

# MEHHAATROONIKA KOMPONENDID

ÕPPEMATERJAL KUTSEKOOLIDELE  
EDUARD BRINDFELDT, VIRGO ROTTENBERG, URMO LEPIKSOO



# Mehhatroonika komponendid

## Õppematerjal kutsekoolidele

**Eduard Brindfeldt**

**Virgo Rottenberg**

**Urmo Lepiksoo**

Tallinn 2014

Käesolev õppematerjal on valminud „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007-2013” ja sellest tuleneva rakenduskava „Inimressursi arendamine” alusel prioriteetse suuna „Elukestev õpe” meetme „Kutseõppe sisuline kaasajastamine ning kvaliteedi kindlustamine” programmi „Kutsehariduse sisuline arendamine 2008-2013” raames.

Õppematerjalide koostamisel on lähtutud valdkonna kutsestandardite nõuetest ja tööstuse vajadustest. Õppematerjalid on vastavuses riiklike õppekavadega ja abisatavad kutseõppeasutuste õppureid edasiseks tööks vajalike teadmiste omandamisel. Kompetentne töötaja omab eeldusi tööturul tugevama positsiooni saavutamiseks. Väga vajalik on, et iga töötaja töökohal oskaks parimal võimalikul viisil kasutada vastavaid seadmeid ja tehnoloogiaid ning tunneks kulusäästliku ja tulemusliku töö põhimõtteid.

Mehaanika ja metallitöödega seotud sari sisaldab alljärgnevat õppematerjale kutsekoolidele:

1. Tootmise korraldamine;
2. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiad ja kasutatavad seadmed;
3. Metalltoodete valmistamine, koostamine ja viimistlemine;
4. Keevitustööd;
5. Lehtmetalli töötlemistehnoloogiad;
6. Mehhatroonika komponendid;
7. Robotitehnika kutsekoolidele.

Kogu sarja ettevalmistuse ja eestvedamise juures on olnud: Jüri Riives, Tõnu Lelumees, Jaak Lavin, Triin Ploompuu, Lii Topaasia, Helina Seljamäe, Leelo Kingisepp ja Piret Kärtner.

Toimetaja: Sirli Tarve

Kujundaja: Helina Seljamäe

Trükieelne korrektuur: Nele Otto

Trükk: AS Atlex

ISBN 978-9949-547-90-6 (trükk)

ISBN 978-9949-547-85-2 (pdf)

## Autoritest

	<p><b>Eduard Brindfeldt</b> on Tallinna Tööstushariduskeskuse mehaanika- ja elektroonika osakonna juhataja ning mitmete kutsestandardite ja riiklike õppekavade töörühmade liige ja juht.</p> <p>Lõpetanud 1983. aastal Tallinna Polütehnikumi elektri ja võrgud ja süsteemid eriala. Hiljem töötanud erinevates firmades: Eesti Energia, ABB Eesti jne. Samal ajal pidevalt ennast täiendanud erinevates valdkondades.</p> <p>Lõpetanud 2006. a. Tallinna Ülikooli bakalaureuseõppe kutseõpetaja erialal, 2008-ndal kaitses samas õppeasutuses magistrikraadi juhtimise erialal. 2013-ndal kaitses TTÜ-s filosoofiadoktori (energia- ja geotehnika) kraadi.</p>
	<p><b>Virgo Rottenberg</b> on Tallinna Tööstushariduskeskuse mehhatroonika ja automaatika valdkonna juhtõpetaja.</p> <p>Lõpetanud 1977. aastal TPI (TTÜ) raadiotehnika erialal, töötanud mitmes Eesti ettevõttes (Tartu Rajooni Sidesõlm, mööblikombinaat „Tarmeko“, AS Norma) erinevatel tehnikaga seotud inseneri ja keskastme juhi ametikohtadel.</p>
	<p><b>Urmo Lepiksoo</b> on lõpetanud 2009. aastal Tallinna Tööstushariduskeskuse mehhatroonika erialal, misjärel asus samasse asutusse tööle tehnikuna. Lisaks tegeleb õpilaste ettevalmistamisega mehhatroonika euroopa ja maailmameistrivõistlusteks.</p>

# Sisukord

<b>1. Sissejuhatus .....</b>	<b>6</b>
1.1. Mehhatroonika ja mehhatroonikasüsteem .....	7
1.2. Tootmise automatiseerimise eesmärgid .....	8
1.3. Tootmise automatiseerimine .....	9
1.4. Masina automatiseerimise astmed .....	11
Enesekontrolliküsimused .....	15
<b>2. Mehhatroonikaseadmed.....</b>	<b>17</b>
2.1. Andurid .....	17
2.1.1. Andurite klassifikatsioon .....	19
2.1.2. Temperatuuriandurid .....	21
2.1.3. Jõu- ja mehaanilise pinge andurid .....	26
2.1.4. Positsiooni-, nihke-, kiirus- ja kiirendusandurid .....	32
2.1.5. Vooluhulgaandurid .....	39
2.1.6. Niiskusandurid .....	41
2.1.7. Objekti registreerivad andurid .....	43
Enesekontrolliküsimused .....	48
2.2. Programmeeritavad kontrollid .....	51
2.2.1. Programmeeritavate kontrollide rakendamine .....	51
2.2.2. Programmeeritava kontrolli riistvara .....	52
2.2.3. PLC tüübid .....	53
2.2.4. PLC poolt töödeldavad signaalid .....	56
2.2.5. Kuidas PLC töötab? .....	57
2.2.6. Multitegumtöö .....	59
2.2.7. Siemensi Logo kontrollid .....	59
Enesekontrolliküsimused .....	66
2.3. Täiturid .....	70
2.3.1. Täiturmehhanismide klassifikatsioon .....	70
2.3.2. Täiturmehhanismide valikukriteeriumid .....	73
2.3.3. Elektromehaanilised täiturid .....	73
2.3.4. Asünkroonmootor .....	80
2.3.5. Servoajami ehitus ja tööpõhimõte .....	87
2.3.6. Elektromagnetilised täiturid .....	88
2.3.7. Pneumaatilised täiturid .....	89
Enesekontrolliküsimused .....	94
2.4. Infovõrgud .....	97
2.4.1. Sissejuhatus tööstuslikesse sidevõrkudesse .....	97
2.4.2. Hajusjuhtimissüsteemid .....	98
2.4.3. Võrgusidega jaotusvõrkude funktsionaalne jaotamine .....	100
2.4.4. Võrgutopoloogia ja mudelid .....	102
2.4.5. Füüsiliste topoloogiatega tüübid .....	102
2.4.6. Üksused füüsilise ja loogilise võrgu struktureerimiseks .....	105
2.4.7. Võrgumudelid .....	110
2.4.8. Juhtimistasandi tööstuslikud võrgud .....	119
2.4.9. Informatsioonitasandi võrgud .....	120
2.4.10. Traadita side tööstuslikus keskkonnas .....	125
2.4.11. Traadita võrkude grupid .....	125
Enesekontrolliküsimused .....	129
2.5. Mehhatroonika projekt .....	132

<b>3. Ülesanded .....</b>	<b>138</b>
3.1. Ülesanne: kahepoolse toimega silinder.....	138
3.2. Ülesanne: kaudne juhtimine.....	140
3.3. Ülesanne: automaatne töö.....	141
3.4. Ülesanne: induktiivandur.....	142
3.5. Ülesanne: kahe pneumosilindriga rakenduse juhtimine .....	142
Kasutatud allikad.....	145
Lisa 1: SIEMENS LOGO kontrollid .....	146
Lisa 2: Lühendite loetelu .....	166
Lisa 3: Vastused .....	168

# 1. Sissejuhatus

Tööstusautomaatika areng on seotud erinevate tehnoloogiliste protsesside ja masinate automaatjuhtimissüsteemide arenemisega.

Raamatu "Mehhatroonika komponendid" põhieesmärgiks on pakkuda alusteadmisi kutseõppeasutuste mehhatroonika ja automaatika eiala õppuritele tööstusautomaatika-süsteemides rakendatavate komponentide alal. Antud õppematerjal vastab kutsestandardile Mehhatroonik, tase 4 ja kutseõppeasutuste Mehhatroonika eriala õppekavadele. Raamat on jaotatud viieks peatükiks.

Sissejuhatav peatükk käsitleb mehhatroonika ja tööstuse automatiseerimise põhimõisteid, tootmise automatiseerimise küsimusi ja masina automatiseerimise astmeid. Esimene peatükk käsitleb andurite klassifikatsiooni ja anduritele esitatavaid nõudeid. Tutvustatakse nende põhilisi tööpõhimõtteid. Selgitatakse kuidas andurid muundavad juhitavaid suurusi (temperatuur, rõhk, niiskus, vooluhulk jne) mugavalt mõõdetavaks, talletatavaks ja töödeldavaks signaaliks. Teine peatükk kirjeldab programmeeritava kontrolleri mõistet, programmeeritava kontrolleri riistvara, kontrolleri põhilisi tüüpe ja tööpõhimõtet Siemensi LOGO kontrolleri alusel. Kolmandas peatükis vaadeldakse täiturmehhanismide olemust, tootmise automatiseerimisel kasutatavate täiturite liigitamist, täiturmehhanismide klassifikatsiooni ja täiturmehhanismide valikukriteeriume. Neljandas peatükis vaadeldakse nüüdisaegseid hajutatud funktsioonidega valmistus- ja andmesüsteeme, antakse ülevaade tüüpilistest andmeedastussüsteemidest, võrgu mudelitest ja topoloogiast pöörates tähelepanu seadmete füüsilisele ja loogilisele ülesehitusele. Viiendas peatükis vaadeldakse lihtsat mehhatroonika projekti ja raamatu viimases osas on näidis ülesanded mis annavad võimaluse õppuril oma teadmisi edasi arendada.

Iga peatüki lõpus on esitatud teadmiste kontrollküsimused õpilaste edasijõudmise taseme hindamiseks.

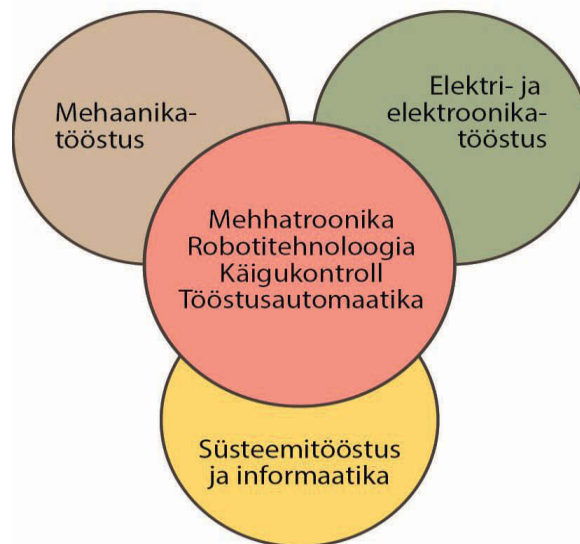
Raamatut saab kasutada mehhatroonika ja tööstusautomaatika ettevõtete töötajate ja töötute kvalifikatsiooni tõstmise ning ümberõppe programmides. See õpik eeldab põhiteadmiste ja kogemuste olemasolu matemaatika, füüsika ja elektrotehnika valdkonnas.

Autorid

## 1.1. Mehhatroonika ja mehhatroonikasüsteem

Mõistet „mehhatroonika” kasutati esmakordselt Jaapanis 1969. aastal, et iseloomustada robotikavaldkonda. Enamasti kasutati seda mõistet mehaanikainseneride laiendatud tegevusala kirjeldamiseks. Mehaanikakomponentide integreerimisel andurite, käivitite, elektriajamite, kontrollerite ja informaatikaga tekkis uus mehaanikatööstuse haru. Teisalt moodustati samasugune tegevusvaldkond elektri- ja süsteemiinseneridele. Elektriajamite ja jõuelektroonika valdkonnas tegutsevate elektriinseneride jaoks on peateemaks energia optimaalne muundamine elektriliselt energialt mehaanilisele ja vastupidi. Mehhatroonika hõlmab ka elektriseadmete integreerimist modernsete elektroonikakomponentide ja tarkvaraga.

Viimaste aastate jooksul on kasutusele võetud traditsioonilise elektriajamite valdkonna kirjeldamisel ka üldisem termin „käigukontroll”. Enamik tööstustehnoloogiaid põhineb erinevatel seadmetel ja mehaanilistel konstruktsioonidel. Enamiku tootetavast elektrienergiast (60...70%) kasutavad mehaanilise liikumise tekitamiseks elektriajamid. Mehhatroonikavaldkond sarnaneb paljus automaatikaga, mis on ka süsteemiinseneride tegevusvaldkond. Joonis 1.1 on näidatud erinevate tööstusvaldkondade omavaheline koostoime (E. Brindfeldt ja U. Lepiksoo, 2010).



**Joonis 1.1.** Mehhatroonika integreerimine teiste tööstusvaldkondadega

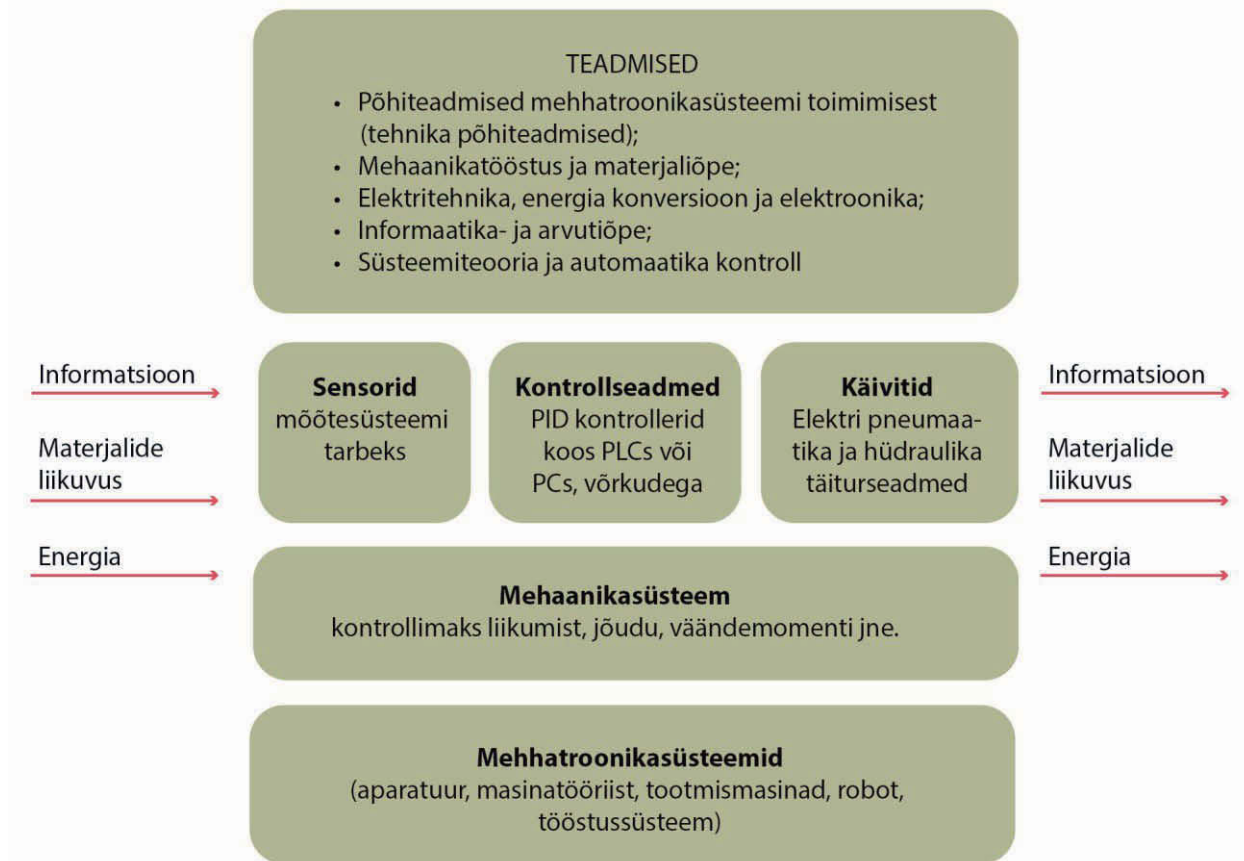
Mehhatroonika defineerimiseks on mitmeid võimalusi. Kõige üldisemalt võib mehhatroonikat defineerida kui modernse tehnoloogia uut paradigmat. See tähendab, et tänapäeva inseneridel peab olema uus ja avar mõtteviis. Mehhatroonika on uus tehnoloogiavaldkond, mis on omavahel integreerinud mikroelektroonika, mikromehaanika ning infotehnoloogia ja mis tegeleb tööstus-spetsiifiliste mehaanikaharudega. Kolmanda visioonina mehhatroonikast võib tuua kirjelduse temast kui interaktiivsest osapooltest erinevate tööstusvaldkondade vahel. Mitmed autorid peavad mehhatroonikat tööstuses multidistsiplinaarseks, kus mehaanika, elektroonika, juhtimise ja arvutikasutuse omavaheline integreerimine ületab üksikute seonduvate tegevuste eelised. Erinevate valdkondade sünergia tagab tegevuste integreerimise ainulaadse tasemeni.



Järgmist definitsiooni kasutati mehhatroonika konverentsil 2000. aastal Atlantas (USA):

„Mehhatroonika on esile kerkiv tehnikavaldkond, mis võib tõenäoliselt muuta tehnikahariduse fundamentaalset loomust, elektri- ja mehaanikatööstust,“ leidsid Victor Giurgiutiu, Abdel-Moez E. Bayoumi, Craig A. Rogers ja Greg Nall USAst Lõuna-California ülikoolist.

Mehhatroonikasüsteem kontrollib materjalide, energia ja informatsiooni liikumist, mida võib kirjeldada joonisel 1.2 kujutatud skeemi abil. (E. Brindfeldt ja U. Lepiksoo, 2010; Pettai, 2005).



