

4 Kohtsüsteemid

Elektrivõrgu operatiivjuhtimiseks vajalik info lähtub ennekõike alajaamadest ja lülituspunktidest, kus toimub andmehõive, täidetakse kaugjuhtimiskorraldusi, toimib releekaitse ja automaatika. Andmete allikaks on ka kaugloetavad elektriarvestid, mis seatakse üles kommertseesmärkidel. Tehnilisi tarbeid täitvates arvestites võib olla ühildatud elektrienergia ja elektri kvaliteedi mõõtmine. Arvestite kauglugemise sidekanaleid kasutatakse ka teises suunas näiteks tarbijate koormuse juhtimiseks.

4.1 Alajaama automaatika

Elektrivõrgu dispetšjuhtimiseks on vaja koguda ja edastada mõõteandmeid nii elektriliste kui mitteelektriliste talitusparameetrite nagu pinge, voolu, võimsuse, energia, rõhu, temperatuuri jt kohta. Keerukamad on andmed, mis puudutavad releekaitse seiret, rikete asukoha määramist, siirdeprotsesside ostsillografeerimist, energia kvaliteedi seiret, seadmete diagnostikat, sidesüsteemi seiret jm. Alajaamas tuleb vastu võtta ja täita juhtimiskorraldusi, mis muudavad lülitite asendit ja releekaitse häälestust. Kohapeal toimib releekaitse, pinge reguleerimine ja muu automaatika. Kirjeldatud mõõtmis- ja juhtimissüsteemi nimetatakse **alajaama automaatikaks** (*Substation Automation, SA*).

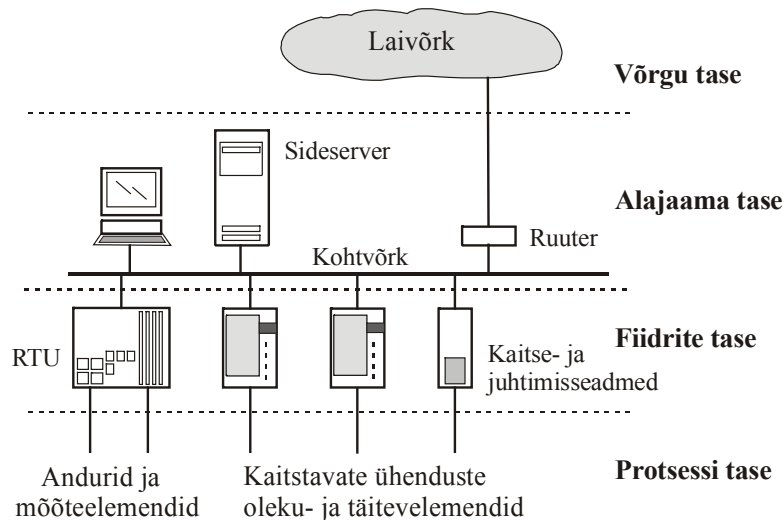
4.1.1 Alajaama automaatikasüsteem

Alajaama automaatikasüsteemi kuuluvate seadmete rühmitus.

- Mikroprotsessoripõhised alajaama jälgimis-, juhtimis- ja kaitseseadmed. Ühtsesse kompleksi integreerituna moodustavad need alajaama **kohtterminale**, milles on üks või mitu mikroprotsessorit, fikseeritud andmestruktuur, mitu sideporti ja kasutajaliides. Fiidrikohaseid kohtterminale nimetatakse ka **fiidriterminalideks**. Vaid jälgimis- ja juhtimisfunktsioone täitvaid seadmeid nimetatakse **kontrolleriteks**.
- Alajaamas andmevahetust korraldavad seadmed moodustavad kohtvõrgu (5.2). Andmevahetuse levinud variandid:
 - alajaama kohtterminalid saadavad oleku- ja mõõteandmed kohtvõrku ja sealt sideserveri või kaugterminali vahendusel dispetšisüsteemi, millest sama teed mööda saavad juhtimiskorraldused
 - alajaamas on juhtarvuti, mis toimib vahelülina kohtvõrgu ja dispetšisüsteemi vahel
 - kaitsereleed saadavad oleku- ja mõõteandmed kontrolleritele, mis teevad reaajas otsustusi ja saadavad juhtimiskäsud kohtvõrgu kaudu releedele tagasi.

- Andmevahetust dispetšisüsteemi tasemega korraldavad sideserverid ja kaugterminalid, mis tagavad
 - vajaduse korral (püsiühendus puudub) sideme loomise; neid kasutatakse vähetähtsate alajaamade puhul
 - püsiühenduse dispetšisüsteemis kasutatava sideprotokolli abil
 - elektrivõrgu intraneti veebilehekülje alajaamas, mille kaudu saavad vajalikku teavet nii elektrivõrgu enda allasutused kui ka kliendid ja partnerettevõtted.

Alajaama automaatikasüsteemi võib kujutada hierarhilisena (joonis 4.1). Hierarhia alumisel tasemel, protsessitasemel, on primaarseadmete (lülitid, trafod, kompensatorid, piirikud jm) jälgimis- ja juhtimisvahendite täitevelemendid, mõõtetrafod, andurid jne. Järgmisel, fiidri tasemel on kaitse-, alarmi-, juhtimis-, loogikaseadmed ning kaugterminalid (*RTU*) ja kontrollid, mis suurtes alajaamades on ühendatud kohtvõrku kas otse või läbi sideserveri. Võrku ühendatakse ka kohalik juhtimisarvuti, mis on ühtlasi kohtvõrgu serveriks, printer ja teised seadmed, mis kokku moodustavad andmehõivesüsteemi alajaama taseme. Võrgul on side piirkondliku dispetšisüsteemiga, mis juhul kui alajaam ei kuulu laivõrku, toimib sideserveri kaudu. Läbi võrgu sünkroniseeritakse muuhulgas alajaama seadmete kellad. Väikestes ja vähetähtsates alajaamades kohalikku juhtimisarvutit ei panda, kuid võimalus selle ühendamiseks jäetakse, et hoolde- või remondipersonal saaks kasutada kaasatoodud arvutit.

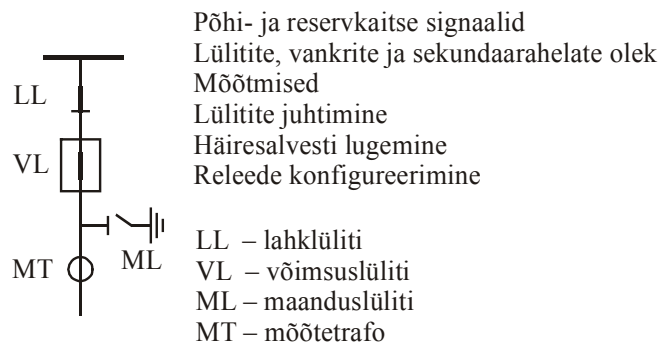


Joonis 4.1 Alajaama automaatikasüsteem

4.1.2 Automaatikasüsteemi funktsioonid

Andmehõivesüsteem peab andma alajaama olukorrast tõepärase pildi, mis ei tähenda, et kõik alajaamas toimuv tuleb edastada dispetšisüsteemi. Remonditava seadme proovilülitamised, kaitsete, telemehaanika jm testimine, trafo jahutuse väljalülitamine või õlinivoo alandamine võivad olla remondi korral loomulikud ega pea esile kutsuma alarmi nii nagu normaalolukorras. Vanemat tüüpi andmehõivesüsteemi puuduseks ongi, et edastatavat infot pole võimalik valikuliselt määrata ega muuta ajutiselt selle mahtu. Ka ei saa mõõtmiste nullväärtustele ette anda mittetundlikkuse ala, mis tagab, et väljalülitatud seadmete mõõtmisandmed jäävad nulliks ka sidehäirete korral. Nüüdisaegseid andmehõivesüsteeme saab viia vastavusse alajaama topoloogiaga, mis tagab, et väljalülitatud osast lähtuvaid signaale ei edastata. Selle saavutamiseks grupeeritakse andmed ühenduste kaupa või kasutatakse nende tingimuslikku edastamist.

