

7. ANDMEVÕRGUD

7.1. Andmevõrkude üldiseloomustus

Süsteemide **võrgustumine** (networking) on infoühiskonna elukorralduse, tootmise ja seadmete automatiseerimise peamisi tunnuseid. Selle põhitiivustajaks on olnud arvutite ja mikroprotsessorite rakenduste plahvatuslik kasv paljudel elualadel ja vajadus automaatselt vahetada suuri andmehulkasid. Võib öelda, et praegu on kogu maailm võrgustumas. Võrke on mitmesuguseid, alates globaalsest telefonivõrgust või arvutivõrgust “Internet” ja lõpetades mitmesuguste kohtvõrkudega, mille ulatus piirdub vaid ühe hoone, tsehhi või masinaga, auto või lennukiga. Võrguseadmete ja -tarvikute tootjate arv maailmas ulatub tuhandetesse.

Automaatikasüsteemide ja andmevõrkude arengus on läbitud esimene etapp, s. o. võimalike lahenduste otsingute periood, ja alanud võrkude standardimise ja ulatusliku kasutamise ajajärk. Järgnev kirjutus pakub ülevaadet andmevõrkudest, mida rakendatakse nii tootmise kui terviku, üksikute protsesside kui ka seadmete automatiseerimisel.

Võrk (*network*) on hajasstruktuuriga süsteem, mille seadmed ehk üldnimetusega võrgu **sõlmed** (*network node*) saavad vahetada informatsiooni suvalise teise samasse võrku lülitatud seadmega. Võrgul on kindel struktuur (*network structure*) ehk **topoloogia** (joonis 7.1), mille järgi eristatakse ring- (*loop*), täht- (*star*), lineaarset (*line*) ja puu- (*tree*) ehk hargstruktuuri ning nende kombinatsioone, nt. täht-ringstruktuuri, segmenteeritud (*segmented*) struktuuri jne.

Võrk koosneb signaalide ülekandmiseks mõeldud füüsilisest keskkonnast ehk riistvarast (*hardware*), s. o. ülekandeliinidest ja ülekandeseadmetest, ning andmeside tarkvarast (*software*). Eri tüüpi ja eri tootjate poolt valmistatud seadmeid saab ühendada võrku tingimusel, et neil on ühesugused füüsilised ja programmilised liidesed (*network interface card, NIC*) ning andmeportsjoni vormingud ehk **kaadrid** (*frames*) ja et andmevahetus toimub ühesuguse (standardse) protokolliga (*network protocol*) järgi.

Võrguprotokollide standardite jaoks on määratletud seitsmekihiline avatud süsteemi (*open system interconnection, OSI*) mudel ISO-7 (tabel 1). Kihi kohta kehtivaid reegleid nimetatakse *protokollideks*. Mudel jaguneb kaheks piirkonnaks. Kihid 1..4 on nn signaalide **ülekandele orienteeritud** ja 5..7 **rakendustele orienteeritud** kihid (protokollid).

Kõige all on nn **füüsiline kiht**, kus määratakse signaalide ülekandekeskond (signaalijuhi liik) ja füüsilised omadused (elektripinge ja -vool, optilised omadused) ja ülekandekeskond. Signaalide ülekandeks kasutatakse automaatikavõrkudes mitmesugust kaabeldust (*cabling*), sh elektrilisi koaksiaalseid (*shielded co-axial cable*), triaksiaalseid, keerutatud kahejuhilisi (*twisted two-wire*), keerutatud jõu- ja signaalijuhtmepeare (*twisted pair for signal and power*), kiudoptilisi (*fiber-optic*) ja raadio- (*radio*) sideliine.

Teine, **kanalikiht** jaotatakse loogiliseks kanaliks (*logical link control, LLC*) ja keskkonnakanaliks (*media access control, MAC*). Kanalikihis korraldatakse seadme ja

võrgu vaheline andmeside biti ja baidi tasandil. Seal toimub vigade tuvastamine tsükkelkoodkontrolliga (*cyclic redundancy check, CRC*), kasutatakse liikluse ja põrke tuvastusega pöördust (*carrier sense multiple access with collision detection, CSMA/CD*) või infoüksuste eraldusmärke (*token*).

Tabel 7.1

Seitsmekihiline avatud süsteemi mudel ISO-7

Kiht	Nimetus	Otstarve
7	Rakenduskiht (<i>application layer</i>)	Madalamate kihtide ohjamise ja rakendusprogrammide võrgutöö kasutajaliides
6	Esituskiht, (<i>presentation layer</i>)	Koodide muundamine, andmevorming, andmeesitus, andmetihendus
5	Seansikiht (<i>session layer</i>)	Sünkroniseerimine ja andmeside juhtimine
4	Transpordikiht (<i>transport layer</i>)	Andmevoo juhtimine: teatekomponentide tuvastamine, järjestuse ja ühenduse juhtimine, segmenteerimine
3	Võrguohjekiht (<i>network layer</i>)	Side teiste võrkudega: adresseerimine/võrguühendused, teatepakettide (kaadrite) jaotamine
2	Kanalikiht (<i>data link layer</i>)	Andmevahetuse korraldamine seadme ja võrgu vahel biti ja baidi tasandil
1	Füüsikaline kiht (<i>physical layer</i>)	Riistvara komponendid, mida andmevahetuse ajal läbivad arvsignaaliid ehk bitivoog

Võrguohjekiht tagab adresseerimise ja ühenduse teiste võrkudega ning teatepakettide, nt kaadrite (*frames*) jaotamise.

Transpordikiht on ette nähtud andmevoo juhtimiseks sh infoüksuste segmenteerimiseks, seadistamiseks/lähtestuseks, tuvastamiseks ja nende järjestuse juhtimiseks.

Seansikiht on mõeldud andmevahetuse sünkroniseerimiseks ja juhtimiseks.

Esituskiht tagab koodide ja andmevormingu muundamise, andmetihenduse (-pakkimise) ning andmete nõutaval kujul esitamise.

Rakenduskiht kujutab endast kasutajaliidest võrguprotokolli madalamate kihtide ohjamiseks ja kasutaja võrgutööks. Seal toimub failide ülekande võrguseadmete vahel, andmete lugemine ja kirjutamine.