**Joonis 1.2.** Mehhatroonikasüsteem (E. Brindfeldt ja U. Lepiksoo, 2010; Pettai, 2005)

## 1.2. Tootmise automatiseerimise eesmärgid

Tootmine on majanduslik mõiste, mis kirjeldab tarbijate vajadusi rahuldava toote loomist ja valmistamist või teenuste osutamist ettevõttes. Ettevõtte tootmissüsteem hõlmab planeerimise, projekteerimise, tootmise juhtimise ja toote valmistamise alamsüsteemi. Tootmissüsteemi loomisel koondatakse tootmissaadmed ja tootmisprotsesside kirjeldused. Tarbijale vajalik toode koostatakse lähtekomponentidest ja -materjalidest tootmisprotsesside koosseisus kirjeldatud valmistusülesannete teostamise käigus. Tootmisülesannete realiseerimisel rakendatakse töötajate vaimset ja füüsilist tööd ning automatiseeritud töömasinaid (Pettai, 2005).

Enamasti moodustab toote tootmiskulu 40% selle toote müügihinnast. Ülejäänud 60% müügihinnas peegeldub kulust on valmistamisväline (tootearendus, turundus ja kasum). Tugevas konkurentsisis määrab toote lõpphinna tavaliselt tarbija, mitte tootja. Et saada toote müügit normaalselt kasumit ja püsida konkurentsisis, peab tootja võrreldes teiste tootjatega vähendama oma tootmiskulusid ühe toote kohta. See saavutatakse tootmismahu suurendamise ja sageli ka tootmisprotsessi automatiseerimisega.

Automatiseerimise sihtmärgiks on tootmisprotsessis vajalik inimese rutiinse töö asendamine masinate tööga. Tootmise automatiseerimine kasvatab ettevõttes tootlikkust sageli mitu korda. Automatiseerimise tulemusena võib ettevõtte saada märkimisväärset kasumit, kui sellega kaasneb ka toodete müüginahku kasv. Automatiseeritud planeerimise, projekteerimise, tootmise juhtimise ja valmistusega kaasnevad kulutused jagunevad sellisel juhul suurema arvu toodete vahel – ühe koopia valmistamise maksumus väheneb ja toote hinda võib tarbija jaoks langetada (Pettai, 2005).

Tuleb meeles pidada, et tootmise automatiseerimine ei tähenda ainult kokkuhoidu töötajate pealt, vaid ka suuremaid kulutusi uute masinate soetamiseks ja nende hooldamiseks. Kui automaatsed seadmed asendavad ainult inimesi, siis on selgelt näha tootmise automatiseerimise majanduslik kasu, milleks on kokkuhoid tööjõukuludelt. Sageli kujuneb töötajate füüsilise töö kasutamine siiski odavamaks kui tootmise lihtne automatiseerimine. Järelikult peaks tootmise automatiseerimine andma ettevõttele midagi enam kui ainult inimtööjõu asendamist (näiteks tõstma toodete valmistamise kvaliteeti ja koguseid).

#### **Kokkuvõtteks:**

- Automatiseeritud valmistusseadmed tõstavad tootlikkust ja valmistuse kvaliteeti.
- Tootmise automatiseerimine võimaldab vabastada töölisest rutiinsest füüsilisest ja/või tervist kahjustavast tööst, rakendades neid paremini sobivate ülesannete täitmiseks (nt turunduses, tootmise juhtimises või tootearenduses).
- Tootmise automatiseerimine võimaldab tarbijatele vajalikke ja väärtuslikke tooteid kiiremini toota.

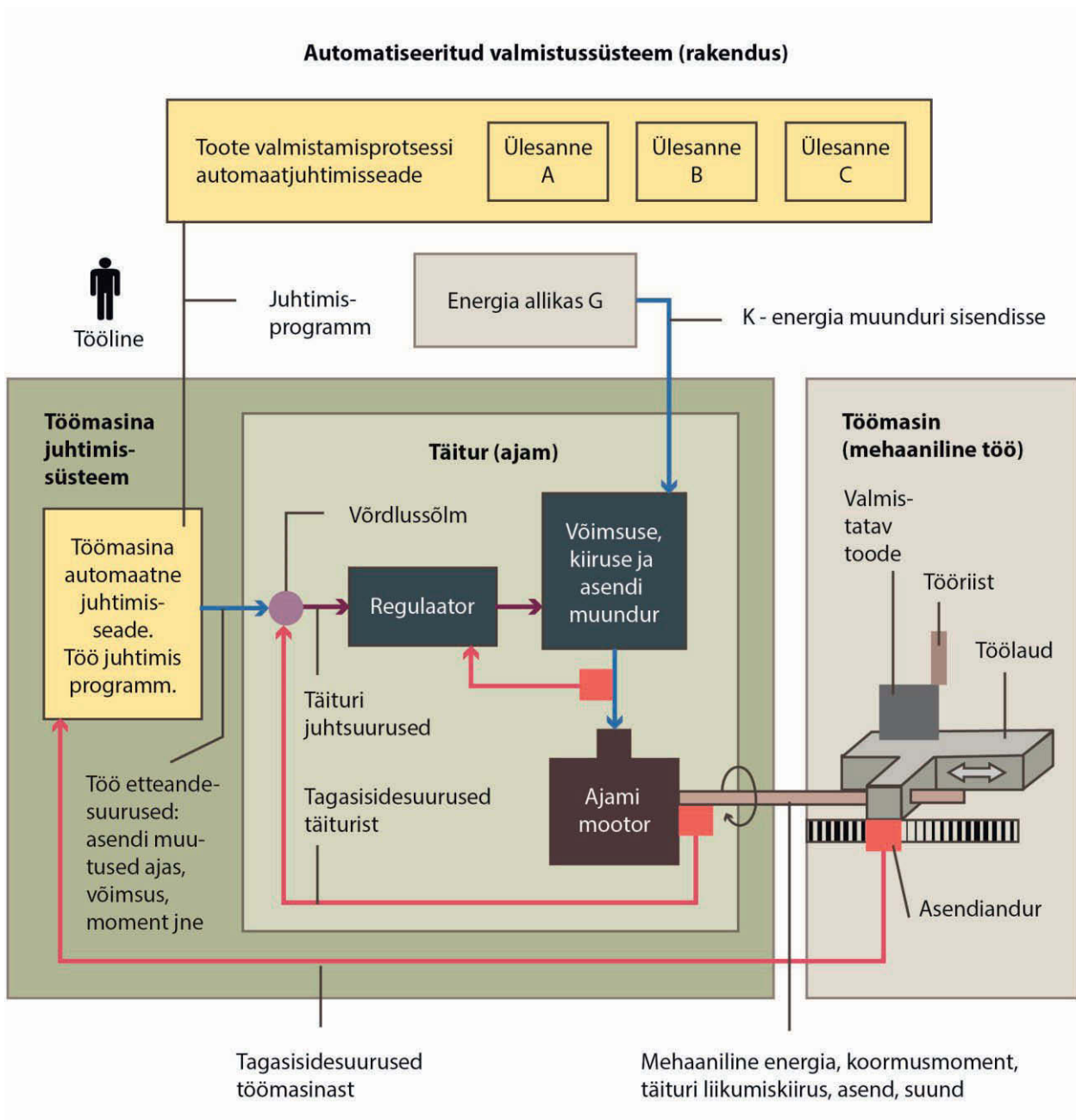
### **1.3. Tootmise automatiseerimine**

Tootmise automatiseerimist tuleb mõista projektina, kus inseneride loomistöö käigus toimub tootmiseseadmete ja -protsesside arendamine ning integreerimine üheks terviklikult toimivaks rakenduseks. Toote automatiseeritud valmistamise käigus toimub lähtematerjalide, -energia ja -info sihipärane muundamine ning ülekandmine valmivasse tootesse inimese otsese sekkumiseta.

Automatiseeritud tootmissüsteemi (rakenduse) intelligentseks kirjeldamiseks on meil vaja eristada selle koosseisus vähemalt nelja koostoimivat osa:

1. inimest (töölist) ja tema funktsioone tootmise juhtimisel,
2. valmistusprotsessi automaatjuhtimisseadet ja selle infotöötamise funktsioone,
3. töomasina juhtimissüsteemi koos valmistustöö programmi ja täituriga (ajamiga),
4. töomasinat, mis teostab välisest allikast saadud ja täituris muundatud energiaga toote valmistamise (mehaanilised) tööd vastavalt inimese poolt automaatjuhtimisseadmes salvestatud valmistusprotsessi ülesannetele (Pettai, 2005).

Toote automatiseeritud valmistussüsteemi (rakenduse) toimimisel ei tee inimene enam ise vahetult energeetilist (füüsilist) tööd ja ei juhi vahetult valmistusprotsessi käiku – valmistusprotsesside teostamist juhitakse automaatjuhtimisseadmete poolt. Sellest hoolimata võtab inimene toote valmistamisest osa, käivitades toote valmistuseks vajaliku rakenduse ning jälgides ja optimeerides selle juhtimisprotsesse.



**Joonis 1.3.** Automatiseeritud valmistussüsteemi struktuur

**Mehhaniseerimine** on mõiste, mida kasutatakse selliste valmistussüsteemide (rakenduste) kirjeldamisel, kus toote valmistamisel asendab masin ainult inimese füüsilist tööd. Mehhaniseerimine tähistab automatiseerimise esimest astet.

Täisautomaatne tehas sisaldab:

- arvutite abil juhitud planeerimissüsteemi (ERP), dokumendihaldussüsteemi, toodete raalprojekteerimissüsteemi (CAD) ja samuti toote valmistustehnoloogia raalprojekteerimissüsteemi (CAE);
- paindlikke valmistusmooduleid (CAM), mille tegevust ja seadistusi saab muuta, rakendades täiendavat (kõrgetasandilist) automaatjuhtimist;
- transpordisüsteeme, kus valmistatavate toodete liikumisteid valmistusmoodulite ja -seadmete vahel saab muuta (ümberprogrammeerida).

**Täisautomaatses tehases** toimub valmistamine tsehhitöölise osavõtuta. Automatiseerimine hõlmab osaliselt ka inseneritegevust, mille tulemusena luuakse või häälestatakse ettevõttes ümber masinaid, mis teevad valmistusprotsessis automaatselt vajalikke tegevusi (valmistusoperatsioone). Tootmise teenindamisel osalevad vähesed inimesed. Kuigi täiesti automatiseeritud tehasel on palju eeliseid, on selle teostamine väga keeruline. Nende rakendamise on piiratud olemasoleva tööjõu kvaliteedi ja käivitamiseks vajalike investeeringute majandusliku tasuvuse nõuetega.

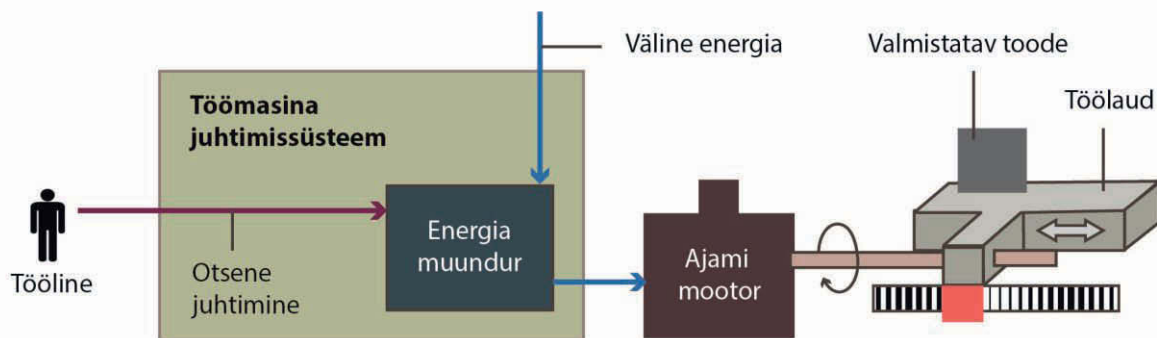
#### 1.4. Masina automatiseerimise astmed

Aastal 1962 tutvustas firma Amber & Amber nende loodud automatiseerimise astmete mõõdupuud (AMBER & AMBER, 1957; Tabel 1.1). Automatiseerimisastmete määramine põhineb eeldusel, et kõik tööd nõuavad energiat ja informatsiooni ning teatud valmistusfunktsioone teostavad kas töötajad ja/või masinad. Kui masin asendab töös mõnd põhilist inimese funktsiooni, siis hinnatakse seda kui täiendavat automatiseerimise astet.

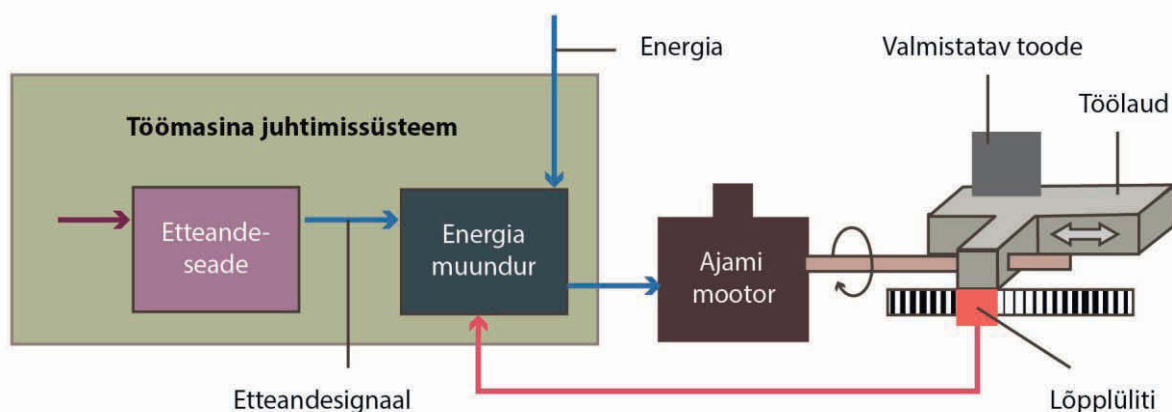
**Tabel 1.1.** Automatiseerimise astmed

Automatiseerimise aste	Funktsioon, mida inimese asemel teostab masin	Näited ja masina omaduste kirjeldus
A(0)	<b>Puudub</b> (inimene teeb ise kõike, kasutades kangi, tõsteplokki, viili jne)	Käsitööriist, käsitsi juhitud masin
A(1)	<b>Energia:</b> inimese musklid asendatakse mehaanilise ülekandega	Välist energiat kasutavad masinad ja tööriistad, näiteks elektriline puurpink
A(2)	<b>Osavus, väledus:</b> tööriista ettenihe	Ühe töötükli teostamise automaatika
A(3)	<b>Usinus, hoolsus:</b> tagasiside puudub, kuid töötükkel kordub automaatselt	Korduva töötükliga; avatud kontuuriga arvjuhtimisseadmed või automaattreipink, transpordiliinid
A(4)	<b>Hindamine ja iseseisev otsustamine:</b> tagasisideinfo edastamine töömasinast automaatjuhtimisseadmesse	Suletud kontuuriga juhtimine, arvjuhtimine, muutujate väärtuste mõõtmine ja automaatregeerimine
A(5)	<b>Eesmärgipärane hindamine:</b> adaptiivne juhtimine; deduktiivne analüüs; tagasiside tootmisprotsessist	Juhtimine arvutiga; protsessi mudel- analüüsiks ja optimeerimiseks
A(6)	<b>Iseõppimine saadud kogemustest</b>	Piiratud iseprogrammeerimine; mõningane tehisintellekt, ekspertsüsteemide kasutamine
A(7)	<b>Arutlemine:</b> intuitsioon; avastatud mõjude ja nende taga peituvate põhjuste iseseisev seostamine	Induktiivne seostamine, arenenud tehisintellekti kasutamine juhtimistarkvaras
A(8)	<b>Loomingulisus:</b> ise projekteerib	Originaalsus oma tegevuses
A(9)	<b>Üleolek:</b> supermasin, käsutab teisi	Masin on peremees

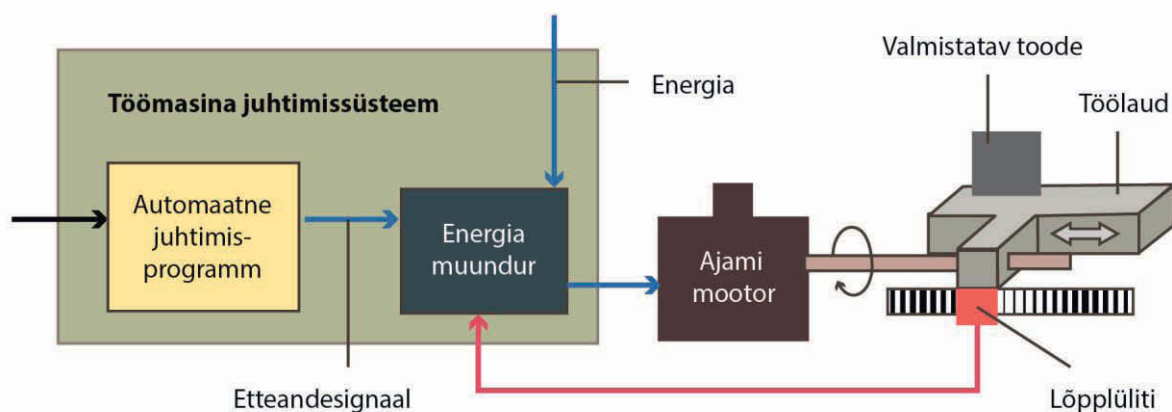
Tabel 1.1 kirjeldatud automatiseerimise astmed on seotud inimese mingi funktsiooniga tootmisprotsessis, mis kas mehhaniseeritakse või asendatakse automatiseeritud masina poolt. Automatiseerimise astmel A(0) ei mehhaniseerita ega asendata inimese funktsioone automatiseeritud masinaga. Selline arengutase kestis kiviajast kuni rauaajani. Käsitöö valdkonnas esineb seda ka tänapäeval (Pettai, 2005).



