivad ka plaaniliste lülituste korral. Juhul kui lülitusvõimalusi on mitu, võib võrgu skeemi ka optimeerida. Rikkekoht isoleeritakse kaugjuhitavate lahklülititega. Seejärel rikketa sektsioonide toide taastatakse. Vajaduse korral kasutatakse ära reservühendused naaberfiidritega. Kontrollitakse ka tehniliste piirangute täitmist, nagu ülekoormus ja pingekadu.

Kaugjuhitavate lahklülitite korral on rikke isoleerimist ja toite taastamist võimalik automatiseerida. Joonisel 8.8 esitatud näites järgneb lühisele (joonis 8.8 a) rikkeindikaatorite rakendumine ja võimsuslüli väljalülitamine (joonis 8.8 b). Kaugterminalide RTU1, RTU2 ja RTU3 vahelises infovahetuses selgitatakse välja, kas rike on joonisel näidatud kohas. Seejärel lülitatakse välja rikkis sektsiooniga külgnevad lahklülid (joonis 8.8 c) ning lülitatakse sisse fiidri võimsuslüli (joonis 8.8 d).

#### 8.2.4 Rikketelefon

Avarii korral helistavad elektritarbijad sageli võrgu dispetšipunkti selleks, et teada saada elektrikatkestuse kestust. Sellised helistamised vaid segavad operatiivpersonalitööd, mis avariiolukorras on niigi pingeline. Tarbijate helistamisest on kasu vaid siis, kui neil on konkreetset teavet avarii põhjuste kohta.

Võimaldamaks operatiivpersonalil kontsentreeruda avarii likvideerimisele, kasutatakse automaatvastajaid – **rikketelefone**, mis annavad helistajale üksikasjaliku teabe avarii iseloomu ja kestuse kohta. Teate lõpus palutakse helistajal võtta ühendus dispetšeriga juhul, kui tal on lisainformatsiooni rikke kohta. Samalaadse vastuse saavad helistajad ka seadmete remondist ja hooldusest tingitud elektrikatkestuste korral. Kui rike on madalpingevõrgus, siis teatatakse tarbijale, et keskpingevõrgus viga ei ole ja soovitatakse kontrollida kaitsmeid.

Elektritarbijatele mõeldud sõnum moodustatakse automaatselt võrguinfosüsteemist ja dispetšisüsteemist saadud andmete alusel. Selleks on andmebaasi salvestatud vajalikud fraasid, nimed ja muu teave. Automaatselt formeeritud teadet täiendab võrgudispetšer ja see salvestatakse faili. Juhtimispunkti helistanule väljastatakse teade helikaardi vahendusel. Korraga on võimalik ühendus mitme helistajaga.

#### 8.3 Infosüsteemid

Infosüsteemi all mõistetakse andmete säilitamise ja käsitlemise kompleksi, mis annab mingis valdkonnas elektrivõrgu juhtimiseks vajalikku teavet. Infosüsteemi tuumiku moodustab andmebaas. Vajalik on ka andmebaasisisene (hajusandmebaasid) ning andmebaasi ja tööjaamade vaheline andmeside.

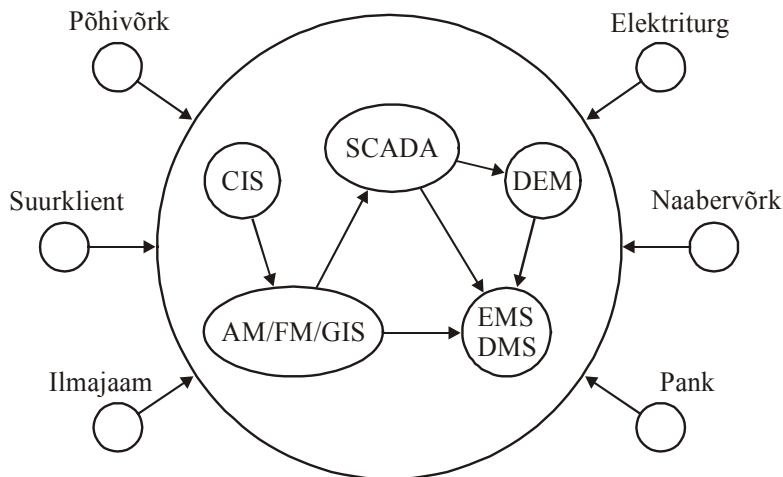
Elektrivõrgu juhtimisega seotud infosüsteemide arv on küllalt suur. Probleemiks on

andmete dubleerimine, kus põhimõtteliselt sama info on salvestatud eri viisil eri andmebaasidesse. Raskusi tekitab ka andmebaaside omavaheline ühildamine. Püritakse nii vertikaalselt (andmehierarhia) kui horisontaalselt (andmeside) integreeritud infosüsteemide poole, kus samalaadseid andmeid sisestatakse vaid üks kord. Andmebaaside ühilduvuse tagab nende koostamise ühtne strateegia, avatud arhitektuur. Selles peatükis vaadeldakse lähemalt võrgu-, geo- ja kliendiinfosüsteemi.

### 8.3.1 Infosüsteemidevahelised seosed

Elektrivõrkude operatiivjuhtimisel rakendatakse järgmisi infosüsteeme:

- dispetsisüsteem (SCADA)
- võrguinfosüsteem (AM/FM)
- geoinfosüsteem (GIS)
- talitluse tugisüsteem (EMS, DMS)
- jaotusvõrgu energiaohjesüsteem (DEM)
- kliendiinfosüsteem (CIS).



