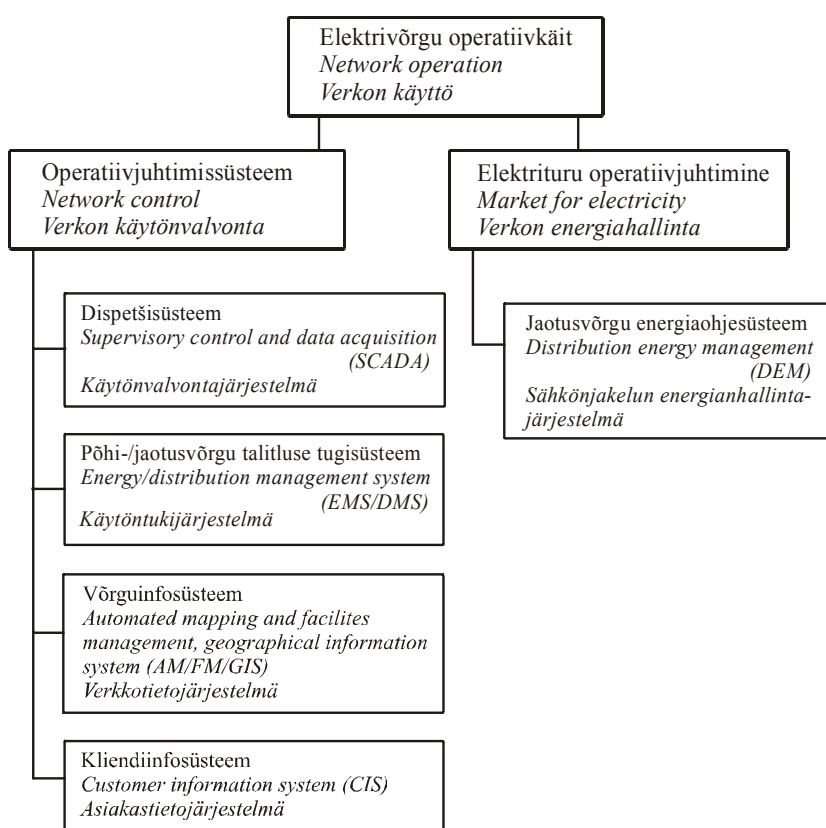


3 Operatiivjuhtimissüsteem

3.1 Operatiivjuhtimissüsteemi funktsioonid

Elektrisüsteemi operatiivjuhtimine on liigendatav elektrivõrkude ja -jaamade kaupa. Elektri- ja jaamade operatiivjuhtimist me lähemalt ei vaatle. Põhi- ja jaotusvõrgu operatiivjuhtimisel on palju ühist, seda eriti tehnilises, dispetšisüsteemi osas. Elektrisüsteemi kui terviku juhtimine, sealhulgas sidemete ülevõlgeldamine ühendussüsteemi raamides, on üks põhivõrgu operatiivjuhtimise ülesannetest.



Joonis 3.1 Elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteemi struktuur

Joonisel 3.1 on elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteemi struktuur ja sellega seotud mõisted. Toodud on ka nende inglisis- ja soomekeelsed vasted. Silmas on peetud, et osalemine vabal elektriturul vajab samuti pidevat jälgimist ja juhtimist. Ka ei piirdu operatiivjuhtimissüsteem ainult dispetšisüsteemiga (SCADA), mis, tõsi küll, on kogu operatiivjuhtimise kese.

3.1.1 Põhivõrgu operatiivjuhtimine

Elektrisüsteem on elektri tootmise, edastamise ja jaotamise tehniline süsteem, mille moodustavad enamasti ühe riigi territooriumil asuvad elektrijaamad, mida üksteisega, tarbijatega ja teiste riikide elektrisüsteemidega ühendab elektrivõrk koos juhtimis-, kaitse- ja sidesüsteemidega. Viimasel aastakümnel maailmas kujunenud trend, mis allutab traditsioonilised monopoolsed majandusharud (side-, gaasi-, elektri-, sooja-, veemajandus jms) vabaturu konkurentsile, jagab elektrisüsteemi konkurentsile alluvaks energiatootmiseks, vaba juurdepääsu kaudu konkurentsi toetavaks põhivõrguks ja loomuliku monopolina toimivateks jaotusvõrkudeks. Elektrisüsteemi energia akumuleerimise (elektrilao) puudumine sunnib elektrituru osapooli toimima ühtse süsteemina, mis peab vastama töökindluse ja optimaalsuse nõuetele ning tagama tarbijate katkematu varustamise kvaliteedinõuetele vastava elektrienergia. Elektrisüsteemi talitlust juhib põhivõrgu juhtimiskeskus, mis

- jälgib riigi elektrisüsteemi ühendatud elektrijaamade, põhivõrgu ja jaotusvõrgu koostööd, korraldab ja jälgib lülitamisi ning elektrisüsteemis tekkinud häirete ja rikete kõrvaldamist põhivõrgus
- koordineerib tehnilist koostööd riigi elektrisüsteemiga erinevatel tingimustel liitunud tarbijatega ja teiste riikide elektrisüsteemidega
- koordineerib elektrisüsteemi kaitse- ja automaatikasüsteemide tööd elektrijaamades ja -võrkudes ning põhivõrgust toidetavate tarbijate juures ja kooskõlastab kaitse- ning automaatikafunktsioone teiste elektrisüsteemidega
- tagab vaba elektrituru toimimise, kindlustades elektrienergia ülekande, tootmise ja tarbimise bilansi ning töökindluse (reservid).

Elektrivõrgu operatiivjuhtimine on eraldatud administratiivjuhtimisest ja moodustab iseseisva käsuliini, mis tegutseb ööpäevaringselt kõikidel nädalapäevadel. Süsteemi juhtimisega tegelev operatiivpersonal jaguneb juhtivaks ja alluvaks valvepersonaliks. Juhtiva valvepersonali hulka kuuluvad näiteks ühendsüsteemi, põhivõrgu ja võrguettevõtete valvedispetšerid ning elektrijaamade vahetusülemad (valveinsenerid). Alluva valvepersonali moodustavad elektrijaama elektritsehhi vahetusülem, energiaploki vahetusülem, elektrijaama valveelektrikud, alajaamade valvurid, operatiivbrigaadide liikmed, operatiiv-remondipersonal (remondipersonal, kellel on elektriseadmete teenindamise ja lülitamise õigus). Operatiivpersonali ametijuhendid ja juhtiva valvepersonali vastastikuste suhete lepingud määravad vahetuse juhtide tegevuspiirkonna, nende õigused, kohustused, käsuliini detailid ja kvalifikatsiooni. Vabaturul, kus näiteks remonditeenus võib ka osta, tuleb teeninduslepingu sõlmimisel arvestada operatiivkäidu nõudeid ja, vastupidi, pakutav remonditeenus võib mõjutada operatiivkäidu traditsioone.

Operatiivjuhtimise objektiks on elektrisüsteemi **talitlus**. Talitluse all mõistetakse ajas kulgevat protsessi – süsteemi **seisundite** ajalist järgnevust. Talitlust iseloomustavad seisundiparameetrid (pinge, pingektorite nurgad, võimsusvood, vool, koormused, genereerivad võimsused jne), mis muutuvad üleminekul ühest seisundist teise, s.t talitluse käigus. **Püsitalitluses** muutuvad seisundiparameetrid

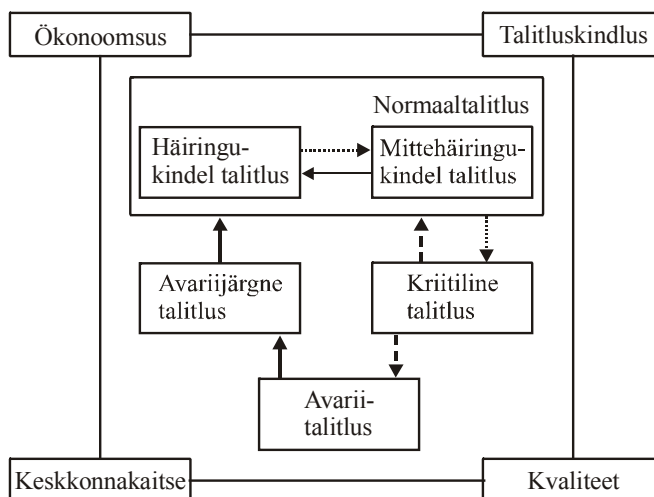
suhteliselt väikestes piirides ja küllaltki aeglaselt. Püsitalitlusesse kuuluvad normaal-, kriitilised ja avariijärgsed talitlused. Kuna püsitalitluses võib seisundiparameetrid suhteliselt pika aja jooksul lugeda küllaldase täpsusega konstantseks, siis räägitakse püsitalitluse analüüsi asemel sageli püsiseisundi analüüsist. **Siirdetalitlusi** iseloomustab parameetrite kiire muutumine suurtes piirides. Siirdetalitlustest pakuvad praktilist huvi avariitalitlused kui raskeimad. Avariitalitluste kestus on suhteliselt lühike. Elektrisüsteemi talitluse liike on kokkuvõtlikult kirjeldatud tabelis 3.1 ning illustreeritud joonisel 3.2, kus on ära näidatud ka talitluse juhtimise eesmärgid.

Tabel 3.1 Elektrisüsteemi talitluse liigid

Talitluse liik	Lühike iseloomustus	Juhtimise eesmärk
Normaaltalitus:	Kõik seisundiparameetrid muutuvad suhteliselt aeglaselt ja lubatud piires	Talitluse seire, optimeerimine, toite pidevuse tagamine
häiringukindel talitus	Häiringute puhul säilib normaaltalitus	Häiringukindluse säilitamine
mittehäiringukindel talitus	Häiringute puhul ei säili normaaltalitus	Häiringukindluse taastamine
Kriitiline (raskendatud) talitus	Seisundiparameetrid muutuvad suhteliselt aeglaselt, kuid üks või mitu neist on väljunud lubatud piiridest	Normaaltalitluse taastamine
Avariitalitus	Seisundiparameetrid muutuvad kiiresti suurtes piirides	Rikke lokaliseerimine, avarii laienemise vältimine, töotalitluse taastamine (automaatne)
Avariijärgne talitus	Osa tarbijaid võivad olla välja lülitatud, süsteemi töösse jäänud osa talitus on normaalne	Normaalse häiringukindla talitluse taastamine kogu süsteemi ulatuses

Põhilise aja töötab elektrisüsteem häiringukindlas normaaltalitluses, kusjuures täidetud on ka talitluse ökonoomsuse, elektrienergia kvaliteedi ja keskkonnakaitse nõuded. Normaaltalitus on elektrisüsteemi normaalskeemile ja käidueskirjadele vastav staatiliselt ja dünaamiliselt stabiilne talitus. Normaaltalitluses võib esineda ka tehnoloogilisi piiranguid ja energia kvaliteedinõuete rahuldavaid või mitterahuldavaid seisundeid. Tavaliselt määrab optimaalse talitluse operatiivkäidu abiteenistus mingi ajavahemiku jaoks ja dispetšerile antakse juhised selle hoidmiseks. Optimaalsuse kriteeriumiks on enamasti kadude, harvem ka käidukulude miinimum. Suurtes piirides muutuvate transiidivoogudega süsteemides, mis sisaldavad ka alalisvoolulülisid ja palju generaatoreid, on talitluse

optimeerimine eriti vajalik. Sellekohane tugi (optimeerimisprogramm) toimib reaalajas, teavitades dispetšerit hälvetest ja nende kõrvaldamise võimalustest.



-► üleminek väliste tegurite toimel
- -► üleminek releekaitse ja automaatika toimel
- üleminek operatiivpersonali toimel

Joonis 3.2 Elektrisüsteemi talitluse liigitus ja juhtimise eesmärgid

Dispetšeri käsutuses olevad normaaltalitluse juhtimise vahendid:

- generaatorite koormuse reguleerimine
- trafoastmete muutmine (pinge piki- ja põikreguleerimine)
- pingeregulaatorite sätete muutmine
- kondensaatorpatareide ja šuntreaktorite sisse- ja väljalülitamine
- sünkroonkompensaatorite käivitamine või seiskamine
- trafode paralleeltöösse lülitamine või reservi viimine
- koormuste ümberjagamine, ühtlustamine või juhtimine.

Kui talitus on väliste tegurite mõjul muutunud mitteoptimaalseks või väljunud lubatud piiridest, on dispetšeri ülesanne kõrvalekalded likvideerida, kindlustada tarbijad kvaliteedinõuetele vastava energiaga ja taastada talitluse optimaalsus. Dispetšer toimib suhteliselt aeglaste ja väikeste häirete korral, mis ei põhjusta releekaitse või süsteemiautomaatika rakendumist. Suurte ja kiirete muutuste mõju, näiteks reaktiivvõimsuse genereerimine ja kompenseerimine alalisvooluliini otstes või tõukelisest koormusest tekkivad pingekaod, kompenseeritakse türistorseadmetel põhineva automaatika abil.

Välised tegurid (äike, liinidesse tuule või lumega paindunud oksad, linnud, loomad, seadmete tõrked, inimtegevus jm) põhjustavad elektrivõrkudes avariitalitlusi, mida iseloomustab protsesside kiire kulg, seadmete ja inimeste võimalikud vigastused, elektrivarustuse häired ja oht talitluse stabiilsusele. Protsesside kiirus välistab enamasti inimese sekkumise võimaluse, mistõttu vajalikud lülitused teeb releekaitse ja süsteemiautomaatika. Elektrisüsteemi elementide suur hulk ja mitmekesisus tekitab erinevaid avariiolekordi. Töökindluse tagamise meetmete tõttu esineb suuri süsteemseid avarisiid harva, enamuse avariidest moodustavad kohaliku tähtsusega rikked. Statistika näitab, et umbes pooled releekaitse ja automaatika poolt elektrivõrkudes tehtud väljalülitamised on põhjustatud mööduvatest lühistest. Seetõttu on tarbijate toite kiire taastamise huvides otstarbekas kasutada automaatset taaslülitamist. Eduka taaslülituse korral sarnaneb dispetšeri tegevus normaaltalitluse juhtimisega, lisandub vaid rikke registreerimine, selle asukoha määramine ja releekaitse töö registreerimine. Kui rike on püsiva iseloomuga, pole normaaltalitluse taastamine võimalik ja süsteem läheb avariijärgsesse talitlusse.

Avariijärgses talitluses on dispetšeri ülesanne

- luua kättesaadava info põhjal üldine ettekujutus juhtunust
- mitte vahele segada automaatikaseadmete töösse, kui seda pole ette nähtud juhendis
- hoida ära avarii laienemine
- võimaluse piires välja selgitada rikke koht, iseloom ja ulatus ning dokumenteerida toimunu
- nii kiirelt kui võimalik likvideerida rike, kõrvaldada oht inimesele, loomadele ja seadmeile
- moodustada avariijärgne töökindel skeem
- pärast rikkis võrguelemendi remonti taastada tarbijatele elektrivarustuse normaalskeem.

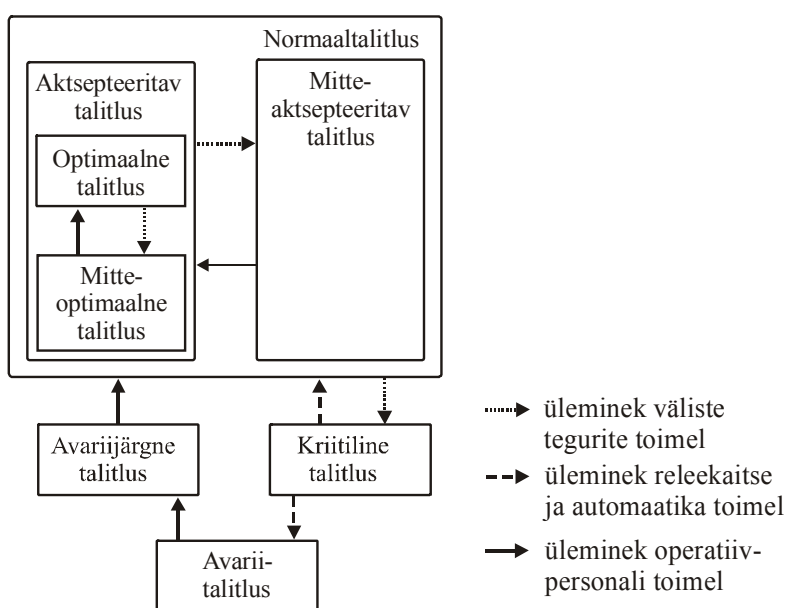
Eesmärk on vähendada avariist tingitud kahjusid nii võrguettevõttele kui ka tarbijatele.

Plaaniliste remontide kava koostatakse käidukorraldajate nõudeavalduste alusel igaks kuuks ja kooskõlastatakse vajadusel nii teiste võrkude kui ka tehnoloogilise käidu osakonnaga. Plaanivälised remondid toimuvad avariiliste nõudeavalduste alusel. Dispetšeri ülesanne on teha avalduses märgitud seadme remondiks vajalikud ümberlülitamised, rakendada remondi ajaks tööohutuse abinõud ning välja anda tööload. Tööde lõppedes taastab dispetšer elektrivarustuse normaalskeemi.