**Joonis 1.4.** Automatiseerimise aste A(1), kus tootmisprotsess on mehhaniseeritud (inimene juhib masinat)



**Joonis 1.5.** Automatiseerimise aste A(2), kus inimene on eemaldatud masina otsesest juhtimisest



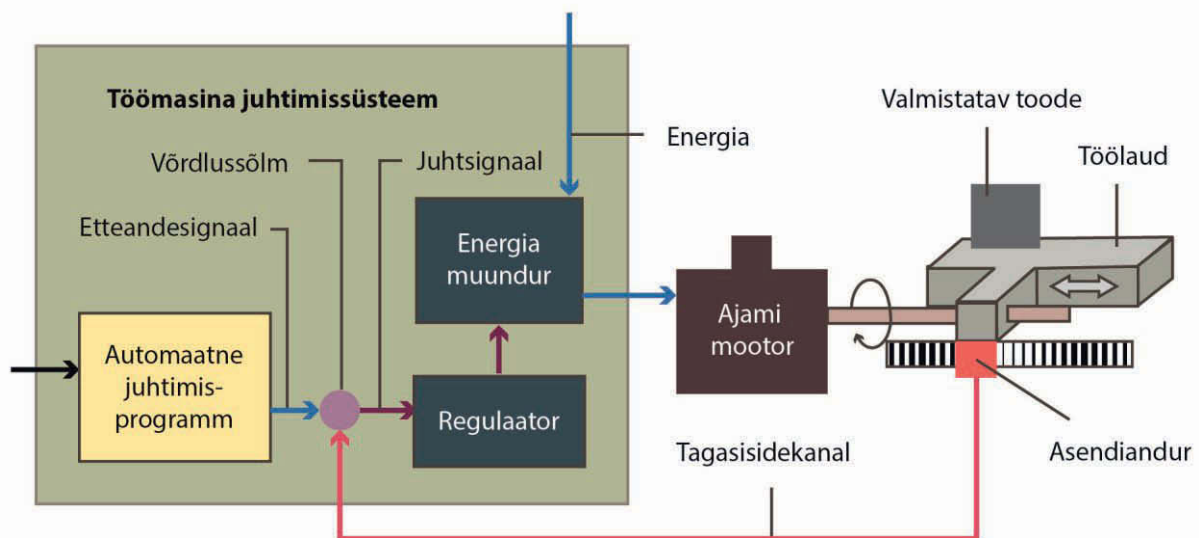
**Joonis 1.6.** Automatiseerimise aste A(3), kus üht töösükli juhitakse automaatselt

Tööstusrevolutsiooni alperioodil ehitas inglane John Wilkinson horisontaal-puurimismasina, mille abil sai söekaevanduse veepumpade valmistamisel puurida suuri silindrilisi avasid, kasutades välist energiat. Seejärel loodi veel teisi välist energiat kasutavaid tööpinke nagu freespink, treipink, lihvimispink ja saag. Need masinad saab liigitada automatiseerimise astme A(1) alla. Automatiseerimise astet A(1) iseloomustav plokkskeem on esitatud Joonis 1.4 (Pettai, 2005).

Automatiseerimise astmel A(2) on tööpink võimeline töötama ühe töötsükli ilma inimese otsese sekkumiseta ja tööriista ettenihe toimub automaatselt (vt Joonis 1.5). Tööline paneb masinasse vajaliku tooriku ja käivitab automaatse töötsükli. Masin lõpetab töötsükli ja peatub automaatselt inimese sekkumiseta.

Tänapäeval on väga levinud automatiseerimise astme A(3) töömasinad. Selline masin suudab automaatselt (inimese sekkumiseta) teostada mitu valmistustöotsükli. Masinatel puudub sageli tagasiside valmistamiskohast töömasina juhtimissüsteemi (Joonis 1.6), mistõttu välishäirete põhjustatud kõrvalekaldeid valmistusprotsessile ei saa vähendada. Töömasina juhtimisprogramm on salvestatud tema juhtimisseadmes riistvaraliselt (nt nukid, releed, siibrid) või tarkvaraliselt arvutiprogrammi kujul.

Automatiseerimise astmel A(4) on inimese otsustamisvõime asendatud masina võimega iseseisvalt mõõta ja võrrelda tulemusi soovitud väärtustega (Joonis 1.7). Siin kasutatakse tagasisidega või suletud kontuuriga juhtimist.



**Joonis 1.7.** Automatiseerimise aste A(4), kus kasutatakse suletud kontuuriga juhtimist

Järgmine automatiseerimise aste A(5) eeldab, et masin hindab (ennustab) tootmisprotsessi kulgu. Sellised masinad on võimelised optimeerima valmistusprotsessi juhtimist. See eeldab, et tootmis-süsteemist on koostatud arvutis matemaatilised mudelid (kirjeldavad, kuidas parameetrid mõjutavad antud valmistusprotsessi). Seda võib nimetada isekohanduvaks süsteemiks, mis teostab järgmisi funktsioone:

- **identifitseerimine:** valmistusprotsessi väljund- ja sisendsuuruste väärtuste mõõtmine;
- **otsustamise analüüs:** tootmisprotsessi optimeerimine;
- **häälestamine:** kontrolleri regulaatorite häälestamine;
- **jälgimine:** pidev automaatkontroll protsessi toimumise üle.

Automatiseerimise astme A(6) seade püüab siduda valmistusprotsessis avastatud vigu nende põhjustega. Juhtimisprogramm analüüsib töö käigus saadud andmeid ja kasutab juhtimisotsuste tegemisel spetsialistide (teadlaste) eelnevat kogemust. Selline masin sisaldab ekspertsüsteeme. See automatiseerimisaste tähistab tehisintellekti algust. Praegu on selliseid süsteeme tehastes vähe (Pettai, 2005).

Automatiseerimise aste A(7) kajastab järgmist, veel arukamat taset tehisintellektis. Juhtimisel kasutatakse intuitiivset arutlemist (mõtlemist). Masina tarkvara kasutab üldseaduspärasusi (tunnustatud teooriat), mis põhineb eelkõige inseneride varem kogutud konkreetsetel faktidel (andmebaasidel). A(7) astme masinad on praegu teadusuuringute faasis (Pettai, 2005).

Automatiseerimise astmed A(8) ja A(9) on tänapäeval veel ulmeraamatute pärusmaa.

## Enesekontrolliküsimused

1. **Kui suure osa moodustab toote valmistuskulu selle toote müügihinnast?**
  - a) 25%
  - b) 40%
  - c) 80%
  - d) 100%
  - e) 50%
2. **Milline järgmistest väidetest on vale?**
  - a) automatiseerimine võimaldab valmistada tooteid kiiremini,
  - b) automatiseeritud tootmiseseadmed tõstavad tootmiskvaliteeti,
  - c) automatiseerimise kasutamine võimaldab alati vähendada toote omahinda,
  - d) automatiseerimine võimaldab inimestel vabaneda rutiinsest füüsilisest tööst,
  - e) automatiseerimine tõstab inimeste elatustaset.
3. **Millist inimese funktsiooni asendatakse automatiseerimise astmel A(0)?**
  - a) osavus,
  - b) energia,
  - c) otsustusvõime,
  - d) usinus,
  - e) mitte midagi.
4. **Millist inimese funktsiooni asendatakse automatiseerimise astmel A(1)?**
  - a) osavus,
  - b) energia,
  - c) otsustusvõime,
  - d) usinus,
  - e) mitte midagi.
5. **Millist inimese funktsiooni asendatakse automatiseerimise astmel A(2)?**
  - a) osavus,
  - b) energia,
  - c) otsustusvõime,
  - d) usinus,
  - e) mitte midagi.
6. **Millist inimese funktsiooni asendatakse automatiseerimise astmel A(3)?**
  - a) osavus,
  - b) energia,
  - c) otsustusvõime,
  - d) usinus,
  - e) mitte midagi.
7. **Millist inimese funktsiooni asendatakse automatiseerimise astmel A(4)?**
  - a) osavus,
  - b) energia,
  - c) otsustusvõime,
  - d) usinus,
  - e) mitte midagi.



**8. Millist inimese funktsiooni asendatakse automatiseerimise astmel A(5)?**

- a) osavus,
- b) energia,
- c) otsustusvõime,
- d) usinus,
- e) mitte midagi.

**9. Millised automatiseerimise astmed on praegu teaduslike uuringute faasis?**

- a) A(2) ja A(5),
- b) A(3), A(4) ja A(5),
- c) A(0) ja A(1),
- d) A(8) ja A(9).

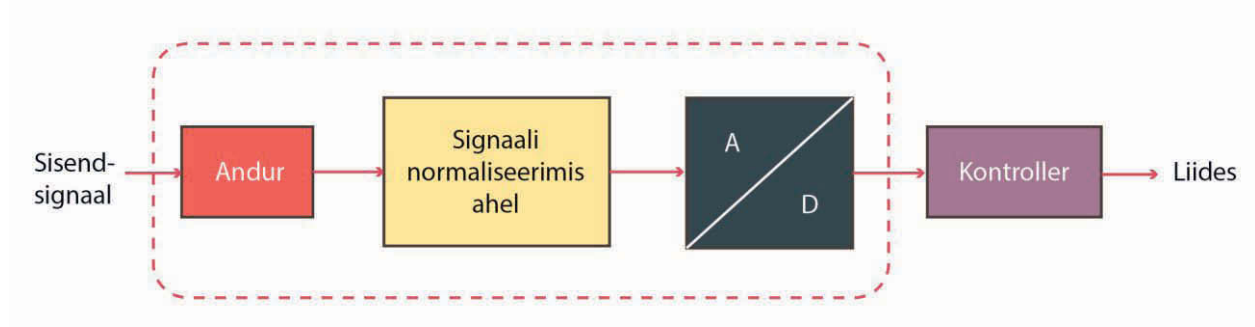
## 2. Mehhatroonikaseadmed

### 2.1. Andurid

Andmetöötlustehnoloogia ning info- ja arvutitehnika kiire areng määravad andurite intensiivse arendamise. Kaasaegsed mõõte- ja juhtimissüsteemid põhinevad arvutitehnikal. Kuna nende süsteemide võimalused kasvavad, siis ka infot esmalt vastu võtvate andurite roll kasvab oluliselt. Andurid muutuvad olulisteks teguriteks automaatikas ja robotikas ning koguvad suurt tähtsust süsteemide struktuurielementidena.

**Andurid** on üldiselt seadmed, mis muundavad füüsilised või keemilised suurused mugavalt kasutatavateks elektrisignaale. Rahvusvahelise Elektrotehnika Komitee (IEC) poolt antud anduri definitsioon: andur on mõõteahela esmane osa, mis muundab sisendmuutuja mõõdetavaks signaaliks.

Andur on andurisüsteemi koostisosa, mille ülesandeks on esitada mõõdetavat infot. Andurisüsteemi üldine plokk skeem on Joonis 2.1 (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010).



**Joonis 2.1.** Lähteinfo edastus ja muundamine andurisüsteemis

Anduri sisendsignaal on tavaliselt väikese amplituudiga ja segatud interfereerunud signaalide ja müraga. Täiendavalt võib osutada vajalikuks signaali lineariseerimine. Järgnevaks töötlemiseks on vaja andurist saadud signaal formeerida normaliseerimisahelaga, mis võib koosneda võimendist, filtrist ja teistest analoogahelatest. Mõnel juhul on need ahelad andurelemendi vahetus läheduses. Seejärel formeeritud analoogsignaali muundatakse digitaalseks ja edastatakse mikrokontrollerile.

Andur muundab energia ühest liigist teise. Andureid on kahte põhitüüpi: aktiivsed ja passiivsed. Aktiivandur muundab ühte liiki energia teiseks ilma välise energiaallikata või ergutuseta (Joonis 2.2a; Nenova, Ivanov, Nenov, 2010).

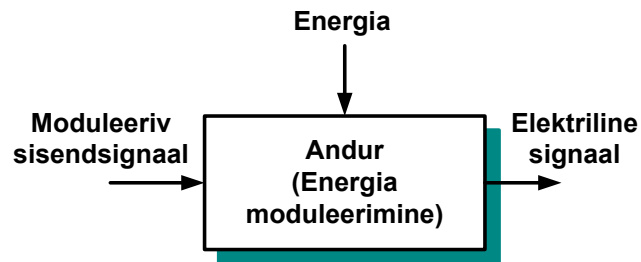
Passiivandur ei saa energiat vahetult muundada, kuid see juhib ergutusenergiat, mis tuleb teisest allikast (joonis 2.2b; Nenova, Ivanov, Nenov, 2010).

Anduri funktsioonide teostamisel kasutatakse erinevaid füüsilisi efekte ja tööpõhimõtteid. Andur võib olla mõõdetava suurusega kontaktis või kontaktivaba.

a)



b)



**Joonis 2.2.** Aktiivsed (a) ja passiivsed (b) andurid

Anduritele on püstitatud kindlad nõudmised. Mõned neist on üldised, mis puudutavad kõiki andurite tüüpe, mõned erinõudmised puudutavad aga teatud kindlat tüüpi andureid. Põhilised anduritele esitatavad nõudmised, sõltuvalt nende ehitusest ja tööpõhimõttest, on:

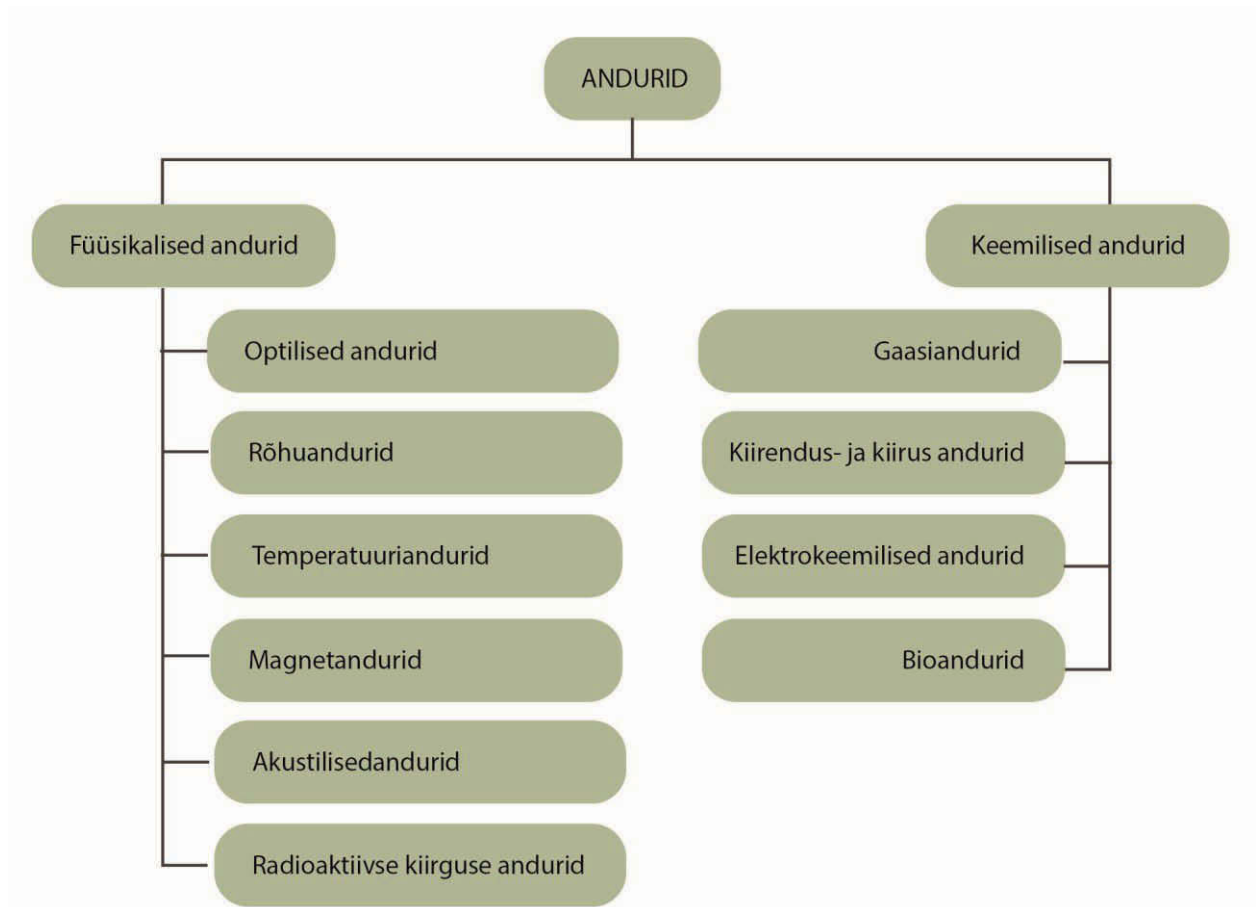
- kõrge tundlikkus,
- lineaarsus,
- suur täpsus,
- hüstereesi puudumine,
- korratavus,
- kiire reaktsioon,
- selektiivsus,
- vahetatavus,
- lai mõõtevahemik,
- lai talitlustemperatuuri vahemik,
- stabiilsus häiringute suhtes (mürakindlus),
- lihtne korrigeerimine (lihtne kalibreerimine),
- suur töökindlus,
- pikk eluiga,
- vananemiskindlus,
- vastupanu keskkonnamõjudele (temperatuur, vibratsioon, vesi, tolm jne),
- ohutus (andurid ei tohi tekitada mingit kahju),
- odavus,
- väikesed mõõtmed, väike kaal ja tugevus.

### 2.1.1. Andurite klassifikatsioon

Andureid võib klassifitseerida sisemise muunduspõhimõtte (mõõdetava füüsilise suuruse või keemilise nähtuse alusel, mille kohaselt nad talitlevad), eesmärgi, väljundsignaalide tüübi, materjalide ja tootmisprotsessi alusel.

Andurite klassifikatsioon füüsilise ja keemilise muunduspõhimõtte alusel on näidatud joonisel 2.3.

**Füüsilised andurid** on need, milles mõõdetavate füüsiliste nähtuste (piesoelektriliste, magnetostriktiivsete, ioniseerivate, termoelektriliste, fotoelektriliste, magnetelektriliste jne) suuruste muutused muundatakse elektrisignaalideks (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010).



**Joonis 2.3.** Andurite klassifikatsioon sõltuvalt toimimise põhimõttest (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

**Keemilised andurid** on need, milles mõõdetava suuruse muutused muundatakse elektrisignaalideks keemilise imendumise, elektrokeemilise reaktsiooni jne tulemusena.