Joonis 8.9 Elektrivõrgu infosüsteemide vahelised seosed

Dispetsjuhtimissüsteemi on eespool juba põhjalikult käsitletud. Võrguinfosüsteem (*Automated Mapping and Facilities Management, AM/FM*) haldab ennekõike teavet võrguelementide (liinid, trafod, lülitid jm) kohta. Jaotusvõrkudes esitatakse nimetatud andmed sageli geograafilisel baasil, mistõttu võrguinfosüsteem ja geoinfosüsteem (*Geographical Information System, GIS*) moodustavad ühtse kompleksi (*AM/FM/GIS*). Võrgu talitluse arvutamine, estimateerimine,



optimeerimine ja muud sellised ülesanded kuuluvad põhivõrgu osas talitluse tugisüsteemi (*Energy Management System, EMS*). Jaotusvõrkudele on samalaadsete ülesannete lahendamiseks omaette tugisüsteem (*Distribution Management System, DMS*). Elektrituru toeks on jaotusvõrgu energiaohjesüsteem (*Distribution Energy Management, DEM*), mis mõõdab elektrienergiat ja edastab tulemusi elektrituru osapooltele, annab elektrimüüjate bilansiselgitusi, hindab võrgukadusid jm. Kliendiinfosüsteem (*Customer Information System, CIS*), mis sisaldab andmeid elektritarbijate kohta, on vajalik jaotusvõrkudele, kus tarbijate arv võib ulatuda sadadesse tuhandettesse.

Elektrivõrgu juhtimisandmete efektiivse käsitlemise tagab infosüsteemidevaheline side (joonis 8.9). Reaalajas toimiv side on vajalik dispetšisüsteemi (*SCADA*) ja talitluse tugisüsteemi (*EMS* või *DMS*) vahel, sest elektrivõrgu seisund võib kiiresti muutuda. Andmeedastus on vajalik dispetšisüsteemist talitluse tugisüsteemi. Andmeid saab üle kanda ka vastupidises suunas, näiteks siis, kui talitluse tugisüsteemis moodustatud juhtimiskäsud realiseeritakse dispetšisüsteemi kaudu. Talitluse arvutamiseks vajalikud staatilised andmed hangitakse võrguinfosüsteemist. Oluline on ka võrgu- ja kliendiinfosüsteemide vaheline side. Kuna elektritarbijate andmed muutuvad suhteliselt harva, edastatakse need võrguinfosüsteemi näiteks kord ööpäevas või isegi kord kuus.

Elektrivõrgu operatiivjuhtimisel vajatakse teavet ka võrguettevõttevälisest infosüsteemidest. Vaja läheb reaalajas toimivat andmevahetust nii sama kui erineva tasemega võrkude (nt põhivõrk ja jaotusvõrk) ning suuremate klientide infosüsteemide vahel. Pidev ühendus peab olema elektribörsiga ja muude elektrituru osapooltega. Operatiivne ühendus on vajalik ka ilmajaamaga ja muude ettevõtetega.

Kuigi mainitud infosüsteemid rahuldavad põhimõtteliselt elektrivõrkude operatiivjuhtimise vajadused, on muidki infosüsteeme ja andmebaase, mis esitatutega nii või teisiti kattuvad. Ka ei pruugi konkreetset tarkvaratooted infosüsteemidega kokku langeda. Nii ühildatakse enamasti võrgu- ja geoinfosüsteemid. Samasse tarkvarapaketti võib liita veel talitluse tugisüsteemi, näiteks elektrivõrgu infohaldussüsteemi *Xpower*, mida kirjeldatakse punktis 9.4. On veel teisi infosüsteeme, mida kasutatakse näiteks ettevõtte administratiiv- ja finantsjuhtimisel. Finantsinfosüsteem peab arvet elektrivõrgu põhivara ühikute (liinid, alajaamad, jaotusseadmed) üle. Ettevõtte juhtkonnale vahendatakse teavet andmeaida kaudu. Andmeaita kogutakse muudest infosüsteemidest ainult juhtimisotsusteks vajalik info.

Sõltumata infosüsteemide tehnilise integreerituse astmest, moodustavad need operatiivpersonaliseisukohalt ühtse süsteemi, mida rakendatakse esilekerkivate ülesannete lahendamisel. Tabelis 8.3 on jaotusvõrgu operatiivjuhtimistegevusi ja nende lahendamiseks rakendatavaid infosüsteeme. Ära on näidatud ka tarbija-terminali ning suurte edastavate andmehulkade ja reaalaegsuse vajadus.

### 8.3.2 Võrguinfosüsteem

Võrguinfosüsteem sisaldab andmeid elektrivõrkude ehituse ja remondi kohta ning muid tehnilisi näitajaid. Geoinfosüsteemiga integreerituna kuuluvad siia ka kaardid ja skeemid. Võrguinfosüsteemis säilitatakse järgmisi andmeid.

- Liini (liinilõigu) andmed:
  - otspunktide koordinaadid
  - juhtme (kaabli) tüüp
  - pikkus
  - konstruktsioon
  - masti andmed
  - hoolduse ja ülevaatuse andmed.