Erinevate võrkude võrdlemiseks kasutatakse järgmisi näitajaid:

Võrguseadmete ehk -sõlmede (*node*) maksimaalne arv, mis võib ulatuda realselt mõnekümnest kuni kümnete tuhandeteni.

Signaali maksimaalne ülekandekaugus, mis sõltub füüsilisest ülekandekeskonnast ja ülekandekiirusest; kiiruse suurenemisel kaugus väheneb ja vastupidi. Reaalne ülekandekaugus ulatub mõnekümnest meetrist kümnete kilomeetriteni.

Andmeedastuskiirus, mis sõltub nii andmeohje protokollist kui ka füüsilisest ülekandekeskonnast ja on võrkude puhul sadadest kiloboodidest (1 kBaud = 1 kbit/s) kuni kümnete megaboodideni.

Kommunikatsioonimeetod, mis võib olla eelisõiguslik ülem-alluvseadmetega (*master/slave*), võrdõiguslik (*peer to peer*), mitmik-ülemseadmetega (*multi master*), tsüklilise ringküsitlusega (*cyclic polling*), üldlevi (*broadcast*) või mitmiklevi (*multi cast*).

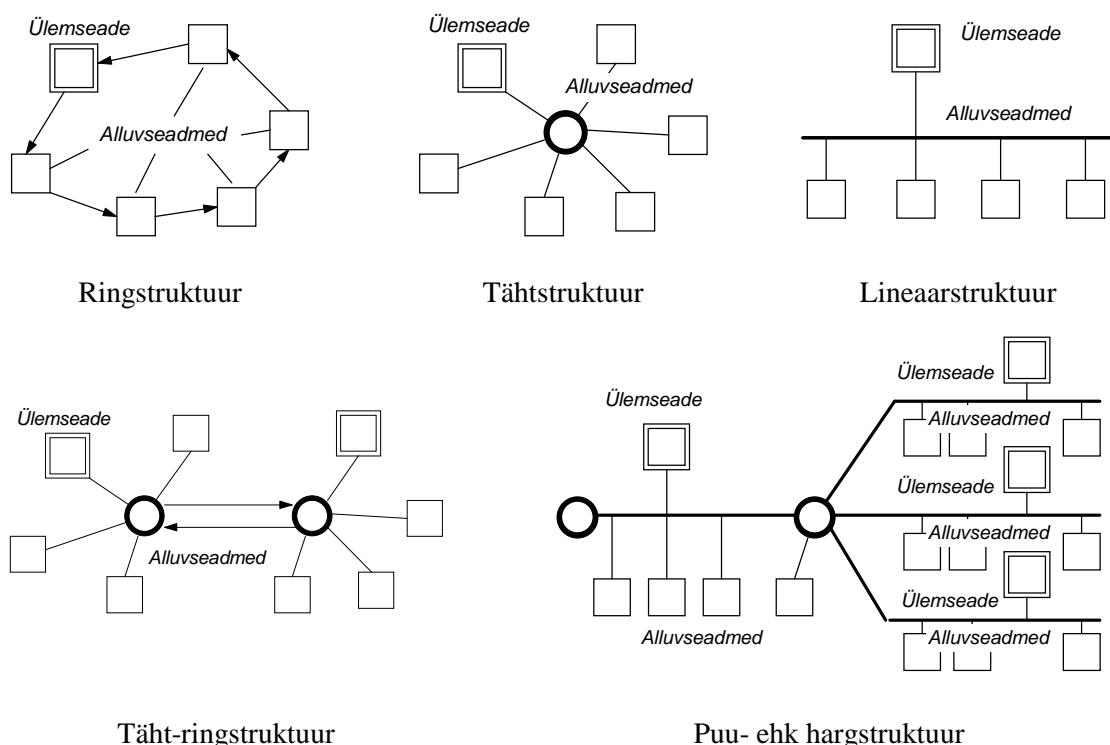
Andmeportsjoni suurus, mis sõltub andmeohje protokollist ja on 8 bitist kuni kümnete megabittideni, kusjuures ülemine lagi võib ka puududa.

Arbitreerimismeetod, mis määrab võrguressursi ühiskasutusel tekkivate konfliktide lahendamise viisi. Arbitreerimine toimub loa kettedastusega (*token passing*), ülem-alluvseadmetega ja tsüklilise ringküsitlusega (*master/slave with cyclic polling*), plaanuriga (*scheduler*), mitmekordse dubleerimisega (*multiple bacup*), tsentraalse arbitreerimisega (*central arbitration*), liikluse tuvastusega (*carrier sense*) Olgu lisatud, et arbitreerimine võib ka puududa, nt. võrguprotokolli Interbus-S puhul.

Vigade avastamine ja diagnostika, mis toimub tsükelkoodkontrolli (*CRC, cyclic redundancy check*), veaparandus- ehk korrektiivkoodide (*Manchester code, Hamming-2 code*), kaadri lõpukaja (*end of frame echo check*), võrgusõlmede ja kanali diagnostika (*station module & channel diagnostics*), siini (*cable brake, bus monitoring*) ja seadmete talitlusjärelvalve (*slave fault, device fault*), telediagnostika (*remote diagnostics*) jms. abil.

Võrgu avatus, mis sõltub sellest, kuivõrd saab võrku edaspidi lisada uusi seadmeid ja kui paljude tootjate seadmed ühilduvad antud võrgu andmeohjeprotokolliga.

Võrgu standardite olemasolu, mis annab kasutajale kindlustunde, et võrku saab ühilduvate seadmetega edaspidi laiendada.