On andureid, mida ei saa üheselt liigitada ei füüsilisteks ega keemilisteks.

Mõnede andurite tööpõhimõtted ja võimalikud rakendused on näidatud tabelis 2.1.

**Tabel 2.1.** Andurite toimimise põhimõtted

Anduri tüüp	Tööpõhimõte	Mõõdetav mitte-elektriline suurus
Tensoandur Termistor (NTC, PTC) Pooljuhtandur	Muutused takistuses	Jõud, mass, rõhk, kiirendus, paisumine, tase, temperatuur, niiskus, gaas
Mahtuvusandur	Muutused mahtuvuses	Jõud, mass, rõhk, kiirendus, tase, niiskus
Induktiivandur	Muutused induktiivsuses	Jõud, mass, rõhk, kiirendus, pöörete arv, pöördemoment, magnetväli
Halli andur	Halli efekt	Nurk, pöörete arv, jõud, magnetväli
Piesoelektriline andur Ultraheliandur	Piesoelektriline efekt	Rõhk, jõud, kiirendus, vahemaa
Püroelektriline andur	Püroelektriline efekt	Suits, tuli, soojuse jaotus
Optoelektronilised andurid	Optoelektronilised efektid	Kiirgus, nurk, pöörete arv, nihe, moment

Vastavalt eesmärgile jaotatakse andurid järgmistesse klassidesse:

- rõhu- ja jõuanduriteks,
- tasemeanduriteks,
- kiirusanduriteks,
- kiirendusanduriteks,
- vibratsioonianduriteks,
- magnetvälja anduriteks,
- vaakumanduriteks,
- nihkeanduriteks,
- tarbimisanduriteks,
- temperatuurianduriteks,
- radioaktiivse kiirguse anduriteks,
- niiskusanduriteks,
- gaasianduriteks,
- bioanduriteks jne.

Väljundsüsteemi tüübi järgi jaotatakse andurid:

- **analoogandurid** – muundavad mõõdetavad mitte-elektrilised suurused analoog-elektrisolaalideks;
- **digitaalandurid** – muundavad mõõdetavad mitte-elektrilised muutujad digitaalseteks väljundsignaalideks (vahetu või kaudne muundamine);
- **pseudodigitaalsed andurid** – muundavad mõõdetavad muutujad sageduseks või ajaintervalliks (vahetu või kaudne muundamine);
- **lülitusandurid** – reageerivad mõõdetava suuruse läviväärtuse (piirväärtuse) ületamisele ja lülitavad väljundsignaali madalale või kõrgele tasemele.

Kõik materjalid reageerivad iseloomulikult välismõjudele. Välismõjudele kõige tundlikumaid materjale, st neid, millel on vajalikud funktsionaalsed omadused, kasutatakse andurite tundlike elementidena.

Kasutatavate materjalide alusel grupeeritakse andurid:

- sõltuvalt kasutatavast materjalist:
  - metall,
  - keraamika,
  - polümeer,
  - komposiitmaterjalid;
- sõltuvalt materjali füüsikalistest omadustest:
  - elektrijuhid,
  - pooljuhid,
  - dielektrikud,
  - magnetmaterjalid;
- sõltuvalt materjali kristallstruktuurist:
  - kristall,
  - polükristall,
  - amorfne;
- sõltuvalt tootmisprotsessist:
  - integraalsed andurid,
  - kelmeandurid,
  - paksukelmeandurid,
  - keraamilised andurid.

### 2.1.2. Temperatuuriandurid

Enimkasutatavad temperatuuriandurite tüübid on järgmised:

- termoelektrilised andurid,
- termoresisttiivsed andurid,
- termodiodid, termotransistorid ja integreeritud temperatuuriandurid.

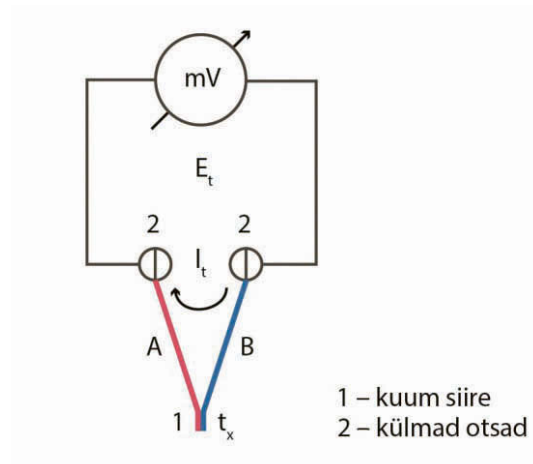
Neid andureid ei kasutata ainult temperatuuri, vaid ka paljude muude termiliste protsessidega seotud muutujate mõõtmiseks, nt nihe ja mõõtmed, kiirus, gaasi ja vedeliku kulu, niiskus, gaaside keemiline analüüs jne.

#### **Termoelektrilised andurid**

Sellesse gruppi kuuluvad termopaarid (Joonis 2.4). Nad koosnevad kahest omavahel ühises punktis, siirde lõpus, kokku keevitatud erinevast juhust A ja B, mida nimetatakse termilisteks elektrodideks. Kevitatud otsa nimetatakse tavaliselt kuumaks ja saba või referentsotsi külmaks.

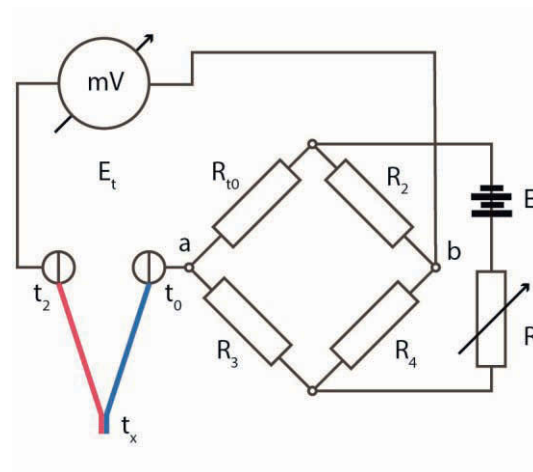
Seda lihtsustatud skeemi ei kasutata tavaliselt temperatuuri ja teiste mitte-elektriliste suuruste mõõtmiseks. Kuna vahemaad mõõdetava objektini on pikad, aga termilised elektrodid on valmistatud kallihinnalistest materjalidest, ei ole neid majanduslik teha pikkadena. Sellisel juhul kasutatakse pikendusjuhtmeid, mis vähendavad maksumust oluliselt.

Termopaaridega mõõtmisel on põhiline osa veast põhjustatud külmade siirete mittekonstantsetest temperatuuridest. Laboritingimustes külmi siirdeid termostateeritakse, paigutades nad referentsiks sulavasse jäässe või termostaati. Mõnedes tööstuslikes rakendustes võib külmi siirdeid termostaataida, paigutades nad kas sügavale maasse või hea soojusisolatsiooniga kasti.



**Joonis 2.4.** Termopaar

Joonisel 2.5 kujutatakse laialdaselt kasutatud võimalust külma siirde temperatuurimuutusest tingitud täiendava vea kompenseerimiseks.



**Joonis 2.5.** Temperatuuri muutusest tingitud täiendava vea kompenseerimine

Termopaaridel on piirang muutuvate temperatuuride mõõtmisel – neil on suur soojusinerts: kümnetest sekunditest 10 minutini.

Tabelis 2.2. on esitatud andmed mõnede laialdasemalt kasutatavate termopaaride kohta.

T-tüüpi termopaarid on korrosioonikindlad ja seetõttu võib neid kasutada niiskes atmosfääris ja rakendada miinustemperatuuride mõõtmiseks. Töötades agressiivses keskkonnas, on nende tööpiirkonna ülemine piir 370 °C, sest vaselektroodid oksüdeeruvad. Neid termopaare võib kasutada kõrgematel temperatuuridel teistes keskkondades.

**Tabel 2.2.** Põhilised termopaaritüübid

Tüüp	Termiliste elektroodide materjal	Töötemperatuuri vahemik, °C
T	vask – konstantaan (vase ja nikli sulam)	–200...370 °C
J	raud – konstantaan	0...760 °C
E	kromell (nikli ja krooni sulam) – konstantaan	–200...900 °C
K	kromell – alumell (nikli, mangaani, alumiiniumi ja räni sulam)	–200...1260 °C
R ja S	plaatina ja roodiumi sulam – plaatina	0...1480 °C
B	plaatina-roodiumi sulam (30%) – plaatina-roodiumi sulam (6%)	870...1700 °C

**J-tüüpi termopaarid** sobivad töötamiseks vaakumis ja inertsetes, oksüdeerivates või redutseerivates keskkondades. Nad töötavad temperatuurivahemikus 0 kuni 760 °C. Temperatuuril üle 540 °C toimub termoelementide raudosade kiire oksüdeerumine. Kui termopaarid peavad töötama pikka aega kõrgetel temperatuuridel, tuleb nende valmistamisel kasutada jämedaid juhtmeid. Seda tüüpi termopaare ei soovitata nende hapruse tõttu kasutada alla 0 °C temperatuuril, kuna nad võivad rooste minna. Selles temperatuurivahemikus on parem kasutada T-tüüpi termopaare.

**E-tüüpi termopaare** soovitatakse kasutada temperatuuridel –200 kuni 900 °C. Neid ei tohi kasutada redutseerivas keskkonnas või vaakumis. E-tüüpi termopaare võib kasutada temperatuuridel alla nulli, kuna nad ei korrodeeru, töötades suure niiskusesisaldusega keskkonnas. Neil on tavalistest termopaaride tüüpidest kõrgeim termiline emj ning seetõttu nad näivad olevat kõige sagedamini kasutatavad.

**K-tüüpi termopaare** kasutatakse oksüdeerivas või täielikult inertses keskkonnas temperatuuride mõõtmiseks vahemikus –200 kuni 1260 °C. Korrosioonikindluse tõttu kasutatakse neid sageli temperatuuridel üle 540 °C. Seda tüüpi termopaare ei tohi kasutada redutseerivates keskkondades, väävlisisaldusega keskkondades ja vaakumis.

**R- ja S-tüüpi termopaarid** on mõeldud pidevaks kasutamiseks oksüdeerivates või inertsetes keskkondades temperatuurivahemikus 0–1480 °C.

**B-tüüpi termopaarid** sobivad pidevaks kasutamiseks oksüdeerivates või inertsetes keskkondades temperatuurivahemikus 870–1700 °C. Neid võib kasutada lühiajaliseks mõõtmisteks vaakumis. Selliseid termopaare ei soovitata kasutada redutseerivates keskkondades, mis sisaldavad metallilisi või mittemetallilisi aursid. Neid ei tohi kunagi paigutada metallist kaitsekattesesse.

### Termoresistiivsed andurid

Termoresistiivsed andurid on suure temperatuurisõltuvusega voolujuhid või pooljuhid. Termotakisti takistus sõltub temperatuurist ja see on määratud seadise ja keskkonna vahelise soojusliku tasakaaluga. Soojusvahetus võib olla kahe-suunaline: keskkonnast takistile ja vastupidi. Niisiis sõltuvad termotakisti temperatuur ja takistus antud termilise tasakaalu olukorras mitte üksnes voolust ja keskkonnatemperatuurist, vaid ka hulgast muudest teguritest nagu anduri geomeetiline suurus ja kuju, alus ja kate, füüsikalised omadused, ümbritseva vedeliku kiirus ja temperatuur jne. Need tegurid mõjutavad termotakistite kasutamise võimalusi erinevate suuruste mõõtmisel (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010).



Põhinõuded termotakistite materjalidele:

- suur elektrilise takistuse temperatuuritegur (TCR)  $-\alpha$ ,
- kuumuskindlus,
- suur eritakistus, mis on tähtis väikesemõõduliste andurite tootmisel.

### **Metall-termotakistid (RTD)**

Voolujuhtidest termotakistid (takistus-temperatuuriandurid – RTD) on enamasti tehtud puhastest metallidest, kuna sulamisel on väiksem temperatuuritegur (TCR). Lisaks sellele on puhaste metallide temperatuurisõltuvus täpselt teada ja neid sisaldavad mõõteseadmed võivad töötada standardkalibreerimisega. Praktikas kasutatakse vaske, plaatina ja niklit.

Vask-termotakistid. Termotakistite valmistamiseks kasutatakse elektrolüütilist vaske. Seda võib kuumutada kuni temperatuurini 180 °C. Kõrgematel temperatuuridel algab oksüdeerumine. Tema takistus sõltub temperatuurist lineaarselt vahemikus 20 kuni 180 °C.

Vasel on piirang – väike eritakistus. See on  $\rho = 1.75 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$  elektrolüütilise vase korral.

Plaatina-termotakistid (plaatina-takistustermomeetrid). Plaatina on keemiliselt stabiilne ja hästi plastiline. Seda võib kuumutada 1475 °C-ni ilma oksüdeerumise või sulamiseta. Paljudel juhtudel on ta nende omaduste tõttu asendamatu.

Nikkel-termotakistid. Niklit saab kasutada termotakistina, kui ta on hästi isoleeritud keskkonnamõjudest, kuni umbes 280 °C. Nikli elektrilised omadused sõltuvad ebapuhtusest ja termilisest tötlusest. Selle materjali põhieelisteks on suur elektriline takistus  $\rho = (7,5 \dots 8,5) \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$  ja suur TCR. Need omadused võimaldavad valmistada väikesemõõtmelisi termotakisteid.

### **Termistorid**

Termistorid on takistuslikud andurid, millel on suur temperatuuritegur TCR laias temperatuurivahemikus. Praktikas toodetakse neid tilga, lameda ja silindrilise kujuga.

Iga pooljuhtmaterjali TCR  $\alpha$  on takistuse muutuse määr antud temperatuurile vastava takistuse väärtuse suhtes.

Termistore on kahte tüüpi: negatiivse temperatuuriteguriga (NCR), mille takistus väheneb temperatuuri tõustes, ja positiivse TCR-ga, mille takistus suureneb temperatuuri tõustes. Mõlemat tüüpi termistore toodetakse pooljuhtmaterjalidest ja TCR muutmisvahemik on  $-6,5$  kuni  $+70\%/^{\circ}\text{C}$ .

NTC-termistore toodetakse Mn, Ni, Co, Cu ja Fe metalloksiidide segust.

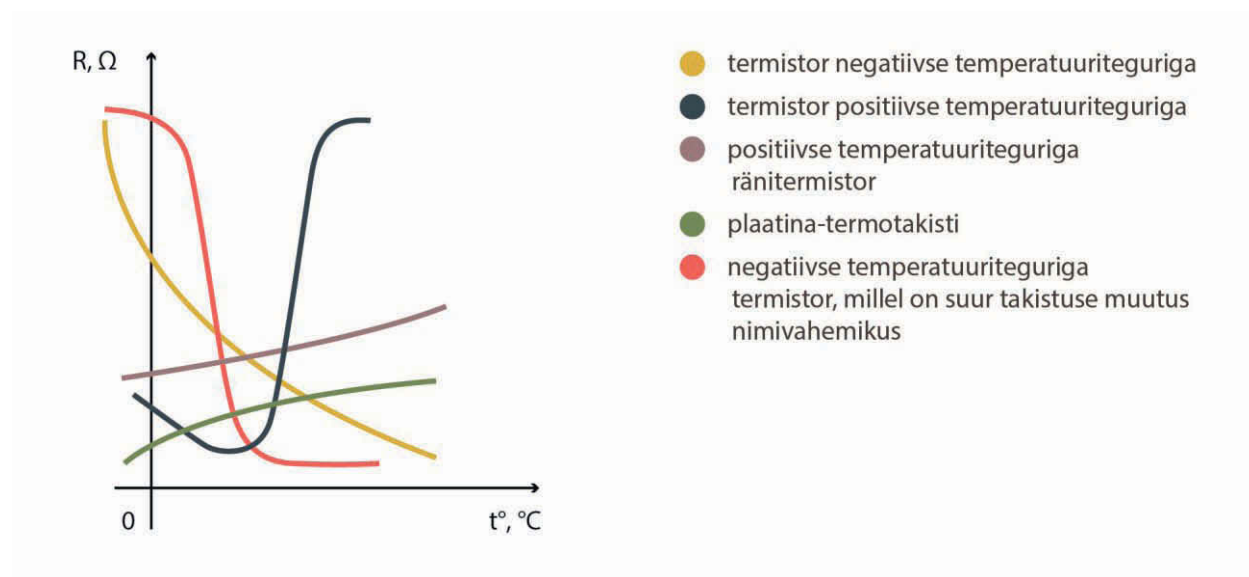
Nendel termistoridel on oluliselt suurem eritakistus. See võimaldab valmistada väikesemõõtmelisi termistore, millel on väiksem inertsus. Muutes termistoride materjali ja mõõtmeid, võib saada takistusi 1 kuni  $10^6 \Omega$  toatemperatuuril ja TCR on  $-2$  kuni  $-6,5\%/^{\circ}\text{C}$ . Teisalt on termistorid mittelineaarsete tunnusjoontega, mis ei ole täielikult samasugused ühte ja sama tüüpi termistoridel. See piirab nende vahetatavust. Nad on tundlikud niiskuse suhtes ja selle mõju vältimiseks on nad kaetud lakkisolatsiooniga.

PTC-termistorid võib jaotada kahte põhimõtteliselt erinevasse gruppi sõltuvalt kasutatud pooljuhtmaterjali tüübist ja omadustest.

Esimene grupp hõlmab väikese plaadi kujulisi (tavaliselt ränist) pooljuht-termistore kahe vastaskülgedel asuva klemmiga. Nende elementide kasutamine põhineb faktil, et ränikristallid nii  $n$ - kui  $p$ - tüüpi lisandiga on positiivse TCR-ga alates ülimaldalt temperatuuridest kuni 150 °C ja üle selle. TCR toatemperatuuril on ligikaudu 0,8%/°C.

Teine grupp koosneb positiivse TCR-ga termotakistitest (kuni 70%/°C), kuid piiratud temperatuurivahemikus. Selliste elementide materjalina saab kasutada polükristallilist pooljuhti baarium-titanaati, kuna tal on suured TCR-i muutused faasimuutuse temperatuuri lähedal, mis vastab Curie' temperatuurile.