Tabel 8.3 Jaotusvõrgu operatiivjuhtimistegevused ja tehnilised vahendid

	Kliendiinfosüsteem			Reaalajandue				
	Talitluse tugisüsteem			Suured andmehulgad				
	Võrguinfosüsteem			Tarbijaterminal				
	Dispetšisüsteem			Energiaohjesüsteem				
	SCD	AFM	DMS	CIS	DEM	TT	SA	RA
<b>Võrgu talitluse seire</b>								
Võrgu skeemi seire	x	x						x
Talitluse arvutamine		x	x	x			x	
Talitluse estimeerimine	x	x	x	x			x	x
Komponentide koormatavus	x	x						
Koormuste prognoosimine			x	x				
Koormusuuringud	x			x			x	
Elektri kvaliteedi seire	x						x	
<b>Võrgu käit</b>								
Lahklüliteite kaugjuhtimine	x							x
Pinge reguleerimine	x	x	x				x	
Reaktiivvõimsuse kompenseer.	x	x	x				x	
Võrgu talitluse optimeerimine	x	x	x	x			x	
Võrgu operatiivpäevik	x	x		x				
Lülituste planeerimine		x	x	x		x	x	
Raportite koostamine	x	x	x	x				
<b>Rikete käsitlemine</b>								
Võrgualarmide käsitlemine	x						x	x
Tarbija rikketeadete käsitlemine	x			x				x
Rikete käsitlemise tugi	x		x	x			x	x
Rikkeindikaatorite kauglugemine	x							x
Rikkekauguse arvutamine	x							x
<b>Tarbimise haldamine</b>								
Koormuse juhtimine	x					x		x
Koormuse juhtimise optimeer.				x	x			
Dünaamilised tariifid				x	x	x		
Arvestite kauglugemine				x		x		
Madalpingevõrgu rikete indik.				x		x		x
<b>Elektriturg</b>								
Opereerimine elektriturul	x			x	x	x		
Kohaliku elektritoodangu juht.	x			x	x			
Ülekantud energia arvestamine	x			x		x		
Bilansiselgitused				x		x		

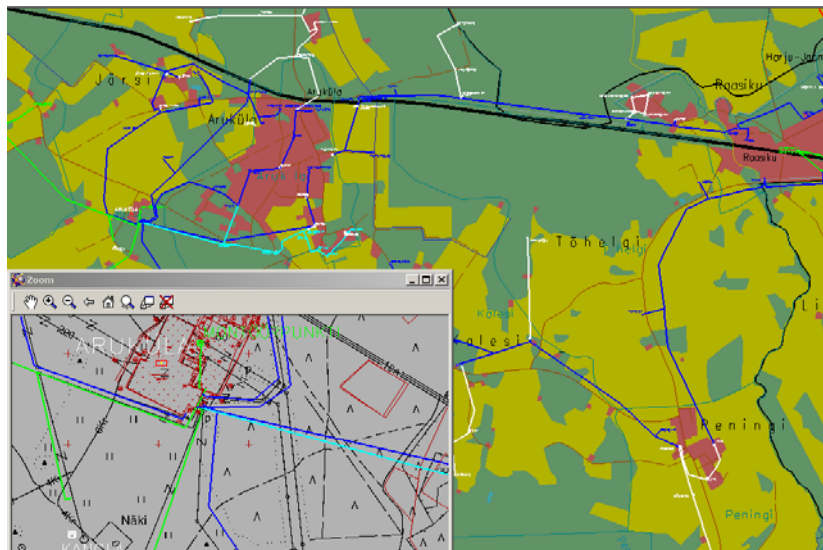
- Alajaama andmed:
  - alajaama nimi
  - trafode identifikaatorid
  - konstruktsioon
  - alajaama skeem
  - ülevaatused andmed.
- Trafo andmed:
  - asukoht
  - tootja seerianumber ja trafo ehitamise aasta
  - tehniline spetsifikatsioon (võimsus, takistused, gabariit jm)
  - hoolduse andmed.
- Lüliti andmed:
  - identifikaator
  - tüüp
  - pinge ja voolu parameetrid
  - ehitusaasta
  - releesätted
  - statistilised andmed (töotsükli arv jm)
  - hoolduse andmed.

Lisaks säilitatakse maandusseadmete, arvestite ja muude seadmete andmeid ning teavet objekti staatuse (planeeritud, olemasolev), majanduslike näitajate jms kohta.

Võrguinfosüsteemi andmeid kasutatakse võrgu talitluse arvutamisel vajalike elektriskeemide koostamisel. Aluseks on staatiline võrguühenduste mudel. Jooksev (dünaamiline) skeem saadakse, kui arvestatakse lülitite tegelikke asendeid. Andmeid ja võrguinfosüsteemi funktsioone vajatakse ka võrgu käidu haldamiseks ning võrgu planeerimisel ja projekteerimisel. Elektrivõrgu käiduga seonduv remondi-, hooldus- ja ülevaatused plaanide ja kalkulatsioonide koostamine ja realiseerimine, samuti aruannete ja dokumentatsiooni koostamine. Planeerimise eesmärk on tagada võrgu talitluskindlus ja optimaalsus. Planeeritakse nii staatiliselt, näiteks talitlust tippkoormuse korral, kui dünaamiliselt, arvestades koormuse ja muude tegurite muutusi vaadeldaval ajavahemikul. Andmed koormusgraafikute kohta hangitakse kliendiinfosüsteemist. Elektriliinide projekteerimisel on suureks abiks olemasoleva elektrivõrgu ja taustakaardi andmed. Projektdokumentatsioonile lisatakse ülevaate- ja detailkaart, konstruktsiooni joonised, materjalide mahud ja tööde kirjeldused. Vajaduse korral täpsustatakse tulevase liini asukohta GPS-mõõtmistega.