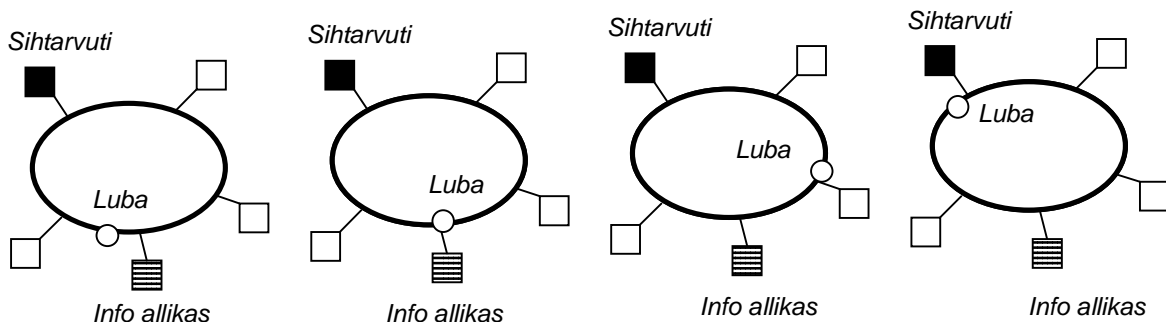
Joonis 7.1. Võrkude struktuure

Võrku ühendatud digitaalseadmed jaotatakse **aktiivseteks** ehk **ülemseadmeteks** (*master devices*) ja **passiivseteks** ehk **alluvseadmeteks** (*slave devices*). Aktiivseadmed juhivad

võrgus toimuvat andmevahetust. Nad võivad algatada andmevahetust välise nõudluseta, üksnes programmi järgi. Aktiivseadmeteks on tavaliselt nt personaalarvutid (*PCs, personal computers*) ja programmeeritavad kontrollid (*PLCs, programmable logic controllers*). Passiivseadmed ise andmevahetust ei algata. Nad võtavad vastu teateid ja vastavad aktiivseadmete infopäringutele. Passiivseadmeteks on tavaliselt nt muundurid, andurid ja täiturid. Aktiiv- ja passiivseadmetega süsteemi nimetatakse **ülem-alluvsüsteemiks** (*master/slave*) ning vastavat kommunikatsioonimeetodit eelisõiguslikuks ehk **ülem-alluva kommunikatsiooniks**. Selle vastandiks on **võrdõiguslik kommunikatsioon** (*peer-to-peer*), kus kõik võrguseadmed omavad õigust algatada infovahetust.

Eri võrkude topoloogia, kommunikatsiooni, arbitraa, i, vigade avastamise ja diagnostika meetodite kohta võib lähemat teavet saada nii vastavast kirjandusest kui ka interneti vahendusel. Siinkohal tutvustatakse lähemalt mõne võrgu tööpõhimõtet ja omadusi ning võrreldakse võrke omavahel.

Loa kettedastuse (*token passing*) puhul liigub mööda võrku elektrisignaali, mis läbib kõiki arvuteid (joonis 2). Iga arvuti, mis tahab saata infot, seab oma loa olekusse “hõivatud” (*busy*) ning saadab andmed ja nende sihtadressi võrku. Luba ja andmed liiguvad mööda võrku, kuni sihtarvuti need võrgust välja võtab. Luba liigub ringiga tagasi saatjaarvuti juurde, mis seab selle tagasi olekusse “pole hõivatud” (*not busy*) ning annab teistele masinatele võimaluse võrku ja loasignaali kasutada.

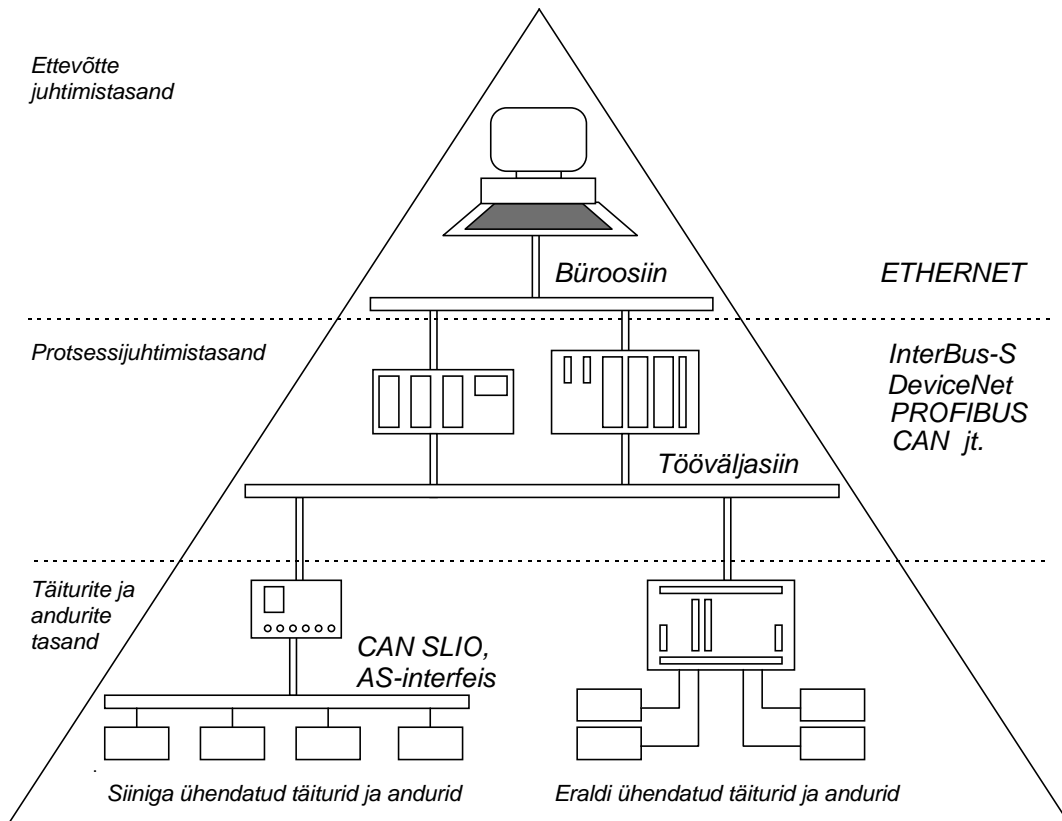


Joonis 7.2. Loa kettedastus

7.2. Tööstuslike andmevõrkude liigid ja omadused

Nüüdisettevõtte automatiseerimisel kasutatakse mitmesuguse arhitektuuriga **andmesidekohtvõrke** (*LAN architectures*), mille rakendused ja omadused sõltuvad infotöötamise ülesannetest. Tänapäeva ettevõtte juhtimiseks on valdavalt kasutusel kombineeritud **hierarhilised hajusjuhtimisstruktuurid**. Seejuures eristatakse vähemalt kolme erinevat juhtimistasandit: ettevõtte, protsessi ja seadme tasandit. Ettevõtte juhtimistasanditest ja selleks kasutatavatest võrkudest annab ülevaate joonis 7.3.