Joonis 2.6 näitab takistuse muutuse kõveraid sõltuvalt temperatuurist erinevat tüüpi termistoridel ja plaatina-termotakistil.



**Joonis 2.6.** Takistuse muutuse kõverad sõltuvalt temperatuurist erinevat tüüpi termistoridel ja plaatina-termotakistil (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

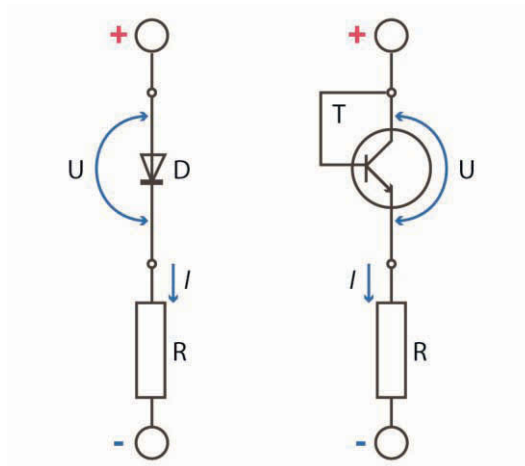
Termistore, millele on iseloomulik eriti suur TCR kriitilise temperatuuri tsoonis, nimetatakse paljudes publikatsioonides kriitilise temperatuuri takistiteks (CTR-termistorid). Sõltuvalt materjalist võib takistus kriitilises temperatuurivahemikus nii suureneada kui väheneda (näiteks BaTiO<sub>3</sub> baasil – joonis 2.5 kõver ●, ja VO<sub>2</sub> baasil – kõver ●).

Kaasaegsete termistoride temperatuurivahemik on laienenud 75-1275 K, mis muudab nad väga laialt kasutatavateks.

Täpismõõtmisteks kasutatakse negatiivse TCR-iga termistore.

### Termodiodid, termotransistorid ja integreeritud temperatuuriandurid

Neid kasutatakse temperatuuri mõõtmiseks vahemikus –80 °C kuni 150 °C. Nende tööpõhimõtte rajaneb päripingestatud pn-siirde takistuse temperatuurisõltuvusel (Joonis 2.7).



**Joonis 2.7.** Termodiood ja termotransistor

Nende temperatuuritundlikkus sõltub pn-siirde vastuvoolust. DiOODid ja transistorid erinevad vastuvoolult oluliselt, mis tähendab et neid on raske omavahel asendada.

### 2.1.3. Jõu- ja mehaanilise pinge andurid

#### Tensoandurid

Tensoandurid on kas elektrijuht- või pooljuhtmuundurid. Nende talitus põhineb venitusefektil.

Venitusefekt on anduri aktiivtakistuse muutus selle geomeetrilise suuruse ja vastupanu muutuse tõttu elastsel mehaanilisel deformatsioonil. Sel viisil saadud muutust iseloomustavad suhteliselt väikesed väärtused.

Tensoandurid jaotatakse:

- voolujuht-tensoandurid,
- foolium-tensoandurid,
- pooljuht-tensoandurid.

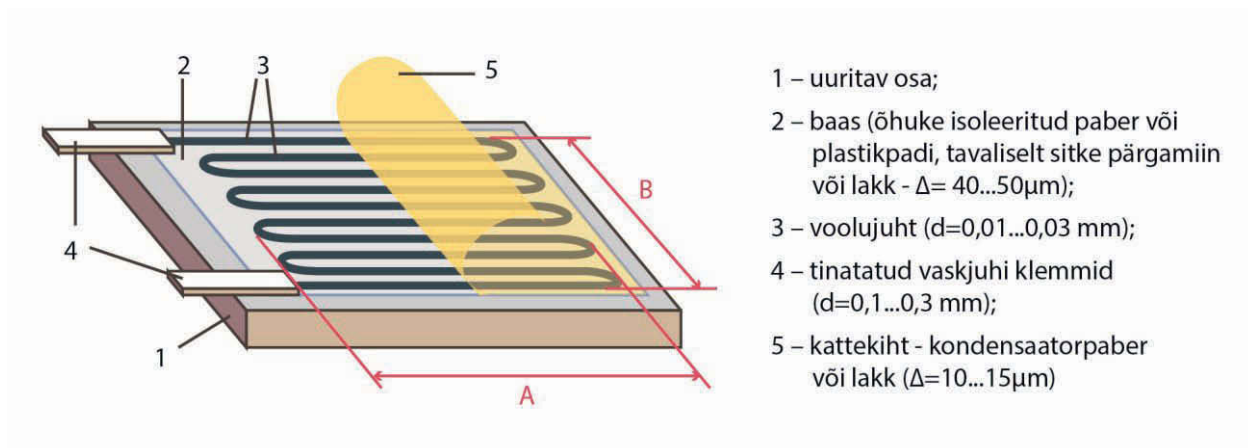
#### Voolujuht-tensoandurid

Joonis 2.8 kujutab lihtsustatult kõige tavalisema voolujuht-tensoanduri lihtsustatud ehitust.

Voolujuhtidena kasutatakse sulameid nagu manganiiin, konstantaan jne, kuna neil on väike takistuse temperatuuritegur (TCR) ja suur takistus.

Voolujuhi paigutuse pikkust A nimetatakse baasiks ja B on anduri laius.

Tensoandur kinnitatakse liimiga selle osa külge, mille deformatsiooni tuleb uurida. Selle pikkuse suund peab olema rööbitine mehaanilise pinge suunaga.



**Joonis 2.8.** Tensotakisti ehitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Selle tüüpi tensoandurite puuduseks on nende suur risttundlikkus. Voolujuht-tensoandurite piki- ja risttundlikkus on määratud suhtega  $B/A$ .

Selle puuduse saab suures osas kõrvaldada ristpiirkondadesse paigutatud vasksildadega.

### Piesoelektrilised andurid

Nende andurite töö põhineb piesoelektrilisel efektil, mis esineb mõnedes dielektrilistes materjalides. Kui sellisest materjalist lõigatud plaati mehaaniliselt koormata, siis see polariseerub ja tema pinnal tekivad rakendatud jõuga võrdelised elektrilaengud. Koormuse eemaldamisel polarisatsioon ja laengud kaovad. Seda nähtust nimetatakse otseseks piesoelektriliseks efektiks.

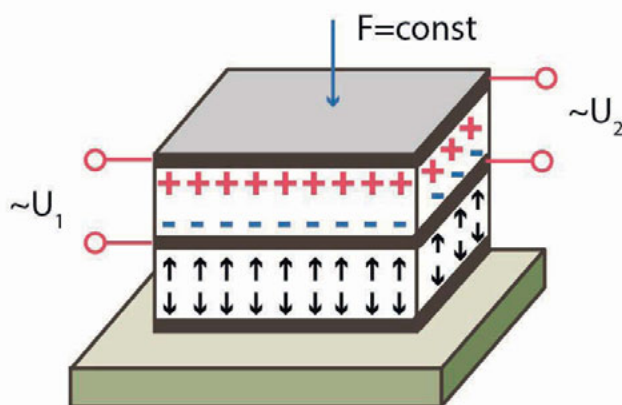
Kui selline plaat asetada elektrivälja, tekib temas mehaaniline pinge või muutuvad geomeetrilised mõõtmed. Seda nimetatakse kaudseks piesoelektriliseks efektiks.

Laialdaselt kasutatavate piesoelektrikute tüüpiliseks näiteks on moonutusteta kristallivõrega kvarts. Piesoelektrikuteks kasutatakse ka kunstlikult polariseeritud baariumtitanaati, plii-tsirkoonium-titanaati jne.

Piesoelektrilised andurid on generaatortüüpi. Elektrilised laengud tekivad välise jõu mõjul.

Jõudude mõõtmiseks kasutatava anduri tekitatud laengud ja pinge jäävad samaks ainult siis, kui mõõteahelal on lõpmata suur sisendtakistus, mis on praktiliselt võimatu.

Piesoandurite minimaalsed talitlussagedused on tavaliselt  $1\text{...}0,5\text{ Hz}$ . Staatiliste jõudude mõõtmiseks kasutatakse nn piesotrafosid (Joonis 2.9).



**Joonis 2.9.** Piesotrafo tööpõhimõte (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

## Magnetoelastsed andurid

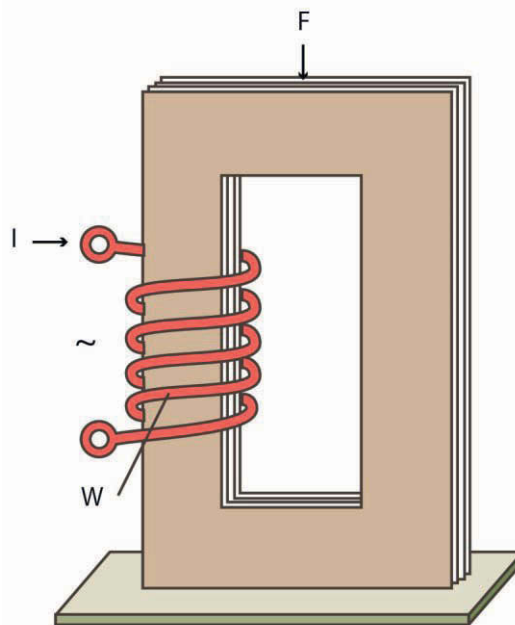
Magnetoelastsed muundurid põhinevad magnetoelastsel efektil, mis avaldub ferromagnetiliste materjalide magnetilise läbitavuse muutuses välistest jõududest põhjustatud mehaaniliste pingete toimel.

On olemas ka vastupidine nähtus, mida nimetatakse magnetostriktiivseks efektiks ja mis avaldub magnetvälja paigutatud ferromagnetiliste materjalide geomeetriliste mõõtmete muutuses. Seega, kui ferromagnetilise eseme mõõtmed suurenevad, on see positiivne magnetostriksiioon  $+\lambda$ , kui väli vähendab eseme mõõtmeid, siis negatiivne magnetostriksiioon  $-\lambda$ . Raud ja enamikul rauasulamitel esineb positiivne magnetostriksiioon, kuid nikkel jt on negatiivse magnetostriksiiooniga.

Magnetoelastse efekti abil saab mõõta jõude, mehaanilisi pingeid ja momente. Magnetostriktiivse efekti põhjal on välja töötatud ultrahelilainete allikaid.

## Induktiivset tüüpi magnetoelastsed andurid

Induktiivset tüüpi magnetoelastne andur on kujutatud joonisel 2.10.



**Joonis 2.10.** Induktiivne magnetoelastne andur

Kui jõud  $F$  on rakendatud magnetsüdamikule, tekivad mehaanilised venitused ja pinged, mille tulemusel muutub magnetiline läbitavus  $\mu$ , põhjustades magnetilise takistuse  $R_\mu$  muutuse. Kui  $R_\mu$  muutub, siis pooli induktiivsus  $L$  muutub, mis põhjustab näivtakistuse  $z$  muutuse.

## Rõhuandurid

Füüsikas on rõhk määratud kui kindlale pinnale rakendatud jõu tulemusel tekkinud eriline mõju. Rõhku kirjeldatakse valemiga:

$$P = \frac{F}{S}$$

SI süsteemi rõhuühik on  $Pa$  (Pascal). Üks  $Pa$  on määratud kui üks  $N$  (Newton)  $m^2$  (ruutmeetrile). Lisaks paskalile  $Pa$  kasutatakse praktikas sageli ka teisi mõõtühikuid:  $psi$  (naela ruuttollile),  $atm$  (atmosfäär),  $bar$ , millimeetrit elavhõbedasammast, mida on sageli nimetatud ka torriks.

Rõhuühikute teisendused heakskiidetud SI ühikuks Pa on tabelis 2.3.

**Tabel 2.3.** Erinevad rõhuühikud

Ühik	Teisendamine paskaliteks <i>Pa</i>
1 psi	6894.757
1 bar	100000
1 atm	101325
1 torr	133.322

Rõhuühiku määramiseks võib kasutada järgmisi põhimõtteid:

**Atmosfäärirõhk:** see on atmosfääri rõhk maapinnal. Atmosfäärirõhuks merepinnal eeldatakse 101.325 *kPa*. See rõhk väheneb kõrguse suurenedes.

Rõhk 0 *Pa* on täielik vaakum. Vaakumiks nimetatakse rõhku täielikust vaakumist atmosfäärirõhuni.

### Rõhuandurite tüübid vastavalt mõõtetehnikale

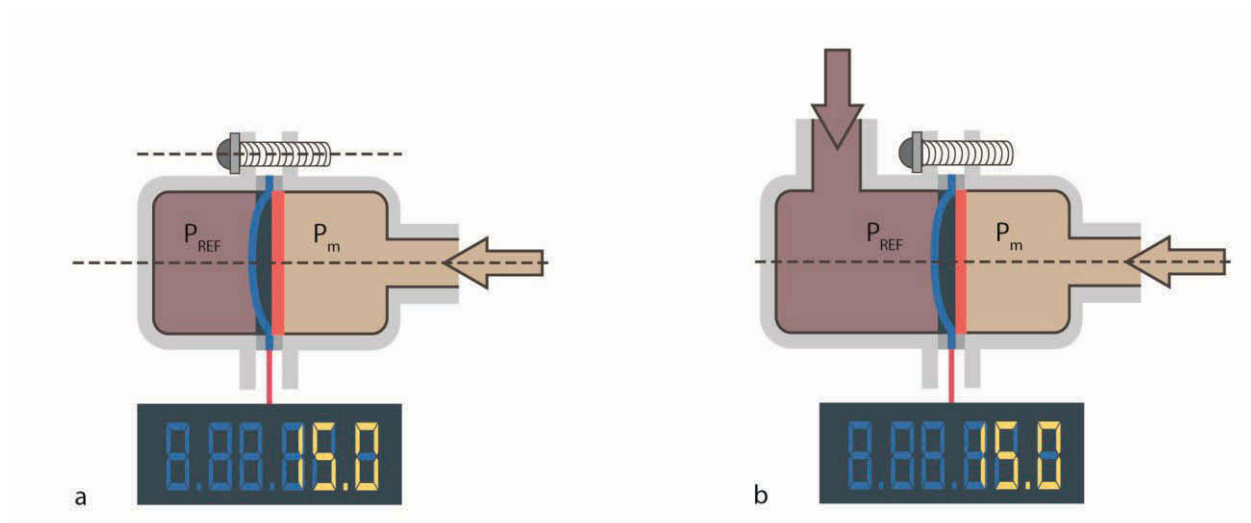
Praktikas mõõdetakse peamiselt gaaside ja vedelike rõhku. Rõhu mõõtmiseks erinevates põhitehnikates on välja töötatud suur hulk andureid.

Mõõtmistüübi järgi jagunevad andurid:

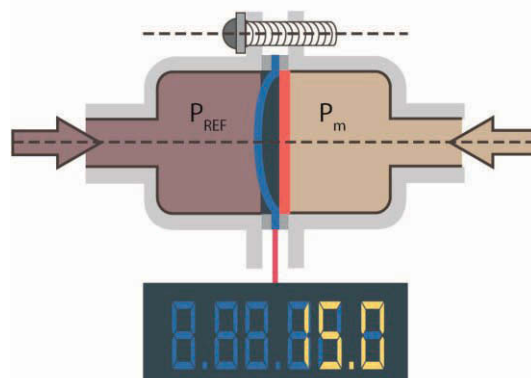
Absoluutse mõõtmisega – seda tüüpi anduritega (joonis 2.11a) määratakse rõhku vaakumi suhtes.

Suhtelise mõõtmisega – seda tüüpi andurid mõõdavad rõhku atmosfäärirõhu suhtes (joonis 2.11b). Referentsrõhuna kasutatakse atmosfäärirõhku. Üks variant seda tüüpi andureid määrab rõhku atmosfäärirõhu suhtes merepinnal.

Diferentsiaalse mõõtmisega – seda tüüpi andurid (joonis 2.12) mõõdavad rõhku teatud referentsrõhu suhtes. Nende andurite tööpõhimõte sarnaneb näidikanduritele, kuid referentsrõhk erineb atmosfäärirõhust ja andur mõõdab rakendatud ja referentsrõhu erinevust (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010).



**Joonis 2.11.** a) – rõhu mõõtmine vaakumi suhtes, b) – rõhu määramine atmosfäärirõhu suhtes (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)



**Joonis 2.12.** Diferentsiaalrõhu mõõtmine (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

### Andurite tüübid vastavalt nende tööpõhimõtetele

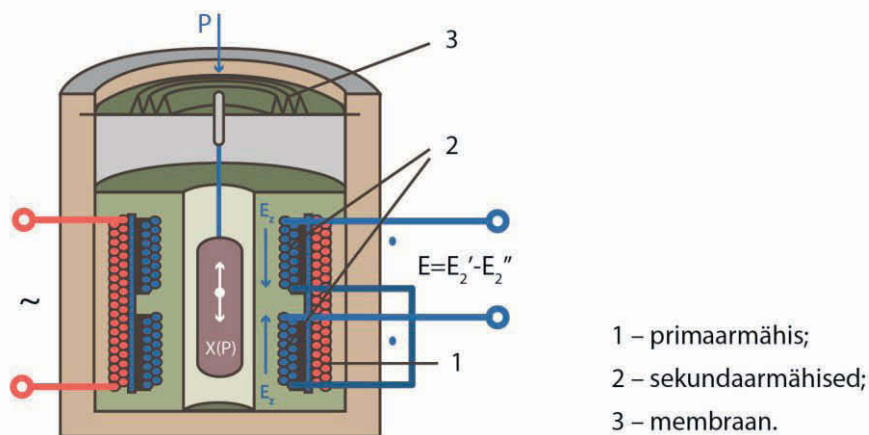
Rõhu mõõtmiseks on välja töötatud palju erinevate mehaaniliste konstruktsioonidega või vedeliku torus liikumisel põhinevaid rõhuandureid. Automaatikas kasutamiseks pakuvad huvi elektrilise väljundsignaaliga rõhuandurid, mida saab ühendada mingit liiki jälgimis- ja juhtimisaparatuuriga.