### 8.3.3 Geinfosüsteem

**Geinfosüsteem** (*Geographical Information System, GIS*) on ruumiliselt määratletud andmete kogumise, salvestamise, töötlemise ja esitamise automatiseeritud süsteem. Graafiliselt kujutatavad joon-, punkt- või pindgeomeetriaga objektid võivad olla elektriliin, mastid või alajaama territoorium (joonis 8.10). Alajaama territooriumil paiknevate elektriseadmete kujutamiseks kasutatakse keerukama struktuuriga graafilisi objekte. Geinfosüsteemis on seotud graafiline joonis ja muud andmed. Graafiline kasutajaliides loob soodsa keskkonna päringute koostamiseks ja andmetele juurdepääsuks. Ka ei pea näiteks võrgumudeli topoloogia kirjeldamiseks andmebaasi eraldi informatsiooni sisestama, sest graafiliste objektide vahel kujunevad seosed automaatselt. Geograafilise infosüsteemi andmete hulka kuuluvad ennekõike mitmesugused kaardid, aga ka skeemid, joonised, pildid ja muu graafiline materjal. Rakendusprogrammid võimaldavad kaartide ja muu materjali esitamist kuvaril eri vormingus, väljatrükki



Joonis 8.10 Elektrivõrgu piirkonna kaartskeem

printeril, plotteril jne.

GIS aitab vaadelda, mõista, esitada küsimusi, tõlgendada ja visualiseerida andmeid viisil, mis ridade ja veergude kujul pole võimalik. GIS aitab leida korrapära andmete suurest hulgast, mida ilma kaardita ei saa leida. GISi rakendusi

- maamöödotööd
- üldplaneeringud (maastiku- ja ehitiste planeering)
- demograafilised ja infrastruktuuri analüüsid ja planeeringud (kommunikatsioonid, rahvastik, krundid, kinnistud, ehitised)

- operatiivset tegutsemist nõudvad alad, kiire objekti ja andmete leidmine (inimese nimi, maja number jne)
- inseneriarvutuste tegemine ja projekteerimine, sh energeetikaettevõtted (gaas, elekter, nafta)
- logistika, maa-, vee- ja õhustranspordiettevõtted.

GIS on palju enam kui digitaalkujul esitatud pilt või andmebaas. Kõiki objekte, mis on digitaalkaardil, on võimalik siduda objekti kohta käivate andmetega. Kaardi-pildiga seotud andmebaas võimaldab

- siduda objekti või piirkonnaga muud teavet, näiteks võib elektrivõrgu liitumispunktiga siduda kliendi tehnilised andmed
- otsinguid ka andmebaasi põhjal ning tulemuste vaatamist kaardil
- valida kinnistu andmetele toetudes kaardil välja ehitatava liini alla kuuluv maa-ala saada nimekiri maaomanikest, kellele tuleb kompensatsiooni maksta, ning arvutada kompensatsioonimakse suuruse.

Geograafilise infosüsteemi andmete hulka kuuluvad ennekõike kaardid. Eristatakse **raster-** ja **vektorkaarte**. Rasterkaart saadakse olemasolevate paberkaartide skaneerimisega või aerofotode töötlemisega. Rasterkaardil moodustavad objekti kõrvuti asetsevad ruudud, pikselid. Iga pikseli mingil tunnusel võib olla naabritest sõltumatu väärtusi näiteks värvus.

Vektorkaardil kirjeldatakse andmeid punktide, joonte ja pindadena ning nende kuju ja vormi määravate matemaatiliste funktsioonidena ehk vektorandmetena. Alajaama territooriumil paiknevate elektriseadmete kujutamiseks kasutatakse keerukama struktuuriga graafilisi objekte. Vektorkaart saadakse vektoriseerimise teel rasterkaartidest või moodustatakse geodeetiliste mõõtmiste käigus. Vektorkaartide puhul on tavaks paigutada sama tüüpi objektid omaette kaardikihtidesse, mida võib eraldi käsitleda ja kuvada. Vektorkaardi objektidega on võimalik siduda andmeid ja omadusi. See annab võimaluse manipuleerida objektidega kui eraldiseisvate üksustega. Kuigi rasterkaartide soetamiskulud on madalad, nõuavad need rohkesti arvutiressurssi ja pakuvad vähe võimalusi. Erinevaid kaarditüpe on mõnikord otstarbekas kombineerida näiteks nii, et taustana kasutatakse rasterkaarti ja elektrivõrgu skeem esitatakse ühe vektorkaardikihina.

Digitaalkaarte iseloomustab andmeformaad – andmete kodeerimise ja pakkimise meetod, ning projektsioon – parameetrite hulk, mis näitab, kuidas on tasapinnal kujutatud maakera ellipsoidaalset pinda. Digitaalkaardi puhul ei ole mõtet rääkida mõõtkavast, vaid ainult kaardi täpsusest. Nii võib mõõtkavas 1:10 000 kaardi täpsuseks pidada  $\pm 10$  m, kuigi seda on võimalik kuvada ja printida ka näiteks mõõtkavas 1:5000. Kaardid rasteriseeritakse üldjuhul lahutusvõimega 1016 dpi, s.t kaarti on võimalik viimistleda 1/1016 tolli ehk 0,025 millimeetri suuruste täppidena.