3.1.2 Jaotusvõrgu operatiivjuhtimine

Jaotusvõrk on madal- ja keskpingega radiaalvõrk. Võrguettevõtja, kellele jaotusvõrk kuulub, ülesanne on elektrijaamadest ja põhivõrgust ostetava elektrienergia jaotamine ja müümine tarbijatele ning elektrienergia edastamisega seotud muude teenuste osutamine. Jaotusvõrgu ja põhivõrgu (elektrisüsteemi) operatiivjuhtimise eesmärgid ja vahendid on tänapäeval sarnased. Jälgida tuleb

võrgu talitlust, koguda mõõte- ja olekuandmeid, pidada arvet sündmuste ja häirete kohta, juhtida lüliteid, trafoastmeid, muuta releekaitse sätteid jne. Arvutustehnika ja andmeside kalliduse tõttu hakkas jaotusvõrgu juhtimistehnika arenema tunduvalt hiljem kui põhivõrgu juhtimistehnika. Esialgu hakati automatiseerima üksikuid alajaamu, hiljem tuli päevakorda kaugmõõtmine ja kaugjuhtimine võrgus tervikuna. Elektri tarbija seisukohast on jaotusvõrgul ja selle juhtimisel otsustav tähtsus, kuna siin kujuneb lõplikult välja elektrienergia kvaliteet ja hind. Nii moodustavad elektri jaotamise kulud umbes 50% koguhinnast. Ka võib jaotusvõrgu juhtimisel ohjata elektrienergia tarbimist otse dünaamiliste tariifidega ja muude vahenditega.



Joonis 3.3 Jaotusvõrgu talitluse liigitus

Jaotusvõrgu talitlust võib nii nagu põhivõrgu talitlustki liigitada normaal- ja avariitalitluseks ning nende vahevormideks – kriitiliseks ja avariijärgseks talitluseks. Normaaltalitus, kus kõik tehnilised piirangud on rahuldatud, jaotakse põhivõrgu korral häiringukindlaks ja mittehäiringukindlaks. Jaotusvõrgu puhul on kõik normaaltalitlused sisuliselt mittehäiringukindlad, sest enamik suurematest häiringutest põhjustavad elektrikatkestuse. Seevastu jaotusvõrgus võib vaadelda aktsepteeritavaid ja mitteaktsepteeritavaid talitlusi (joonis 3.3). Mitteaktsepteeritavad on näiteks talitlused, kus releekaitse sätteid on ebasobivad. Selline olukord võib tekkida skeemimuutuste tõttu ja tulemuseks võib olla, et releekaitse ei reageeri lühisele. Ka ei õnnestu alati täpselt määratleda tehnilisi piiranguid, mistõttu näiliselt aktsepteeritavad talitlused võivad seda mitte olla. Näiteks kui keskpinge on küll lubatud piirides, võib juhtuda, et kadude tõttu madalpingevõrgus

on tarbija juures pingeline liiga madal. Aktsepteeritavaid talitlusi jaotatakse omakorda optimaalseteks ja mitteoptimaalseteks. Optimeerimine seisneb siin kadude minimeerimises, mis saavutatakse jaotusvõrgu konfiguratsiooni ja trafoastmete õige valikuga.

Jaotusvõrgu talitluse põhilised juhtimistegevused:

- võrgu talitluse jälgimine ja juhtimine
- avariide likvideerimine
- võrgu käit
- alajaamade kaugjuhtimine
- tarbimise ohjamine.

Võrgu talitluse seire seisneb võrguskeemi ja lülituste hetkeseisu kindlakstegemises ja jälgimises. Tähtis koht on võrgu seisundi (võimsuste jagunemise) arvutamisel. Kuna huvi pakuvad võimalikud tulevased seisundid, siis peab koormusi prognoosima. Vajalikud on ka arvutused talitluskindluse tagamiseks, kadude minimeerimiseks ning elektrienergia kvaliteedi tagamiseks. Jaotusvõrgu talitluse operatiivjuhtimine seisneb mõõteandmete ja -signaalide kogumises ja talletamises, juhtimisotsuste vastuvõtmises ja nende täideviimises muuhulgas seadmete kaugjuhtimisega. Operatiivjuhtimist toetavad infosüsteemid (andmebaasid) ja seadmed nagu kaugjuhitavad lahkülitid, arvutid, mikroprotsessoritel põhinevad andurid jm.

Elektrikatkestuste ja muude võrguhäiringute (rikete) käsitlemisel on esmatülesanne välja selgitada vea asukoht ja iseloom ning seejärel taastada tarbijate toide. Siin on operatiivpersonalile abiks dispetsisüsteem, mis sisaldab andmeid võrgu talitluse kohta ja ka teavet tõenäoste vigade tekkekohtadest ja vigade likvideerimise võimalustest. Häiringute käsitlemisel on probleem, kuidas automaatselt välja selgitada olulised sündmused dispetsisüsteemi kaudu saabuvate signaalide suurest hulgast. Vea asukoha määramiseks arvutatakse mõõteandmete alusel vea elektriline kaugus. Probleemiks on ühefaasilised maauhendused, kus weakoha takistus võib varieeruda suurtes piirides. Abiks on kaugloetavad rikkeindikaatorid, milleks on aga vaja sideliine. Kui vea asukoht on kindlaks tehtud (või seda oletatakse), tehakse elektritoite taastamiseks vajalikud lülitused lahkülitite abil, milleks on eriti efektiivsed kaugjuhitavad lahkülitid.

Jaotusvõrgu käit seisneb vajalikes lülitus- ja reguleerimistoimingutes. Eesmärk on optimeerida võrgu talitlust enneõike elektrikatkestuste ja võrgukadude minimeerimise teel. Vajalik on ka elektrienergia kvaliteedi kindlustamine pingereguleerimisega ja reaktiivvõimsuse kompenseerimisega. Võrgu lülitustega kaasneb releekaitse sätete muutmine. Operatiivpersonalile ülesandeks on ka põhiliste sündmuste ja mõõteandmete talletamine, mis tänapäeval toimub automaatselt, olles üheks dispetsisüsteemi põhifunktsioonidest.

Dispetsjuhtimise ülesannete hulka kuulub ka alajaamade kaugjuhtimine, mis seisneb võimsus- ja lahkülitite sisse- ja väljalülitamises ning trafoastmete ümberlülitamises. Kõik põhilised mõõteandmed ja signaalid saavad alguse alajaamadest.

Tänapäeval on andmehõivesüsteemi liidetud ka releekaitse, mis varem toimis iseseisvalt, ning muud infoallikad, näiteks kohalikud ilmajaamad. Alajaama automaatikaseadmed reguleerivad pinget, teevad kellajast sõltuvaid ümberlülitusi ning käsitlevad lokaalseid sündmusi.

Elektritarbimise ohjamise eesmärk on ühtlustada tarbimist (vähendada tippkoormust). Tarbimist võib ohjata (dünaamiliste) tariifide abil. Võimalik on ka tarbimise otsene juhtimine (elekterküte ja elektrikerised). Abiks on arvestite kauglugemissüsteem (*Automatic Meter Reading, AMR*), mis on muuhulgas vajalik vaba elektrituru korral.

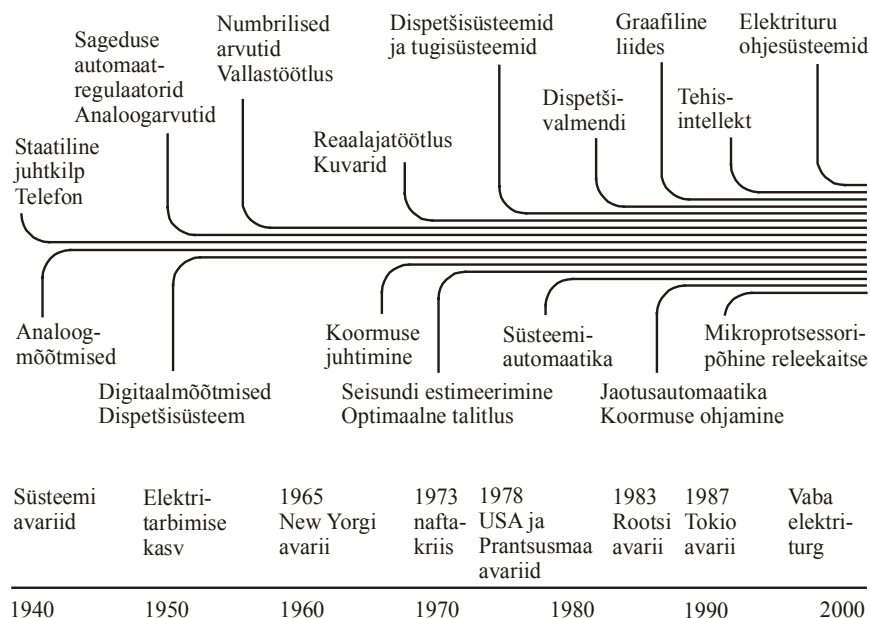
Operatiivkäidu struktuur ja funktsioonid sõltuvad võrguettevõttest. Nüüdisajal on võrguettevõtteid, kes ise operatiivkäitu ei korralda, vaid ostavad selle teenuse kas täielikult või osaliselt mõnelt operatiivkäidu korraldamisele spetsialiseerunud firmalt. Oluline on, et elektrisüsteemi iseärasused (oht inimesele ja loomadele, siirdeprotsesside kiirus, lühisvoolude termiline ja mehaaniline mõju seadmetele, liigpingete mõju seadmete isolatsioonile, aktiiv- ja reaktiivenergia bilansi säilitamine, piiriseisundite vältimine jm) eristavad terve rea ülesandeid ja protseduure, ilma milleta elektrivõrgu operatiivkäit pole mõeldav.

3.1.3 Operatiivjuhtimise ajalugu

Elektrisüsteemi operatiivjuhtimine algas koos elektrisüsteemide tekkega 1930. aastate lõpul. Esialgu asetsesid juhtimispunktid mõne suurema elektrijaama või alajaama ruumides. Dispetšerite käsutuses oli telefon ja staatiline juhtkilp, lisaks mõni analoogtehnikal põhinev kaugmõõtelin (joonis 3.4).

Juhtimissüsteemide areng toimus koos arvutus- ja sidetehnika täiustumisega. Omalt poolt mõjutasid operatiivjuhtimise arengut elektrivarustuse kiire kasv ja elektrisüsteemide laienemine ning teisalt suured süsteemivariid. Elektrivõrgu talitlusparameetrite kaugmõõtmise ja seadmete kaugjuhtimine algas analoogtehnikal abil. Ka püsi- ja siirdetalitluse arvutused toimusid aastaid alalis- ja vahelduvvoolulaudadega ja analoogarvutitega. Numbriliste arvutite rakendamine algas 50. aastatel. Esialgu kasutati neid andmete vallastõõtluseks talitluse planeerimisülesannete lahendamisel. Esimesed reaalajasüsteemid tekkisid 60. aastate lõpul, kusjuures põhiliseks kasutajaliideseks sai kuvar. Arenes ka andmeside, kus üleminek digitaaltehnikale lõi rohkesti uusi võimalusi. Tänapäeva operatiivjuhtimissüsteemid põhinevad kiiretoimelistel, suure mälumahuga tööjaamadatel ja serveritel. Lisaks on kasutusel rohkesti mikroprotsessoritel põhinevaid seadmeid ennekõike andmesides, kus andmevahetus toimub arvutite koht- ja laivõrkude kaudu. Traditsiooniline releekaitse on asendumas mikroprotsessoripõhiste kohtterminalidega, mis lisaks kaitsefunktsioonidele võivad täita ka automaatika ning andmehõive ja -edastuse ülesandeid. Arvutus- ja sidetehnika dramaatiline areng koos hinna alanemisega on teinud võimalikuks nüüdisaegsete dispetšisüsteemide rakendamise ka jaotusvõrkudes. Veelgi enam,

jaotusvõrkude keerukuse ja hajutatuse tõttu toimub dispetšisüsteemide tehniline areng viimasel ajal just selles valdkonnas.



Joonis 3.4 Operatiivjuhtimissüsteemide areng

Tehniliste vahendite arengu kõrval on täiustunud ka elektrisüsteemide juhtimise meetodid. Kui esialgu arvutati vaid elektrivõrgu püsitalitust ja lühisvoole ning kontrolliti elektrisüsteemi stabiilsust, siis juba analoogtehnika ajal hakati lahendama ka optimaalse koormusjaotuse ja sageduse reguleerimise ülesandeid. Numbriliste arvutite kasutuselevõtt võimaldas talitluse estimateerimise, püsiseisundi optimeerimise, talitluskindluse analüüsi ja muude teooriate väljaarendamist, mida tänapäeval tuntakse talitluse tugisüsteemina (EMS). Luuakse dispetšivalmendid (trenadžöörid), kus imiteeritakse võimalikke normaal- ja avariilukordi elektrisüsteemis. 90. aastatel lisandusid tehisintellekti rakendused ekspertsüsteemide ja neurovõrkude kujul. Viimasel ajal on peatähelepanu pööratud vaba elektrituru kujunemisega üleskerkinud ülesannete lahendamisele.

3.2 Elektrivõrgu dispetšisüsteem

Operatiivjuhtimissüsteemi keskne osa on **dispetšisüsteem** (*SCADA*), mille vahendusel saab operatiivpersonal teavet elektrivõrgu jooksva seisundi kohta ja edastab juhtimiskorraldused. Jaotusvõrgu operatiivjuhtimist tuntakse ka automatiseerimise (*Distribution Automation, DA*) nime all, mille juurde kuuluvad veel toiteliinide automatiseerimine (*Feeder Automation, FA*), talitluse tugisüsteem (*DMS*), koormuse ohjesüsteem (*Load Management System, LMS*) jm.

3.2.1 Dispetšisüsteemi struktuur

Dispetšisüsteem on hajus, heterogeenne süsteem, mille tasanditeks on

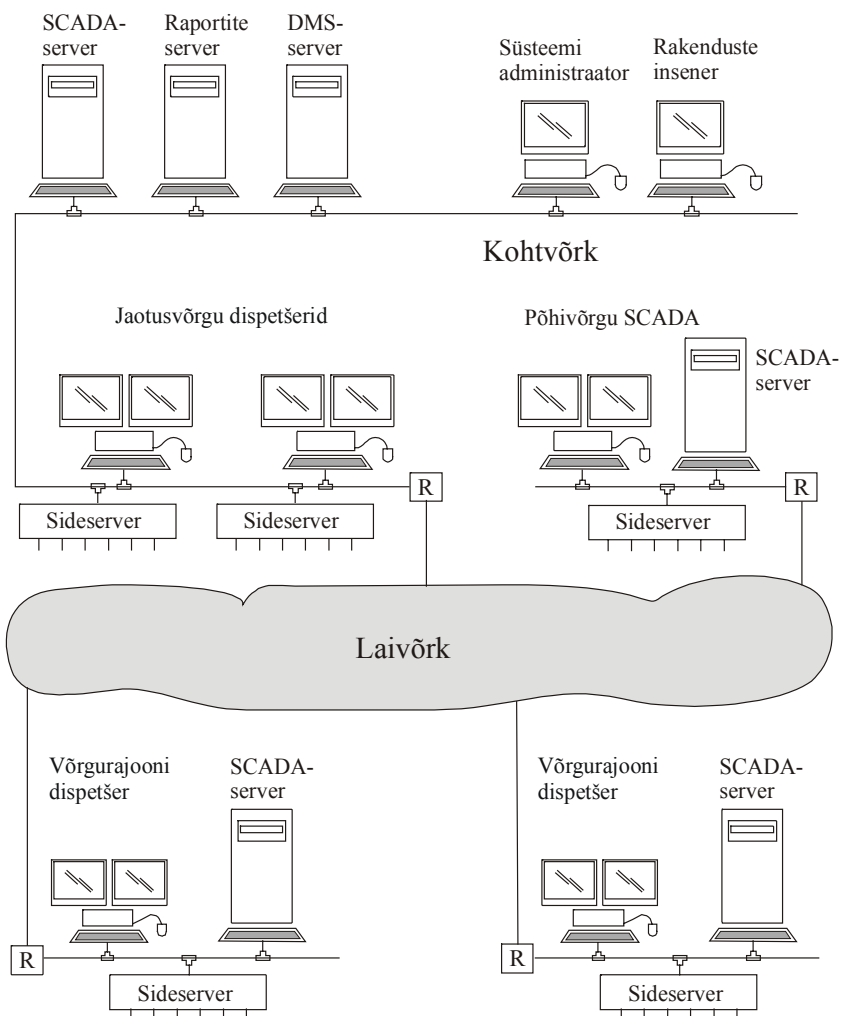
- kohtsüsteemid
- andmeedastussüsteemid
- kesksüsteemid.

Kohtsüsteemides, mille seadmed paiknevad alajaamades ning muudes elektrivõrgu lülitus- ja jaotuspunktides, toimub andmehõive ja täidetakse juhtkorraldused. Mõõteanduritest saabuval signaalid teisendatakse siin edastamiseks sobivale (digitaalsele) kujule, töödeldakse ja salvestatakse. Vajaliku info edastatakse kõrgemale juhtimistasemele sobivas mahus ja vajalikul ajamomendil. Seadet, mis infot edastamiseks ette valmistab, nimetatakse **kaugterminaliks** (*Remote Terminal Unit, RTU*), jaotusvõrkude lülituspunktides paiknevaid seadmeid ka **jaotusterminalideks** (*Distribution Terminal Unit, DTU*). Kaugterminal vahendab ka kõrgemalt tasemelt tulevaid juhtkorraldusi, milleks on näiteks lülitite sisse- ja väljalülitamise käsud. Kaugjuhitavad on nüüdisaegsete releekaitse- ja automaatikaseadmete sätteid, eriti kui tegemist on mikroprotsessoritel põhinevate **kohtterminalidega** (*Intelligent Electronic Device, IED*), mis ühendavad endas nii releekaitse, automaatika kui ka andmehõive funktsioone.