Kõige laialdasemalt kasutatavate rõhuandurite ehituses kasutatakse diafragmat. Membraan on plaat, mis paindub rõhu rakendamisel, ja kõrvalekalle sõltub rakendatud rõhust.

Allpool käsitletakse mõnede praktikas laialdaselt rakendatavate andurite kõige tavalisemaid konstruktsioone.

### Vastastikku induktiivsed andurid

Seda tüüpi andurid sisaldavad diferentsiaaltrafot, mille magnetahel on ühendatud anduri membraaniga (Joonis 2.13). Rõhu rakendamisel membraan paindub, mille tulemusena diferentsiaaltrafo südamik nihkub. Trafo kaks sekundaarmähist on ühendatud vastasfaasides. Primaarmähist toidetakse siinuselise pingega. Kui südamik on trafo magnetilises keskmes, siis trafo väljundsignaal on null. Kui südamik nihkub, siis väljundpinge amplituud muutub sõltuvalt nihkest. Nihke suuna määramiseks saab kasutada faasinihet sisend- ja väljundsignaalide vahel.

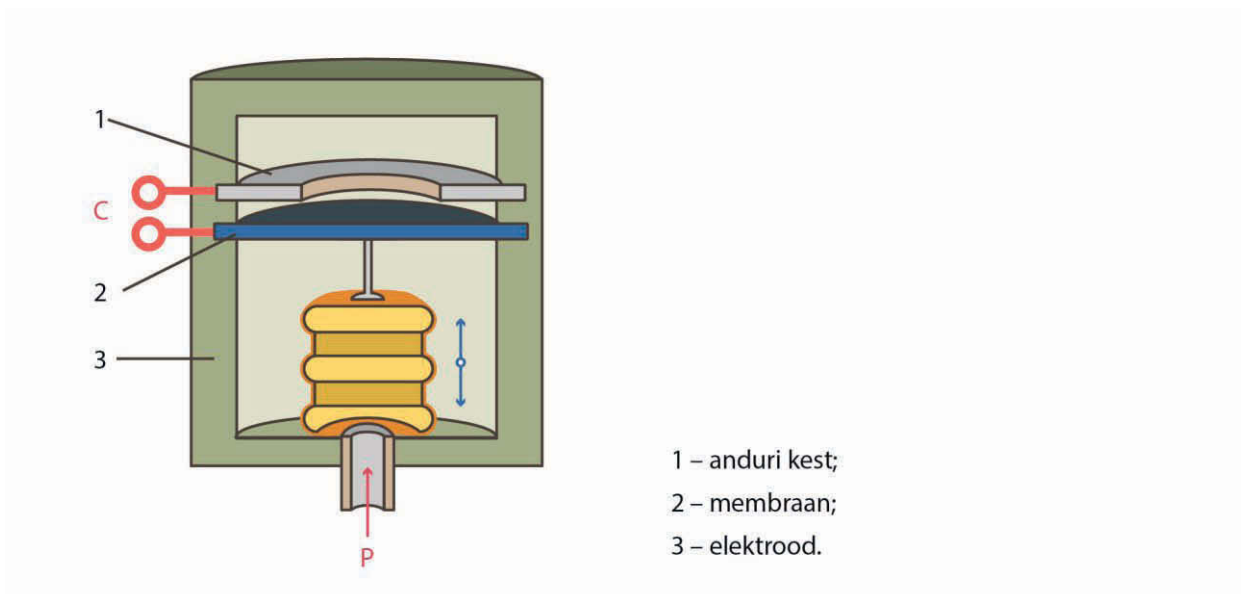


**Joonis 2.13.** Vastastikku induktiivse anduri näitlik ehitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

### Mahtvusandurid

Membraan deformeerub rõhu rakendamisel. Viimane täidab kondensaatori plaadi rolli (joonis 2.14). Kui see nihkub, siis kondensaatori mahtvus muutub. Sobiva elektroonikaskeemiga saab mahtvuse muutuse lihtsalt teisendada anduri väljundsignaali muutuseks.





**Joonis 2.14.** Mahtuvusanduri ehitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

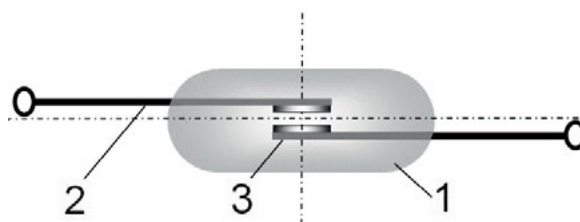
#### 2.1.4. Positsiooni-, nihke-, kiirus- ja kiirendusandurid

##### Kontaktandurid

Kontaktandurid on muundurid, milles sirgjooneline või nurga nihe (mõõtmed) muundatakse elektriahelat juhtivate kontaktide avatud või suletud olekuks.

##### Magnetjuhtimisega kontaktid

See on üks variant kontaktmuunduritest (joonis 2.15). Neid nimetatakse ka herkoniteks (hermeetilisteks kontaktideks) või keelanduriteks.



1 – klaasampull; 2 – magnetiliselt pehmest materjalist elektrodplaadid (nt permalloi); 3 – kontaktid (plaatina, kuld, hõbe jne)

**Joonis 2.15.** Herkoni ehitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Klaasampulli läbimõõt on umbes 3 mm ja see on umbes 20 mm pikkune ja õhutühi (vaakum) ja on täidetud inertgaasiga (lämmastik, argoon või vesinik). Elektrodplaadid on sellesse pressitud. Nad on valmistatud magnetiliselt pehmest materjalist (tavaliselt permalloi). Magnetväli sulgub nende ümber läbi kontaktidevahelise õhupilu. Kontaktid on kaetud hõbedaga, kulla, plaatina, plaatina-roodiumi või nende sulamitega. Elektrodid töötavad magnetahelana, kontaktide ja vedrudena.

Kontakte juhitakse välise magnetväljaga, mida tekitab püsिमagnet. Magnetväli muutub kahel viisil:

- magnetvälja tekitava püsिमagneti liigutamise või pööramisega,
- püsिमagneti ja ampulli vahele paigutatud ekraani liigutamise.

Magnetjuhitavatel kontaktidel on järgmised eelised: väikesed mõõtmed, madal hind, hea oksüdeerumise- ja tolmukindlus, suur lülituste arv –  $10^6 \dots 10^9$ , hea kiirus –  $0,2 \dots 0,5 \mu\text{s}$  jne.

### Potentsiomeetrilised andurid

Potentsiomeeter on takisti konstantse takistuse väärtusega  $R_p$ , millel libiseb liugur, mis moodustab elektrilise kontakti. Liugur on mehaaniliselt ühendatud uuritava objektiga, mille liikumist tuleb üle kanda.

Takistus  $R$  liuguri ja takisti ühe otsa vahel on järgmine funktsioon:

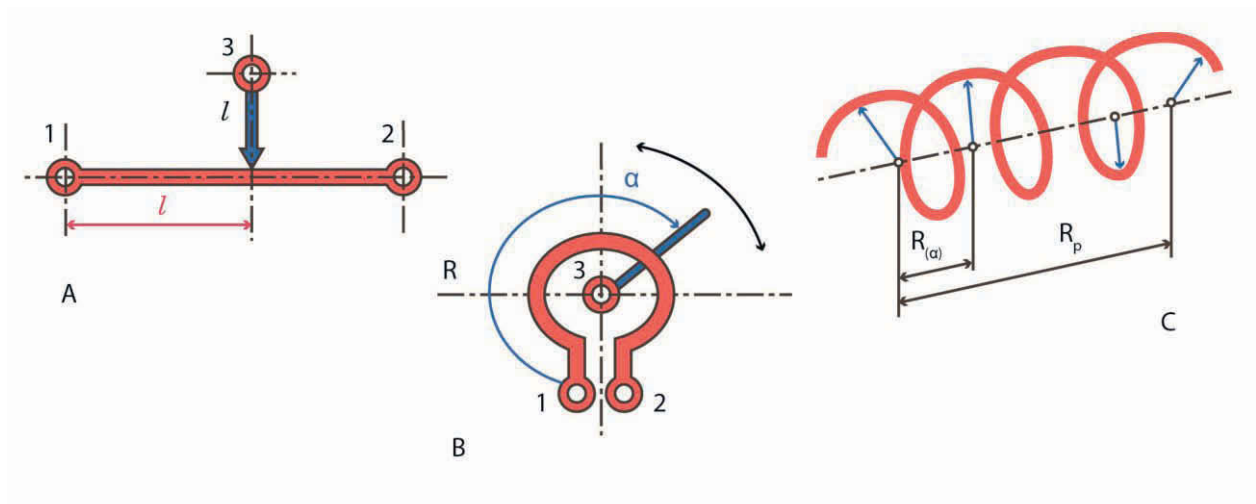
- liuguri asend
- takisti ehitus

Kui takistil on homogeenne ehitus, siis potentsiomeeter on lineaarne, kuna esineb otsene proportsionaalne sõltuvus takistuse  $R$  ja liuguri asendi vahel. Sel juhul saab sõltuvalt liuguri nihketrajektoorist eristada:

- lineaarse nihkega potentsiomeetreid (joonis 2.16a),
- pöördpotentsiomeetreid.

See alagrupp sisaldab:

- ringpotentsiomeetreid  $\alpha_m < 360^\circ$  (joonis 2.16b),
- mitmepöördelisi potentsiomeetreid  $\alpha_m > 360^\circ$  (joonis 2.16c)



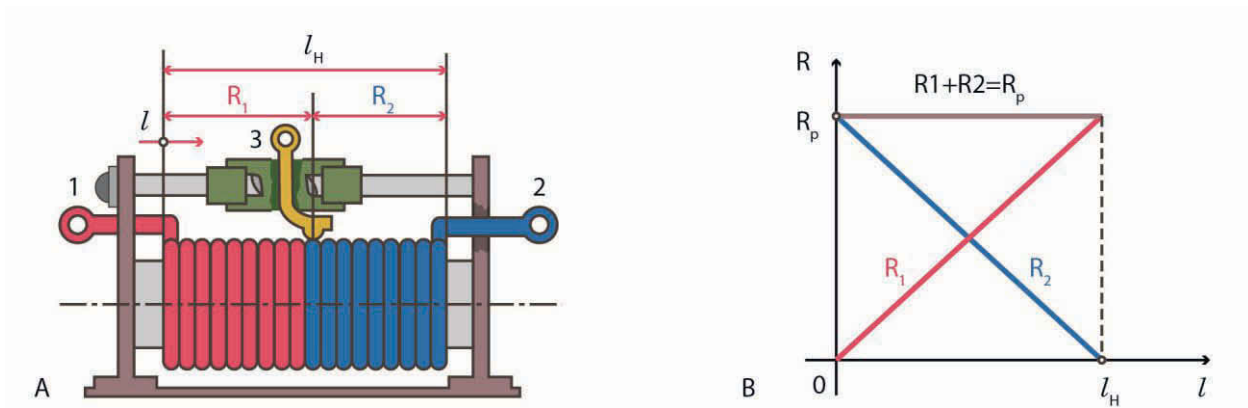
**Joonis 2.16.** Potentsiomeetri tüübid

Potentsiomeetriliste andurite takisti võib olla kas elektrijuht või voolu juhtiv riba.

Kui nendes andurites on kasutatud õhukest kalibreeritud voolujuhti koos liuguriga, siis neid nimetatakse ka reohordmuunduriteks (reohordideks).

Kui voolujuht on mähitud karkassile, siis neid nimetatakse reostaatanduriteks.

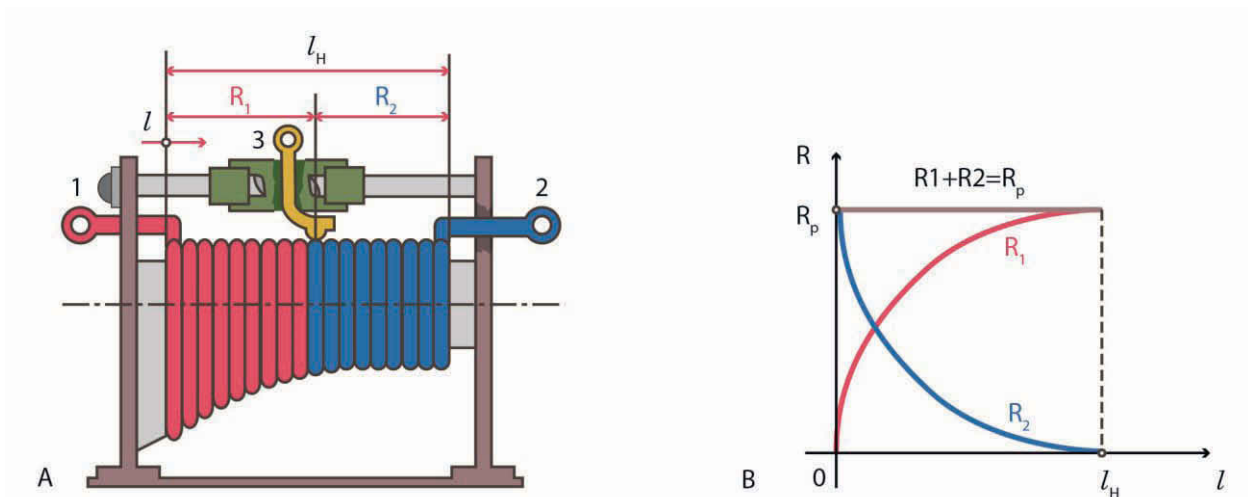
Reostaatandurid on erilahendusega reostaadid, mille liugur liigub sisendsuurusega (jõud, rõhk jne), mis on eelnevalt muudetud lineaarseks või nurknihkeks.



**Joonis 2.17.** Lineaarse reostaadi ehitus ja takistuse muutus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Kõige sagedamini kasutatakse lineaarseid reostaate. Nende takistustraat on mähitud karkassile kogu selle pikkuses ühtlase sammuga ühtse sektsioonina (Joonis 2.17 a). Liugur tekitab kaks väljundtakistust  $R_1$  ja  $R_2$ . Joonis 2.17b kõveratelt on näha, kuidas need takistused muutuvad.

Toodetakse ka funktsionaalseid reostaate, mille tunnusjoon on tahtlikult mittelineaarne. Selle võib saavutada karkassi sobiva kujuga (Joonis 2.18), sobiva keerdude sammu valikuga või lineaarse reostaadi osade takistitega lühistamisega.



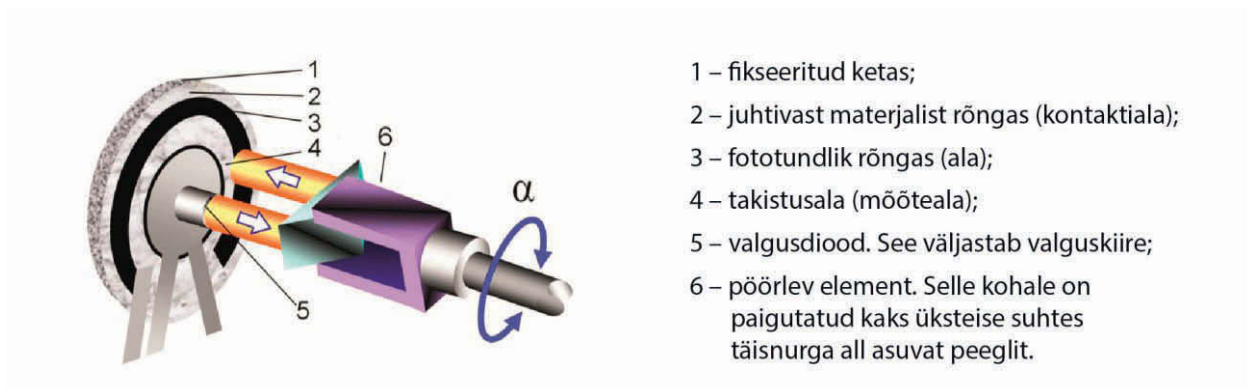
**Joonis 2.18.** Mittelineaarse reostaadi ehitus ja takistuse muutus

### Mehaaniliste kontaktideta potentsiomeetrilised andurid (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Nad võivad põhineda erinevatel efektidel. Nende peamiseks eeliseks on kontaktpindade hõõrdumise ja kulumise puudumine. Need on kontaktivabad muundurid.

Fotoefektil põhinevad potentsiomeetrid (pöördpotentsiomeeter optilise ühendusega)

Fototundliku kihi takistus väheneb järsult valguse mõjul (Joonis 2.19).



**Joonis 2.19.** Fotoefektil põhinev potentsiomeeter (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

See punkt, kus valguskiir pörkub fototundliku alaga, muutub juhtivaks ja moodustab sel viisil kontakti tsoonides 4 ja 2. Valguskiir on niisiis liuguri rollis.

### Magnetilised potentsiomeetrid

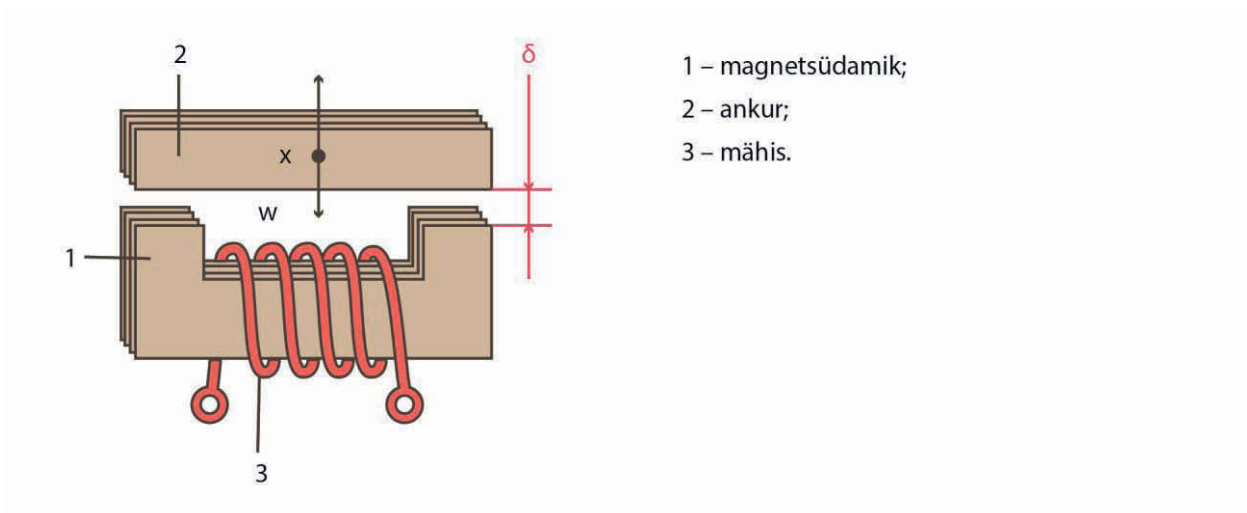
Neis kasutatakse magnettakisteid. Need on takistid, mille väärtus muutub magnetvälja mõjul. Kui selline takisti asub magnetväljas, siis tema takistus suureneb järsult.