Peamised geoinfosüsteemi päringu liigid on asukoha-, otsingu-, trendi-, teekonna-, klassifitseerimis- ja modelleerimispäring. Elektrivõrgus kasutatavad kaardid luuakse valmiskaartide, nende andmebaaside ning objekte tähistavate tingmärkide alusel. Kaardid on staatilised, dünaamilised või päringu tulemusel moodustatud. Staatilised kaardid ei muutu. Dünaamiline kaart muutub, kui muutuvad andmed andmebaasis. Päringuga loodud kaart sõltub etteantud reeglitest ja andmebaasis leiduvatest andmetest.

Elektrivõrgus on peamisteks teede-, maakatastri- ja ehitiste registri kaardid. Vajatakse ka taimestikukaarti metsa ja võsaga kaetud alade kindlakstegemiseks ning pinnase- ja muud kaarte ehitiste projekteerimisel. Neile kaartidele kantakse elektrivõrgu objektid: alajaamad, liinid, lülitid, juhtimis- ja releekaitseesadmed. Kihte ja filtreid kasutades saab objekte ekraanil kuvada või peita näiteks pinge, tarbitava võimsuse või elektriühenduste järgi.

Elektrivõrgus kasutatakse enamasti tuletiskaarte, mis saadakse teiste kaartide töötlemisel. Tuletiskaardid tuleb formeerida nii, et lähtekaartide muudatused saaks tuletiskaardile automaatselt üle kanda. Peamisteks üldotstarbega kaartideks on baaskaart mõõtkavas 1:50 000 ja põhikaart mõõtkavas 1:10 000. Baaskaart sobib üldise suuri liine ja alajaamu tähistava kaardi valmistamiseks. Põhikaart on keskpingeliinide ja jaotusalajaamade märkimiseks. Madalpingevõrgu jaoks, eriti tarbijatega liitumise punktides, vajatakse kaarte mõõtkavas 1:250. Elektrivõrgu kujutamiseks on olemas järgmised võimalused:

- topoloogiline kaart mõõtkavas 1:500, 1:2000 ja 1:10 000
- mitmekihilised elektrivõrgu skeemid
- põhikaart koos taustakaardiga.

Ühe osa geoinfosüsteemist moodustab navigatsioonisüsteem, mis on mõeldud asukoha kindlakstegemiseks ning etteantud liikumisteed mööda soovitud punkti suundumiseks. Satelliitnavigatsioonisüsteem (GPS) tugineb tehiskaaslastele ja nende signaale vastuvõtivatele tööjaamadele. Sõltuvalt seadmete kvaliteedist ja mõõdistamise meetodikast on asukohatäpsus 100 m kuni 1 cm. Elektrivõrkude käit nõuab täpsust kuni üks meeter näiteks kaablite asukoha määramisel.

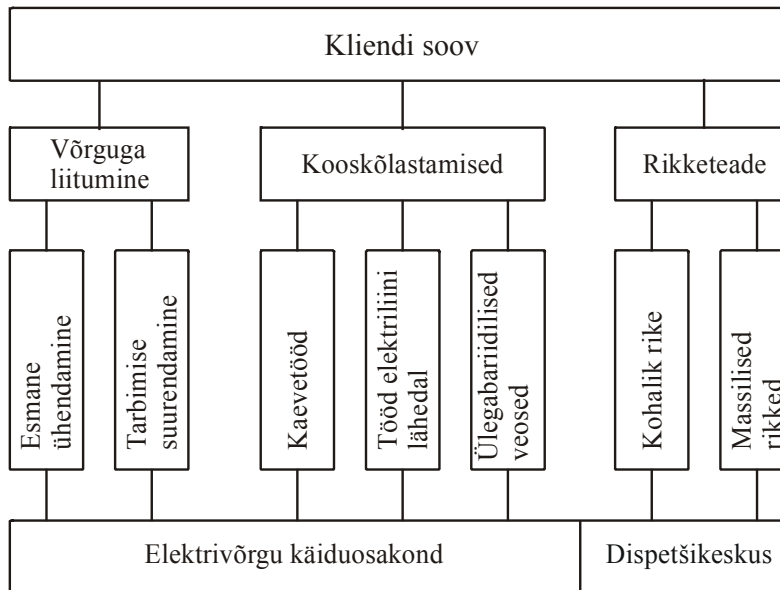
### 8.3.4 Kliendiinfosüsteem

Kliendiinfosüsteemis säilitatakse elektritarbijate liitumispunktide ja arvestite asukoha andmeid, infot arvestinäitudest ja maksete sooritamisest jm. Kliendiinfosüsteemi üks eesmärk on siduda klient (tarbija) elektrivõrguga infotasandil, s.t määratakse tarbija liitumispunkt ja arvesti asukoht elektrivõrgu suhtes. Liitumispunkti asukoha järgi saab hinnata uue kliendi liitumise maksumuse ja tehnilise lahenduse ning planeerida töögraafik. Kliendiinfosüsteemi on vaja näiteks elektriliinide lähedal tehtavate tööde kliendiga kooskõlastamiseks ja võimalikest elektrikatkestustest teavitamiseks. Kliendiinfosüsteemi kuuluvad ka tüüpkoormusgraafikud, mida vajatakse nii klientidega suhtlemisel kui elektrivõrgu käidu- ja

talitlusülesannete lahendamisel.