Joonisel 4.2 on alajaama fiidri tüüpkonfiguratsioon, kus on ära näidatud fiidri-terminali funktsioonid ja andmevahetus.



Joonis 4.2 Fiidri konfiguratsioon ja andmevahetus

Releekaitse, mis peab vigastuste korral kaitsma seadmeid ja inimesi, on alajaama automaatika üks tähtsamaid funktsioone. Releekaitse peab vajadusel toimima sõltumatult alajaama muu automaatika olekust. Kaitsed teatavad oma töötamisest heli- või valgussignaali abil või tagastamist nõudva relee oleku muutumisega. Teade releekaitse tööst edastatakse ka andmehõivesüsteemile.

Võimsuslülite juhtimine võib olla spontaanne või tahtlik. Spontaansel juhtimisel annab lüliti välja- või sisselülitamiseks käsu releekaitse või automaatika, näiteks taaslülitus- või reservilülitusautomaat. Tahtliku lülitamiskorralduse teeb dispetšer. Kuna tahtlikult kauglülitada on võimalik mitmest kohast (alajaama releepaneelist, alajaama juhtarvutist või piirkondlikust dispetšikeskusest), on ohutuse tagamiseks oluline, et juhtida saaks vaid ühest kohast korraga. Juhtimise ülevõtmiseks on nüüdisaegsetes releepaneelides erilüliti, mille abil lülitatakse ühenduse juhtimisahelad ümber kaugjuhtimisele või kohalikule juhtimisele ja mis ise pole

kaugjuhitav. Lülitid asendatakse andmehõivesüsteemis. Alajaama juhtimisarvutis ja piirkondliku juhtimiskeskuse tööjaamades keelatakse sellise lülitid juhtimine, mis on ühes arvutis juba juhtimiseks valitud. Võimsuslülitite kõrval võivad kaugjuhitavad olla ka lahk- ja maanduslülitid. Majanduslikult pole otstarbekas muuta kaugjuhitavaks kõiki lahk- ja maanduslülitid, sest töökohta ettevalmistamiseks peab personal niigi alajaama minema. Tavaliselt on kaugjuhitavad väljuvate liinide lahk- ja maanduslülitid, mis vähendab liinitööde aega. Jaotusvõrgu juhtimiseks, ennekoike rikkekoha isoleerimiseks ja tarbijate toite taastamiseks on eriti efektiivne lülituspunktide lahk- ja maanduslülitite kaugjuhtimine. Oma osa kaugjuhitavate lülitite ülesseadmisel on ohutusnõuetel ja majanduspoliitikal.

Tarbijale vajalik pinget tagatakse peamiselt koormuse all reguleeritavate trafode abil. Selleks on paljud trafod varustatud automaatse pingeregulaatoriga. Paralleelselt töötavatel trafodel on üks regulaator juhtiv ja teised järgivad seda. Üldjuhul on regulaatori sisse- ja väljalülitamine, töörežiimi valik ja trafo astmete muutmise kaugjuhitav. Kaugjuhitavad on ka põhivõrgu pingeniivo hoidmise kondensaatorite, reaktorite, reservtoite ja taaslülitusautomaatide juhtimine.

Alajaama andmehõivesüsteemi võib jagada juhtimissüsteemiks ja jälgimissüsteemiks. Juhtimissüsteem tagab dispetšiteenistusele vajaliku info. Jälgimissüsteem võimaldab hooldada, häälestada ja parametreerida relekaitset, jälgida alarmiseadmeid, elektri kvaliteedi mõõtmeid, häiremerikuid, diagnostikaseadmeid jms. Juhtimissüsteem peab töötama reaalajas 24 tundi ööpäevas ja 7 päeva nädalas, jälgimissüsteemil reaalajas töötamise nõuet pole. Jälgimissüsteemi üheks rakenduseks on relekaitseinseneri töökoht, kus konfigureeritakse ja testitakse alajaama relekaitset ja automaatikat ning analüüsitakse lülitusprotsesside ostsillogramme. Kuni viimase ajani oli reaalajasüsteemides eelistatuks operatsioonisüsteem *Unix*, mistõttu juhtimissüsteemid töötasid *Unix*'is, jälgimissüsteemid aga *DOS*'is või *Windows*'is. Kummalgi süsteemil olid oma liidesed alajaama seadmetega. *Windows NT* kasutuselevõtt reaalajasüsteemides võimaldas ühildada tarkvara ja kasutada alajaama juhtimiseks ja jälgimiseks sama arvutit.

Kohtsüsteemid peavad säilitama töövõime ka siis, kui side ülejäänud süsteemiga on katkenud. Kui alajaama operatiivtoiteks on alalisvool, kindlustavad toite katkematu akupatareid. Vahelduvvoolutoite korral kasutatakse puhvertoiteallikaid (*UPS*), mis tuginevad samuti akupatareidele. Peale toitepinge kadumist või sideme katkemist säilitavad kohtsüsteemid olulisemad andmed, mis edastatakse olukorra normaliseerumisel.

4.2 Alajaama andmehõivesüsteem

Alajaama andmehõivesüsteemide ehitus on mitmesugune, sõltudes paigaldamise ajast, andmehõivele seatud ülesannetest, alajaama tähtsusest ja süsteemi tarnivast firmast, kellel on enamasti välja töötatud oma põhimõtted, tehnoloogia ja seadmed. Rahvusvahelised standardiseerimisorganisatsioonid ISO ja IEC on küll fikseerinud

ühtsed põhimõtted tehnoloogiate ühtlustamiseks, kuid seadmete täielikust ühilduvusest on veel vara rääkida. Võimalik on vahetada seade teise tootja samatüübilise seadmega, kuid seadme funktsioone saab korvata teise seadme funktsioonidega vaid ühe tootjafirma piires, kui sedagi. Sellele vaatamata on kõigil andmehõivesüsteemidel ühiseid omadusi nagu hierarhilisus, alajaamasisene andmesidevõrk ja liides dispetšisüsteemiga.

4.2.1 Mõõteandmed ja signaalid

Alajaamast edastatakse dispetšisüsteemi mõõteandmed, lülitite asendid, trafode astmed, pingeregulaatorite olekud, ajamärkidega varustatud alarmid ja sündmused, lühise asukoht jm. Nõudmisel edastatakse releede sätted ja rikkemeeriku andmed. Dispetšisüsteem saadab alajaama juhtimiskorraldusi, automaatikasätteid, kellade sünkroniseerimisandmeid ja üldpäringuid. Andmeid, mida alajaamadest kogutakse, võib rühmitada järgmiselt:

- elektrimõõtmised – pinge, vool, aktiiv- ja reaktiivvõimsus, pinge ja voolu harmoonikud, siirdeprotsesside ostsillogrammid
- muud analoogmõõtmised, näiteks mootorite ja trafode temperatuurid, seadmete diagnostikaandmed, energia kvaliteedinäitajad
- elektrivõrgu talitluse ning sidesüsteemi ja releekaitse sündmused ja häired
- seisundid ja sätted nagu lülitite asendimuutused, trafoastmed, automaatpingeregulaatorite olekud, süsteemiautomaatika ja releekaitse sätted
- kompleksandmed, nagu siirdeprotsesside ostsillogrammid, andmed rikete asukoha määramiseks ja energia kvaliteedi näitajad.