Andmeedastuseks on vaja sidesüsteemi. Kuna elektrivõrgud paiknevad ulatuslikul territooriumil ja edastatavad andmehulgad võivad graafiliselt esitatud andmete (skeemid, kaardid) korral olla suured, on probleemiks sideliinide läbilaskevõime. Kuigi fiiberoptilised kaablid tagavad nii vajaliku läbilaskevõime kui ka suure häirekindluse, ei ole need veel piisavalt levinud. Teine probleem on, kuidas eri aegadel toodetud erinevate ettevõtete sideaparatuuri kokku sobitada. Alles viimasel ajal on hakatud andmevahetust korraldavaid sideprotokolle standardiseerima. Kuna andmeside ühendab ennekõike arvuteid, räägitakse arvutivõrkudest, mille levinud vormid on kohtvõrk ja laivõrk.

Kesksüsteemi moodustab juhtimiskeskuses (dispetšipunktis) paiknev riist- ja tarkvara, mis võimaldab elektrivõrgu juhtimiseks vajalikke andmeid säilitada ja töödelda ning operatiivpersonalile sobivas vormis edastada. Jooksval andmed esitatakse ennekõike graafiliselt skeemide ja diagrammide näol. Tähtsal kohal on sündmuste, eriti alarmide haldamine. Kesksüsteemist lähtuvad ka juhtkorraldused lülititele ning releekaitse- ja automaatikaseadmetele.

Joonisel 3.5 on jaotusvõrgu hajusa dispetšisüsteemi struktuur. Andmed suubuvad kohtsüsteemidest (alajaamadest) kohalike sideliinide kaudu sideserveritesse, kust need suunatakse SCADA-serverisse. Vastassuunas edastatakse lülitite ja muude seadmete juhtimiskorraldused. Andmete pikaajaline säilitamine juba töödeldud kujul toimub raportite ja muudes serverites. Laivõrgu abil ühendatakse jaotusvõrgu juhtimiskeskus nii võrgurajoonide dispetšipunktidega kui ka põhivõrgu dispetšisüsteemiga. Koht- ja laivõrkude ühenduslüliina toimib ruuter R.



Joonis 3.5 Dispetšisüsteemi struktuur

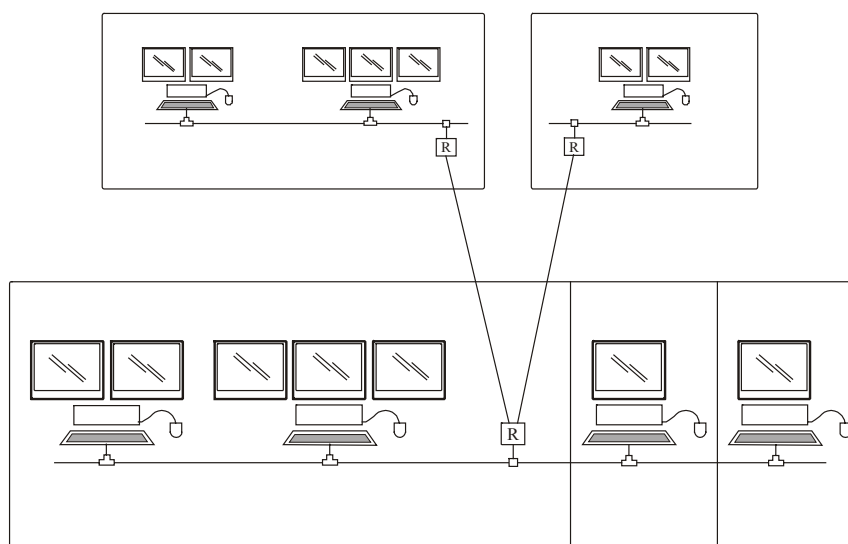
Dispetšisüsteemi struktuuri iseloomustavad tänapäeval järgmised märksõnad:

- avatus
- objektipõhisus
- hajutatud
- töökindlus.

Süsteemi avatus ning standardsed liidesed muude süsteemidega tagavad sõltumatu riistvara tarnijatest. Ära võib kasutada olemasolevat riistvara ning süsteemi vabalt laiendada. Avatud süsteemid ja standardsed kasutajaliidesed võimaldavad süsteemi arendada sõltumata konkreetsest tarnijast. Üks nüüdisaegne suundumus on

veebipõhine andmeside ja andmete käsitlemine Interneti tarkvara baasil. See tagab dispetšisüsteemi uuendamise võimaluse koos globaalse infotehnoloogia arenemisega.

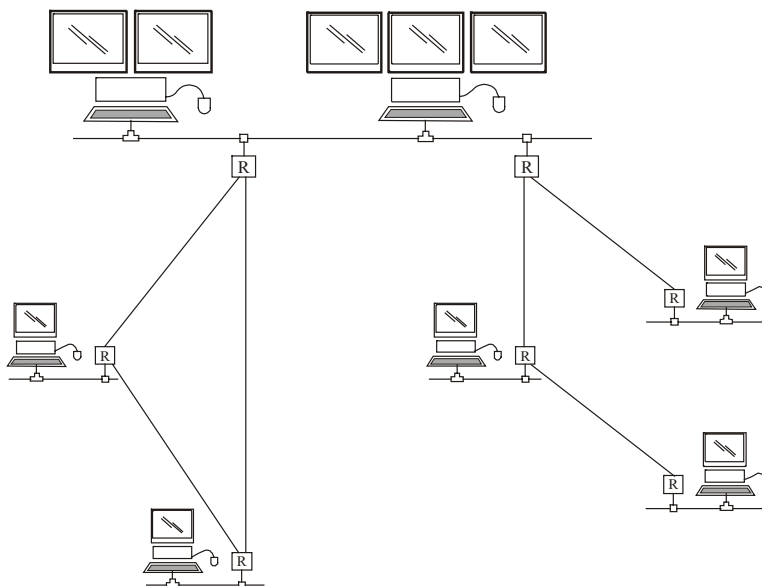
Objektipõhisus võimaldab süsteemi lihtsalt hooldada ja laiendada. Objektipõhisus laieneb lisaks traditsioonilisele objektorienteeritud programmeerimisele ka andmebaasidele, mis on jaotatud objektikohasteks plokkideks.



Joonis 3.6 Dispetšisüsteemi horisontaalhajutatatus

Horisontaalhajutatatus (joonis 3.6) tähendab, et tööjaamu võib paigutada soovitud kohta – kohtvõrgu abil sama hoone erinevatesse ruumidesse või maksimaalselt 2 km kaugusele, laivõrgu vahendusel sadade kilomeetrite kaugusele üksteisest. Protsessi ei pruugi jälgida dispetšikeskusest, vaid seda võib teha ka mis tahes töökohast isikliku tööjaama või kantava tööjaama abil. Tööjaamad töötavad teineteisest sõltumatult. Kui ühe töö on häiritud, võib protsessi jälgida teistest jaamadest. Protsessiandmed saab hajutada mitmesse serverisse, mis funktsioneerivad ka kui tööjaamad. Sideserverid paigutatakse sinna, kuhu suubuvad sideliinid.

Vertikaalhajutatuse abil suunatakse funktsioone kas tööjaamadesse või piirkondlikesse dispetšikeskustesse (joonis 3.7). Piirkondliku keskuse terminali töökoht on tehniliselt võrdväärne dispetšikeskuse töökohaga. Kogu protsessi võib jälgida suvalisest tööjaamast, sõltumata selle asukohast. Töökohtade õigusi saab piirata või, vastupidi, vajaduse korral juhtida mingi piirkonna elektrivõrku teise piirkonna juhtimiskeskusest. Õigusi võib määrata nii piirkondade kui ka töörühmade ja isikute kohaselt.



Joonis 3.7 Dispetšisüsteemi vertikaalhajutatus

Süsteemi töökindluse tagab juba tema hajutatus. Lisaks riistvarale võib hajutada ka andmebaasi. Mingi serveri rikke korral säilitab ülejäänud süsteem töövõime. Andmeside häiringute korral jätkavad tööd lokaalsed kesksüsteemid (madalama taseme juhtimiskeskused). Töökindlust lisab süsteemi komponentide varundamine (dubleerimine). Varundada võib dispetšisüsteemi kõikidel tasanditel. Dubleeritakse kaugterminale, sideservereid, dispetšisüsteemi servereid ja tööjaamu. Dispetšisüsteemi tagavaraserver uuendab seejuures protsessiandmeid samal viisil kui põhiserver. Põhiserveri rikke korral võtab tagavaraserver funktsioonid üle andmetöötlusprotsessi katkestamata. Andmesidet võib korraldada erinevat tüüpi sidekanalite kaudu. Tööjaamade ja serverite töökindlust lisab nende kõvaketta varundamine, muuhulgas peegeldamine, mis tähendab, et sama info salvestatakse kahele kõvaketale.

3.2.2 Dispetšisüsteemi funktsioonid

Dispetšisüsteemi põhifunktsioonideks on mõõteandmete ja signaalide kogumine ning säilitamine ja juhtkorralduste edastamine ettenähtud seadmetele. Oluline on tagada ka seire- ja juhtimistegevus ning luua operatiivpersonalile sobiv kasutajaliides.

Mõõteandmed ja signaalid lähtuvad tavaliselt alajaamades paiknevatest kaugterminalidest ja edastatakse sidevõrgu kaudu juhtimiskeskuste sideserveritesse, kus andmed valmistatakse ette (mastabeeritakse, dekrüpteeritakse jne) nende käsitle-

miseks SCADA-serveris. Andmeid kogutakse enamasti ülem-alluv-süsteemi kohaselt, kus ülema rollis olev sideterminaal küsitseb kaugterminale regulaarselt perioodiga 10 s ja enam. Edastatakse kas kõigi suuruste väärtused või valikuliselt vaid need suurused, mille väärtused on viimase tsükli jooksul muutunud. Valikulisel edastamisel koormatakse sidekanaleid tunduvalt vähem, seda aga andmehõive töökindluse arvel. Võimalik on, et alluv edastab andmeid spontaanselt, kui tegemist on eriti olulise teabega. Andmekogumise viis määratakse vastavalt vajadusele ja realiseeritakse sideprotokollide kaudu.

Andmed töödeldakse ja salvestatakse SCADA-serveris. Seal toimub

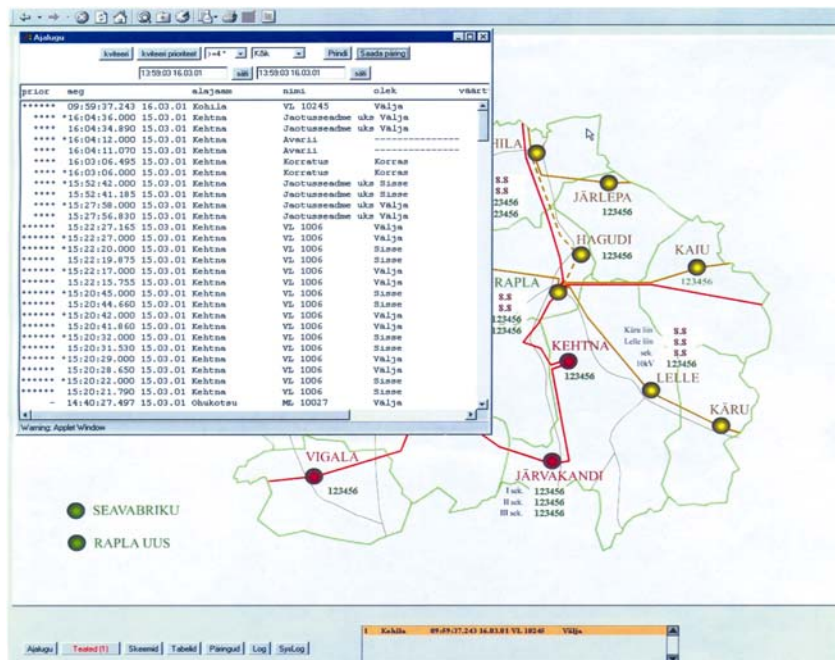
- mõõteandmete ja signaalide salvestamine ja jälgimiseks ettevalmistamine
- sündmuste registreerimine ja salvestamine; sündmusteks on
 - signaalide muutused
 - juhtimiskorraldused
 - mõõtmiste lubatud piiridest väljumine ja naasmine
- alarmide (oluliste sündmuste) jälgimine; alarme on võimalik selekteerida prioriteetide ja gruppide järgi
- juhtimiskorralduste moodustamine
- sündmuse põhjustanud mõõtmise või signaali asukoha lokaliseerimine
- mõõteandmete salvestamine ja ettevalmistamine tabelite ja graafikute kujul
- lülituste aruande koostamine ja operatiivpäeviku pidamine
- salvestatud sündmuste ja mõõteandmete siirdamine tekstifailidesse, kust neid on võimalik lugeda muu tarkvaraga (*Word, Excel*)
- arhiveerimine
- aruandlus (töövahendiks *Excel* jm)
- rikkekoha lokaliseerimine
- võrgutopoloogia määramine
- valvehoolduse tugi kaasaskantava arvuti abil või GSM-teksti vahendusel.

Kogu kasutajaliides põhineb *Windows*'i või *Unix*'i aknatehnikal. Ekraanil võib avada mitu akent. Tööjaama kuvaril saab avada pilte, saata pilte ühelt kuvarilt teisele ja avada ühte pilti mitmel kuvaril, näiteks skeem või trendikõver võib jätkuda ühelt kuvarilt teisele. Põhilised kuvatavad objektid, mille vahendusel toimub elektrivõrgu juhtimine, on järgmised:

- elektrivõrgu ja alajaamade elektriskeemid
- alarmiteated
- sündmuste loendid
- mõõteandmete tabelid
- trendikõverad
- juhtimiskorralduste moodustamise vahendid.

Elektrivõrgu skeem on põhimõtteline või tugineb geograafilisele kaardile. Kaardi alusel koostatud skeemid sobivad eriti jaotusvõrkude juhtimisel, kui on vaja määrata liinide ja muude objektide asukohta näiteks remondibrigaadi vajadusteks. Võrgu talitlust on mugavam jälgida põhimõtteskeemilt. Pildil näidatakse lisaks

alusskeemile ära talitluse seisund, mõõtmistulemused ja toimunud muudatused, näiteks lülitite asendid. Objekte võib ekraanil vähendada või suurendada, muuta nende värvust ja kuju, tuua need esile või peita sõltuvalt näiteks mõnest talitluse mõõteväärtusest. Kogu pilti saab suurendada või vähendada (suumida), seada vastavusse andmebaasiplokkidega jne. Nii on graafiliselt võimalik esitada mõõteväärtusi, piirväärtusi, objektide nimesid jne. Joonisel 3.8 on näitena esitatud võrguskeem koos sündmuste loendiga firma MARTEM dispetsisüsteemist TELEM.



Joonis 3.8 Dispetšisüsteemi kasutajaliidese kuva

Aruandeid, ekraanipilte ning sündmuste ja häirete loendeid saab välja printida. Printimine toimub automaatselt või soovi kohaselt.

Juhtimiskorralduste moodustamise vahendid võimaldavad juhitava objekti valiku kõrval ka selle olekut kontrollida ja tagavad töökindluse. Variandid: juhtimise võimalikkust kontrollitakse enne täitmist, juhtkorraldus täidetakse pärast kontrollimist, juhtkorraldus täidetakse kohe ja juhtimisest loobutakse pärast selle võimalikkuse kontrolli. Võimalik on määrata viide juhtimise sooritamiseks ja juhtimise tulemuslikkusest teatamine. Sätete korral eristatakse digitaal- ja analoogsuursusi, millele saab määrata läviväärtusi. Juhtida võib ka jadaskeemi kohaselt, kus ühe korralduse alusel tehakse kohtsüsteemis mitu operatsiooni. Näiteks trafo remontimiseks tuleb esmalt välja lülitada madalama pinge poole võimsuslülitid ja seejärel kõrgema pingepoolne lülitid. Siis lülitatakse välja lahkülitid, kontrollitakse pingepuudumist ning lülitatakse sisse maanduslülitid. Edasi lülitatakse välja sekundaar-

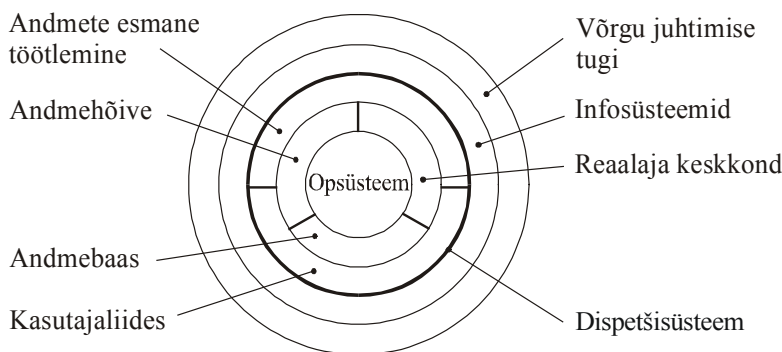
ahelad (releekaitse). Kõike seda tehakse ühe juhtkorraldusega, mis realiseeritakse varem ettevalmistatud lülitusprogrammi kohaselt.