Ettevõtte juhtimistasandi peamiseks üleanneteks on tootmis- ja töökorraldus, laomajandus, raamatupidamine ja rahandus. Nende ülesannete täitmiseks ja tehingute automatiseerimiseks kasutatakse mitmesuguse jõudlusega personaalarvuteid ja/või tööjaamu (*workstations*) ning neid siduvaid tööstuslikke büroovõrke (siine). Tuntumaid büroovõrke on näiteks Ethernet LAN. Tööstuses kasutatavat seda tüüpi võrku nimetatakse ka Ethernet-tööstusvõrguks (*Industrial Ethernet*).



Joonis 7.3. Ettevõtte hierarhiline juhtimisstruktuur ja kasutatavad andmesidevõrgud

Ethernet-tööstusvõrk (IEEE 802.3) on ette nähtud automaatikasüsteemide, personaalarvutite ja tööjaamade vastastikuseks ühendamiseks ning andmesideks nende vahel. Võrk on avatud ja töö käigus laiendatav. Võrgul on suur andmeedastuskiirus (10 või 100 MBaud) ja häirekindlus; selles saab kasutada mitmesuguseid signaalide edastusvahendeid – triaksiaalkaablit, keerutatud juhtmepaari ja kiudoptilist kaablit. Ethernet vastab tööstusstandarditele ja on levinud kogu maailmas.

Ethernet-tööstusvõrgus kasutatakse General Motorsi poolt loodud kohtvõrgu valmistusautomaatika lubapöördusega protokollit (*manufacturing automation protocol, MAP*) ja tehnoloogiafunktsioonide protokollit (*technological functions protocol, TFP*). TFP sisaldab Siemensi SINEC (*automation protocol, AP*) protokollit. Standardiga ühilduvad lisafunktsioonid on SEND/RECEIVE, mis võimaldab programmeeritavate kontrollereite SIMATIC S5 ja S7 ning personaalarvutite vahelist ühendust, ning S7 funktsioonid optimaalseks tööks SIMATIC S7 võrgus.

Protsessijuhtimistasandi peamiseks ülesandeks on tootmisprotsessi automaatne või automatiseeritud juhtimine, kontroll ja diagnostika ning side kõrgema ja madalama tasandi andmesidevõrkudega. Protsessijuhtimistasand ühendab kõiki automaatikasüsteemides kasutatavaid seadmeid nagu programmeeritavaid kontrollereid, arvjuhtimiseseadmeid, roboteid, tööpinke, paindootmissüsteeme. Seadmeid ühendavat võrku nimetatakse üldjuhul **tööväljavõrguks** ehk tööväljasiiniks. **Tööväljasiin** (*fieldbus*) on hajussüsteemi keskmisel ja alumisel hierarhiatasandil töötavate seadmete andmevahetuseks mõeldud siin. Teateid edastatakse jadaliideste kaudu ja jadakoodis. Peamisteks tööstuses ja seadmete automatiseerimisel kasutatavateks tööväljasiinideks ja vastavateks andmeohje protokollideks on InterBus, LON (*Local Operating Network*) PROFIBUS (**PRO**cess **FI**eld **BUS**), Wide CAN (*Controller Area Network*), DeviceNet jt.

Mõnikord kasutatakse lihtseadmete, täiturite ja andurite ühendamiseks väikese ulatusega ja lihtsa protokolliga **lihtseadmevõrku** (-siini). Lihtsa ehituse ja väikese ulatuse tõttu nimetatakse seda vahel ka liideseks (*interface*). Tuntuimad lihtseadmevõrgud on ASI (*Actuator-Sensor Interface*) ja Local CAN ehk CAN SLIO (*CAN Serial Link Input Output*). Lihtseadmevõrgu ülesandeid võib täita ka mõni tööväljavõrkudest, nt DeviceNet.

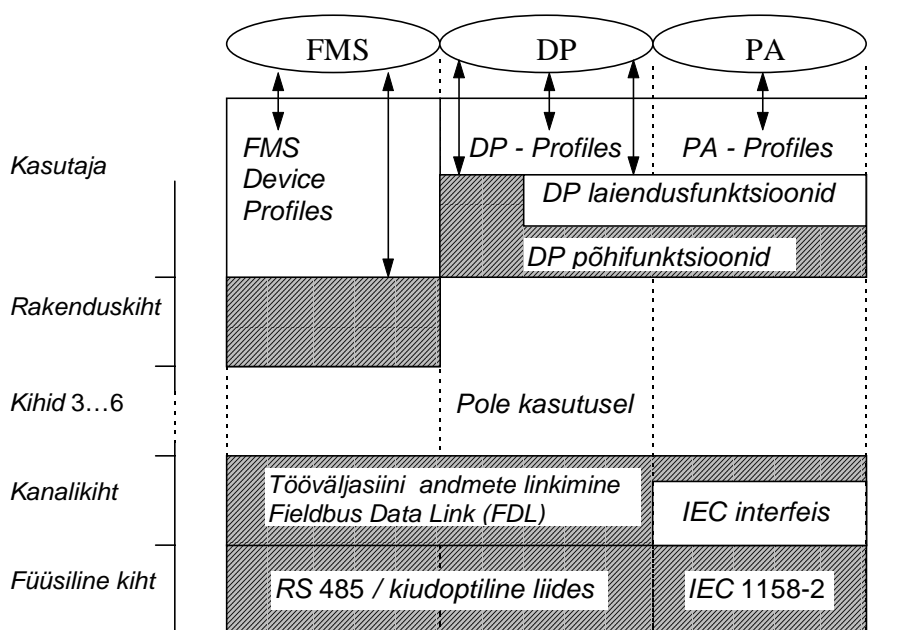
Võrku saab jaotada osadeks, mida nimetatakse võrgu **segmentideks**. Võrgu osi ühendavad **sillad** (*bridges*), **marsruuterid** (*routers*), **kommutaatorid** (*switches*) ja andmeedastuse parandamiseks, s. o. signaalide taastamiseks ja võimendamiseks mõeldud **repiiterid** (*repeaters*) ehk **kontsentraatorid** (*concentrators*). Eri standarditele vastavaid võrke ühendatakse omavahel läbi võrkudevaheliste liideste ehk **võrgulüüside** (*gateways*). Seega on sillad, marsruuterid ja lüüsid võrgu ühenduselemendid, kusjuures sillad toimivad avatud võrgu ühendus- (*OSI*-) mudeli kanalikihis, marsruuterid võrguohjekihis ja lüüsid rakenduskihis. Nii võib valdavalt PROFIBUS-võrgul põhineval süsteemil olla võrgulüüside kaudu ühendus teiste võrkudega (nt CAN- või InterBus-võrkudega). Mõne võrguohjeprotokolli puhul saab võrguseadmeid ühendada töökiiruse suurendamiseks **kommutaatoritega** (*switches*).