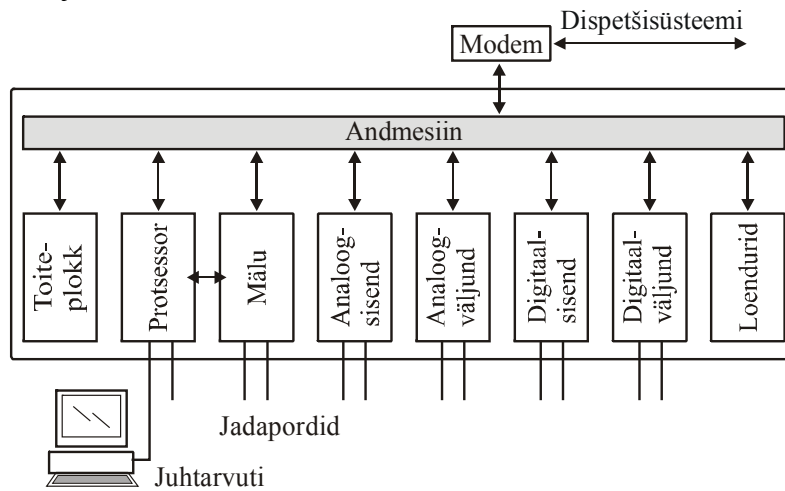
Mõõteandmeid iseloomustavad nende vähim ja suurim väärtus, mõõtmistäpsus, mõõtmiste sagedus, mõõdetava suuruse suurim lubatav (tuvastatav) muutumiskiirus. Töötlemisel kontrollitakse esmalt, kas andmed on nõutavates piirides. Erinevates kohtades mõõdetud suuruste võrdlemisel tuleb arvesse võtta andmete fikseerimisaeg ja aja mõõtmise võimalik viga.

4.2.2 Kaugterminalid

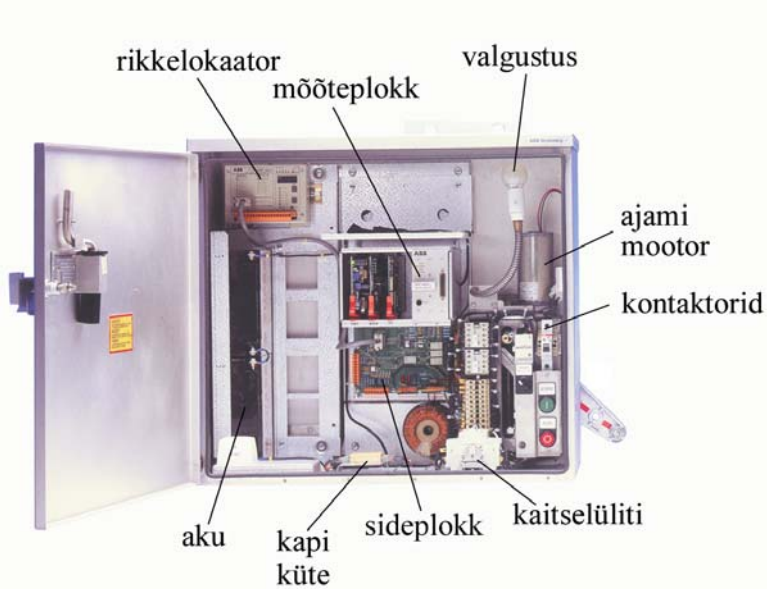
Alajaama andmehõivesüsteemi kese on enamasti **kaugterminal** (*RTU*), mille ülesanne on registreerida alajaamas toimuv, edastada mõõteandmed ja sündmused ning vastu võtta saabuvad juhtimiskorraldused. Kaugterminal peab filtreerima kontaktide vibratsioonist tekkivad mürad, eristama saabuvat signaali mürast, omama piisavalt suurt mälu sündmuste säilitamiseks, kui häirete või side katkemise tõttu pole võimalik andmeid edastada, side taastumisel edastama saatmata jäänud sündmused, tagama andmete uuendamise vajalik kiirus, võimaldama jadajuhtimist jm. Tänapäeva kaugterminalide omadused on konfigureeritavad ja nad koostatakse moodulitest, milleks on (joonis 4.3)

- toiteplokk
- protsessor, tarkvara ja liidesed
- mäluplokk

- analoogsisendite ja -väljundite plokk
- digitaalsisendite ja -väljundite plokk
- loendurite plokk
- kell ja valve.



Joonis 4.3 Kaugterminali struktuurskeem



Joonis 4.4 Firma ABB jaotusterminal

Moodulprintsip võimaldab paindlikult sobitada kaugterminali riistvara alajaamast ülekantava info mahuga. Infomahu suurenemine nõuab vastavate plokkide lisamist.

Protsessori jõudluse ületamisel, uute sideprotokollide rakendamisel või kaugterminalile uute funktsioonide lisamiseks vahetatakse protsessoriplokk. Kõigi arvestatavate kaugterminalide pakkujate (*Harris, Siemens, ABB, Netcontrol* jt) toodang on moodulipõhine.

Joonisel 4.4 on firma ABB kaugterminal, mis seatakse üles jaotusvõrkude lülituspunktidesse ja mida seetõttu nimetatakse ka jaotusterminaliks (*DTU*). Lisaks mõõteandmete töötlemise ja andmeside plokile kuulub sellisesse terminali ka lahküliti ajam ja akupatarei.

4.2.3 Kohtterminalid

Kohtterminalide (*IED*) all mõistetakse seadmeid, mis suudavad täita mitmesuguseid releekaitse- ja automaatjuhtimistegevusi ning ka andmehõive ja andmeside funktsioone. Seega võib vajaliku tasemega kohtterminal asendada enamikku automaatikaseadmetest. Kohtterminalid on ette nähtud elektrivõrgu jälgimiseks, mõõtmiseks, kaitsmiseks ja juhtimiseks. Neid kasutatakse erineva keerukusastmega (üks või mitu latisüsteemi) jaotlates ja erineva neutraalirežiimiga (maandatud, maandamata või kaarekustutuspoolidega maandatud) võrkudes. Olenevalt sellest kas tegu on ülekande- või jaotusvõrgu kohtterminaliga, on selle toimimispõhimõtted (nt võimalike kaitsete valik) mõnevõrra erinevad, kuid üldiselt on kohtterminali funktsioonid järgmised:

- kaitse
- mõõtmine
- juhtimine
- primaarseadmete seisundi ja korrasoleku jälgimine
- andmevahetus ja side
- energia kvaliteedi seire
- üldotstarbelised lisafunktsioonid
- standardsed loogikafunktsioonid
- diagnostika.

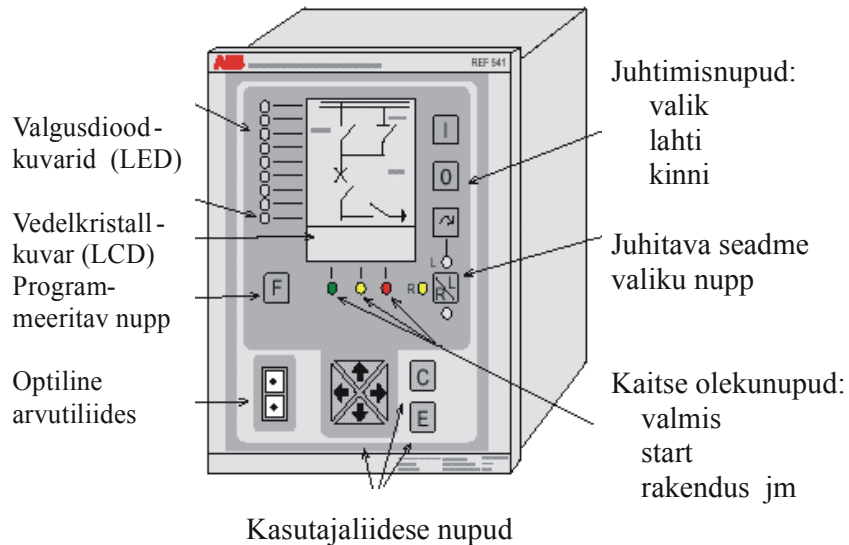
Vaid mingi fiidriga piirduvaid kohtterminali nimetatakse fiidriterminalideks. Üks firma ABB fiidriterminalidest on joonisel 4.5.