Arvuti kõvakettale salvestatud informatsiooni võib salvestada välisele kõvakettale või lintsalvestisse varukoopia ja arhiivi moodustamiseks. Tulemuseks on trendiarhiiv, aruandearhiiv, sündmuste arhiiv jm. Salvestatakse kas automaatselt või käsitsi.

Juhtimissüsteemi järelevalvet teeb järelevalveprogramm, mis jälgib kõiki võrgu tööjaamu ja annab alarmi, kui mõni tööjaam ei saa ühendust SCADA-serveriga. Sideserver valvab terminali side kulgu. Akendes näidatakse sidekanalite seisukorda, muuhulgas saadetud ja vastuvõetud teadete arvu, teistkordsete pöördumiste arvu jm.

3.3 Operatiivjuhtimise riist- ja tarkvara

Elektrivõrgu operatiivjuhtimine tugineb nüüdisaegsele arvutus- ja sidetehnikale. Kasutusel on nii üldlevinud personaalarvutid kui suuremate võimalustega tööjaamad ja serverid. Operatiivjuhtimise tarkvara toetub reaalajatoöks sobivale operatsioonisüsteemile (*Unix, Windows NT* jt), mis loob rakendusprogrammidele vajaliku käidukeskkonna. Juhtimise rakendusprogramme võib vaadelda mitmes tasandis (joonis 3.9). Kuna kogu juhtimine põhineb reaalajas toimival andmehõivel, siis on esmavajaduseks reaalajatoõ organiseerimine andmete kogumiseks ja salvestamiseks. Järgneb andmete esmane töötlemine, mis teeb võimalikuks nende sihipärase kasutamise ja kasutajaliidesega (*Man-Machine Interface, MMI*) seotud tegevused. Vaja on ka lülitite ja muude seadmete kaugjuhtimise vahendeid. Sellega lõpevad dispetsisüsteemi otsesed funktsioonid.



Joonis 3.9 Operatiivjuhtimise tarkvara struktuur

Elektrivõrgu talitluse analüüsimiseks ning selle talitluskindluse, ökonoomsuse ja elektrienergia kvaliteedi tagamiseks vajalikud keerukad programmid ei kuulu otseselt dispetsisüsteemi koosseisu. Sellised ülesanded kuuluvad põhivõrgu talitluse tugisüsteemi (*EMS*) või jaotusvõrgu talitluse tugisüsteemi (*DMS*). Arvutusteks

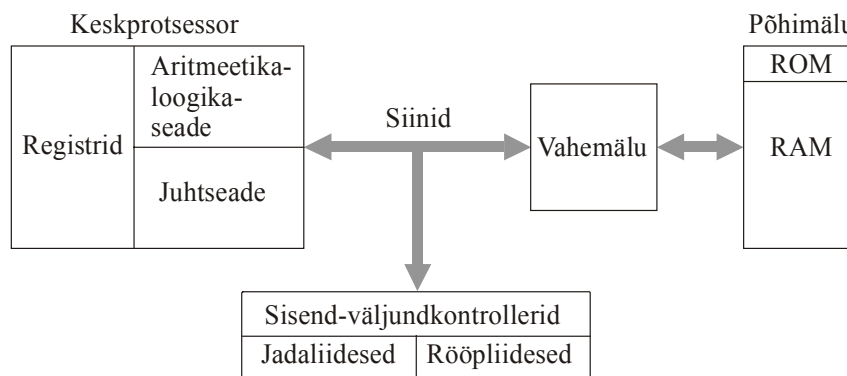
vajalikud jooksvad (dünaamilised) andmed hangib dispetsisüsteem. Staatilisi andmeid saab infosüsteemidest, mille all mõeldakse andmebaase koos rakendusprogrammidega. Ennekõike on vajalikud võrguinfosüsteem, geinfosüsteem ja kliendiinfosüsteem. Kirjeldatud tarkvaraga käsitletakse andmeid elektrivõrgu juhtimispunktides. Omaette tarkvara kasutavad seadmed, mis tegelevad andme- hõivega, andmesidega ning kohaliku juhtimisega.

3.3.1 Tööjaamad ja serverid

Elektrivõrgu operatiivjuhtimise põhilise riistvara moodustavad andmehõive- ja -edastusseadmete kõrval arvutid. Arvutihierarhias tuntud arvutitüübid:

- sülearvuti (*laptop*) – kaasaskantav väikearvuti
- personaalarvuti (*personal computer, PC*) või lauaarvuti (*desktop*) – mikroarvuti universaalse töökohaarvutina
- tööjaam (*workstation*) – miniarvuti suurte andmemassiivide kiireks töötlemiseks (näiteks graafiline tööjaam)
- server (*server*) – tööjaamast tunduvalt suurema töökiiruse ja mälumahuga miniarvuti
- suurarvuti (*mainframe*) – võimas arvuti suuretegevõtetele või teadusliku uurimistöö tarbeks.

Suurarvutid välja arvatud, kasutatakse neid arvutitüüpe, eriti aga tööjaamu ja servereid, ka elektrivõrkude operatiivjuhtimisel.



Joonis 3.10 Keskseadme skeem

Kõik tänapäeva arvutid järgivad John von Neumanni aastatel 1945–1947 välja-töötatud printsiipe:

- andmete kujutamiseks arvutis kasutatakse kahendsüsteemi
- nii programm (käsud) kui ka töödeldavad andmed paiknevad ühtses mälus ja salvestamise seisukohalt pole neil mingit vahet
- käskudega võib teha aritmeetilisi tehteid nagu arvudega.

Arvuti põhiosa on **keskseade** (*Central Processing Unit, CPU*), mis omakorda on ühendatud välismäludega ja sisend-väljundseadmetega (joonis 3.10). Personaalarvutites paikneb ta harilikult ühel trükiplaadil, mida nimetatakse emaplaadiks. Keskseade sisaldab keskprotsessori, muutmälu ja püsिमälu. Andmeimpulssi edastatakse arvutisõlmede vahel siinide abil. Keskseade suhtleb välisseadmetega jada- ja rööpliideste ning neid juhtivate sisend-väljundkontrollerite vahendusel.

Keskprotsessor sisaldab aritmeetika-loogikaseadet, juhtseadet ja registreid, kus hoitakse andmeid ja käske nende täitmise ajal. Aritmeetika-loogikaseade võimaldab täita lihtsamaid aritmeetilisi ja loogilisi funktsioone nagu liitmist, lahutamist, nihutamist, loogilist korrutamist jne. Juhtseade koordineerib aritmeetika-loogikaseadme ja registreite tööd arvutikäskude täitmisel. Esmalt loetakse käsk mälust, paigutatakse käsuregistrisse ja dešifreeritakse. Siin eraldatakse operatsiooni kood, andmete asukoht (aadressid) mälus, tehte tulemi asukoht ja järgmisena täidetava käsu asukoht. Seejärel käsk täidetakse ja algab järgmise käsu lugemine ja töötlemine. Kiirus, millega juhtseade ja teised keskprotsessori osad käske ja andmeid töötlevad on määratud arvuti taktsagedusega, mis tänapäeval võib ulatuda 1 GHz ja enam. Lihtsamad käsud täidetakse ühe takti jooksul, keerukamatele kulub kümneid takte. Protsessori tegelik jõudlus sõltub ka teistest teguritest, eriti mälu töö kiirusest. Praktiliselt hinnatakse protsessori keskmist jõudlust ühikuga MIPS (*Millions of Instructions per Second*), mis nüüdisaegsetel arvutitel võib olla 100 ja enam.

Mäluseadme põhiosa on **muutmälu** (*Random Access Memory, RAM*), kus säilitatakse ülesande lahendamiseks vajalik programm (käsud), andmed ning arvutusprotsessi vahetulemused. Selles mälus on võimalik nii lugemine kui salvestamine. Seevastu **püsिमälu** (*Read Only Memory, ROM*) ainsaks tööoperatsiooniks on lugemine. Andmete sisestamine sinna toimub kas mäluseadme valmistamise käigus või lisaseadmete abil. Püsिमälu kasutatakse fikseeritud programmide salvestamiseks, mis ei hävi arvuti väljalülitamisel. Tuntuimaks neist on BIOS (*Basic Input/Output System*), kus säilitatakse arvuti neid programme, mis juhivad arvuti algkäivitust ja tema peamisi sisend-väljundoperatsioone. Protsessori töökiiruse suurendamiseks kasutatakse **vahemälu** (ka peitmälu, *cache*). Vahemälu töökiirus on tunduvalt suurem kui põhimälul, mälumaht aga väiksem. Vahemällu kantakse korrara terve põhimälu piirkond. Kuna protsessor opereerib korduvalt käskude ja andmetega, mis paiknevad põhimälu ühes piirkonnas, saavutatakse oluline töökiiruse tõus, sest vajalikud käsud ja andmed leitakse kiirest vahemälust. Kui see nii ei ole, pöörduakse põhimälu poole ja kantakse vahemällu teave mõnest teisest piirkonnast.

Kuna põhimälu on suhteliselt piiratud ja arvuti väljalülitamisel lähevad seal olevad andmed kaduma, säilitatakse andmeid **välismälus**. Välismäluseadmed on

- disketid
- kõvakettad
- optilised kompaktkettad

- magnetlindid.

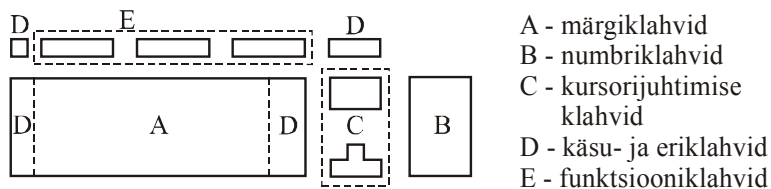
Tänapäeval on levinud 3½-tollised **disketid** (*floppy disk*), kuhu võib salvestada 1,4 MB andmeid. Erinevalt kergesti vahetatavast ja transporditavast disketist on **kõvaketas** kettaseadmega jäigalt seotud. Kuna kõvaketta maht (10 GB ja enam) ning töökiirus on suur, kasutatakse teda andmete töötlemisel põhimälu laiendusena. Kui selline laiendamine toimub automaatselt operatsioonisüsteemi toimetel, räägitakse arvuti **virtuaalmälust** (3.3.2). Viimasel ajal on ilmunud kõvakettatüüpi vahetatavad ketasmälud, mis meenutavad diskette. Nende maht küünib 640 MB. Outilised **kompaktkettad** (*Compact Disk, CD*) sarnanevad muusika salvestamiseks mõeldud laserplaatidega, mille lugemiseks kasutatakse laserikiirt. Kompaktketta maht on tavaliselt 700 MB piires, kuid kasutusel on ka mitme lisakihiga kompaktkettad (*Digital Versatile Disk, DVD*), mille maht on 20 GB järgus. Kompaktkettad on kergesti vahetatavad ja transporditavad. Tarkvara ja muu teabe levitamiseks mõeldud kompaktkettad on ainult lugemiseks (*Compact Disk Read-Only Memory, CD-ROM*). Kompaktkettatoorikutele võib olenevalt ehitusest kirjutada kas korra (*CD-R*) või korduvalt (*CD-RW*). Väga suurte andmehulkade talletamiseks kasutatakse mitmesuguseid lindiseadmeid mahuga kuni 100 GB.

Tööjaama võib vaadelda kahes tähenduses.

- Kliendi lauaarvuti kohtvõrgus, milles töötavad rakendusprogrammid ja mida teenindab server (Internet, intranet, e-mail jne). Arvuti toimib siin kui koht võrgule juurdepääsuks.
- Spetsiaalselt mingi valdkonna ülesannete (digitaalseadmete projekteerimine, arhitektuur, tehniline joonestamine jms) lahendamiseks kavandatud suure jõudlusega arvuti, millel on kiire ja võimas protsessor, mahukas mälu ning monitoril eriti hea resolutsioon (näiteks firmade *Sun Microsystems* või *NeXT* tööjaamad). Spetsialiseeritud tööjaamad on tunduvalt kallimad laiatarbearvutitest ja kasutavad sageli *Unix*'i (viimasel ajal ka *Linux*'i) operatsioonisüsteemi. Arvutustehnika kiire arengu tõttu hakkab piir spetsialiseeritud tööjaamade ja laiatarbearvutite vahelt kaduma.

Dispetšisüsteemid on traditsiooniliselt tuginenud *Unix*-põhistele tööjaamadele. Viimastel aastatel on märgata üleminekut operatsioonisüsteemile *Windows* muuhulgas nii, et serveriks on endiselt *Unix*-arvutid, tööjaamadeks aga tavalised *Windows*'i-põhised personaalarvutid. Klient-server-arhitektuuriga arvutivõrgus on serveriks suure jõudluse ja kettamahuga arvuti, mis hoiab oma kettal kõiki tööjaamadele (klientidele) vajalikke programme ja faile ning kindlustab nende jagamise klientide vahel.

Arvutite sisendseadmeteks on klaviatuur ja hiir. Enamiku arvutite klaviatuur sisaldab viit klahvirühma (joonis 3.11).



Joonis 3.11 Klahvide otstarve arvuti klaviatuuril

- Märgiklahvide väljal on tähemärgid, numbrid ja erimärgid. Märkide valik ja paigutus on määratud kasutatava keele klahvistikustandardiga. Eesti klaviatuur standardiseeriti 1993. aastal soome ja rootsi klaviatuuri alusel.
- Numbriklahvide väli on ette nähtud numbrite ja aritmeetiliste märkide kiireks sisestamiseks. Klahvide paigutus on seal samasugune kui kalkulaatoritel.
- Kursorijuhtimise klahvid on mõeldud sisestusväljade või ekraanipunktide kiireks märgistamiseks kursori viimisega neile. Kursoriks nimetatakse teatavasti vilkuvat märki ekraanil, mille kohale ilmub järgmine sisestatav märk.
- Käsu- ja eriklahvid võimaldavad kasutada arvuti sisemälu ja monitori võimalusi. Enamasti käivitavad need klahvid programmeid töötlusprotsesse. Klahvideks on sisestusklahv (*Enter*), muuteklahv (*Alt*), tagasilükkeklahv (*Backspace*), paoklahv (*Esc*), registriklahv (*Shift*), juhtklahv (*Ctrl*) ja tabeldusklahv (*Tab*).
- Funktsiooniklahvide F1...F12 abil käivitatakse programmides mitmesuguseid tegevusi. Võimaluse piires püüavad programmide koostajad nende klahvide tähendust ühtlustada. Nii täidab klahv F1 sageli abiteabeklahvi funktsiooni.

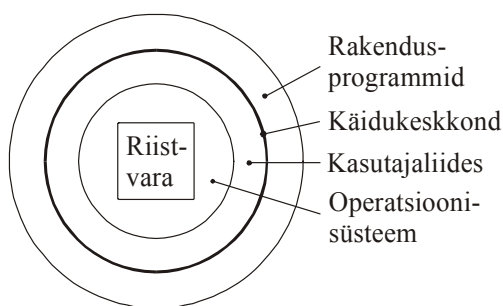
Kursori mugava juhtimise teel muudab hiir töö graafilises keskkonnas tunduvalt hõlpsamaks klaviatuuriga võrreldes. Hiire kõige olulisem komponent on kere all vabalt liikuv kuul. Kui hiirt alusmatil libistada, siis kuul pöörleb ja tema liikumine muundatakse kursori liikumiseks arvutiekraanil. Lisaks on hiirel üks või mitu klahvi, mille funktsioon sõltub konkreetsest rakendusprogrammist. Kasutusel on ka juhtkuul, mille kuuli pööratakse käega.

Arvuti põhiline väljundseade on kuvar (monitor), mille kaudu väljastatavat pilti nimetatakse ka hetkkoopiaks. Sellega vastandatakse kuvar printerile, mis võimaldab jäädvustada paberile püsikoopia. Püsikoopia võib saada ka plotteriga, kahekoordinaadiliselt juhitava väljundseadmega, mis lubab teha tehnilisi jooniseid ja skeeme suurele aluspinnale (näiteks formaadile A0). Monitori, klaviatuuri ja hiire komplekti nimetatakse **operaatorikonsooliks**. Arvuti väljundseadmeteks on ka kõlarid, mille abil juhitakse näiteks tähelepanu kuvarile ilmunud alarmiteatele. Elektronkiirekuvar on televiisori analoog arvutustehnikas. Erinevused seisnevad peamiselt selles, et kuvari sisend on kohandatud digitaalkujule ja ergonoomilised nõuded on seal veidi teistsugused. Kuvari pildi kvaliteeti määravad lisaks ekraani

mõõtmetele veel kaadrisagedus, reasagedus, lahutusvõime, värvitoonide arv jm. Oluline on arvuti graafikakaardi kvaliteet. Lisaks elektronkiirekuvarile on vedelkristallekraanid (*Liquid Crystal Display, LCD*), mida kasutatakse ennekõike sülearvutites, kuid ka suuremõõtmeliste esitlusgraafika **projektsioonekraanidena**. Need on kasutusel ka releekaitse ja automaatikaseadmetes väikeste indikaatorpaneelidena. Vedelkristallekraanid jagunevad kahte suurde rühma – passiivmaatriksid ja aktiivmaatriksid. Aktiivmaatriksitel vastab igale pildipunktile (pikselile) oma juhtimistransistor, mis asub otse kuvariekraani pinnal. Aktiivmaatriksite pildi kvaliteet ja töökiirus on tunduvalt kõrgemad kui passiivmaatriksitel. Ka vajavad passiivmaatriksid tagantvalgustust, sest kuvar ise valgust ei kiirga.