InterBus-S on loodud 1984. a. firma *Phoenix Contact* poolt. InterBus-S on avatud hajus tootmise automatiseerimisel ja protsessijuhtimiseks kasutatav tööväljavõrk, mis koosneb personaalarvuti võrgukaartidest, programmeeritavatest loogilistest kontrolleritest ja nendega ühendatud sisend/väljundseadmetest. Interbus-S on kasutatav koos personaalarvutite standardsete operatsioonisüsteemide ja tarkvaravahenditega. InterBus-S protokoll (DIN 19258) võimaldab edastada käsked ja andmeid eri tootjate poolt valmistatud seadmete vahel.

PROFIBUS on üks tööväljasiini andmeohje standardprotokolle, mida kasutatakse kommunikatsiooniks personaalarvutite programmaatorite, programmeeritavate kontrollerite ja muude tööväljasiini seadmete vahel. Saksa päritolu Profibus-võrk on avatud erinevate tootjate poolt valmistatud Profibus-seadmete ühendamiseks ilma täiendavate adapteriteta. Seda võrku on aastate jooksul katsetatud automaatika eri valdkondades nagu tootmise automatiseerimisel, protsessijuhtimisel, elektriagamites ja ehitiste olmeautomaatikas.

Profibus'il on kolm põhilist võrguprotokolli (joonis 4): Profibus-FMS (*FMS, fieldbus message specification*), mida kasutatakse üldotstarbeliseks automatiseerimiseks, Profibus-DP (*distributed peripheral devices*), mis on mõeldud tootmise automati-

seerimiseks, ja Profibus-PA (*process automation*), mille peamine rakendusvald on protsessijuhtimine. Sageli kasutatakse tootmise automatiseerimisel korraga mitut Profibus-protokoll. Kuna Profibus-DP ja -FMS põhinevad ühel ja samal tehnoloogial, neil on sama siiniprotokoll (*bus access protocol*), sama (RS 485) liides ja kanalikiht, siis saab neid kasutada sama võrgukaabli puhul kordamööda. Profibus PA vastab keemiatööstuse ja kütusekeemiatööstuse nõuetele (IEC 1158-2) ning tagab ohutuse ja tööväljaseadmete toite siini kaudu. Profibus-PA on bitisünkroniseerimisega (*bit-synchronous*) ja vooluvabade (pinge-) signaalidega protokoll. Protokolle Profibus-DP ja Profibus-PA saab kasutada Profibus-võrgu eri segmentides. Profibus-siini kasutatakse ülema-alluva (*master/slave*) kommunikatsioonimeetodit.



Joonis 7.4. Profibus-protokollide arhitektuur

Profibus-võrgu alumisel hierarhiatasandil rakendatakse andurite ja täiturite ühendamiseks ASi (*actuator-sensor interface*) liidest ja vastavat siini. Seepärast võib ASi-siini vaadelda ka Profibus võrgu osana. Profibus-võrgu üks suurimaid toetajaid on Siemens, kes toodab enamikku tööstusautomaatikas vajaminevaid võrguseadmeid ja -tarvikuid ning võrgulüüse Profibus ühendamiseks teiste võrkudega. Mõned Profibus-seadmed on esitatud järgnevas loetelus.

Profibus-ülemseadmed (*masters*)

- Programmeeritavad kontrollid
- Programmeeritavad reaalajakontrollid
- Programmeerimisseadmed
- operaatoripaneelid OP5/OP15, OP25/OP35

Profibus-alluseadmed (*slaves*)

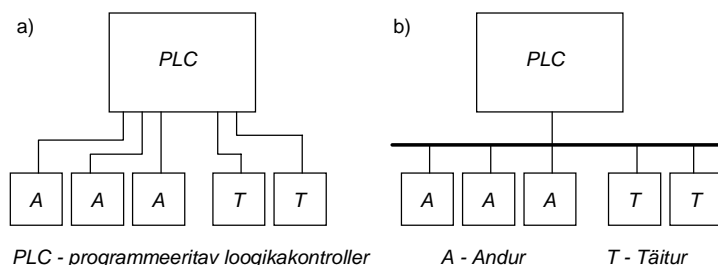
- Hajussisend- ja -väljundseadmed
- Võrgulüüs
- Muundurid

- Vahelduvvooluajamid
- Madalpingelülitid
- Arvjuhtimisseadmed
- Robotite juhtseadmed
- Identifitseerimissüsteem
- Energia juhtimisseade

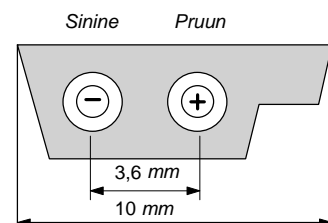
Mitmed firmad, nt Motorola, Siemens, IAM, Smar jt., toodavad Profibus-võrgu rakendustele orienteeritud integraallülitisi (*application specific integral circuits, ASIC*), mis toetavad Profibus'i eri protokolle. Nende kiipide hulgas on mikrokontrollerid (ülemseadmed), mikroprotsessorist sõltumatud sisend-väljundlülitused (alluvseadmed või ülem-alluvseadmed) ja modemid.