Kaitse on kohtterminali kõige olulisem funktsioon. Erinevate kaitsete plokid on üksteisest sõltumatud, neil on omad sätete grupid, andmete salvestamisseadmed, mõõte- ja juhtimiskanaliid. Fiidriterminali võimalikud releekaitsetegevused on järgmised:

- liigvoolukaitse (sh suunakaitse)
- maalühiskaitse
- distantkaitse
- faasikatkevuskaitse
- ülepingekaitse
- nulljärgnevusülepingekaitse
- taaslülitusautomaat

- üle- ja alasageduskaitse
- sünkronismi kontroll
- termokaitse.

Loetletud funktsioonidest levinumad on liigvoolu- ja maalühiskaitse.



Joonis 4.5 Firma ABB fiidriterminal

Kohtterminalide seiretegevused haaravad nii mõõteandmete kui seisundite jälgimist ja kogumist. Mõõdetavate suuruste hulka kuuluvad

- faasivoolud
- neutraalivool
- faasipinge
- nulljärgnevuspinge
- sagedus
- aktiiv- ja reaktiivvõimsus
- võimsustegur
- energia (impulsside loendamine)
- harmoonikud
- riketega seotud talitusparameetrite registreerimine (rikkemeerik).

Rikkemeerik registreerib nii digitaalsignaale kui ka analoogmõõtmise sagedusega 2...10 kHz. Kasutaja saab määrata salvestamise kestuse, mis muuhulgas oleneb salvestatavate mõõtmiste arvust. Salvestus on varustatud ajamärkidega, mis kellade sünkroniseerimise korral võimaldab võrrelda salvestusi erinevatel seadmetel ja erinevates alajaamades.

Kohtterminalide juhtimistegevus haarab nii lokaal- kui kaugjuhtimist, millesse

kuuluvad

- sisse- ja väljalülitamine (ennekõike võimsus- ja lahkülitid)
- jadajuhtimine
- seadmete juhtimise blokeerimine
- juhtimisseadmete seisundite ja alarmide jälgimine.

Jälgitavateks seisunditeks on

- võimsuslülite seisund (lülituste arv, lahutamiskiirus ja andmed remontide kohta)
- gaasi tiheduse sobivus (elegaaslülitele)
- sündmuste salvestamine ja nende kuvamine terminali ekraanil
- omatarbevõimsus, kaitsetele vajaliku pinge ja voolu olemasolu, täitevahelate valmidus, ajamite toide, blokeeringud jm.

Andmeside ülalpidamine on kohtterminali üks olulisemaid funktsioone. Üldjuhul on kohtterminal võimeline pidama sidet otse dispetšisüsteemi kõrgema taseme sideserveriga. Kesksel kohal on sideprotokollid, mis seni on enamasti valmistaja-kohased. Vajalik on ka lokaalne side kohtterminali ja kohaliku arvuti (serveri) vahel. Sideliiniks on nüüdisajal optiline kaabel, kuid kõlbavad ka tavalised sidekaablid.

Elektri kvaliteedi seirefunktsioon võimaldab eristada 13..40 pinge ja voolu harmoonikut, määrata pingelohkude ja -muhkude kestust ja kontrollida pinge kvaliteedi muude näitajate vastavust rahvusvahelisele standardile (4.3.2).

Üldotstarbelised lisafunktsioonid võimaldavad tagastada väljundreleesid, panna algseisu häiremeerik, kvaliteediseire- ja muud registrid, mugandada kasutajaliidese kuvari eredust, kontrasti ja teisi parameetreid. Standardsed loogikafunktsioonid võimaldavad kasutajal luua talle vajalikke loogilisi kontrole, blokeeringuid, juhtimiskorraldusi jne, mida võib siduda kaitsetega, mõõtmistega, seire ja mis tahes muu fiidriterminali funktsiooniga.

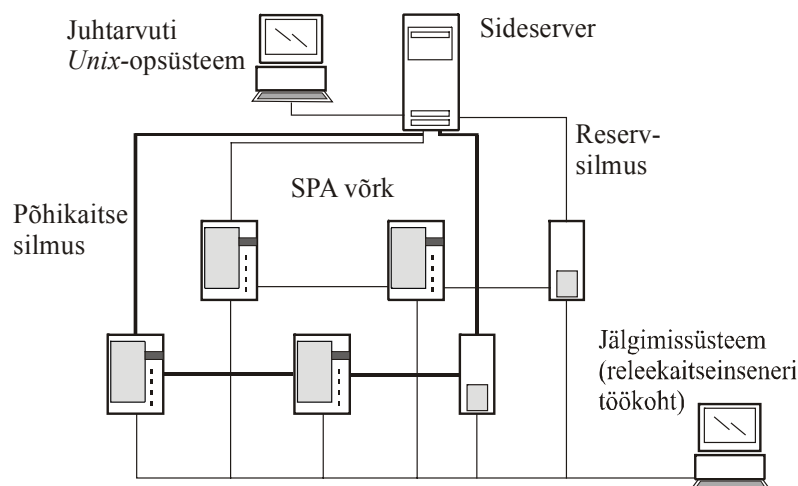
4.2.4 Alajaama kohtvõrgud

Side korraldamisel alajaama sees ja sellest väljapoole lähtutakse vajadustest ja võimalustest. Näiteks lihtsaid kontrollereid, mis ei suuda infot omavahel vahetada ja millel puuduvad ülem-alluv-määrangud, saab kasutada vaid sideks ülemise tasemega. Sel juhul ei saa juttu olla alajaamasisesest andmevõrgust või juhtarvutist. Alajaamasise kohtvõrgu loomiseks on vaja, et kohtterminalid toetaksid mingit sideprotokolli (*Internet, Ethernet, Token Ring, Profibus, Modbus, SPA, LONWorks, WorldFIP, HART, CAN* jne). Side ülemise tasemega korraldatakse olenevalt kohtvõrgu tüübist. Klient-server-tüüpi võrgus toimetab seda server, võrdõigusvõrgus peaks see võimalus olema igal kohtterminalil. Mõlemal juhul on rohkesti lisavõimalusi. Kohtvõrgu seadmete maksumus ja nõuded kohtterminalide tarkvarale võivad olla küllaltki erinevad.

Keskne kaugterminal nõuab sekundaarahelates üsna mahukaid kaabeldustõid, sest

iga ploki sisendid ja väljundid vajavad oma ühenduskaablit. Selle probleemi lahendamiseks on kaks võimalust.

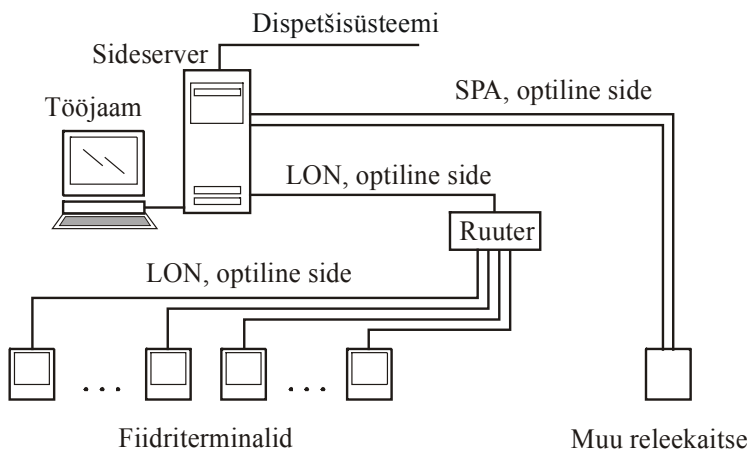
- Välisjaotlates kasutatakse igal ühendusel oma väiksemahulist kaugterminali, mis asub jaotlas ja võib muude funktsioonide kõrval jälgida ka energia kvaliteeti. Sellega saavutatakse oluline sekundaarahelate lühenemine ja materjali kokkuhoid. Teisalt tõstavad kaugterminalide suurem arv ja töö välis-tingimustes seadmete hinda.
- Kasutatakse ära nüüdisaegse releekaitse võime andmeid käsitleda ja edastada. Sellised releekaitseseadmed ühendatakse jadamisi sidekanaliga, mille kaudu neid järgemööda küsitatakse. Firma *ABB Substation Automation Oy* on töökindluse suurendamiseks asendanud radiaalliinid silmusskeemiga ja välja töötanud oma sideprotokolli SPA, mis tagab andmevahetuse kõigi firma seadmetega ka juhul, kui silmus on ühes kohas katkenud. SPA-protokoll kaotab vajaduse traditsiooniliste kaugterminalide järele, sest releekaitse-seadmed võimaldavad koguda mõõteandmeid ja täita juhtimiskorraldusi, mistõttu kaugterminal on asendatav sideserveriga (joonis 4.6).