3.3.2 Operatsioonisüsteemid

Operatsioonisüsteem on programm, mis võimaldab rakendusprogrammidele juurdepääsu arvuti ressurssidele nagu keskseade, põhi- ja välismälu, ning välisseadmed (printerid, skannerid jm). Operatsioonisüsteem vastutab ka andmetöötuse turvalisuse eest, vältides volitamata juurdepääsu andmetele ja programmidele. Võib öelda, et operatsioonisüsteem loob rakendusprogrammidele **käidukeskkonna**, milles toimida (joonis 3.12). See keskkond on tunduvalt mugavam ja töökindlam kui arvuti riistvara otsene rakendamine. Näiteks ei pea sisend-väljund-



Joonis 3.12 Rakendusprogrammide käidukeskkond

tegevuste korral kasutaja muret tundma andmete ümberkodeerimise ega võimalike vigade tuvastamise pärast. Operatsioonisüsteemi kasutajaliides pakub omalt poolt sobiva suhtlemiskeele.

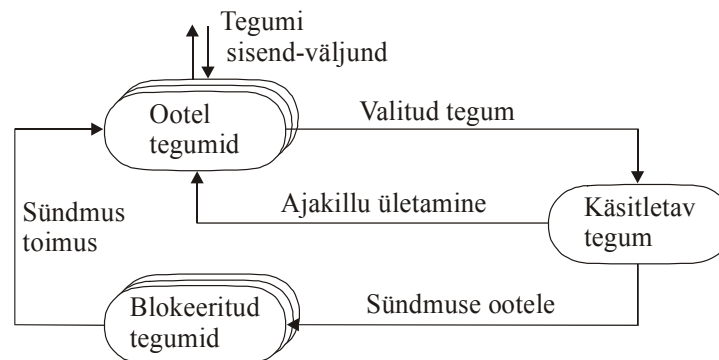
Operatsioonisüsteeme võib liigitada järgmiste tunnuste järgi:

- ühetegumitöösüsteem (*single-job*), mis võimaldab samal ajal täita vaid ühte programmi
- ühiskasutussüsteem (*multi-user*) teenindab samal ajal mitut kasutajat
- multitöötlus (*multiprocessing*) tähendab, et kaht või enamat programmi täidetakse korraga erinevates töölusseadmetes (*CPU*), millel on tavaliselt ühine põhimälu
- multitegumitöö, multiprogrammitöö (*multitasking, multiprogramming*) tähendab, et kaht või enamat programmi täidetakse korraga või vaheldumisi
- hargtöötlus (*multithreading*) tähendab, et kaht või enamat sama programmi osa täidetakse ühel ajal või vaheldumisi

- reaalajasüsteemid (*real time*) toimivad samas tempos välisprotsessidega (andmesisestusega).

Operatsioonisüsteemil võib olla mitu loetletud tunnust.

Operatsioonisüsteem suhtleb ühelt poolt arvuti riistvaraga, teisalt rakendusprogrammidega. Riistvara osas on operatsioonisüsteemi ülesanne korraldada põhimälu, keskseadme ja sisend-väljundkanalite jooksvat tööd. Tähtsal kohal on **katkestus** – programmi töötlemisprotsessi peatamine näiteks sisend-väljundtegevuse täitmiseks, etteantud ajalimiidi ületamisel, üritusel nulliga jagada jms. Katkestuse toimumisel jätkatakse tööd (katkestust töödeldakse) selleks ettenähtud programmiga (rutiiniga). Tööd võidakse jätkata ka mõne teise rakendusprogrammiga näiteks sisend-väljundtegevuse korral, milles keskseade ei osale, või kui täitmist vajab mõni kõrgema prioriteediga programm. Selleks et hiljem saaks pöörduda katkestatud programmi juurde, formeeritakse **tegum** – operatsioonisüsteemi töötlusüksus, mis sisaldab nii vaadeldavat programmi kui informatsiooni selle andmete ja täitmise seisu kohta. Tegum säilitab oma koha põhimälu, kui selleks on ruumi, või salvestatakse ajutiselt välismällu. Kokku võttes võib mingi tegum olla ühes kolmest võimalikust seisundist (joonis 3.13). Katkestuse korral satub tegum blokeeritud seisundisse, kus ootab näiteks sisend-väljundtegevuse toimumist või katkestuse töötlemist muul viisil. Seejärel on tegum taas käsitlemiseks valmis. Kui katkestus toimus etteantud käsitlemisaja (ajakillu) ületamise tõttu, on tegum kohe valmis jätkama. Valmisolekus tegumite hulgast valitakse jätkamiseks tavaliselt kõrgeima **prioriteediga** ülesanne. Nii on ühe ja sama keskseadmega võimalik samal ajal käsitleda mitut programmi, eriti kui ajakild seada piisavalt väikeseks (näiteks 0,001 s). Multiprogrammitööd, kus tegemist on mitme sama prioriteediga programmiga, nimetatakse ka **ajajaotuseks**.

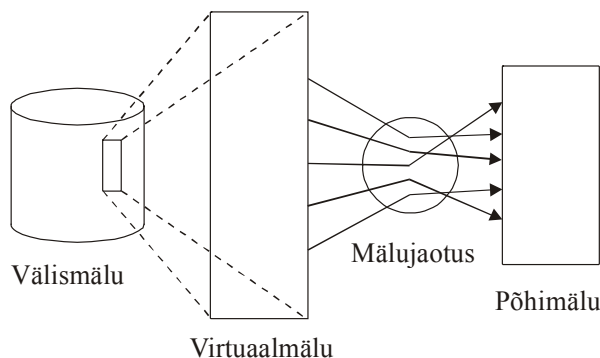


Joonis 3.13 Tegumi võimalikud seisundid

Operatsioonisüsteemi tähtis ülesanne on jagada põhimälu korraka käsitletavate tegumite vahel, eraldades igale tegumile omaette põhimälu segmenti. Mälukaitse väldib üleminekut (lugemist või salvestamist) täidetavale tegumile mittekuulvasse segmenti. Kui põhimälu maht on vajalikust väiksem, tuleb osa teabest salvestada

välismällu. Seda teeb operatsioonisüsteem automaatselt suuremate portsude, lehekülgede kaupa. Õeldakse, et sel juhul on tegemist **virtuaalmälluga**, mis rakendusprogrammide seisukohalt on näiliselt põhimällu laiendus (joonis 3.14).

Pöördumine sisendväljundseadmete (magnetkettad, printerid jm) poole nähakse programmis ette fiktiivsete kanalite kaudu. Programmi täitmisel seob operatsioonisüsteem kanalid konkreetsete füüsiliste seadmetega. Sellele vaatamata tuleb programmis osutada küllaltki täpselt füüsilised formaadid ja

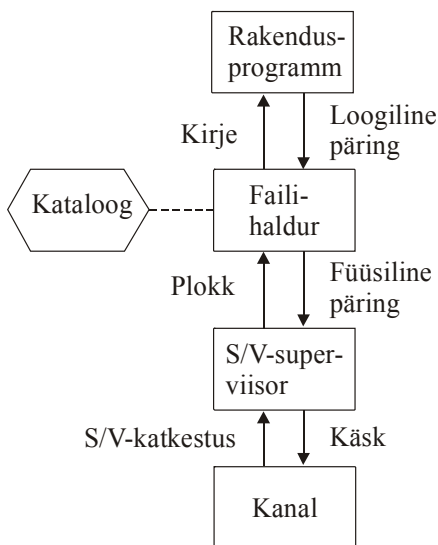


Joonis 3.14 Virtuaalmällu toimimispõhimõte

aadressid. Tunduvalt mugavam on korraldada andmevahetust **failide** kujul. Sel juhul osutab rakendusprogramm vajalikule teabele loogilises vormis (näiteks “loe järgmine kirje”), füüsilise pöördumise seadme poole organiseerib operatsioonisüsteemi kuuluv failihaldur (joonis 3.15). Vajalik info failide kohta säilitatakse sellekohases kataloogis.

Nüüdisaegsed arvutivõrgud võimaldavad suhtlemist arvutite vahel. Kasutaja võib kopeerida faile ühest arvutist teise, siseneda mujal asuvasse arvutisse ja töötada sellega jne. Sellist tegevust toetavad **võrguoperatsioonisüsteemid**. Tunduvalt suuremaid võimalusi pakuvad aga **hajusoperatsioonisüsteemid**, mille kasutajatele tundub kogu arvutivõrk olevat kui üks suur arvuti.

Ühe esimese personaalarvutitele sobiva operatsioonisüsteemi *MS-DOS* koostas firma *Microsoft* aastal 1981, mis teatud kujul on kasutusel veel tänapäevalgi. Tunduvalt täiuslikumad on aga sama firma koostatud graafilise kasutajaliidesega operatsioonisüsteemid *Windows 95*, *98* ja *2000*. Need kasutavad arvutiressursse oma eelkäijatega võrreldes paremini, võimaldavad rakendusprogrammidele suurt virtuaalmällu ning toetavad multitegumitõöd.



Joonis 3.15 Andmevahetus failidena

Dispetšisüsteemide aluseks on aastaid olnud operatsioonisüsteem *Unix*, mis sai alguse 1970. aastatel firmas AT&T. Lisaks multitegumitööle toetab *Unix* reaaliajaprotsesse, võimaldades ajakriitilistele ülesannetele kõrgemate prioriteetide andmist ning protsesside sünkroniseerimist ja muul viisil kooskõlastamist. *Unix*'i puuduseks on mõningane riistvarapõhisus, suur käskude arv, ebapiisavad veateated, varjatud tähendustega süntaks jm, mis teeb ta vähese ettevalmistusega kasutajale raskeks. Ka on *Unix* jäänud maha kasutajasõbralike rakendusprogrammide (tekstiredaktor, tabelarvutus, akendel põhinev kasutajaliides jm) arendamisel. Seetõttu ongi *Unix* taandumas firma *Microsoft* operatsioonisüsteemi *Windows NT* ees. *Windows NT* toetab reaaliajatööd ja on kohandatud täitma faili-, prindi- ja rakendusserveri funktsioone. *Windows NT* jaemüügiversioon toetab kuni 4 mikroprotsessorit sümmeetrilises multitegumirežiimis (eritoodetel kuni 32 mikroprotsessorit), kuni 256 kaugpöörduse (*Remote Access Service, RAS*) ühendust, tal on taustal toimiv andmekaitse ja riistvara probleemide käsitlemise süsteem (*Redundant Array of Inexpensive Discs, RAID*) jms. *Windows NT* tagab *Macintosh*'i arvutite kasutajatele failide ja printerite ühilduvuse ning toetab loomulikult kõiki *Microsoft*'i rakendusprogramme. Viimastel aastatel on hakanud levima *Unix*'i versioon *Linux*.

Operatsioonisüsteemide kõrval on ka muud süsteemitarvara. Olulised on **draiver-programmid**, mis seovad ja sobitavad arvutiga mitmesuguseid välisseadmeid, nagu klaviatuur, monitor, printerid jm. Kõik draiverprogrammid on **residentsed**, s.t nad püsivad kuni väljalülitamiseni arvuti põhimälus. Puuduvaid süsteemifunktsioone täidavad ka **utiliidid**. Nende ülesanne on näiteks lihtsustada failioperatsioone, printida ekraanikujutisi, varundada andmeid pakitud kujul jms.

3.3.3 Andmebaasid

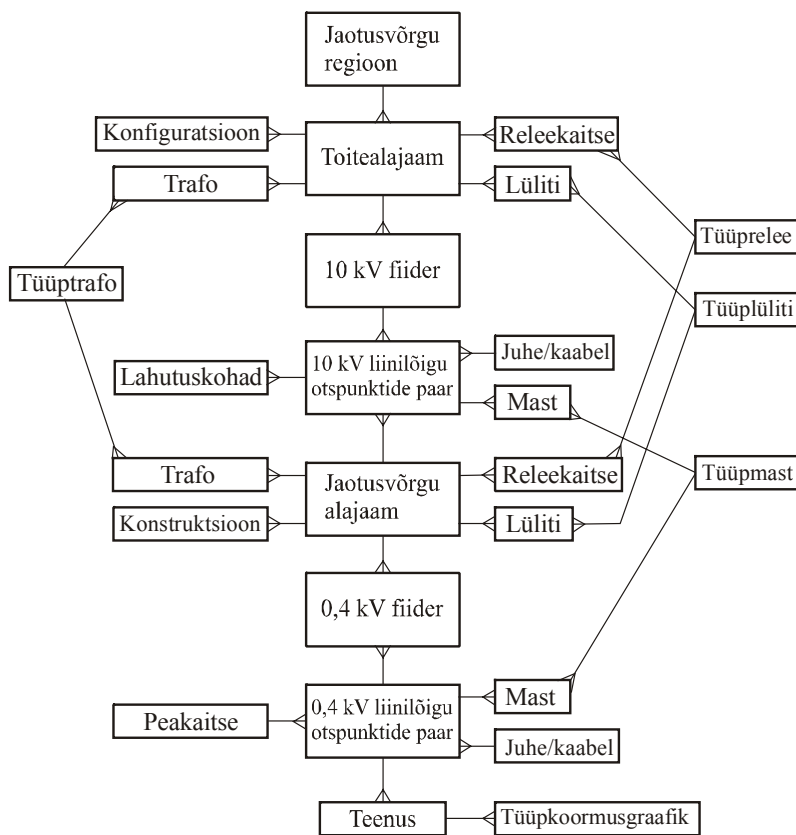
Andmebaas on süsteemi seisundit esitavate suhtestatud andmete kogum ehk relatsioonis olevate ja säilitatavate andmetabelite hulk. Andmebaasis on mõttekas säilitada ainult baasandmeid (mitte arvutatud andmeid) ja vältida andmeliiasust. **Andmebaasisüsteem** (*Database Management System, DBMS*) on tarkvara, mille abil saab andmebaase luua ja kasutada.

Andmebaasisüsteemile esitatavad nõuded.

- *Andmete sõltumatus füüsilisest struktuurist.* Andmebaasi lõppkasutaja töötab loogilisel tasemel. Selleks on tal oma mõistete süsteem ja vahendid. Füüsilise taseme moodustavad mäluorganisatsioonid ja otsimisstruktuurid, mis toimivad operatsioonisüsteemi kaudu. Füüsilise mälu juhtimine on andmebaasi administraatori ülesanne.
- *Andmete sõltumatus rakendustest* võimaldab luua samadele andmetele uusi rakendusi ning muuta vanu. Selleks peabki andmebaasi ehitus olema määratletud rakendustest teatud mõttes sõltumatu.
- *Andmete kaitse mittevõlitatud kasutamise eest.* Ühiskasutuslikele andmebaasi-

dele tuleb ette näha volituse ja juurdepääsu mehhanism, andmete krüpteerimise meetodid ning nn tulemüürid pahatahtliku kasutamise vastu.

- *Andmete kaitse füüsilise hävingu eest* saavutatakse kopeerimise, taastamise ja peegeldamise vahenditega.
- *Andmebaasi avatus* tähendab andmebaaside mitmeetapilist arendamist vanade lahendite kasutamisega. Avatud andmebaasid võivad olla loodud erinevatel arvutivõrkudel mitme erineva tarkvarasüsteemi abil.



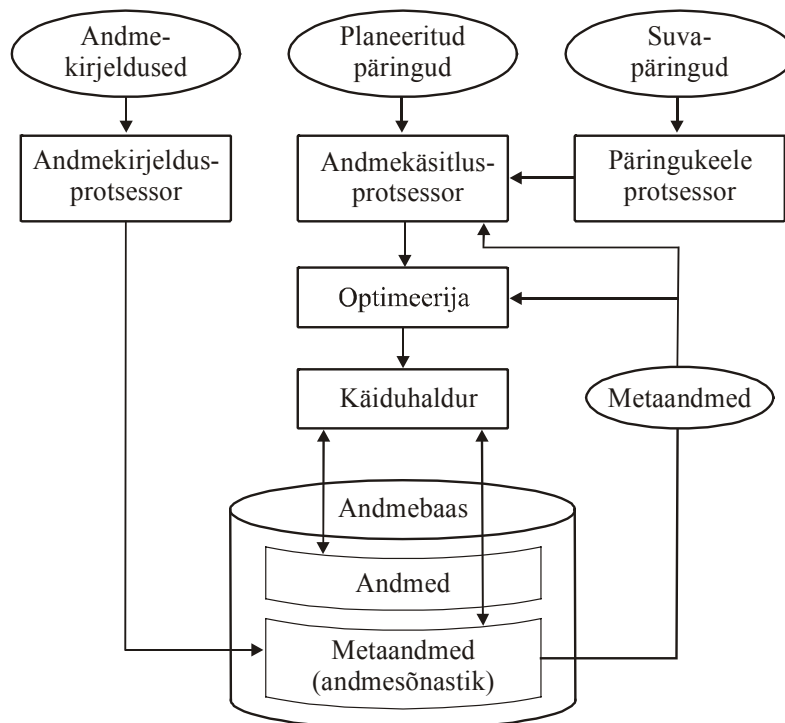
Joonis 3.16 Relatsioonandmebaasi tabelid

Andmebaas on niisiis mingit valdkonda hõlmav seostatud informatsiooni kogum, mis on korrastatud nii, et selles valdkonnas tegutsejal oleks hõlbust infot hankida ja selle põhjal järeldusi ja otsuseid teha. Lihtsaimad on **lameandmebaasid**, kus andmed esitatakse hierarhiliselt puustruktuurina. Seal on allolevad andmed seotud ülemistega ja neile pääseb ligi ainult ülemiste kaudu. Teine viis andmete korrastamiseks on kasutada kirjete, väljade ja viidete süsteemi, milles andmeid hoitakse seotud tabelites (joonis 3.16), kus on andmed mingi objekti kohta. Iga tabeli rida

on üks kirje, tabeli veergude nimed on kirje väljad. Väli esitab objekti mingit omadust ehk atribuuti, kirje esitab ühte konkreetset objekti. Tabelite sidumiseks peavad nad sisaldama ühise välja. Sellist seotud tabelite süsteemi nimetatakse **relatsioonandmebaasiks**. Relatsioonandmebaasid tuginevad matemaatika harule, mida nimetatakse relatsioonialgebraks.