AS interface ehk **ASI** on ette nähtud eri tootjate poolt valmistatud lihtsamate binaarseadmete (peamiselt andurite ja täiturite) andmevahetuseks juhtseadmega (programmeeritava kontrolleriiga). ASI-tehnoloogia töötas 1993 sügisel välja ASI Consortium ja see on esitatud standardimiseks Rahvusvahelisele Elektrotehnikakomisjonile (*IEC*). ASI-adaptori kaudu saab ASI-siiniga ühendatud seadmete infot edastada Profibusile või mõnele teisele tööväljasiinile. ASI-alamvõrk koosneb ASI-siini kontrolleritest (*AS interface master*), mille kaudu ASI-siin ühendatakse Profibus-siiniga, ja ASI-komponentidest, s. o. ASI-liidesega varustatud anduritest ja täituritest. ASI-signaale edastatakse kahesoonealise profileeritud kaabli kaudu, mille külge ühendatakse läbitorkekontaktiga ASI-andurid ja -täiturid. Seejuures toodetakse ka mitmesuguseid ASI-siiniga ühendatavaid lihtaparaate nagu juhtnuppe, lüliteid, kontaktoreid jms. Võrgu kasutamiseks saadakse olulist kokkuhoidu lihtsamate elektriliste ühenduste arvel.

Varasemates automaatikasüsteemides ühendati iga andur, lüliti, juhtnupp või kontaktor juhtseadmega eraldi juhtmete kaudu. Suurel territooriumil paikneva süsteemi puhul kulus ühendusteks väga palju juhtmeid ja peale selle pidi juhtseadmel olema paljude kontaktidega liides, kuhu sai ühendada kõik süsteemi kuuluvad seadmed. ASI-siini kasutamisel lihtsustub süsteemi montaa, ning on välistatud ühenduste valesst polaarsusest tingitud vead, sest ASI-siini kaablit saab ühendada võrguseadmetega ainult ühe võimaliku polaarsusega (vt. joonis 7.6).



Joonis 7.5. Andurite ja täiturite ühendamine programmeeritava kontrolleriiga: a) üksikult, b) siini kaudu

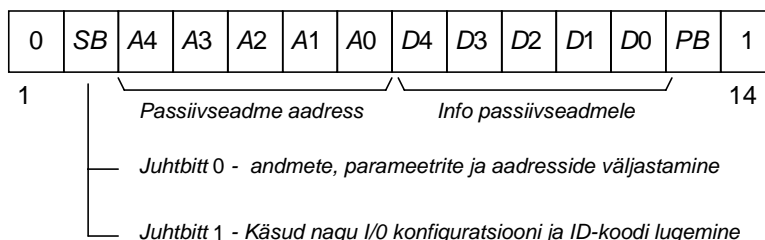


Joonis 7.6. ASI-kaabli ristlõige

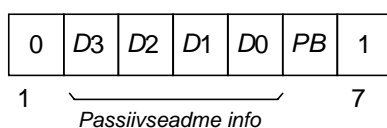
Tavalise anduri või täituri ühendamiseks ASI-siiniga kasutatakse ASI-liidest, mis füüsiliselt kujutab endast integraallülitusel põhinevat plokki mitme (tavaliselt nelja) anduri ühendamiseks. Integraallülitus on kompaktne ja seda saab monteerida ka väikeste

mõõtnetega anduritesse ja täituritesse. Niisuguseid ASI-liidesega andureid ja täitureid toodetakse tööstuslikult (Siemens) ning need kujutavad endast uue põlvkonna tõhusa andmesidega automaatikavahendeid.

Aktiivseadme teatevorming



Passiivseadme vastusteatevorming



Joonis 7.7. ASI aktiivseadme teatevorming ja passiivseadme vastusteatevorming

ASI-protokollis on ainult üks aktiivseadme (*Master*) telegrammi teatevorming ja üks passiivseadme (*Slave*) vastusteatevorming. Aktiivteate 14 bitist on 10 bitti eraldatud teatele (5-bitine aadress ja 5-bitine info). Passiivteade on 7 bitti, millest 4 bitti on kasulik info. Aktiivteate sisuks võib olla andmepäring, parameetrite päring, aadressipäring, sisendi/väljundi konfiguratsiooni lugemine, ID-koodi lugemine, aadressi kustutamine.

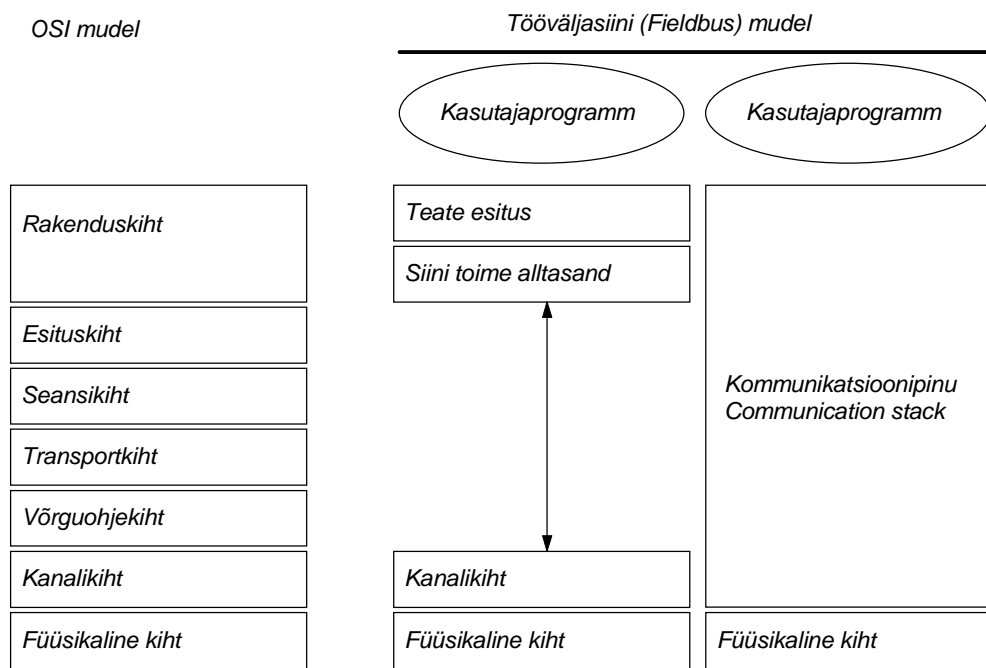
ASI-liideseid ja nende vastavust standardile kontrollib **AS Interface Association**. Nõuetele vastavad tooted saavad AS-I liidese sertifikaadi ning neid võib tähistada vastava sümboliga.