Joonis 4.6 SPA-võrgu skeem

Keskistes ja suurtes alajaamades on vaja võrdõigusvõrku, sest mingi elemendi kaitsele läheb tarvis infot ka naabrelemendi kohta. Näiteks paralleelliinide põik-diferentsiaalkaitse vajab töötamiseks infot mõlema liini kohta. Ka vajavad suured alajaamad rohkem kohalikku juhtimist. Selleks pannakse alajaama juhtarvuti, mille üks lisafunktsioon on alajaama andmete kogumine varukoopia jaoks, kui sidevõrk ei toimi. Firma ABB on küsimuse lahendanud sideprotokolli LON abil, mis võimaldab fiidriterminalidele ruuteri vahendusel võrdõigusvõrgu tasemel

infovahetust (joonis 4.7). Muu releekaitse ja automaatikaga võib side olla SPA-võrgu kaudu ülem-alluv-süsteemis.



Joonis 4.7 Alajaama kohtvõrk

Suurtes sõlmalajaamades, kus andmevahetus peab olema eriti töökindel, alajaama juhtarvuti ja andmevõrk dubleeritakse. Seejuures võib kumbki kohtvõrk olla erineva tehnoloogiaga näiteks üks firma *Siemens* poolt kasutatav *Profibus DP/PA* või *ABB LonWorks*-võrk ja teine tööstuslik *Ethernet*. Tabelis 4.1 on andmeid alajaamades kasutatavate kohtvõrkude kohta.

Tabel 4.1 Alajaamade kohtvõrgud

Tehnoloogia	Topoloogia	Suhtlusviis	Sidekiirus Mbit/s	Avatus ja kasutajad
<i>Profibus</i>	Liin, täht ja ring	Ülem-alluv, võrdõigusvõrk	Kuni 12	Siemens
Kiire <i>Ethernet</i>	Täht	Klient-server, Kirjasta-telli	100	Kõik <i>Ethernet</i> 'i toodete tarnijad
<i>WorldFIP</i>	Siin	Võrdõigusvõrk	Kuni 6	Paljud μ P tarnijad
<i>LonWorks</i>	Siin, ring, silmus, täht	Ülem-alluv, võrdõigusvõrk	1,25	ABB
<i>CANOpen</i>	Trunkline, dropline	Ülem-alluv	Kuni 1	Mõned μ P tarnijad
<i>Modbus Plus</i>	Linear	Võrdõigusvõrk	1	<i>AEG Modicon</i>
Tööstuslik <i>Ethernet</i>	Siin, täht	Klient-server	Kuni 100	Avatuim võrk maailmas

Profibus'i on välja töötanud peamiselt *Siemens* ja see on Euroopas heaks kiidetud ajutise alajaama kohtvõrgu lahendusena. Aluseks on IEEE standard 802.4 ja EN 50170. *Profibus* on esmajoones mõeldud kõrgsagedussideliinide (PLC) lülitamiseks kaugjuhtimissüsteemi, kuid sobib ka protsessi juhtimiseks ja andmehõiveks. *Profibus*'il on mitu alaliiki. *Ethernet* on üks põhilistest kohtvõrgu tehnoloogiatest (5.2). *WorldFIP* on Prantsusmaa alajaamade andmehõive rahvuslik standard, mis on Euroopas tunnustatud ühena kolmest nn ajutisest lahendusest. On laialt levinud Prantsusmaal ja Itaalias ning saanud tuntuks oma madala hinna poolest. *LonWork*'i on välja töötanud firma *Echelon*, teda toetasid *Motorola*, *Toshiba* ja *ABB*. *LonWork*'i võrguprotokoll on avalik ja programmide tekstid kõigile kättesaadavad. On leidnud laialdast kasutust, kuna toetab sidemeediasid kõrgsagedussidest valguskaablini. Tema ülem-alluv-struktuur on loomult spontaanne, kus kõik seadmed (sõlmed) võivad saata andmeid võrku ja küsida andmeid ka teistelt seadmetelt. Tähtsad teated edastatakse eelisjärjekorras. Teateid võib saata kas kõigile, valitud rühmale või üksikseadmele. Teated on kättesaamise kinnitust nõudvad või mittenõudvad, mis saadetakse võrku lootuses, et nad jõuavad kohale. Andmevahetuse optimeerimiseks jagatakse suuri süsteeme kas füüsilisteks või loogilisteks alamsüsteemideks.

Alajaama kohtvõrkude mitmekesisus ja halb ühilduvus muudab raskeks alajaama automaatika optimeerimise, õigete valikute tegemise ja tarnija vahetamise. Ka tehnoloogiate väljatöötajad otsivad võimalusi piisavalt avatud süsteemide loomiseks, mis suudaksid sammu pidada arvutustehnika arenguga, oleksid moodulipõhised ja paindlikud uuendustele, toetaksid eelmiste versioonide seadmeid ja vähendaksid pikaajalisi investeeringuid. Sellise tehnoloogia loomise teoreetiliseks baasiks on kujunenud ettevõtte andmehõive ühtse arhitektuuri UCA (*Utility Communications Architecture*) idee, mille realiseerimise põhikomponendid on ühtne mikroprotsessoripõhine riist- ja tarkvara platvorm, modulaarne, laiendatav ja uuendatav arhitektuur, ühetaoline kasutajaliides. Ühtse andmehõive struktuuri nurgakiviks on EPRI (*Electric Power Research Institute*) poolt välja töötatud võrgu ja alajaama seadmete andmebaas, mille struktuur on kõigile kasutajaile ühesugune ja mis vahetab andmeid *Ethernet*-võrgus MMS-formaadis (*Manufacturing Messaging Specification*). Taotluseks on, et ka alajaama side oleks ühilduv UCA-ga ning et võrguettevõtetel oleks ühtne vahend, kohtterminal, seadmete kaitseks, jälgimiseks, mõõtmiseks ja juhtimiseks üle kogu võrgu, seade, mis tagaks alajaama automaatika kogu funktsionaalsuse. Sellega välditakse asjatuid lüüse seadmete vahel ja saavutatakse nende parim suhtlemisvõime.

Jaotusvõrgu alajaamade avatud andmehõivesüsteemi standardi loomiseks käivitasid firmad *ABB*, *Siemens*, *Alstom*, *FGH* ja *VEW* 1998. aastal katseprojekti, et võrrelda ja testida standardite IEC 61850 ja UCA2 omadusi ning koostada ülevaade nende kasutatavusest, paindlikkusest ja efektiivsusest. Projekt peab kaasa aitama standardiseerimisele ja Euroopa vajaduste formuleerimisele. Katsetusteks valiti tüüpiline kompenseeritud neutraaliga 10 kV alajaam, mille väljuvate fiidrite

võimsuslülitid olid kaugjuhitavad, lahk- ja maanduslülitid aga mitte. Fiidritel on maksimaalvoolukaitse, suunatud maaühenduskaitse ja taaslülitusautomaatika. Kaitsete sätted on kaugseatavad. Väljuvatel fiidritel kasutati firmade *Siemens*, *ABB* ja *Alstom* kaitseid. Võrreldi kahte andmehõivesüsteemi:

- alajaama juhtarvutil oli firma *Siemens Windows NT*-põhine tarkvara *SICAM WinCC*, kohtvõrguks *Siemens Profibus*
- alajaama juhtarvutil oli firma *ABB Windows NT*-põhine *MicroSCADA* tarkvara ja kohtvõrguks *Ethernet*.