Relatsioonandmebaaside põhiomadused.

- Igas veerus on sama tüüpi andmed (tekstitüüp, täisarvutüüp, reaalarvutüüp, kuupäev jm). Iga rida (kirje) peab olema sisu poolest unikaalne, s.t igat konkreetset objekti esitatakse vaid üks kord. Ridade ja veergude järjekord tabelis ei ole tähenduslik, s.t järjekorrast ei sõltu tabeli sisu.
- Tabeli ridade unikaalsus tagatakse sel teel, et tabelis on üks või enam veergu, millele vastavad väärtused erinevate ridade korral ei lange kokku. Selliseid veerge nimetatakse tabeli **primaarvõtmeteks**.
- Seosed tabelite vahel – **relatsioonid** – luuakse nii, et üks või enam veergu erinevates tabelites langevad kokku. Seose defineerimisel seatakse põhitabeli primaarvõti vastavusse teise (seotud) tabeli mingi väljaga, moodustades seotud tabelile **võõrvõtme**. Seotud tabelis võib põhitabeli ühele kirjele vastata ka mitu kirjet (seos üks mitmele). Seosed võimaldavad muuhulgas kontrollida andmete terviklikkust.



- Andmed on normaliseeritud, mis tähendab, et andmebaasis puuduvad korduvad andmeelemendid, ei esine andmeliiasust. Relatsiooniliste andmebaaside teoorias öeldakse selle kohta, et andmed vastavad normaalkujule. Teooria tunneb tabelite viit normaliseeritud vormi. Praktiliselt kasutatakse neist kolme.

Andmebaasisüsteem ühendab tarkvara, millega saab andmebaase luua ja kasutada (joonis 3.17). Programmi, mis võimaldab luua tabelleid ning andmeid sisestada ja väljastada, nimetatakse andmebaasi mootoriks. Lisaks on vaja kasutajaliidest, mille kaudu toimub suhtlemine lõppkasutajatega või rakendusprogrammidega, ning side- ja võrgutarkvara andmebaasi ühendamiseks terviksüsteemi. Andmebaasi halduse, s.t selle tõhusa ja turvalise kasutamise ning värskendamise eest vastutab andmebaasi administraator, kellel on oma kasutajaliides. Tabelite kõrval võib andmebaasi salvestada ka programmimoduleid, mis käivituvad näiteks andmete uuendamisel mingis tabelis. Andmebaasi kasutajaliides võimaldab päringute kõrval kasutada graafilisi ekraanivorme ja aruandeid.

Suhtlemiskeeleks relatsiooniliste andmebaasidega on kujunenud **SQL** (*Structured Query Language*). SQL manipuleerib andmetega kõige kõrgemal loogilisel tasemel, mistõttu kasutaja ei pruugi tunda andmete salvestamise ja käsitlemise üksikasju. SQL-keele lauseid nimetatakse **päringuteks**. Näiteks päring

```
SELECT nimi, aadress FROM klient ORDER BY nimi;
```

leiab tabelist *klient* kõikide klientide nimed ja aadressid ja järjestab need tähestiku järjekorras ning päring

```
INSERT INTO klient (nimi, aadress) VALUES ('Tamm', 'Raua 2')
```

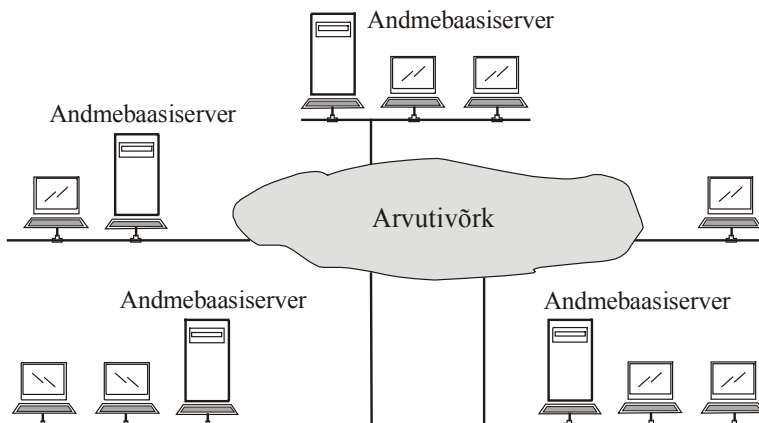
lisab tabelisse uue rea. Päringuid võib teha ka muudel tingimustel, näiteks teatud vahemikust ja mitmest tabelist korraga. Üldisemalt võibki kujutada, et igale päringule vastab fiktiivne päringutabel, mis ei pruugi kokku langeda andmebaasi ühegi reaalse tabeliga. Veelgi enam, võib moodustada püsivaid virtuaalseid tabelleid (vaateid) ja edaspidi toimida ainult nende vahendusel. Loomulikult on SQL-keelel palju muidki võimalusi päringute moodustamiseks.

Klient-server-andmebaas on arvutivõrgul töötav hajutatud andmebaaside süsteem, mille eesmärk on luua andmete ühiskasutuskeskkond. Siin kujutab server arvutit, millel asub andmebaas ja klientide teenindamiseks vajalik tarkvara. Klient on arvuti, millel töötavad kasutajaliidesed ja rakendusprogrammid. Servereid võib olla enam kui üks. Servereid ja kliente ühendab arvutivõrk riist- ja tarkvaraga (joonis 3.18). Lähedal paiknevad kliendid võivad moodustada kohtvõrgu. Lokaalserver võib omakorda olla laivõrgu kaudu ühenduses keskserveriga.

Klient-server-andmebaasi põhiomadused.

- Süsteemi funktsionaalsus on jagatud kliendi ja serveri vahel – osa funktsioone (protseesse) täidab server, osa klient. Kliendi funktsioonid on seotud konkreetsete rakendusprogrammidega ja lokaalsete kasutajafunktsioonidega.

Serveri ülesanne on tagada andmete õigsus ja terviklikkus, käivitada paljusid kliente hõlmavad protsessid ja juhtida süsteemi. Serverile kuuluvad ka muud andmebaasidele tüüpilised tegevused nagu juurdepääsu ja kasutajate õiguste kontroll, andmetest varukoopiate tegemine, andmete arhiveerimine jm. Serverile võib üle kanda ka osa kliendi protsesse, mis on tihedalt seotud serveril asuvate andmete töötlemisega.



Joonis 3.18 Hajusandmebaas

- Andmed on süsteemis jagatud kliendi ja serveri vahel – serveril asuvad tsentraalsed andmed, neid andmeid kasutavad ja võib-olla ka uuendavad paljud kliendid. Kliendil asuvad lokaalsed andmed, mida kasutab eelkõige klient ise.
- Kuna andmeid ja funktsioone on nii kliendil kui serveril, siis olenevalt olukorrast võib klient osutada serveriks (kliendi lokaalsele andmebaasile esitatakse päring ja/või nõutakse kliendilt mingite funktsioonide ja protsesside täitmist) ja server kliendiks (server nõuab teenust kliendilt või teiselt serverilt).
- Klient-server-andmebaasides kasutatavate andmebaasisüsteemide, rakenduste, operatsioonisüsteemide ja arvutivõrkude omavaheline integreeritus. Kasutajale peab olema tagatud juurdepääs andmetele üle kogu süsteemi hoolimata arvuti tüübist, kasutatavast rakendustarkvarast, operatsioonisüsteemist ja andmebaasisüsteemist ning arvutivõrgust. Klient-server-süsteemi kliendid, serverid ja võrgud võivad rajaneda erinevatele tarkvara ja riistvara platvormidele. Eelduseks on omavaheline ühilduvus või ühildustarkvara olemasolu.

Klient-server-tarkvarasüsteemi moodustavad andmebaasid ja rakendusprogrammid. Serveril kasutatakse suurte andmemahtude töötlemiseks ettenähtud andmebaasi-

süsteeme nagu *Oracle* ja *Microsoft SQL*-server. Kliendi puhul sobivad ka personaalarvutitele mõeldud andmebaasid nagu *Access*, *FoxPro*, *Paradox* jt. Ühilduvus erinevate andmebaasidega töötamiseks saavutatakse päringukeele SQL ühtse standardiga (praegu on selleks ANSI-92). Vajalik on veel andmebaasisüsteemide omavahelist ühilduvust ja andmevahetust tagav tarkvara, mida tuntakse ODBC (*Open Database Connectivity*) nime all. Kliendiandmebaasid pakuvad sobivaid kasutajaliideseid – ekraanivormide ja aruannete generaatoreid. Serverite platvormiks on mõni võrguoperatsioonisüsteem nagu *Windows NT* või *Unix*, klientidele sobib ka *MS Windows* või *OS/2*. Arvutite kohtvõrgud töötavad protokollide *Novell*, *Windows for Workgroups* jt alusel, laivõrku sobib protokoll TCP/IP.

Relatsioonandmebaaside kõrval on teiseks andmete korrastamise viisiks **objektorienteeritud andmebaasid**. Siin on nii nagu objektorienteeritud programmeerimiskeelteski lähtekohaks otseselt reaalsele objektidele vastavad andmekogumid. Sellest tulenevalt võimaldavad need süsteemid käsitleda objekte palju mitmekülgsemalt ja tegelikkusele lähedasemalt kui relatsioonilised andmebaasisüsteemid. Kuna tegemist on nüüdisaegse tehnoloogiaga, toetavad objektorienteeritud süsteemid hajutatud andmetöötlust arvutivõrgus (nt klient-serverarhitektuuri). Objektorienteeritud andmebaasisüsteemide puuduseks on seni üldtunnustatud standardite puudumine. Viimasel ajal püütakse SQL-päringukeelt muuta ka objektorienteeritud lähenemisviisile sobivaks.

Dispetšisüsteemide tarnijaid kallutab objektorienteeritud süsteemide kasutamisele asjaolu, et suured relatsioonilised andmebaasid on liiga aeglased elektrisüsteemi kiirete protsesside juhtimiseks reaalajas. Kuna objektorienteeritud lähenemisviisi korral on tegemist vaadeldava valdkonna sisulise klassifitseerimisega, sõltub tulemus süsteemi väljatöötaja nägemusest ja tema käsutuses olnud vahendite (objektorienteeritud programmeerimiskeele) võimalustest. Näiteks dispetšisüsteemi *ABB MicroSCADA* korral, kus programmeerimiskeeleks on *Visual SCIL*, jagatakse objektid kolmeks suureks kategooriaks.

- *Süsteemiobjektid*, mida kasutatakse arvutisüsteemi ja andmeside konfigureerimiseks, on kahte tüüpi.
 - *Baassüsteemi objektid*, mis kirjeldavad süsteemi ennast ning süsteemi poolt hallatavate rakenduste, sisendseadmete, kuvarite, printerite, sõlmede, sideliinide, kaugterminalide tüüpe ja arvu. *MicroSCADA* baassüsteem täidab elektrisüsteemi talitluse jälgimise ja juhtimise funktsioone ja kogub alajaamade primaar- ja sekundaarseadmetelt vajalikku infot, salvestab info andmebaasi, jaotab seda klientidele soovitud kujul ja edastab juhtimiskorraldused alajaamade seadmetele.
 - *Sidesüsteemi objektid*, mis määravad antud süsteemi sideseadmetega ühendatud süsteemivälised baassüsteemid, rakendused, tööjaamad, kaugterminalid, printerid jms ning sidepidamise viisi, protokollid,

diagnostika jm. Sidesüsteem ühendab baassüsteemi tarkvara alajaama seadmetega, mis koguvad ja töötlevad andmeid ja täidavad juhtimis-korraldusi. Sidesüsteemi alla kuuluvad ka kohtvõrgu konfiguratsiooni määrangud.

- *Rakendusobjektid*, mis on operatiivjuhtimissüsteemi funktsionaalseteks osadeks, jagunevad järgmiselt.
 - *Protsessiobjektid*, mis kirjeldavad alajaamade primaar-, sekundaar- ja abiseadmeid, nende juhtimist, blokeeringuid, signaale, süsteemi automaatikat, mõõtmisi jne.
 - *Skaalad*, mida kasutatakse teisendatud mõõteinfo (analoog-digitaal-muundurid) taasesitamiseks füüsilistes ühikutes.
 - *Andmeobjektid*, mis moodustavad mõõtmiste arhiivi ettenähtud aruannete ja trendipiltide esitamiseks.
 - *Käsuprotseduurid* ühekordseks või korduvaks täitmiseks. Protseduurid käivituvad kas operaatori tahtel või automaatselt, lähtudes mingist sündmusest või kellaajast. Näitena võib olla automaatne kellaaja nihutus sündmuste ja aruannete vormides suve- või talveajale üleminekul.
 - *Ajakanal*, mida kasutatakse kellaajaga määratud toimingute automaatseks käivitamiseks. Toiminguteks on kas ühekordne või perioodiline andmeobjektide salvestamine või käsuprotseduuride täitmine.
 - *Sündmuste kanal*, mida kasutatakse mingi sündmusega seotud toimingute automaatseks käivitamiseks. Tavaliselt pärineb käivitav sündmus (näiteks pinge etteantud piiri ületamine või sidekanali katkemine) primaarprotsessist, millest lähtuvalt kas registreeritakse mõõtmine (salvestatakse andmeobjekt), täidetakse käsuprotseduur või aktiveeritakse ajakanal.
 - *Sündmuste objekt*, mida üldjuhul kasutatakse kasutajaliideses piltide või visuaalobjektide uuendamiseks. Sündmuste objekti saab aktiveerida andmebaasist või SCIL-keskkonnast. Aktiveerimine andmebaasist toimub, kui objekti nimi vastab sündmuste objektile. Sel juhul käivitavad muutused objekti olekus kohe samanimelised alamprogrammid piltide juhtimisel. Näiteks lüliti asendi muutudes asendab sündmuste objekt lüliti asendi kujutise pildis ettenähtud värviga, kuid asendi muutusega seotud alarmi, vilkumised kilbil jms käivitab objektiga seotud sündmuste kanal. Aktiveerimine SCIL-keskkonnast toimub sellekohase käsuga. Kui protsessi objektiga on seotud sündmuste objekt, toimuvad pildi uuendused kohe, kui muutused toimuvad, kuid muutuse põhjusi ei edastata pildile, vaid nad säilitatakse muutusi põhjustanud protsessi objektis.

- *Muutuja objekt*, mida kasutatakse atribuutide ajutise säilitamise kohana nimekirjade koostamisel, andmebaasi päringutel, protsessi objektide loomisel, muutmisel ja muutujate väärtuste ülekandmisel ühest pildist teise.
- *Vaba tüüpi objektid*. Nende objektide atribuudid ja omadused määrab kasutaja oma vajadustest lähtudes. Nende objektide kaudu lisab kasutaja andmebaasile talle vajalikke omadusi ja funktsioone.
- *Kasutajaliidese objektid*, neid on ligi 40. Sinna kuuluvad pildid, põhi-, tava- ja liitdialoogid, menüüd ja menüüribad, valikunupud, märkmikud jm.

Igal objektitüübil on rida atribuute ja indekseid, mis määravad objekti omadused ja kus hoitakse objekti suuruste väärtusi. Nii võib üks atribuut esitada mõõtmise väärtust, teine ajamomenti, kolmas alarmeerivat piirväärtust jne.

Kuna objektorienteeritud andmebaaside sisestruktuur jääb kasutajale varjatuks, antakse andmebaaside haldamiseks kaasa ka töövahendid. Vajalikud on protsessi objektide, skaalade, andmeobjektide, käsuprotseduuride, ajakanalite, sündmuste kanalite ja vaba tüüpi objektide määramise vahendid. Alajaama piltide ja dialoogide kujundamiseks on oma redaktorid, mis alajaama pildi koostamisel loovad ja konfigureerivad ka vajaliku andmebaasi. Kasutaja ülesanne on määrata objektidele unikaalsed nimed, kaugterminali ja sideprotokolli tüüp, mõõtmiste alarmipiirid, välisseadmed ja kuvarid, kuhu vajalikud teated saadetakse, ja muud rakenduse spetsiifilised omadused.

3.4 Elektriturg

Elektroenergeetika tervikuna on monopoolne majandusala nii nagu näiteks gaasi- ja veevarustus. Et tõsta elektroenergeetika efektiivsust võib ka siin eraldada mittemonopoolsed tegevused ja rakendada neile turumajanduslikke põhimõtteid. Mittemonopoolne võib olla elektrienergia tootmine ning ka seadmete hooldus ja remont. Kui elektrienergia ülekanne ja jaotamine jäävadki monopoolseks, ei pea seda olema elektrienergia müük.