Fieldbus Foundation on välmitud 1995. aastal ja on üks uuemaid tööväljasiini andme-ohje-protokolle. Siini füüsiline kiht vastab IEC 1158-2 standardi nõuetele. Fieldbus kasutab võrreldes ISO-7 seitsmekihilise mudeli 2-7 tasandi asemel nn **kommunikatsioonipinu** (*communication stack*). 7. tasandi protokoll (*fieldbus message specification, FMS*) kodeerib ja dekodeerib kasutajaprogrammi käsked. FMS sisaldab objektide registrit (*object dictionary*), mis võimaldab andmeedastust Fieldbusi kaudu nii sihtnime (*tag name*) kui ka indeksi (*index*) abil (joonis 7.8). Linkimistasandi andmevahetus on standarditud IEC DLL (*data link level*) standardiga ja FMS ühildub PROFIBUS-standardiga.

Smart Distributed System (SDS) on firma *Honeywell* poolt välmitud võrguprotokoll arenenenud tarkvaraga andurite ja täiturite ühendamiseks võrku. Kasutatakse näiteks täitureid, mis võimaldavad võrgutööd ning mille riist- ja tarkvaraga saab realiseerida regulaatoreid. Niisuguste andurite ja täituritega saab koostada võrgu kaudu toimiva automaatjuhtimissüsteemi ka ilma juhtseadmata. SDS sarnaneb DeviceNet-võrguprotokollile ning selle alumised kihid põhinevad CAN-protokollil.

CAN (*controller area network*) on multiprotsessorsüsteemis kasutatav andmesidevõrk, mille peamiseks elementideks on riistvaralised CAN-võrgukontrollerid ja CAN-protokolliga ühilduvad CAN-komponendid. CAN-võrgu põhimõtted loodi auto- ja

lennukitööstuse firmade poolt 1980-ndate aastate lõpul. Auto ja lennukitootjate ette oli sel ajal kerkinud ülesanne luua suhteliselt lihtne, odav ning töö- ja häirekindel andmesidevõrk erinevate mikroprotsessorite vahel. Hiljem on hakatud CAN-võrku kasutama ka tööpingi- ja robotiehituses. Seega, erinevalt mõnedest teistest võrkudest, mis toimivad väga suurel territooriumil ja funktsionaalselt erinevate seadmete vahel, on CAN-võrk loodud kasutamiseks ühe masina ulatuses.



Joonis 7.8. Tööväljasiini Fielbus Foundation võrdlus avatud võrgu ISO-7 mudeliga

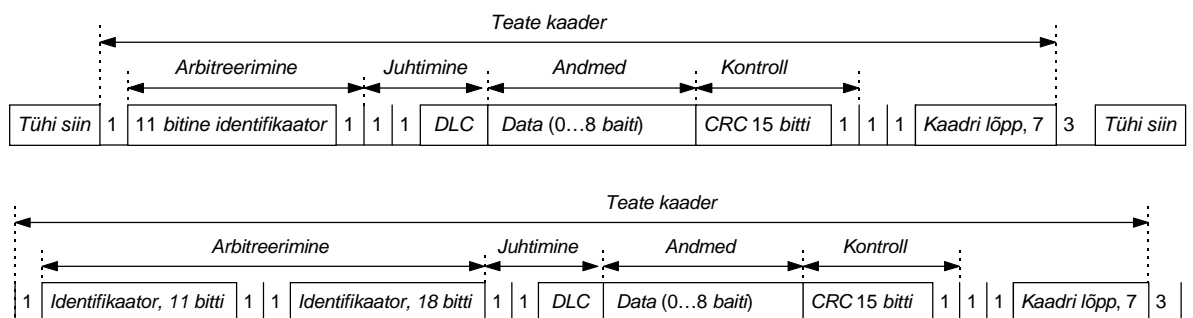
Sageli on CAN-võrgu protokoll tööväljavõrkude hierarhia kõrgema tasandi andmeohje-protokollide koosseisus. CAN andmeohjeprotokollid kasutavad näiteks DeviceNet, SDS (*Smart Distributed System*) jt. CAN-võrgu aluseks on riistvaralised **CAN-komponendid**, mille juurde kuulub vastav tarkvara ja tööriistad (*tools*). CAN-komponente saab kasutada ka vastavat tarkvara omamata. CAN-tööriista (*CAN-tool*) näiteks on CANoe (*CAN open environment*) arendussüsteem, mis on tõhus vahend automaatikasüsteemide väljundiks alates süsteemi plaanimisest kuni käikulaskmiseni. CANoe arendussüsteem töötab IBM-ühilduvatel arvutitel ja MS-Windows-keskkonnas. CAN tarkvara töötab samuti Windows-keskkonnas. See võimaldab nii süsteemide diagnostikat (*CAN analysers*) kui ka talitlusjärelvalvet ja juhtimist (CAN-tarkvaral põhinevad arendussüsteemid).

CAN-võrguprotokollid iseloomulikuks omaduseks on **teate bitikaupa säilarbitreerimine** (*non-destructive bitwise arbitration*), kus teate prioriteet ja vastuvõtja määratletakse kas 11-bitise (CAN 2.0A) või 29-bitise (CAN 2.0B) identifikaatoriga. Teatele omistatakse identifikaator süsteemi projekteerimisel, kusjuures väikseima binaarväärtusega teatel on kõrgeim prioriteet. Kõik võimalikud siinil tekkivad konfliktolukorrad lahendatakse bitikaupa säilarbitreerimisega, kus domineerivaks bitiks on loogiline 0 ja taanduvaks loogiline 1. Igal seadmel on varuks oma teade, mida ta soovib edastada ja millele on omistatud vastav identifikaator. Kui siin on hõivatud (s. t. toimub teate edastamine), siis teised võrguseadmed on ootel. Niipea kui siin jääb tühjaks, hakkavad kõik saatmisootel

seadmed edastama siinile teadet alates vanimast bitist (*most significant bit, MSB*) kuni noorima bitini (*last significant bit, LSB*) välja. Kõik seadmed edastavad bittide ühel ajal ja need satuvad korruga siinile. Siini iseloomulikuks elektriliseks omaduseks on see, et kui mõne seadme edastatav signaal on loogiline 0, jääb siini olek samuti nulliks, sõltumata sellest, mida teised seadmed edastavad. Siini olek muutub loogiliseks üheks vaid juhul, mil kõik seadmed edastavad signaali “loogiline 1”. Seega realiseerib siin loogilist NING-tehet. Sel põhjusel on ka loogiline 0 domineerivaks olekuks.