Esialgsed tulemused näitasid, et mõlema variandiga on standard IEC 61850 realiseeritav. Mõnevõrra paremaid võimalusi avatuseks tundub pakkuvat *Ethernet* koos *MMS*-iga. On selge, et alajaama automaatika standardiseerimine vähendab projekteerimis- ja paigaldamiskulusid, lihtsustab süsteemi testimist ja vähendab personali väljaõppekulusid.

4.3 Arvestite kauglugemine ja elektri kvaliteedi seire

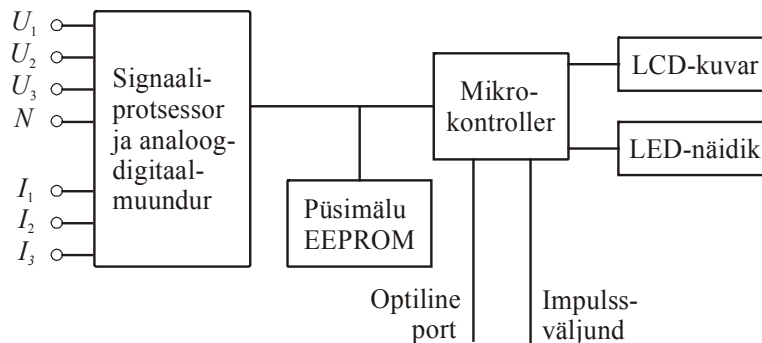
Elektrienergia mõõtmiste asjakohane korraldamine on elektrivõrgu majandusliku tegevuse üheks aluseks. Traditsiooniliselt kuude kaupa toimuvale elektrivõrgu ja elektritarbijate vahelisele arveldusele lisandub vabal elektriturul dünaamiline, tunnipõhine elektrienergia mõõtmine. See eeldab aga senisest täiuslikumat mõõtesüsteemi, kuhu kuuluvad nüüdisaegsed arvestid, andmesidevõrk ning andmete säilitamise ja käsitlemise vahendid. Väiketarbijad, kelle arvestite kauglugemise korraldamine on liiga kulukas, võivad osaleda elektriturul tüüpkoormusgraafikute vahendusel. Tüüpkoormusgraafikud koostatakse koormusuuringute alusel, mis põhinevad elektrienergia tehnilistel mõõtmistel. Oluline on ka elektri kvaliteedi seire tagamiseks tarbijatele nõuetekohane elektritoide.

4.3.1 Arvestite kauglugemissüsteem

Elektrienergiat mõõdetakse mitmesugustel eesmärkidel ning erinevate vahenditega. Olulisemad on kommerts mõõtmised, mille alusel toimub arveldus elektritarbijatega. Kõik kommerts mõõtmistel kasutatavad seadmed (arvestid, mõõtetrafod, terminalid jm) peavad nii mõõtetäpsuse kui töökindluse poolest vastama nõuetele. Näiteks peab arvestite täpsusklass olema vähemalt 2 ja mõõtetrafode täpsusklass 0,5. Ühtsesse mõõtesüsteemi ühendatud seadmete jooksvat seisundit kontrollitakse automaatselt. Mõõteterali varutoiteallikas peab tagama toite katkemise korral andmete säilimise vähemalt kahe nädala jooksul. Oma nõuded on andmete ülekandele ja säilitamisele kesksüsteemis.

Mikroprotsessoripõhise multifunktsionaalse elektriarvesti plokk skeem on joonisel 4.8. Voolu- ja pingetrafodest või anduritest lähtuv analoogsignaali suubub integraallülitusse, mis koosneb signaaliprotsessorist ja analoog-digitaalmuundurist. Signaaliprotsessor arvutab energiakoguse ja väljastab sellega võrdelise arvu impulsse. Impulsid võtab vastu mikrokontroller, mis nende alusel leiab aktiiv- ja reaktiivenergia ja salvestab tulemuse juba numbrilisel kujul. Andmed väljastatakse

numbriliselt ja impulssväljundina optilise jadapordi kaudu, kus igale kilovatt-tunnile vastab kindel arv impulsse. Mikrokontroller juhib vedelkristallkuvarit (*LCD*), millel kajastuvad arvesti andmed ja olekud, ning valgusdiodnäidik (*LED*) energiatarbimise osutamiseks. Kõik algväärtustamise ja kalibreerimiskonstandid säilitatakse programmeeritavas elekterkustutusega püsिमälu (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM*). Komplekti kuulub veel toiteplokk ja aku. Võimalikud on lisalülitused (suvandikaardid) relekaitse ja automaatjuhtimise tarvis.



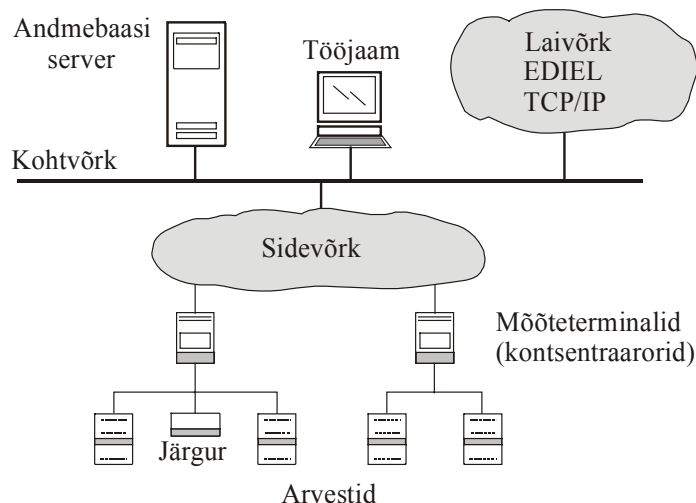
Joonis 4.8 Multifunktsionaalse elektriarvesti plokk skeem

Multifunktsionaalne elektriarvesti annab hulga mõõtmisvõimalusi, mis on programmeeritavad vajaduse kohaselt. Mõõta võib nii tarbitud kui võrku antud aktiiv- ja reaktiivenergiat. Olulisemad lisavõimalused on järgmised:

- koormustipu fikseerimine mingi kindla ajaintervalli (1...60 min) ja etteantud ajavahemiku (tavaliselt üks kuu) kohta
- tariifvahemike sättimine kellaaegade, nädalapäevade ja aastaegade kaupa, arvestades kalendrit
- koormuse seire aja, tariifvahemiku ja maksimaalväärtuse alusel.

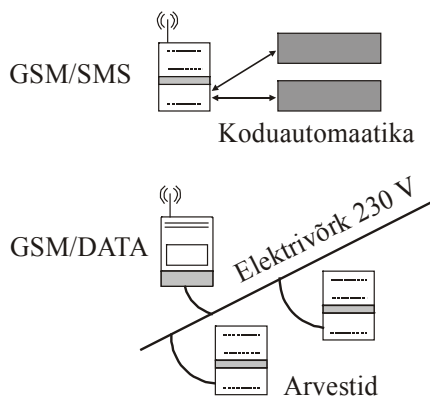
Arvesti tariifvahemike ja koormuse kontrolli sätteid saab muuta optilise pordi kaudu, mis töötab mõlemas suunas.

Kaugmõõtesüsteemis (joonis 4.9) edastatakse arvestite andmed mõõteterminali (kontsentraatorisse). Andmeside toimub elektrivõrgu kaudu kõrgsageduskanali vahendusel või telefonivõrgu abil. Elektrivõrgus võib sidesignaalide sumbumise kompenseerimiseks rakendada järgurit. Mõõteterminal saab andmeid ühelt või mitmelt andurarvestilt. See toimub tavaliselt impulsside kujul, mis summeeritakse ja muudetakse seejärel digitaalsuurusteks. Tarbimisandmed registreeritakse näiteks tunnikaupa, säilitatakse vahemälu ja edastatakse nõudmisel kesksüsteemile. Andmeside toimub ka siin kas telefoni- või elektrivõrgu kaudu. Võimalik on GSM-põhine side (joonis 4.10). Väiketarbijatega võib GSM-side toimuda SMS-lühisõnumi vahendusel. Selline side toimib ka kahesuunaliselt. Siis on mõõteandmete edastamise kõrval võimalik kaugjuhtida koduautomaatikat.