Klienditeeninduse süsteem koosneb klientide andmebaasist, elektrivõrgu töötajate kontaktandmetest ja andmeanalüüsi tarkvarast. Kliendi teenindamisel saab teha järgmisi päringuid:

- kliendi esindaja kontaktandmed
- liitumispunkti koordinaadid
- peakaitsme suurus
- lepingukohased nõuded energia kvaliteedile
- andmed energiatarbimise kohta maksetähtaegade kaupa
- andmed maksete tasumise kohta
- andmed plaaniliste ja tegelike elektrikatkestuste kohta
- tariif
- tüüpkoormusgraafik.



**Joonis 8.11 Kliendi soovide rahuldamise skeem**

Tüüpkoormusgraafiku abil analüüsitakse ja prognoositakse energiatarbimist. Analüüsitakse muuhulgas esitatud arvestinäitude tõepärasust. Prognoosimise üheks eesmärgiks on maksimaalkoormuse võimaliku väärtuse hindamine. Mõlemal juhul on vaja arvestada koormuse regulaarseid muutusi, stohhastilisust ja temperatuurisõltuvust. Seega on vajalikud nii koormusgraafik (koormuse matemaatiline ootus) kui koormuse hajuvuse ja temperatuurisõltuvuse näitajad, mis üheskoos moodustavad koormuse matemaatilise mudeli (lisa 1). Koormusandmeid on vaja ka võrguinfosüsteemiga ja talitluse tugisüsteemiga seonduvate ülesannete lahendamisel.



Tabel 8.4 Tööde kaugus elektriliinist

Liini pingeline kV	<1	3...20	35...110	220...330
Kaugus liini teljest m	2	10	25	40

Klienditeeninduse ülesanne on rahuldada klientide soove, mis puudutavad liitumist elektrivõrguga, elektriliini lähedal tööde tegemist ning riketest ja remonditöödest tingitud elektrikatkestuste selgitamist (joonis 8.11). Nii esmasel liitumisel kui elektritarbimise suurendamise soovi korral tuleb tarbijal maksta liitumismaksu, mida arvestatakse peakaitsme ühe ampri kohta. Kaeve- ja muud tööd tuleb kooskõlastada, kui need on elektriliinide lähedal. Orienteerivad kaugused on esitatud tabelis 8.4. Kooskõlastatakse ka ülegabariidilised veosed, mille kõrgus ületab paikkonnast sõltuvalt 4...4,5 m. Kliendipoolse rikketeate korral tuleb selgitada, kas elektrikatkestus puudutab ainult ühte klienti või on tegemist ulatuslikuma rikkega. Mõlemal juhul peab klient saama ammendava vastuse. Vajaduse korral täpsustatakse vastused kohaliku elektrivõrgu käidu- ja operatiivpersonaliga.

## 8.4 Jaotusvõrgu koormuse seire ja ohjamine

### 8.4.1 Koormuse seire

Jaotusvõrgu talitluse planeerimisel ja juhtimisel vajalikke koormusnäitajaid võib leida lisa 1 kirjeldatud matemaatilise mudeli alusel samal viisil kui põhivõrgu korral (7.4). Takistuseks on asjaolu, et sageli puuduvad jaotusvõrgu koormuste tunniandmed. Ka on vaadeldavate koormuste arv tunduvalt suurem kui põhivõrgus. Seetõttu on tüüpmodelite rakendamine jaotusvõrgus vältimatu, kuigi ka seal võib üksikute tähtsamate koormuste kohta koostada unikaalse mudeli.

Traditsiooniliselt käsitletakse jaotusvõrgu koormusi lihtsustatult tüüpgraafikute alusel. Tüüpgraafikud kujutavad sisuliselt erinevate päevatüüpide (tööpäev, laupäev ja pühapäev) koormuse matemaatilist ootust ja esitatakse näiteks kuude kaupa. Kuna sageli antakse matemaatilise ootuse kõrval ka ruuthälbe tüüpgraafikud ja juurde lisatakse valem temperatuurisõltuvuse hindamiseks, on õigem rääkida koormuse lihtsustatud mudelist (lisa 1). Lihtsustatud mudelid kasutab enamik jaotusvõrgu talitluse rakendusprogramme. Kui jaotusvõrgu koormustele on koostatud täppismudelid, siis on nende põhjal lihtsustatud mudelid kerge tuletada.

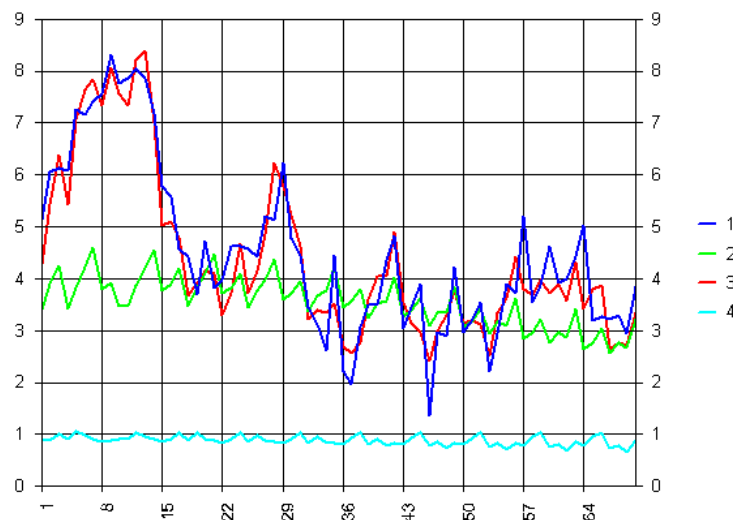
Kui tüüpmodelite koostamiseks vajalikud koormuste tunniandmed puuduvad, tuleb jaotusvõrgus korraldada ühekordsed mõõtmised. Eeskujuks võib tuua koormusuuringud Soomes, kus aastatel 1983–1992 mõõdeti enam kui 1000 koormuste tunniandmed. Tulemuste põhjal jaotati koormused 46 klassi ja koostati tüüpgraafikud (lihtsustatud koormusmudelid).