Euroopa elektriturg sai alguse 80. aastate lõpus Suurbritannias. Järgnes Norra 90. alguses. Tänapäevaks on vabale elektriturule täielikult üle läinud lisaks Suurbritanniale ka Põhjamaad ja Saksamaa. Euroopa Liidu direktiivid näevad ette siseriiklike elektriturgude astmelise avamise, mille kohaselt peavad näiteks 2003. aastast alates saama tarbijad, kelle aastaenergia ületab 9 GWh, vabalt valida elektrimüüjat. Selliste tarbijate turuosa moodustab Euroopa Liidu piirkonnas praegu ühe kolmandiku.

3.4.1 Elektrituru mudelid

Klassikalises majandusteoorias tagab efektiivsuse sõltumatute tootjate konkurents ja toodete realiseerimine vabaturul, kusjuures turg on efektiivne vaid siis, kui turul on nii palju müüjaid ja ostjaid, et mõne väljalangemine või juurdetulemine

olukorda ei muuda. Ettevõtet, mille käes on täielikult ühe majandusharu mingi teenuse või toote pakkumine (nt elektri müük või mõõtesüsteemide paigaldamine ja kontroll), nimetatakse horisontaalselt integreeritud monopoliks. Ettevõtet, mille käes on mingi valdkonna tegevus algusest lõpuni (nt elektritootmine, jaotamine ja müük), nimetatakse vertikaalselt integreeritud monopoliks. Mingil arenguetapil on vertikaalne integreeritus täiesti omal kohal, tagades minimaalsete kulutustega etteantud kvaliteedi. Nüüd on poliitikutel jõudnud arusaamisele, et majanduse efektiivsuse seisukohalt on horisontaalselt ja vertikaalselt integreeritud monopolide aeg läbi ja kogu maailmas käib vilgas seni reguleeritud majandusharude dereguleerimine. Kuna tegemist on majandusruumi osalise ümberkujundamisega (firmade jagamine, omandi sundmüük, hinna ja turu kujundamise põhimõtete fikseerimine, tingimuste loomine konkurentsiks jms), ei saada läbi ilma vastava seadusandluseta. Konkureeriva elektrituru loomise all mõistetakse

- horisontaalsete ja vertikaalsete monopolide likvideerimist ja lubatud turuosa piirmäära kehtestamist
- turul osalejate määratlemist (tootjad, tarbijad, vahendajad)
- turul osalemise tingimuste (nt hulgi- ja jaemüük, suurarbija jne) määratlemist
- hinnakujunduse ja lepingute sõlmimise põhimõtteid
- sõlmitud lepingute realiseerimise ja kontrolli vahendeid, lepinguosalistele vaba juurdepääsu kindlustamist ülekande- ja jaotusvõrgule ning sõltumatu süsteemioperaatori kohustust kindlustada lepingutele vastavad võimsusvood.

Nagu mis tahes turul toimub kauplemine elektrienergiaga energiabörsil kohe sõlmitavate tehingutena (spotturg). Eristada tuleks lepingute sõlmimise protseduure sõlmitud lepingute realiseerimise protseduuridest. Sõlmitud lepingute realiseerimise hõlbustamiseks asub turuplats tihti sõltumatu turuoperaatori juures, kes korraldab siis ka ostjate (turule lubatud tarbijate, vahendajate, agregeerijate, maaklerite jt) ning müüjate (elektritootjate) pakkumiste töötlust ja lepingute sõlmimist. Turu funktsiooniks on kindlustada

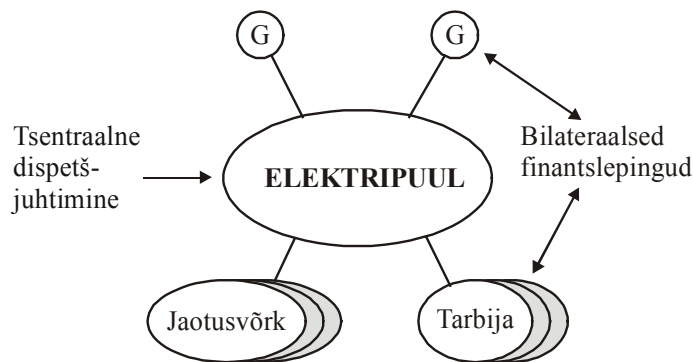
- hinna läbipaistvus
- konkureeriv turg ka tarbijatele, kellel pole otsesest juurdepääsu turule
- alternatiiv turul osalejatele kahepoolsete (tavaliselt pikemaajaliste) lepingute sõlmimise näol.

Alternatiivlepingutes määratakse kindlaks energia hind, kogus, tarnegraafik, koht, kus tarne ülekandmiseks võrku antakse, ja koht, kust tarne võrgust kätte saadakse. Elektrisüsteemide majandusühendus **elektripuul** (*power pool*) võib alternatiivseid lepinguid tagada või mitte tagada. Esimesel juhul räägitakse vabapuulist (*voluntary pool*) ja teisel juhul sundpuulist (*mandatory pool*).

Elektroenergeetikal on teiste majandusharudega võrreldes rida iseärasusi. Kõige olulisem on ööpäevaringne paralleeltöö elektri jaamade ja tarbijate vahel, kusjuures igal ajahetkel peab olema tagatud elektritarbimise ja -tootmise tasakaal. Suurt tähelepanu tuleb pöörata elektrisüsteemi talitluskindlusele, sest on olemas oht avarii kiireks levimiseks laial territooriumil. Tootmise ja tarbimise tasakaalu

kindlustamine ehk **elektribilansi** hoidmine on iga elektriturul osaleja kohustuseks. Kuna turul osalejaid on palju, peab nii jooksev bilansivastutus kui hilisem, elektrienergia mõõtmisel põhinev, bilansiselgitus olema erapooletu riiklikult juhitud tegevus. Elektrisüsteemi talitluskindluse saavutamiseks on vaja nii aktiiv- kui reaktiivvõimsuse reservi. Üldisemalt võttes tuleb kindlustada elektrisüsteemi talitluse asjakohane planeerimine ja juhtimine.

Seega võib tõdeda, et elektriturg on nii monopoolsete kui konkurentsipõhiste tegevuste kompleks. Konkureerivaks tegevuseks on kauplemine elektrienergiaga. Sellele lisandub kauplemine reservvõimsustega aktiiv- ja reaktiivvõimsuste bilansi saavutamiseks ning talitluskindluse tagamiseks. Elektriülekanne põhivõrgus ning bilansi- ja süsteemivastutus jääb aga rahvusliku monopoli ülesandeks. Elektri jaotamine kuulub kohalikele monopolidele. Monopolide tegevust jälgib ja reguleerib riiklik ametkond (meil Elektrituru Inspeksioon).

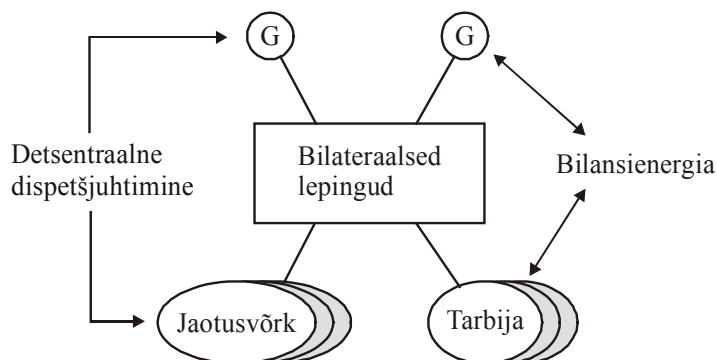


Joonis 3.19 Tsentraalse juhtimisega elektrituru mudel

Kuna füüsiliselt pole võimalik eristada ühe tootja elektrit teise tootja omast, toimub kogu arveldus elektrienergia mõõtmiste alusel. Kõik elektrituru osapooled peavad tegema elektrienergia tunniseid või pooletunniseid mõõtmisi. Ka peavad osapooled andmehõivesüsteemid omavahel ühilduma. Näiteks kasutatakse Põhjamaade elektriturul selleks otstarbeks koostatud EDIEL-sideprotokolli. Elektriturul võib aktiivvõimsuse ja -energia mõõtmise organiseerida ka iseseisev ettevõtte. Vastutust elektrituru kõikide osapoolte vajaliku teabega varustamise eest kannab riiklik monopol – põhivõrk.

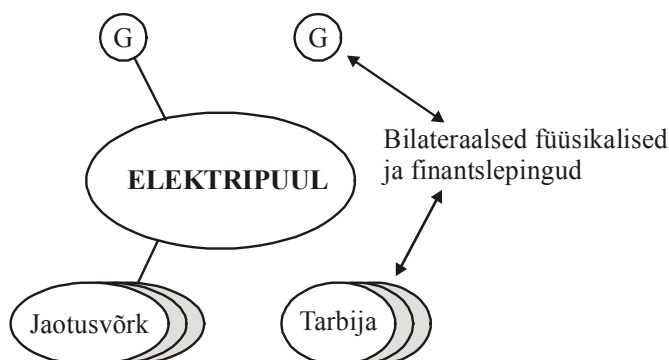
Olenevalt elektriturul osalejate vahelistest finantsilistest ja tehnilistest suhtest on võimalikud erinevad turumudelid. Määravaks on turupiirkond ning seal olevate tootjate ja tarbijate hulk. Juhul kui kõik elektritootmisettevõtted süsteemis alluvad põhivõrgu operatiivjuhtimisele on tegemist tsentraalse juhtimisega elektrituru mudeliga ehk **tsentraalse elektripuuliga** (joonis 3.19), kus kõik tootjad peavad tegema oma pakkumised puulile. Kuigi on lubatud ka tootjate ja tarbijate vahelised

kahepoolsed (bilateraalsed) ostu-müügilepingud, on need seotud puuli hinnaga. Sellist tüüpi mudeli korral toimub kogu bilansiselgitus puulis ning puudub vajadus eraldi reservide turu järele. Põhivõrk toimib seega ka turuoperaatorina, kes korraldab kogu elektrituru tegevust. Tsentraalse juhtimisega elektrituru mudeli suurim puudus on see, et turul võivad domineerida vähesed elektrienergia tootjad ja raske on vältida hindadega manipuleerimist. Selline mudel ei sobi, kui elektrituru piirkond ületab riigipiire.

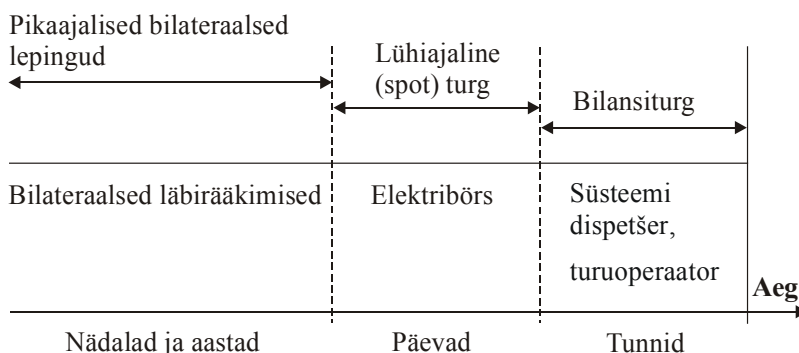


Joonis 3.20 Detsentraalse juhtimisega elektrituru mudel

Detsentraalse juhtimisega elektrituru mudeli ehk **detsentraalse elektripuuli** (joonis 3.20) korral on kahepoolsed lepingud nii finantsilised kui füüsilised, mis tähendab, et hinna kõrval lepitakse kokku ka energia kogused ning nende tarnimise aeg ja koht. Tulemuseks on, et tootjad ja tarbijad juhivad oma elektribilanssi ise. Elektripuuli osaks jääb selle mudeli puhul ainult reguleerivõimsuse juhtimine, mis kompenseerib süsteemis ülejääva või puudujääva võimsuse. Kõik elektrituru osapooled peavad selgitama oma bilansivea (lepingulise ja tegeliku energia vahe) ja võivad teha bilansiturule vabatahtlikult omapoolseid pakkumisi. Kuna vead võivad olla mõlemas suunas, siis on ka pakkumised nii energia müügi tõstmise kui vähendamise suunas. Süsteemi dispetsjer juhib ainult seda osa energiast, mis on vajalik bilansi hoidmiseks.



Kolmandaks võimaluseks on osaliselt avatud elektrituru mudel, mis tekib, kui tsentraalse juhtimisega elektri puul pakub bilansivastutusega seotud teenuseid konkureerivale elektrituru osale (joonis 3.21). Hinna mittekonkureerival turul määrab siis elektri puul, mis moodustub sinna konkureerivalt tulevate pakkumiste põhjal pikaajaliste lepingute alusel. Turu avatud osas pikaajalised lepingud puuduvad. Tsentraliseeritud juhtimisega ostukohustusega ettevõtte on turul domineerivas positsioonis ning piirab konkurentsi. Osaliselt avatud turu tegevus võib olla piiratud ka riigi poliitika tõttu, mis võib seada kohustusi kohalike tootjate ja kütuste eelistamiseks, süsteemi töökindluse tõstmiseks jms.



Joonis 3.22 Elektrituru komponendid

Olenemata elektrituru tüübist võib eristada kolme elektrituru komponenti (joonis 3.22). Neist olulisemad on pikaajalised kahepoolsed lepingud ja bilansiturg. Kahepoolsetes lepingutes lepitakse alati kokku ajavahemik, energiakogused, võimsus, hind, tarnepunkt ning maandatakse osapoolte vahelised riskid. Võimsuste eabilansside katmise eest hoolitseb süsteemi dispetšer, kes peab üleval bilansiturgu.

Eabilansiga kaasnevad kulud katab elektrituru osapool, kes eabilansi põhjustas. Kuna lühikese tähtajaga hangitav (ka negatiivne) elektrienergia on kallis, pakub leevendust elektribörs. Spotturu eesmärk on kompenseerida prognoosidest või muudest põhjustest tingitud eabilanssi, et mitte osta kallist bilansienergiat bilansiturult. Spotturul saab kaubelda ka kahepoolsete lepingutega, kuid nende lepingute puhul on kogused, hind, tarnepunkt ja ajavahemik standarditud ning puudub võimalus läbirääkimisteks. Spotturu sulgemise järel hakkab toimima bilansiturg. Spotturu sulgemise ja bilansituru sulgemise aeg sõltub elektrisüsteemi operatiivjuhtimise tehnilistest teguritest.

Eksisteerib kahte tüüpi spotturget. Üks neist, vabavahetusturg, võimaldab osapooltel sooritada lühiajalisi (näiteks tunniseid) kahepoolseid tehinguid fikseeritud tarnetega. Selliste lepingute sõlmimist vahendavad maaklerid, kes otsivad ostjaid ja müüjaid. Vabavahetusmehhanism toimib, kui turul on piisavalt osalejaid. Vabavahetusturu korral ei ole teada, millise hinnaga üldiselt

kaubeldakse. Teine turu tüüp on elektroonne elektribörs. Siin saadavad elektrituru osapooled pakkumisi ja tellimusi, mis on nähtavad kõigile. Sellise turu hind on läbipaistev, tehingud aga anonüümsed, s.t kõrvalised ei tea, kes ostis või müüs.

Spotturu hinnakujunduse aluseks on ühelt poolt tootmiskulude mittelineaarsus, teisalt tarbijate ostusoovide kasv elektri hinna alanedes. Järjestades elektrienergia pakkumised müügihinna kasvamise järjekorras ja liites pakutava energia, saame hinna ja energia koordinaatides tõusva kõvera. Tarbijate summeeritud ostusoovid ostuhinna kahanemise järjekorras annavad samal tasandil langeva kõvera. Nende kõverate lõikepunktile vastav hind on **marginaalhind**, s.o antud nõudluse juures suurim pakutud müügihind, mis leiaks veel ostja. See hind kujunebki turul sõlmitavate tehingute hinnaks, sest teised müüjad ei taha müüa odavamalt kõige kallima ostja leidnud elektrienergia tarnijast ja ostjad ei taha maksta rohkem kõige enam maksnud ostjast, kuna leidub müüjaid, kellelt saab odavamalt. Kõverate lõikepunkt määrab ka tootjate ja tarbijate hulga, kes antud hetkel müüvad ja ostavad. Tund-tunnilt nõudmise ja pakkumise vahekord muutub, mistõttu muutub ka marginaalhind. Marginaalhind järgib ajas turu kalleima tootja, marginaaltootja tootmiskulusid. Väiksemate tootmiskuludega tootjad saavad müügittehingust marginaaltootja ja enda tootmiskulude vahega võrdelist lisakasut. See on tootmise efektiivsust stimuleeriv mõjur – mida efektiivsem on elektritootmine marginaaltootjaga võrreldes, seda suurem on hetkekasum. Turu manipuleerimist marginaalhinna abil takistab oht jääda välja turutehingutest, seda muidugi juhul kui turul on piisavalt palju tootjaid ja ausaks konkurentsiks loodud tingimused välistavad kartellikokkulepped. Samas pole vabaturgudel harvad juhud, kus süsteemiavariide korral tõuseb turuhind normaalolukorraga võrreldes paarisajakordseks.

Spotturg toimib elektribörside kaudu. Euroopa Liidu territooriumil on hetkel 5 tegutsevat elektribörsi, nende seas ka Põhjamaade elektribörs *Nord Pool*. *Nord Pooli* esindaja Soomes on *EL-EX*-elektribörs, mis muuhulgas peab üleval lühiajalist *Elbas*-turgu (jooksev ööpäev vähemalt kuni 2 tundi ette ja järgmine päev). *Nord Pool* tegeleb ka pikaajaliste lepingutega (1 nädal kuni 3 aastat). Kaupa tehakse lisaks füüsilisele tasemele ka finantsilisel tasemel, kokku lepitakse elektrienergia hind 1 nädal kuni 3 aastat ette.