Joonis 4.9 Elektrienergia kaugmõõtesüsteem

Mõõtekeskus korraldab energiaandmete tsüklilise kogumise. Tsükli kestus on kolm minutit, tund või ööpäev. Andmed salvestatakse pikaajaliseks säilitamiseks näiteks *Oracle*-tüüpi relatsioonandmebaasi. Kui andmeid kogutakse reaalajas näiteks kolmeminutilise tsükliga, võib relatsioonandmebaasi töökiirus osutada väikeseks ja rakendada tuleb objekt-orienteeritud reaalajaandmebaasi. Mõõtekeskuses töödeldakse andmeid nii kohalike arvelduste kui energiaturu infovarustuse ja bilansiselgituste eesmärgil. Energiaturu vajaduste rahuldamiseks edastatakse andmed asjaosalistele laivõrgu kaudu, milleks kasutatakse sobivaid sideprotokolle (nt EDIEL Põhjamaades) või ka veebipõhist andmeedastust (protokoll TCP/IP).



Joonis 4.10 GSM-põhine andmeside

Kaugmõõtesüsteemil on mikroprotsessoripõhiste arvestite programmeeritavuse tõttu elektrienergia mõõtmiste kõrval muudki funktsioonid, nagu

- jaotusvõrgu seisundi seire
- elektri kvaliteedi seire
- rikete lokaliseerimine
- koormusgraafikute koostamine
- koormuste juhtimine

- elektrituru tegevuse toetamine
- klienditeenindus.

Jaotusvõrgu seisundi seire tähendab seisundiparameetrite mõõtmist, estimateerimist ja prognoosimist. Elektrivõrgus, kus kaugmõõtesüsteemi on ühendatud enamik elektritarbijaid, võimaldab see vähima määramatusega jooksvalt minimeerida võrgukadusid pinge reguleerimisega, reaktiivvõimsuse kompenseerimisega ja võrgu optimaalse skeemi valikuga.

Elektri kvaliteedi tagamise tähtsus on tõusnud arvutustehnikal põhinevate seadmete lisanduva rakendamise tõttu. Teisalt on sellised seadmed ise häiringute allikad. Jälgitavateks kvaliteedinäitajateks on pingehälbed, pinge kõikumine (sh väreelus), toitekatkestused, liigpinged, pinge asümmeetria ning mittesiinuselisisu jm.

Tihe kaugmõõtevõrk on tõhus elektrivõrgu rikete lokaliseerimise vahend tingimusel, et andmeside säilib ka elektrikatkestuse ajal. Praktiliselt on see võimalik, kui side on korraldatud telefoni- või GSM-võrgu kaudu. Piisava mälumahu korral võib arvesti täita ka rikkemeeriku ülesandeid.

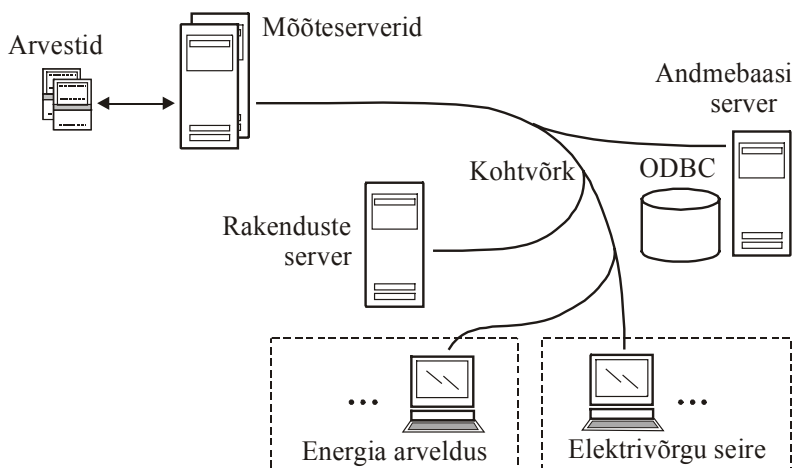
Koormusgraafikuid on hädavajalik tunda nii elektrivõrgu arendamise kui talitluse planeerimise seisukohalt. Ka väiketarbijate elektrituru tegevus põhineb koormuse tüüpgraafikutel. Koormusgraafikute koostamine kuulub nüüdisaegsete arvestite põhifunktsioonide hulka.

Koormusi juhitakse kas kaudselt dünaamiliste tariifide rakendamisega või ka otse. Madala ja kõrge tariifiga ajavahemike jooksev muutmine ei tekita kaugmõõtevõrgu olemasolul raskusi. Küll aga peab tarbija saama teavet ja olema võimeline muutma koormust näiteks akumuleeriva elekterkütte vahendusel. Elekterkütet ja näiteks saunakeriseid võib jaotusvõrgu dispetšer juhtida ka otse. Kaugmõõtevõrk annab selleks vajaliku sidekanali.

Elektrituru saab dünaamiliste tariifide ja tüüpkoormusgraafikute rakendamise kõrval toetada ka muul viisil. Vajadusel võib ostu-müügilepinguid muuta või ühekordselt elektrienergiat osta või müüa (elektribilansi üles- ja allareguleerimiseks), näiteks suurematele elektritarbijatele.

Kaugmõõtesüsteemi vahendusel saavad jaotuskliendid oma elektritarbimisest ammendava teabe. Võimalik on ka valve- ja muude teenuste osutamine jaotusvõrgu dispetšerite poolt. Selleks on aga vaja asjakohast **tarbijaterminali** (*Customer Terminal Unit, CTU*).

Multifunktsionaalsesse kaugmõõtesüsteemi (joonis 4.11) kuuluvad arvestite ja mõõteterminalide kõrval andmebaasi- ja rakendusserverid ning tööjaamad. Sama kohtvõrgu kaudu toimub nii energia arveldus, elektrituru tegevus kui ka elektrivõrgu talitluse seire ja juhtimine.

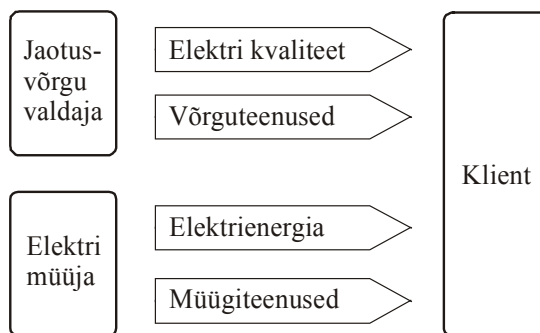


Joonis 4.11 Multifunktsionaalne kaugmõõtesüsteem

4.3.2 Elektri kvaliteedi seire

Elektrienergia otstarbekohane kasutamine sõltub elektri kvaliteedist. Elektri pinge ja sagedus peavad olema võimalikult lähedased nimiväärtusele, pinge peab olema siinuseline ja kolmefaasilises süsteemis sümmeetriline. Tegelikuses esineb tegureid, mis põhjustavad nende näitajate kõrvalekaldeid.

Praktiliselt kuulub elektri kvaliteedi (välja arvatud sagedus) kindlustamine jaotusvõrgu ülesannete hulka (joonis 4.12). Jaotusvõrk on kohustatud tagama eurostandardi EN 50160 (Eesti standardi EVS-EN 50160) kohase elektri kvaliteedi. Kõrvalekallete korral on jaotusvõrgu valdaja kohustatud välja selgitama kõrvalekallete põhjused ja tegema vajalikud parandused elektrivõrgus või nõudma muudatuste tegemist tarbijate juures, sest sageli on elektri halvas kvaliteedis süüdi tarbijad ise. Mõnel juhul on tarbijal õigus saada rahalist kompensatsiooni.