Jaotusvõrgu koormuste käsitlemine.

- Koormusuuringute käigus selgitatakse välja koormusklassid, mis jagatakse

tüüpideks. Lähtekohaks pole niivõrd koormuste mõõteandmed kui üldandmed elektritarbijate kohta, nagu elektritarvitite iseloom, vahetuste arv, elekterküte jms. Hiljem koormuse tüüpmodelite moodustamise käigus kontrollitakse ühte klassi ja tüüpi arvatud koormuste kokkusobivust ka mõõteandmete alusel.

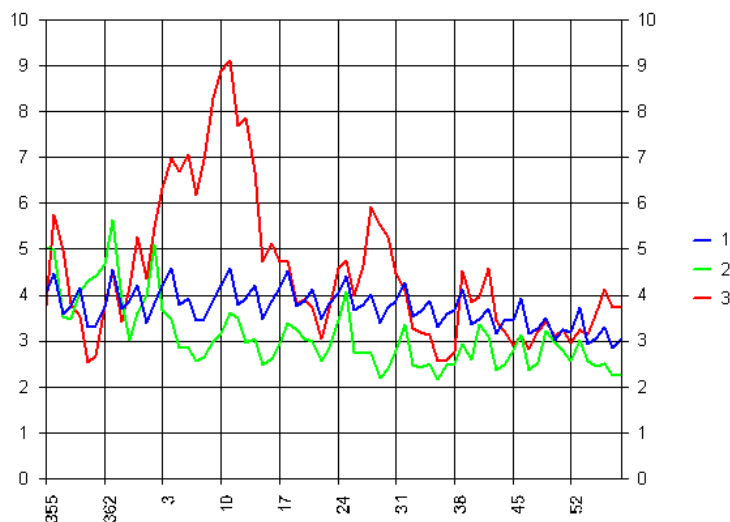
- Moodustatakse koormuste tüüpmodelid. Tüüpmodeliks nimetatakse mudeli komponentide ja parameetrite tüüpilisi komplekte, sest mudeli struktuur on alati sama. Tüüpmodelite koostamises osalevad vaid need koormused, mille kohta on olemas tunniandmed mitme aasta ulatuses ja mille muutused on piisavalt regulaarsed (tüüpilised). Tulemuseks pole mitte niivõrd terviklikud mudelid kui mudelite tüüpkomponendid, mille alusel saab hiljem moodustada üksikkoormuste mudelid. Tüüpmodelite koostamine tähendab ühtlasi koormusuuringuid, mis antud jaotusvõrgus tuleb läbi viia vaid üks kord.
- Koostatakse matemaatiline mudel (mudeli parameetrite komplekt) iga vaadeldava koormuse kohta. Aluseks on vaadeldavale koormusele valitud tüüpmodel ja selle koormuse andmed. Minimaalselt on iga koormuse kohta vajalik vaid üks suurus, näiteks koormuse aastaenergia. Tulemus ei sõltu põhimõtteliselt olemasolevate andmete hulgast. Kui andmeid on rohkem, on tulemus vaid täpsem ja mudel kirjeldab paremini koormuse omadusi. Kui koormusandmeid on piisavalt, võib sellel etapil teatud määral muuta ja lisada ka tüüpmodelid. Õigupoolest saab muuta vaid mudelite parameetreid, mudelite komponendid jäävad muutumatuks (lisa 1). Seda koormuse käsitlemise etappi, mida nimetatakse ka mudelite redigeerimiseks, täidetakse vastavalt vajadusele, kui koormuse iseloom oluliselt muutub või tekivad uued koormused.
- Koormuse seire seisneb jooksvate andmete sisestamises, vajalike näitajate arvutamises ning ka mudelite redigeerimises. Koormustele, millel jooksvad tunniandmed puuduvad, seisneb seire vaid vajalike näitajate, ennekõike prognoosi arvutamises.



Joonis 8.12 Tegelik koormuse (1), matemaatilise ootuse (2), pikaajalise prognoosi (3) ja ruuthälbe (4) päevasuurused, alates 01.01.1987

Oluline on tähele panna, et sõltumata lähteandmete hulgast seatakse iga vaadeldava koormusega vastavusse matemaatiline mudel, mille alusel saab põhimõtteliselt leida kõik koormusnäitajad. Koormuste puhul, mille kohta on saadaval jooksvad andmed näiteks dispetšisüsteemi kaudu, on olukord sama kui põhivõrgu koormustel. Kui jooksvad andmed puuduvad või neid ei soovita kasutada, ei ole võimalik määrata ka lühiajalise prognoosi ühte komponenti – koormuse deviatsiooni  $C[P]$  (7.4). Kuna aga jooksvad temperatuuriandmed on alati saadaval (samad, mis põhivõrgu korral), on ka temperatuurisõltuvus  $I[T,P]$  arvatav. Seetõttu võib lühiajalise prognoosi leida kujul  $E[P] + I[T,P]$ . Selline prognoos ei arvesta küll koormuse hälbeid lähiminevikus, kuid vastab jooksvale temperatuurile. Temperatuuritundlike koormuste (elekterküte) korral võib sel viisil saavutatud täpsustus olla küllalt oluline.