### Induktiivsed ja vastastikku induktiivsed andurid

Induktiivandurid koosnevad induktiivpoolist, mis on paigutatud õhupiluga magnetsüdamikule. Pooli parameetrid sõltuvad sisendsuurusest, milleks tavaliselt on lineaarne või nurknihe  $\alpha$  suurus, mis on muudetud nihkeks.

#### Muutuva õhupiluga magnetsüdamikuga muundurid $\delta$

Need on enimkasutatavad induktiivmuundurid. Joonis 2.20 on kujutatud seda tüüpi üksikinduktiivmuundur.



**Joonis 2.20.** Üksikinduktiivmuunduri ehitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

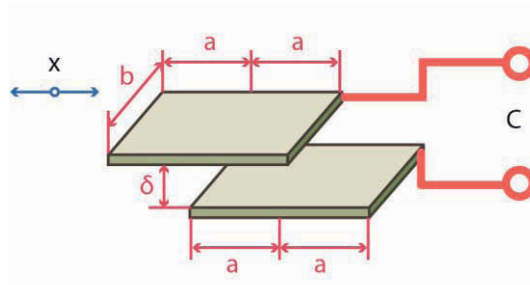
Ankur liigub sisendsuuruse  $X$  mõjul ja tekitab õhupilu muutuse  $\delta$  ning ka mähise näivtakistuse muutuse.

### Mahtvuslikud mõõtemuundurid

Mahtvuslikeks nimetatakse mõõtemuundureid, milles mõõdetav mitteelektrilise suuruse muutus muundatakse mahtvuse muutuseks.

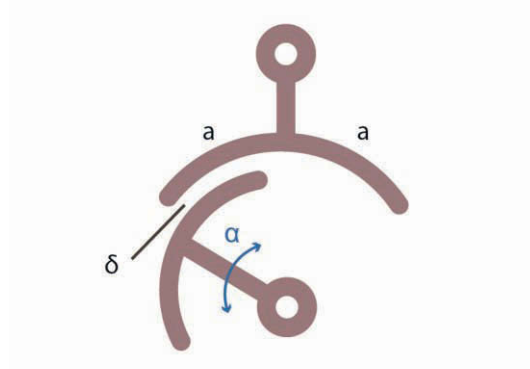
## Mahtvuslikud muundurid s muutmisega lineaar- ja nurknihke mõõtmiseks

Joonis 2.21. kujutab üksikut mahtvuslikku muundurit, milles muutub s lineaarnihke mõõtmiseks.



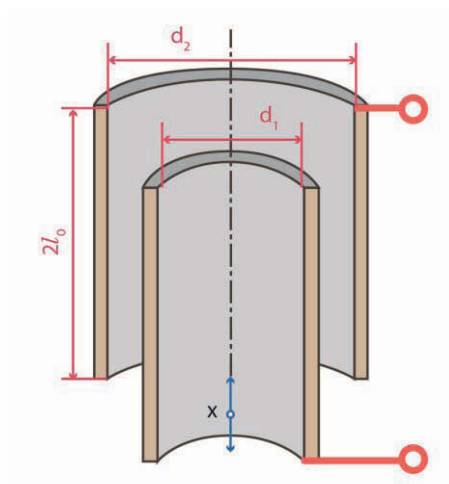
**Joonis 2.21.** Üksik mahtvuslik muundur s muutmisega lineaarselt (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Joonis 2.22 kujutab üksikut mahtvuslikku muundurit s muutmisega nurknihkele.



**Joonis 2.22.** Üksik mahtvuslik muundur s muutmisega pööreldes (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

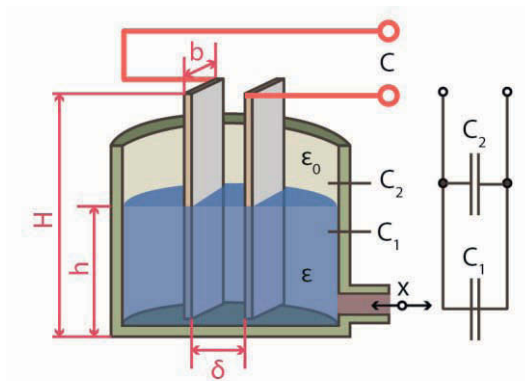
Laialdaselt kasutatakse ka silindrilisi (koaksiaalseid) kondensaatoreid (joonis 2.23).



**Joonis 2.23.** Silindriline kondensaatoreid (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Nendes muundurites võivad liikuda nii sisemised kui välimised silindrid.

Dielektrilise läbitavuse muutmisega mahtvuslikud muundurid  $\epsilon$  on väikeste nihete ja tasemete mõõtmiseks. Selline muundur on kujutatud joonisel 2.24.



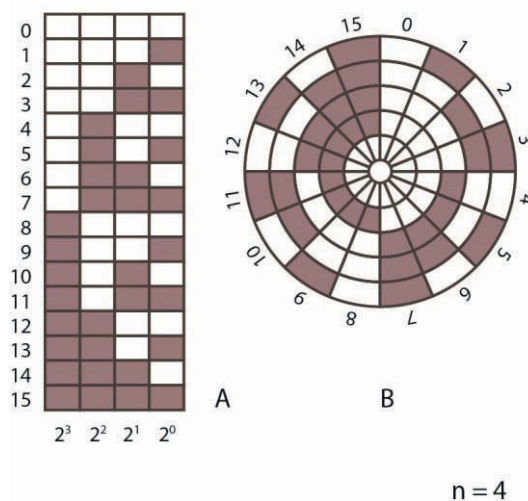
**Joonis 2.24.** Silindriline kondensaator (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Kasutades paralleelsetest plaatides elektroode laiusega  $b$ , võib saada mahtvusliku muunduri, kus  $C_1$  on kondensaatori mahtvus dielektrikuga – vedelik või tahke materjal,  $C_2$  on vastava õhkkondensaatori mahtvus vedeliku pinna või tahke aine kohal. Kaks kondensaatorit on ühendatud rööbiti.

Muundurit saab kasutada väikeste nihete  $X$  ja vedelikunivoo ning ühest suurema dielektrilise läbitavusega  $\varepsilon$  tahkete materjalide taseme mõõtmiseks.

### 2.1.4.1. Absoluutenkooderid

Linearse või nurknihke mõõtmiseks on võimalik välja töötada muundur, mille väljundsignaal on otseselt digitaalne. Absoluutenkooderid võivad olla lineaarsed (joonis 2.25 a) või pöörleva võlliga. joonisel 2.25b) on sellised kahendkoodiga enkooderid.



**Joonis 2.25.** Absoluutenkooderi tüübid

Kõik  $n$  bitti, mis moodustavad sõna, on moodustatud vastavalt  $n$  paralleelsele või kontsentrilisele rajale, kasutades loogilise 0 või 1 määramiseks kahte erinevat olekut:

- mittemagneetuv või ferromagnetiline pind – magnetiliseks lugemiseks;
- isoleeriv või juhtiv pind – elektriliseks lugemiseks;
- läbipaistmatu või läbipaistev pind – optiliseks lugemiseks.

Optilist lugemist kasutatakse väga sageli ja igale rajale on allikas – elektromagnetiline diod ja vastuvõtja – fototransistor.

Elementide arv  $N$  igal rajal määrab resolutsiooni:

- lineaarkooderitel pikkusega  $L$  see on  $L/N$ ,
- pöördenkooderitel see on  $360^\circ/N$ .

Vahetu kahendkoodi saamiseks tuleb saadud infot töödelda arvutusseadmega. Siiski võib tekkida lugemisviga, kuna teatud kahendarvude muutmisel ühe võrra võib korruga muutuda mitu bitti.

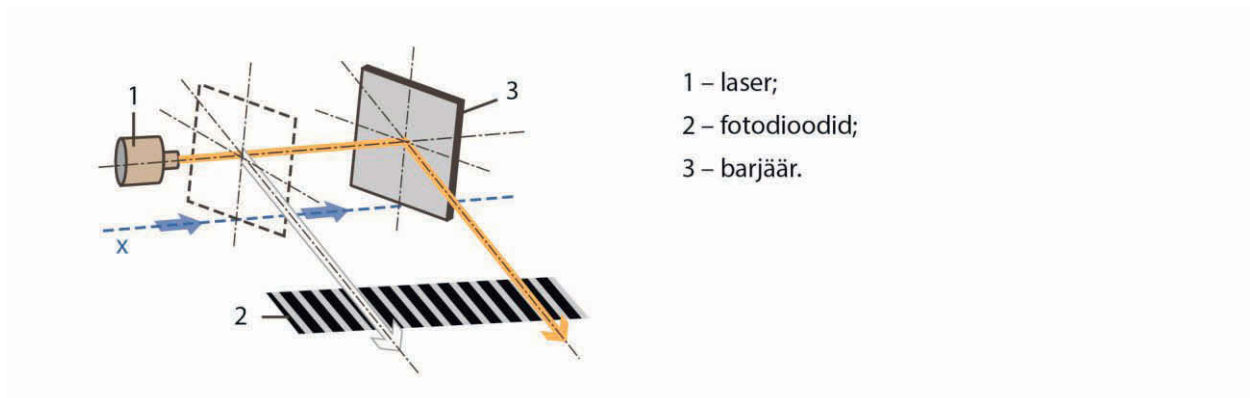
Vale lugemist saab vältida järgnevatel viisidel:

- Kood, milles elementaarnihkel muutub ainult üks bitt (tavaliselt on need spetsiaalsed koodid, näiteks Gray kood).
- Otsene kahend- või BCD-kood täiendava lugemisseadisega, mis võimaldab vältida mitmetähenduslikku lugemist üleminekutsoonides (kasutatakse kahe- või kolme-astmelisi koodikandjaid). Selle näiteks on U-kujuline salvestis.

### Optilised muundurid

#### Optilised asendimuundurid

Sellise muunduri lihtsustatud skeem on näidatud joonisel 2.26.



**Joonis 2.26.** Optiline asendimuundur

Valgusallikaks kasutatakse laserit. Laserkiir peegeldub barjäärilt, mis liigub koos objektiga, mille asendit määratakse. Peegeldunud kiir satub vastavatesse kiirgust vastu võtvasse fotodiodidesse.

#### Püsimagnetmuundurid

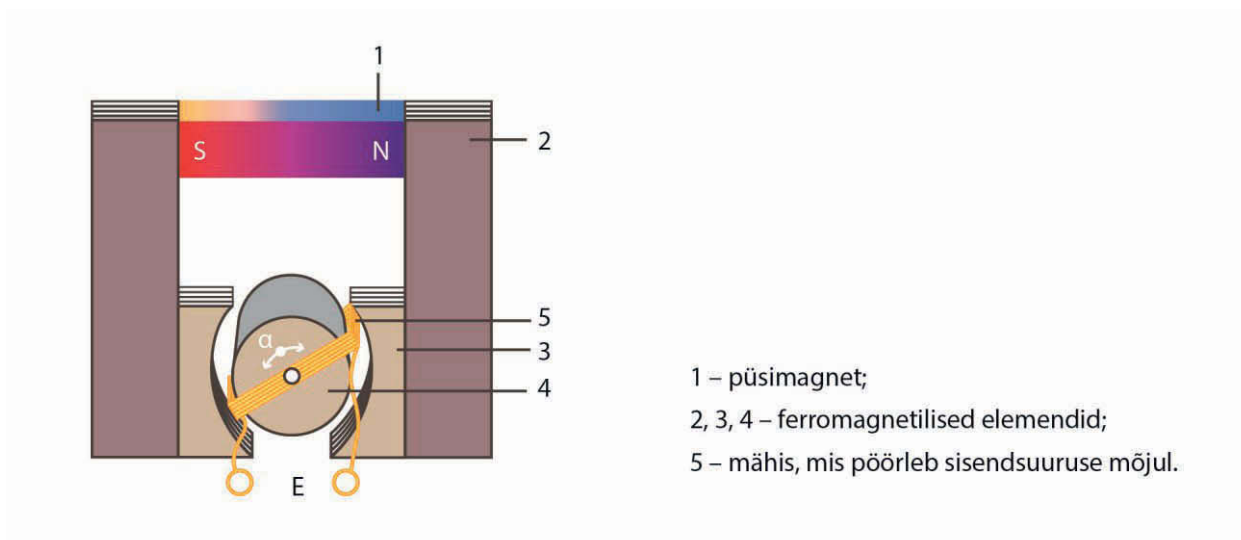
Nende muundurite töö põhineb elektromagnetilise induktsiooni seadusel. Nad koosnevad püsimagnetist (vahel elektromagnetist) ja mähisest. Sisendsuuruse, mis võib olla lineaarne või nurkliikumine, muutus kutsus esile mähise aheldusvoo muutuse, mille tulemusena indutseeritakse mähises sisendsuuruse muutusega võrdeline elektromotoorjõud. Need on generaatortüüpi muundurid.

#### Püsimagnetmuundurite tüübid

Püsimagnetmuundurid klassifitseeritakse püsimagneti ja väljundsuuruse poolt mõjutatava mähise vastastikuse asendi põhjal kaheks täiendavaks alamtüübiks:

- fikseeritud magneti ja liikuva mähisega,
- fikseeritud mähise ja liikuva magnetiga.

Liikuva mähisega püsimagnet-muundurid reageerivad mähise nurga nihkele (joonis 2.27).



**Joonis 2.27.** Pöörleva mähisega püsimagnetmuundur

### 2.1.5 Vooluhulgaandurid

Termin „**vooluhulk**“ tähendab vedelike või gaaside liikumist torudes või avatud kanalites. Seda iseloomustavateks parameetriteks on voolukogus ja voolamiskiirus.

Vooluhulk on aine kogus: vedelik või gaas, mis läbib torusid või avatud kanaleid kindla ajavahemiku jooksul. Vedelike või gaaside vooluhulga mõõtmise ühikud tuginevad aine mahule või kaalule teatud ajavahemiku jooksul.

Vooluhulga põhiühik on  $m^3/s$ , mis määrab läbiva gaasi või vedeliku ruumala ajaühikus. Lisaühikuna võidakse kasutada  $l/s$ , mis määrab läbiva gaasi või vedeliku ruumala liitrites. Vedeliku vooluhulga saab arvutada voolamiskiiruse ja läbitava toru või kanali ristlõike pindala korrutisega.

Vooluhulga kaalu mõõtmiseks kasutatakse ühikut  $kg/s$ . See määrab läbiva vedeliku või gaasi kaalu (kilogrammides) ajaühikus.

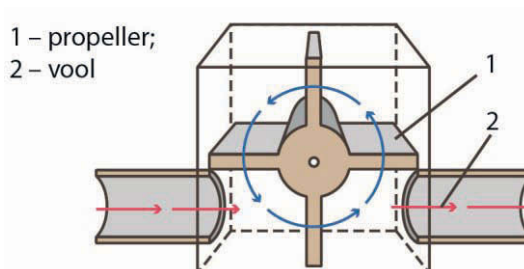
Teised ühikud vooluhulga mõõtmiseks on  $ft^3/s$  (kuuptolli sekundis) ning ka  $lb/s$  (naela sekundis).

#### **Pöörlevad vooluhulgaandurid**

Pöörlevates vooluhulgaandurites muundatakse propelleri või turbiini pöörlev liikumine vooluhulga parameetrite lugemiks. Vooluhulga suurenemisel rootori pöörlemiskiirus samuti suureneb.

#### Propelleriga vooluhulgaandurid

Seda tüüpi vooluhulgamuundurid põhinevad vooluga käitaval propelleril (joonis 2.28). Propelleri pöörlemist mõõdetakse anduritega ja seda saab lugeda elektrooniliselt teostatud mõõteahelaga. See on üks odavamaid praktiliselt kasutatavatest vooluhulgamuundurite konstruktsioonidest.



**Joonis 2.28.** Propelleriga vooluhulgaandur



### Turbiini ja induktiivmuunduriga andurid

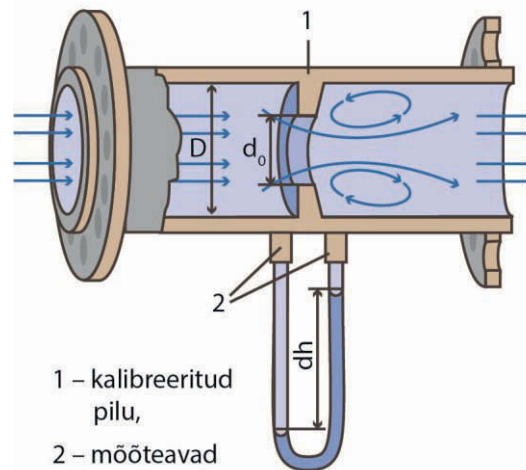
Seda tüüpi andurites on turbiiniga rootor monteeritud toru keskele ja kui aine (vedelik või gaas) liigub, paneb see turbiini pöörlema.

Turbiini on pressitud ferromagnetiline varras. Torust väljapoole selle vahetusse lähedusse on paigutatud püsिमagnet. Magneti ümber on paigutatud mõõtemähis. Püsिमagnet tekitab magnetvoo, mis on maksimaalne, kui varras on sellega paralleelne, ja minimaalne, kui varras on risti. Magnetvoo muutuse tulemusena indutseeritakse mõõtemähises elektromotoorjõud, mis on võrdeline turbiini pöörlemiskiirusega.