Joonis 4.12 Elektrivarustuse võrgu- ja müügiteenused

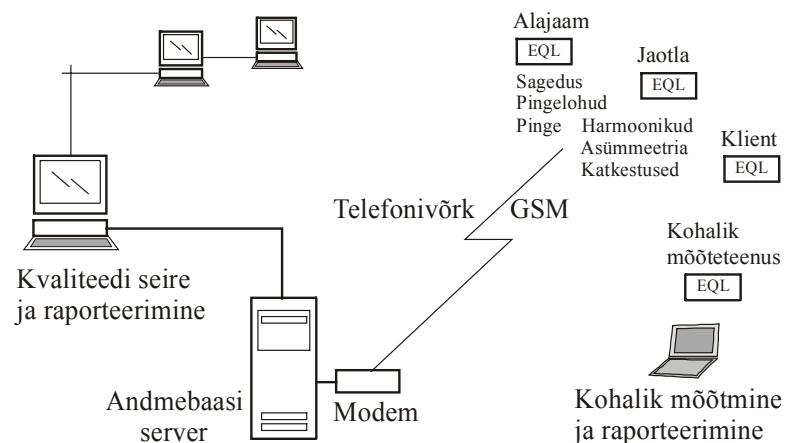
Traditsiooniliselt on elektri kvaliteedi üle otsustatud jaotusvõrgu talitluse mõõde- ja arvutustulemuste ning rikkestatistika alusel. Täpsem teave elektri kvaliteeti kohta saadakse mõõturitega, milleks võivad olla

- teisaldatavad mõõturid, kus samasse komplekti kuuluvad nii mõõde- kui

kuvamisseadmed

- analüsaatorid, mis mõõdavad kvaliteedinäitajaid ja edastavad need edasiseks käsitlemiseks (süle)arvutisse
- integreeritud mõõturid, kus kvaliteedinäitajate registreerimine on lisatud seadme (arvesti, fiidriterminal jt) muudele tegevustele.

Teisaldatavad mõõturid on ette nähtud üksikute kvaliteedihäirete põhjalikuks uurimiseks ja nende hind on suhteliselt kõrge. Kvaliteedi pidevaks jälgimiseks on otstarbekam kasutada integreeritud mõõtureid, sest sel juhul jagunevad kulutused mitme eesmärgi vahel.



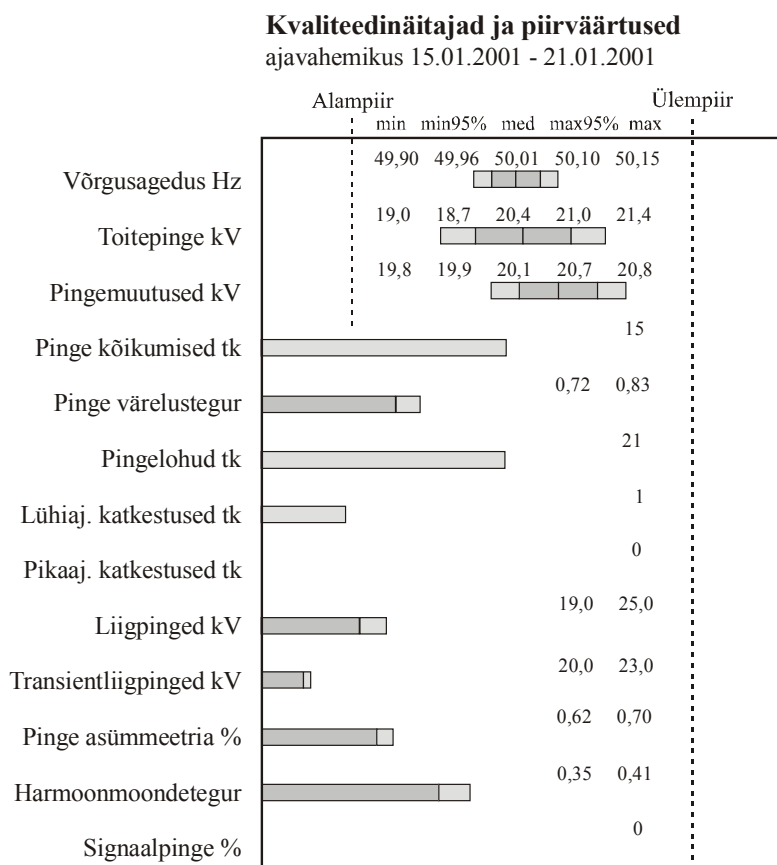
Joonis 4.13 Elektri kvaliteedi seiresüsteem

Selleks et õigel ajal avastada kõrvalekalded elektri kvaliteedis ja välja selgitada nende põhjused, läheb vaja seiresüsteemi. Joonisel 4.13 on kvaliteedi seiresüsteem, mis tugineb Soome firma *MX Electrix* poolt välja töötatud integreeritud mõõturil EQL (*Electricity Quality and Load*). Tegemist on mikroprotsessoripõhise multifunktsionaalse arvestiga, mis aktiiv- ja reaktiivvõimsuse kõrval registreerib ja salvestab töömäli veel pinget, voolu ja sageduse väärtust, pingemuutused, pingelohud ja väreluse, harmoonikud, pinget vastujärgnevus-, null- ja alaliskomponendi väärtused jm, samuti andmed toitekatkestuste kohta. Andmed edastatakse telefoni- või GSM-võrgu kaudu andmebaasiserverisse ja sealt kohtvõrgu abil tööjaamadesse, kus toimub kvaliteedi seire ja raportite koostamine. EQL-mõõtureid võib paigaldada ka ajutiselt, kusjuures andmeid loetakse teisaldatava sülearvuti abil.

Kvaliteedi seiresüsteemi ülesanne on

- koguda ja ühtlustada erinevate kvaliteedimõõturitega saadud andmed
- salvestada andmed nii, et neid oleks võimalik kasutada erinevatel eesmärkidel
- koostada kvaliteediraport, mis sobib nii tarbijatele ja projekteerijatele kui ka teistele asjast huvitatuile
- pakkuda tuge kvaliteedirikkumiste põhjuste väljaselgitamisel.

Seiresüsteemi efektiivsuse tagamiseks tuleb kiiresti käsitleda triviaalseid olukordi, et jääks aega keerukate juhtumitega tegelemiseks. Kvaliteedi kohta kurnud tarbijatele tuleb anda selge, automaatselt koostatud vastus. Selleks et saada kvaliteedinäitajate õigeid väärtusi, tuleb neid mõõta ettenähtud ajaintervalli jooksul ja seiret korraldada vajalikus ajavahemikus. Standardi EN 50160 kohased ajaintervallid ja -vahemikud on tabelis 4.2.



Joonis 4.14 Kvaliteediraport

Kvaliteediraportid esitatakse tabelite kujul või diagrammidena (joonis 4.14), kus on ära näidatud erinevate kvaliteedinäitajate registreeritud väärtused ja kõrvalekallete lubatud piirid. Kvaliteedi seiresüsteemi poolt mõõdetud kvaliteedinäitajad ja raportid on vajalikud elektritarbijatele ja jaotusvõrgu valdajatele. Sealt saavad teavet ka elektrivõrgu ja -seadmete projekteerijad ja ehitajad ning elektrivarustust jälgivad ametnikud.

Tabel 4.2 Standardi EN 50160 kohased ajaintervallid ja -vahemikud

Suurus	Intervall	Ajavahemik
Sagedus Hz	10 s	1 aasta
Pinge V	Pidev	
Pingemuutused V	10 min	1 nädal
Pinge kõikumine tk		1 päev
Pinge värelostegur	10 min	1 nädal
Pingelohud tk		1 aasta
Lühiajalised katkestused tk		1 aasta
Pikaajalised katkestused tk		1 aasta
Liigpinged kV		
Transientliigpinged kV		
Pinge asümmeetria %	10 min	1 nädal
Harmonmoondestegur	10 min	1 nädal
Signaalpinge %	3 s	1 päev