Ülekande ajal jälgivad kõik seadmed siini. Kui seade saadab signaali 1, kuid siinil on loogiline signaal 0, tekib kokkupõrge (*collision*) ja seade tuvastab, et toimub signaali ülekande mõnelt teiselt seadmelt. Arbitreerimisprotokoll näeb ette, et iga seade, mis tuvastab kokkupõrke, tõmbub viivitamatult tagasi. Kuna teadet edastatakse alates vanimast bitist (*MSB*), puudub kokkupõrke läbi teinud seadmel süsteemis kõrgeim prioriteet ning teistkordseks arbitreerimiseks peab ta ootama järgmist tsüklit, mil siin uuesti vabaneb.

Peale identifikaatori sisaldab CAN-teate kaader juhtimiseks vajalikku andmepikkuse koodi (*data length code, DLC*), 0...8 baidilist teadet, tsükelkoodikontrolli ja muid CAN-protokolli tööks vajalikke bittide (joonis 7.9). Tänapäevaks on loodud väga palju erisuguseid CAN-komponente. Eristatakse lihtsat CAN 1.0, standardset CAN 2.0A ja laiendatud CAN 2.0B protokolli versioone. Sõltuvalt CAN kontrolleri ehitusest liigitatakse neid CAN põhikontrolleriteks **Basic CAN** ja täiskontrolleriteks **Full CAN**, mis erinevad teineteisest peamiselt teate puhvrise salvestamise meetodi poolest.



Joonis 7.9. CAN 2.0A ja 2.0B teate kaadrid

CAN-protokolle kasutatakse koos erinevate kõrgema kihi võrguprotokolliga. Neid kõrgema kihi protokolle nimetatakse ka CANi kasutajakihtideks **CAL** (*CAN application layers*). CANi kasutajakihtideks võivad olla CAL, PCAL, CANopen või DeviceNet protokollid.

Tabelis 7.2 on toodud mõnede tööväljasiinide võrguprotokollide võrdlus. Internetist võib leida üsna palju mitmesuguseid tööväljasiinide võrdlusi, kuid siinkohal tuleb lisada, et kõik taolised võrdlused on küllaltki tinglikud. Tänapäeval toimub väga tihe majanduslik võistlus eri standarditel põhinevate võrgukomponentide tootjate vahel, mistõttu võrguprotokollide võrdlus teenib sageli ka reklaami huve, tõestamaks ühe või teise protokollide eeliseid. Sageli on mingil ühel standardil põhinev protokollikiht kasutusel koos mõne teise standardi protokollikihiga ning moodustab sellega koos mingi uue protokollide. Seega on eri võrguprotokollide sisulised väärtused omavahel tihedalt seotud.

Võrguprotokollide võrdlus

Võrreldav omadus	Tööstuslik Ethernet	PROFIBUS SINEC L2	CAN	ASI
Standardid	IEEE 802.3 Protokollid: TF, MAP	EN 50170, DIN E 19245 Protokollid: FMS, DP, PA	ISO 11898	IEC TG 17B
Rakendused	Ettevõtte büroovõrk	DP - tööväljasiin, 20...30 seadet FMS - väikese tootmisüksuse võrgusiin, kuni 10 seadet	Tööväljasiin	Andurite ja täiturite liides, 20...30 seadet
Tüüpseadmed	Personaalarvutid, tööjaamad	Programmeerimisseadmed, arvutid, programmeeritavad kontrollid (SIMATIC S7). Tööväljaseadmed: ajamid, klapid, hajusisend- ja -väljundseadmed, operaatoripaneelid	Programmeerimisseadmed, arvutid, programmeeritavad kontrollid. Tööväljaseadmed: ajamid, klapid, hajusisend- ja -väljundseadmed, operaatoripaneelid	Binaarsed andurid ja täituriid nagu lähedus- ja piirlülid, kontaktorid ja klapid
Seadmete maksimumaalne arv	1024	126 aktiiv- ja passiivseadet	sõltub süsteemi konfiguratsioonist	32 seadet, sh 1 aktiiv- ja 31 passiivseadet
Passiivseadme pikim teade		244 baiti	0...8 baiti	4 bitti sisend- ja 4 bitti väljundseadmel
Toimekiirus	10 Mbit/s	DP 1,0 ms (12 Mbit/s) 5,0 ms (1,5 Mbit/s) FMS 60 ms (1,5 Mbit/s)	1 Mbit/s	Tsükkel 5 ms (31 passiivseadme puhul), andmeedastuskiirus 167 KBaud
Võrgu topoloogia	Lineaarne, puu, täht	Lineaarne, puu, ring, täht	Diferentsiaalsiinil lineaarne, muidu puu, ring või täht	Lineaarne, puu
Võrgu ulatus	Elektriline 1,5 km, optiline 4,3 km	Elektriline kahesoone-line juhe kuni 12 km, kiudoptiline kaabel kuni 23,8 km, võimendiga kuni 90 km	Elektriline kuni 50 m	100 m; koos repiiteriga kuni 300 m
Ülekandeliin	Kahesooneiline varjestatud kaabel või kiudoptiline kaabel	Kahesooneiline varjestatud kaabel, klaasist või plastikust kiudoptiline kaabel	Keerutatud varjestamata juhtmepaar või kiudoptiline kaabel	Kahesooneiline varjestamata juhe 2 x 1,5 mm ²
Kaitseaste		IP 20 kuni IP 67		IP 20 kuni IP 67