Joonisel 8.12 on esitatud ühe temperatuuritundliku koormuse (sisaldab elekterküte) näitajaid külmal talvel. Näeme, et koormuse väärtus võib temperatuuri mõjul kasvada kuni kaks korda ja enamgi – 4 kW normaaltemperatuuril kuni 9 kW külma ilmaga.



**Joonis 8.13 Koormuse päevasuurused, alates 10.12.1989: matemaatiline ootus (1), arvutuslik väärtus tegeliku temperatuuri (2) ja 1987. aasta temperatuuri (3) korral**

Kuna temperatuurisõltuvuse arvutamine ei sõltu koormusandmete olemasolust, võib alati leida näitaja – arvutusliku koormuse  $E[P] + I[T,P]$  nii tegelike kui imiteeritud temperatuuriandmete alusel (joonis 8.13). Tegeliku temperatuuri alusel leitud arvutuslik koormus võib usaldatava mudeli korral olla lähedane tegelikule koormusele, kuigi tunniandmete puudumisel seda kontrollida ei saa.

#### 8.4.2 Koormuse ohjamine ja tarbijate teenindamine

Elektritarbimise ohjamine on ennekõike koormuse ühtlustamine (tippkoormuste vähendamine). Tarbimist ohjatakse põhiliselt tariifide abil. Võimalik on ka tarbimise otsene juhtimine. Lisategevuseks on arvestite kauglugemine, mis on muuhulgas vajalik vaba energiaturu tarvis, tariifikellade sätete muutmine ja muud teenused.

Otseselt juhitavaks koormuseks on elekterküte. Nii juhitakse Soomes 100 000 elektritarbija kütet, mille tulemusena õnnestub vähendada tippkoormust umbes 100 MW võrra. Muutuvad (päevased ja öised) elektritariifid mõjutavad akumuleerivat elekterkütet. Veelgi paindlikumad on **dünaamilised tariifid**, mis vastavad elektrienergia jooksvale hinnale. Tariife võib muuta nii reaajas kui ette anda näiteks järgmisele ööpäevale. Dünaamiliste tariifide mõju koormusele sõltub tarbija tüübist. Vajalik on kahepoolne side ja tarbijaterminal. Sideliini kaudu loetakse tarbija koormust ja edastatakse aktuaalne tariif. Kasutusel on kõrgsagedusside (3...7 kHz), mis kasutab jaotusvõrgu elektriliine, aga ka telefoni- ja kaabeltelevisiooniliine. Põhiliselt on dünaamilised tariifid mõeldud suurtele tarbijatele.

Elekterküttega võrreldes võib veelgi suuremat efekti saavutada väiketööstuse ja teenindustevõtete seadmete nagu elektriahjude, ventilatsiooniseadmete, veskite, külmutusseadmete jne juhtimisega. Raskusi põhjustab ettevõtete erinev tehnoloogia. Parimaid tulemusi saavutatakse, kui ettevõtted ise hangivad neile sobivad tarbijaterminalid ja kooskõlastavad nende juhtimise jaotusvõrgu dispetšikeskusega.

Koormuse juhtimisega saavutatav sääst tuleneb ennekõike võimsustasu vähenemisest. Oma osa on ka elektrienergia tarbimise siirdumisel madalama tariifiga ajavahemikule. Arvesti kauglugemine säästab energia registreerimiskulusid ning kiirendab arvete esitamist ja maksete laekumist.

Jaotusvõrguettevõtte esmane ülesanne on kindlustada elektritarbijatele toide. Seetõttu on operatiivpersonal kohustatud andma tarbijale teavet näiteks elektrikatkestuste korral. Andmeid tarbijate kohta saab võrgu- ja kliendiinfosüsteemist, jooksva olukorra kohta dispetšisüsteemist. Talitluse ohjesüsteemi sellekohane funktsioon hangib vajalikud andmed ja edastab need sobivas vormis dispetšerile. Edastatakse näiteks tarbija nimi ja asukoht, kaitsmete sätted ja koordinaatsioon keskpingevõrgu kaitsmetega, aastane energiatarve, liitumispunkt, elektritoite jooksev seis. Võrguettevõtte on kohustatud tarbijale teatama planeeritud elektrikatkestustest seadmete remondi ja hooldamise ajal.

Põhitegevuse kõrval võib võrguettevõtte pakkuda tarbijale lisateenuseid. Sidekanali korral võib dispetšipunkt enda peale võtta muid juhtimistegevusi (ahjude ja lukkude juhtimine) ja pakkuda valveteenuseid sissemurdumiste ja tulekahjude vastu. Maailmapraktikas (Jaapan) on näiteid, kus jaotusvõrguettevõtted on ehitanud

## Jaotusvõrgu juhtimise tugi

---

fiiberoptilistel kaablitel põhinevaid suure läbilaskevõimega sidevõrke ja pakuvad elektritarbijatele ka telefoni-, Interneti- ja kaabeltelevisiooniteenuseid.