3.4.2 Süsteemiteenused

Elektrisüsteemi töökindla ja majanduslikult mõtteka toimimise eest vastutab lõppkokkuvõttes põhivõrk. Elektrituru osapoolte seisukohalt peab elektrienergiat üle kandma ilma suuremate kitsendusteta. Tehniliselt tuleb elektrisüsteemi funktsioneerimiseks ennekõike tagada aktiiv- ja reaktiivvõimsuste tasakaal. Põhvõrk tegeleb ka pinge ja sageduse reguleerimisega ja rikete kõrvaldamisega ning hoolitseb selle eest, et oleks olemas piisav genereeriva võimsuse reserv.

Elektrisüsteemi toimimise kindlustamiseks kaubeldakse elektriturul energia kõrval veel aktiiv- ja reaktiivvõimsusega, mis on vajalikud reservi tagamiseks ning

reaktiivvõimsuse tasakaalu säilitamiseks. Reservide tagamine nii nagu energia-bilansi kindlustaminegi kuulub **süsteemiteenuste** hulka. Süsteemiteenusteks on veel sageduse ning pinge ja reaktiivvõimsuse automaatne reguleerimine, aga ka muud elektrisüsteemi operatiivjuhtimisega seotud tegevused. Süsteemiteenuseid pakub põhivõrk monopoolsetel alustel.

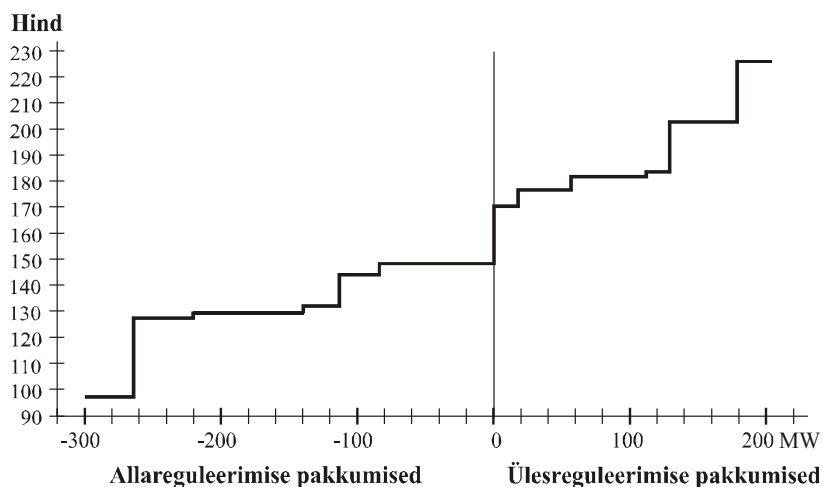
Põhivõrk vastutab tootmise ja tarbimise tasakaalu hoidmise eest reaalajas ning vahetusvõimsuse saldo hoidmise eest teiste elektrisüsteemide suhtes. Võimsuste bilanss peab olema tagatud nii normaal- kui ka avariolukorras. Bilansi tagamine on elektrituru kõikide osapoolte kohustus. Praktiliselt tähendab see, et igal turu osapoolel peab olema **bilansivastutaja**, kes tasakaalustab tema eabilansi, kaubeldes bilansienergiaga süsteemioperaatori vahendusel. Bilansivastutajateks võivad olla kõik elektrituru osapooled, kes täidavad lepinguga määratud kohustusi, sealhulgas põhivõrk ise. Küsimus on majanduslikus tasakaalustamises, sest füüsiliselt tagavad tasakaalu sagedust reguleerivad automaadid ja süsteemi dispetšer. Mingi bilansivastutaja osa bilansiturul selgub alles pärast bilansiselgitust. Kokku võttes toimub bilansitagamine järgmise skeemi kohaselt.

- Võimsuste jooksva eabilansi tasakaalustab ühendelektrisüsteemi automaatne sageduse reguleerimissüsteem. Elektrituru seisukohalt nimetatakse seda tasakaalustamise etappi primaarreguleerimiseks. Kuna sageduse reguleerimisel võivad muutuda enamiku elektrijaamade võimsused automaatregulaatorite sätete kohaselt, on tulemuseks elektrituru ostumüügilepete rikkumine.
- Olukorda püüab leevendada süsteemi dispetšer sel teel, et otsib elektrituru kiirelt toimivast osast, **reguleerturult**, osapooled, kes tekkinud eabilansi enda kanda võtavad. Sellist eabilansi korvamist, mis arvestab iga kasutajatundi, nimetatakse sekundaarreguleerimiseks. Võimalik on veel tertsiaalreguleerimine, kus eabilanssi kaetakse päevade kaupa.
- Toimub **bilansiselgitus**, mille tulemusena ilmneb, kui suur osa eabilansi energiast ja millise hinnaga jääb iga elektrituru osaleja (avatud elektritarnija) kanda. Elektrituru osalejate seisukohalt tähendab see osalemist **bilansiturul**, kus vahendaja (maakleri) rollis on elektrisüsteemi dispetšer.

Reguleerturul võivad osaleda kõik asjaosalised, kes suudavad muuta oma võimsust piisavalt palju piisavalt lühikese ajavahemiku jooksul (näiteks vähemalt 10 MW 10 minuti jooksul). Selleks sobivad kõige enam hüdrojaamad, nende puudumisel ka kondensatsioonijaamad. Gaasiturbiinjaamu kasutatakse enamasti vaid avariolukorras. Reguleerturule sobivad ka juhitavad (nt väljalülitamist taluvad) koormused.

Reguleerturul osaleda soovivad teevad põhivõrgu juhtimiskeskusele pakkumisi, kus näitavad ressursi asukoha, võimsuse ja energia hinna. Pakkumist energiatoodangu lisamiseks ja tarbimise vähendamiseks või vastupidi nimetatakse **üles-** või **alla-reguleerimise** pakkumiseks. Pakkumisi võidakse teha, muuta või tagasi võtta kasutustunni kaupa kuni üks ööpäev ette, kuid mitte vähem kui 30 min enne

vastava tunni algamist. Juhtimiskeskus moodustab pakkumistest hinnakõvera (joonis 3.23) ja valib nendest tehniliselt ja majanduslikult sobivamad. Tellimus antakse pakkujale telefoni teel, kusjuures lisaks võimsusele lepitakse minutilise täpsusega kokku sisse- ja väljalülitusajad. Lülitused toimuvad kasutustundide kaupa. Kasutustunni lõppedes arvutatakse üles- ja allareguleerimise energia hind elektriturul kehtestatud reeglite alusel. Seda hinda rakendatakse hiljem peale bilansiselgitust bilansienergiale.



Joonis 3.23 Hinnakõver

Avariiolukorras tasakaalustatakse bilanss reservvõimsuste abil. Ka avariiolukorra puhul säilib põhimõte, et bilansivastutajad tagavad oma võimsuste bilansi nii kiiresti kui võimalik. Jooksvalt katab võimsusevajaku dispetšer näiteks pöörleva reservi või gaasiturbiinide abil. Reservide võimalik liigitus elektriturgu silmas pidades on tabelis 3.2.

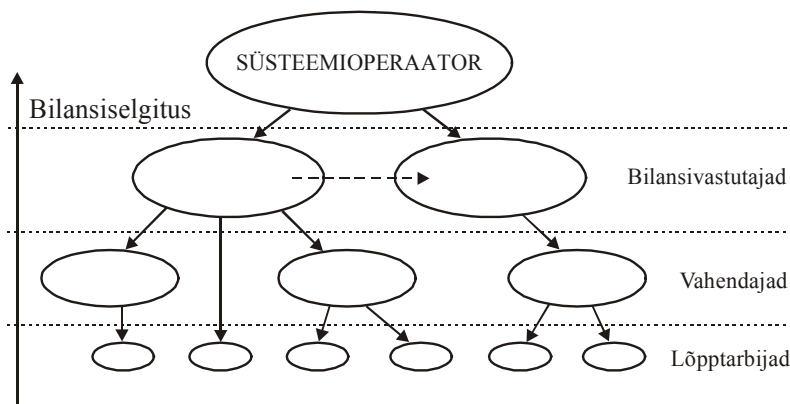
Tabel 3.2 Reservide liigitus

Süsteemioperaatori juhtimisel			Bilansivastutajate juhtimisel	
Operatiivreserv			Külmreserv	Konserveeritud reserv
Pöörlev reserv		Kiirelt käivitatav reserv		
Kümnendik sekundit	Mõni minut	Mõni minut kuni mõnikümmend minutit	Tunnid	Päevad

Operatiivreservi kasutatakse sageduse ja elektrisüsteemi võimsusbilansi reguleerimiseks ning elektrisüsteemi töökindluse tagamiseks remont- või avariitalitluses. Selle all mõeldakse kõiki kiirelt käivitatavate reservide liike. Siin vastab pöörleva

reservi kiirelt toimiv (rakendusae kuni 5 s) osa sageduse primaarreguleerimisele turbiinide kiirusregulaatorite abil ja ülejäänud osa (kuni 5 min) sageduse sekundaarreguleerimisele. Kiirelt käivitatava (kuni 30 minutit) reservi moodustavad gaasiturbiinid ja hüdrojaamad. Külmareservi käivitusaeg on kuni 72 tundi. Konserveeritud reservi moodustavad väheefektiivsed elektrijaamad, mis on võimelised alustama tööd mõne nädala jooksul.

Bilansiselgituse eesmärk on selgitada elektriturul tegutsevate osapoolte vahelised elektritarned. Bilansiselgitus põhineb tunnienergiatel, mis saadakse mõttesüsteemide, tüüpkoormuskõverate ja fikseeritud ehk planeeritud tarnete kaudu. Bilansiselgituse üldpõhimõtted on tavaliselt sätestatud elektrituru seadusega. Näiteks Põhjamaades on tegemist hierarhiliselt kolmetasemelise bilansiselgituskeemiga, kus kõrgeimal tasemel on süsteemioperaator, teisel tasemel bilansivastutajad ja madalaimal tasemel teised elektrituru osapooled (joonis 3.24). Jaotusvõrgu haldaja peab koostama bilansiselgituse ja organiseerima informatsioonivahetuse nende elektrituru osapoolte vahel, kelle energiavood jaotusvõrgus on. Bilansiselgitusse kuulub ka tüüpkoormuskõverate kasutamisest tulenev aastane energia tasaarvestus elektrimüüjate vahel. Bilansivastutaja peab koostama bilansiselgituse nende elektrituru osapoolte kohta, kelle bilansivastutajana ta tegutseb. Selleks kasutab ta oma elektrivõrgust ning jaotusvõrgu haldajalt saadud andmeid ainult nende elektrituru osapoolte kohta, kes kuuluvad tema bilansivastutuse piirkonda. Ka peab bilansivastutaja arvesse võtma oma bilansivastutuspiirkonnas tehtud fikseeritud tarneid teistele bilansivastutajatele. Süsteemioperaatori ülesanne on selgitada välja riiklik energiabilans ja ka bilansivastutajate bilansid nii, et bilansiselgituse tulemusena selguks eabilans süsteemioperaatori ja bilansivastutajate ning teiste riikide süsteemioperaatorite vahel. Bilansiselgitus algab madalamal tasemel juba järgmisel tööpäeval ja valmib lõplikult ühe kuu möödudes. Bilansivastutaja ja riikliku bilansiselgituse lõpptähtaeg on vastavalt kaks ja kolm kuud.



Joonis 3.24 Bilansiselgituse skeem

Elektrituru toimimise eelduseks on, et elektrisüsteemi põhivõrk võimaldaks elektrienergiat üle kanda kõikidelt tootjatelt ja kõikidele tarbijatele (põhivõrgu klientidele) võrdsetel alustel. Kuna põhivõrku tuleb juhtida ja arendada, võtab põhivõrk ülekandeteenuse eest tasu näiteks järgmiste maksude näol:

- registreerimismaksu tuleb maksta kõigil turu osapooltel õiguse eest tegutseda elektriturul
- käidumaksu maksab elektritarbija vastavalt tarbitud elektrienergiale
- võrgukaomaksu maksavad nii tootjad kui tarbijad
- süsteemiteenuste maksu näiteks võimsuste reservi ja releekaitse tagamise eest maksavad kõik põhivõrgu kliendid.

Katta tuleb ka kulud turuoperaatori ülalpidamiseks, mõõtmisteenuste kulud jm. Maksud lepivad klientidega kokku pikema ajavahemiku (mitu aastat) kohta. Maksude põhjendatust kontrollib riiklik järelevalveorgan, näiteks Elektrituru Inspektsioon. Põhivõrgu põhjustatud elektriülekanne piirangud ja katkestused kooskõlastatakse klientidega, kui need on enne teada (remontide puhul). Muudel juhtudel on põhivõrk kohustatud kliendile tekitatud kahju osaliselt või täielikult korvama.

3.4.3 Jaotusteenused

Elektrituru tingimustes on võrguettevõtte ja energia müüa vaheline koostöö keeruline kuna huvid võivad erineda. Jaotusvõrgu osa elektriturul on ennekõike mõõtmiste korraldamine ja bilansiselgitus. Programmikomplekti, mis aitab elektriturul ülesandeid lahendada, nimetatakse **jaotusvõrgu energiaohjesüsteemiks** (*Distribution Energy Management, DEM*). Sellesse kuuluvad järgmised tegevused:

- elektrienergia mõõtmine
- mõõtmistulemuste töötlemine ja edastamine elektriturul osapooltele
- kohalike elektrimüüjate bilansiselgitus

- võrgupiirkonna bilansiselgitus ja tulemuste edastamine turu järgmisele tasemele
- kohaliku energiatoodangu ohjamine
- võrgukadude hindamine
- koormusuuringud
- kohaliku elektrimüüja bilansivastutus.

Tunnienergia mõõtmine on võrguettevõtte vastutusel. Praktiliselt tähendab see nii arvestite kauglugemist kui ka käsitsi lugemist ning andmete salvestamist ja edastamist. Kindlustada tuleb mõõtmistulemuste piisav täpsus nii energia kui aja suhtes. Energia mõõtmistulemused tuleb edastada kõikidele kohalikele elektrimüüjatele. Mõõtmistulemused säilitatakse energiaohjesüsteemi andmebaasis, mis ei ühti dispetsisüsteemi ega kliendiinfosüsteemi andmebaasiga.

Bilansiselgitus nii kohalike elektrimüüjate kui võrgupiirkonna kohta summaarselt tähendab elektrituru osapoolte energiamõõtmiste summeerimist ja edastamist bilansiselgituse kõrgemale tasemele. Seega koosneb bilansiselgitus arvutuslikust osast ja andmeedastusest, mis ei lange kokku dispetsisüsteemi vastavate funktsioonidega. Näiteks Põhjamaade elektriturul toimub andmevahetus EDIEL-protokolliga kohaselt. Kuna väiketarbijate tunnimõõtmised ennast majanduslikult ei õigusta, lähtutakse nende puhul tüüpkoormusgraafikutest. Graafikute tase määratakse tarbijate aastaenergia alusel.

Ka elektrienergia väiketootmine toimub jaotusvõrgu kontrolli all. Kuna taastuvatele energiaallikatele põhinevat elektritoodangut püütakse igati suurendada, peab jaotusvõrk olema valmis sellega tegelema.

Võrgukadude hindamine ja katmine on jaotusvõrgu ülesanne. Vajaliku elektrienergia ostab jaotusvõrk elektriturult samal viisil kui muud tarbijad. Võrgukadude katmise kulusid arvestatakse tarbijate elektritariifide määramisel.

Koormusuuringute eesmärk on moodustada tüüpkoormusgraafikud, mille alusel hinnatakse väiketarbijate tunnienergiaid nende osalemisel elektriturul. Õigemini on tegemist lihtsustatud koormusmudelitega, sest lisaks matemaatilisele ootusele hinnatakse ka ruuthälvet ja koormuse temperatuurisõltuvust (lisa 1). Andmeid koormuste kohta kasutatakse ka jaotusvõrgu projekteerimisel ja talitluse planeerimisel. Koormusuuringud põhinevad tarbijate mitme aasta tunniandmetel. Kuna väiketarbijatel tunniandmed enamasti puuduvad, tuleb koormusuuringute käigus organiseerida ühekordseid mõõtmisi.

Kohaliku bilansivastutaja rollis peab jaotusvõrk kindlustama elektrienergia tootmise ja tarbimise tasakaalu. Selleks on reaajas vaja jälgida ja prognoosida nii koormust kui ka kohalikku elektritoodangut, näiteks väikeste hüdrojaamade võimsust. Probleemiks on koormuste koosseisu muutumine, sest kui elektritarbija vahetab tarnijat, muutub enamasti ka bilansivastutaja. Bilansi tasakaalustamiseks tuleb õigel ajal reguleerida kohalikku energiatoodangut või tegutseda elektriturul.

Operatiivjuhtimissüsteem

Elektriturg mõjutab ka jaotusvõrkude traditsioonilist dispetšjuhtimise vahendite ja meetodite kujundamist. Võimalik on erinevate jaotusvõrguettevõtete töö ühine korraldamine koguni nii, et dispetšjuhtimine usaldatakse iseseisvale operatiivjuhtimise teenuseid pakkuvale ettevõttele.