### **Rõhu mõõtmisel põhinevad vooluhulgaandurid**

#### Kalibreeritud piluga

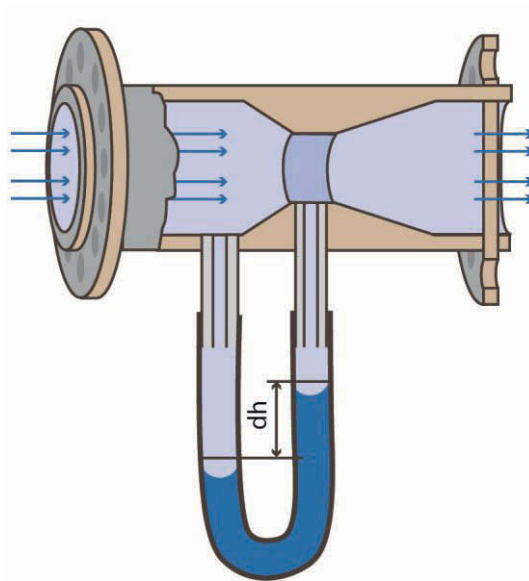
Kalibreeritud pilu on vedeliku või gaasi voolu suunas laieneva avaga metallidiafragma (joonis 2.29). See on paigaldatud voolusuunaga risti. Pilu mõlemal poolel on mõõteavad, mis näitavad rõhku enne ja pärast pilu. Voolu väärtus määratakse rõhkude vahe alusel.



**Joonis 2.29.** Kalibreeritud piluga vooluhulgaanduri ehitus.  $D$  – toru diameeter,  $d_0$  – kalibreeritud pilu diameeter,  $dh$  – mõõteskaala pikkus

#### Venturi toruga

Venturi toruga voolumõõtja (joonis 2.30) kasutab sama põhimõtet kui kalibreeritud piluga mõõtja, nimelt rõhkude erinevust. Venturi toru tekitab kalibreeritud piluga võrreldes vähem keeriseid. Seetõttu ei kasutata neid suure läbimõõduga torudes. Rõhumõõteavad on paigutatud Venturi toru kõige laiemasse ja kitsamasse ossa.



**Joonis 2.30.** Venturi toruga vooluhulgaanduri ehitus.  $dh$  – mõõteskaala pikkus

### 2.1.6 Niiskusandurid

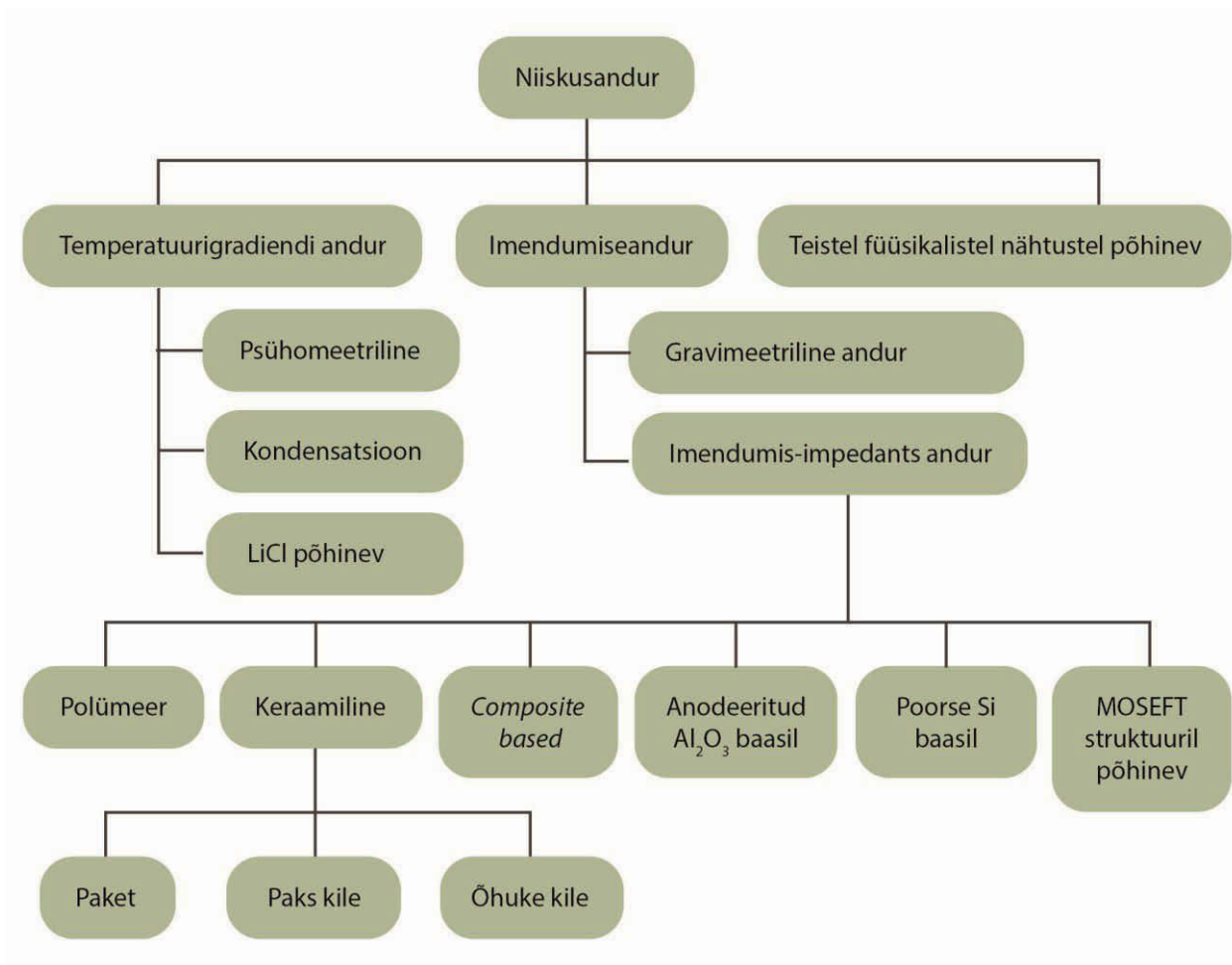
Niiskuse väärtus mõjutab oluliselt paljusid tootmisprotsesse. Atmosfääriõhu või protsessigaasi niiskus on üks olulisi parameetreid, mis mõjutab toodangu kvaliteeti paljudes tehnoloogilistes protsessides. Seetõttu on gaaside niiskuse mõõtmisel suur tähtsus ja see on tööstuses laialt kasutusel.

#### Niiskuse põhimääratlused

Gaaside niiskuse kvalitatiivseks määramiseks kasutatakse erinevaid ühikuid.

- **Absoluutne niiskus** (veeauru tihedus),  $d_w$ . See väljendab veeauru massi gaasi mahuühikus. Absoluutset niiskust mõõdetakse grammides kuupmeetrile ( $g/m^3$ ).
- **Veeauru osarõhk**,  $p_w$ . See on veeauru rõhk õhus mõõdetuna antud temperatuuril. Seda väljendatakse rõhuühikutes (harilikult hektopaskalites, hPa).
- **Niiskuse mahusisaldus** (veeauru mahukontsentratsioon),  $C_v$ . See on määratud kui veeauru mahu ja gaasi mahu suhe. Niiskuse mahusisaldust kasutatakse väga väikeste veeaurukoguste iseloomustamiseks. Seda mõõdetakse ppm-ides (osakest miljoni kohta).
- **Suhteline niiskus**,  $H(RH)$ . Veeauru osarõhu suhe küllastunud veeauru rõhuse antud temperatuuril. Gaasi küllastuse määr  $H$  iseloomustab gaasi küllastust veeauruga ja seda rakendatakse palju erinevatel teadus- ja tehnoloogiaaladel. Suhtelist niiskust mõõdetakse protsentides ( $0 \leq H \leq 100$ ).
- **Kastepunkti temperatuur**,  $T_p$ . See on temperatuur, mille juures veeauru osarõhk on maksimaalne. Kastepunkt on temperatuur, mille juures õhu suhteline niiskus on 100%. Kastepunkti kasutatakse veeauru kondenseerumise mõõtmiseks tööstusprotsessides kõrgetel temperatuuridel.

Niiskusandurite klassifikatsioon on esitatud joonisel 2.31.

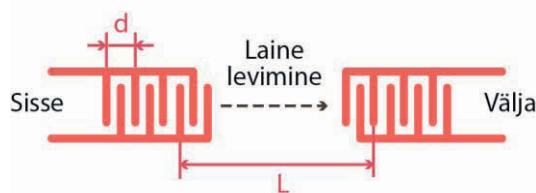


**Joonis 2.31.** Niiskusandurite klassifikatsioon (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

### Gravimeetrilised (pieso-imendumis-) niiskusandurid

Seda tüüpi andurites muutub niiskuse imendumisel sorbendi mass. Pieso-imendumisanduri väljundsignaal on määratud sorbendi imendumisaktiivsusega.

Pieso-kvartsresonaatorite kõrval toodetakse seda tüüpi andureid, mis põhinevad pinna akustilistel lainetel (*surface acoustic waves*, SAW). Nende tööpõhimõte kasutab samuti enamasti polümeeri baasil toodetud niiskustundliku kihi massi muutust. Akustiliste lainete tüüp on määratud piesoelektrilise alusmaterjali omadustega ja elektroodi struktuuriga, mis moodustavad akustilise laine saatja ja vastuvõtja (Joonis 2.32).



**Joonis 2.32.** Pieso-niiskusandur

Niiskustundliku kihi dielektrilise konstandi massi või elektrijuhtivuse suurenemine niiskuse imendumise tulemusel põhjustab pinna akustiliste lainete (SAW) kiiruse vähenemise. Anduri väljundi muutus võib põhineda laine kiiruse, sageduse või faasi muutusel.

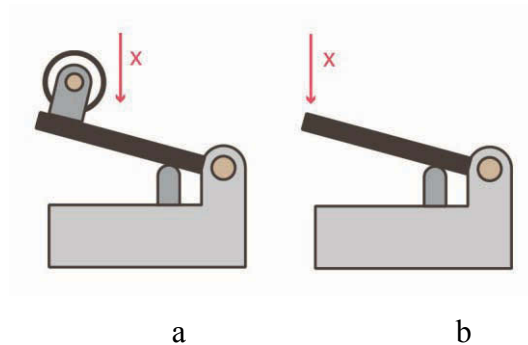
### 2.1.7. Objekti registreerivad andurid

#### Kontaktandurid objekti registreerimiseks

Objekti registreerimise kontaktanduritena võib kasutada mehaanilisi lüliteid. Nad tekitavad sees/väljas-tüüpi signaale objektiga mehaanilise kontakti tulemusel. Kui objektilt rõhk eemaldada, siis lüliti tagastub algolekusse.

On olemas kahte tüüpi lüliteid: normaalselt avatud (NO) ja normaalselt suletud (NC). NO lülitel on avatud kontaktid ning kui neile rakendada mehaanilist jõudu, siis nad sulguvad ja ühendavad elektriahela; NC lülitel on suletud kontaktid, mis avanevad mehaanilise jõu rakendamisel ja katkestavad elektriahela.

Lüliteid saab kasutada mööduvate objektide kindlakstegemiseks. Seda saab teostada, kasutades rullikut (Joonis 2.33a) või kangi (Joonis 2.33b).



**Joonis 2.33.** Kontaktandurid (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Kontaktandureid kasutatakse laialdaselt peamiselt nende odavuse tõttu ja seetõttu, et neid ei mõjuta objekti kuju, värvus ega materjal.

## Lähedusmuundurid

Nendel muunduritel puudub kontakt liikuva objektiga. Nende väljundsignaal on funktsioon muunduri ja objekti vahelisest suhtelisest asendist. Sõltuvalt füüsilisest tööpõhimõttest nad on:

- induktiivmuundurid,
- pöörivoolumuundurid,
- mahtvusmuundurid,
- ultrahelimuundurid jne.

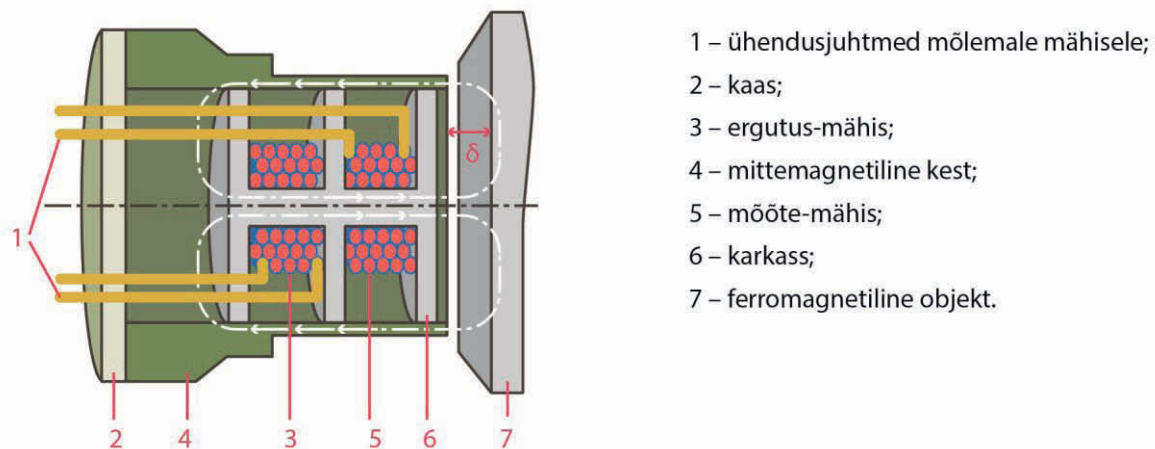
Nende muundurite eeliseks on suur töökindlus, kuna objekti ja muunduri vahel pole mehaanilist kontakti, hõõrdumist, kulumist, müra ega takistuse muutumist.

Puuduseks on mittelineaarne muundusfunktsioon. Väljundsignaal sõltub tavaliselt mitte ainult objekti kaugusest, vaid ka selle kujust ja materjalist.

Need mõõtemuundurid võivad töötada nii analoog- kui digitaalrežiimis. Analoo grežiimis on väljundsignaaliks pidev funktsioon anduri ja objekti vahelisest kaugusest. Digitaalrežiimis on kaks diskreetset taset – madal ja kõrge. Kõrge väljundtase vastab objekti olemasolule teatud kaugusel muundurist. Madal tase vastab objekti puudumisele või see on muundurist kaugel. Lähedusmuundurid talitlevad digitaalrežiimis.

## Magnetilise takistuse muutmisega induktiivmuundur

Seda muundurit võib ette kujutada kui trafot, mille primaarmähis on ergutusmähiseks ja sekundaarmähis on muunduri mõõtemähiseks. Sellise trafo magnetahel sisaldab liikuvat objekti, mis peab olema ferromagnetiline või ferromagnetilise kattega.

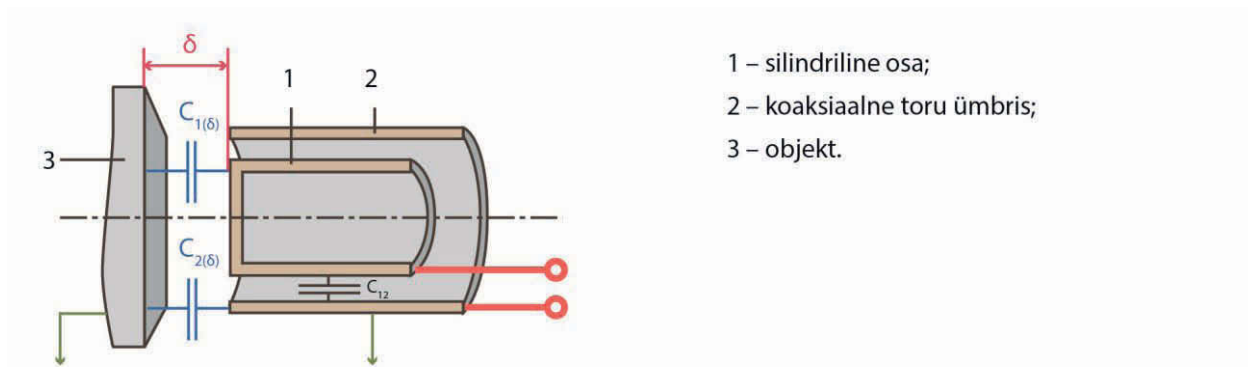


**Joonis 2.34.** Magnetilise takistuse muutmisega induktiivmuunduri struktuur (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Mida lähemal on objekt muundurile, seda kõrgem on mõõtemähise pinge.

## Mahtvuslikud lähedusmuundurid

Mahtvuslikud andurid kasutavad läheneva objekti võimet muuta anduri poolt mõõdetavat mahtvust.



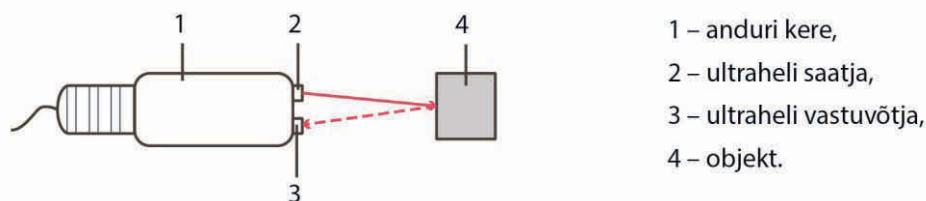
$C_1(\delta)$  silindrilise toru ja objekti vaheline mahtuvus;  $C_2(\delta)$  koaksiaalse toru ja objekti vaheline mahtuvus;  $C_{12}$  silindrilise ja koaksiaalse toru vaheline mahtuvus

**Joonis 2.35.** Mahtvusliku lähedusmuunduri ehitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Punkt 2 ja objekt 3 on harilikult maandatud. Muundur on tavaliselt ühendatud vahelduvvoolusillaga.

### Ultraheli-lähedusmuundurid

Seda tüüpi andurites kasutatakse ultraheli saatjat ja vastuvõtjat (Joonis 2.36). Väljastatud ultraheli peegeldub objektilt ja tagastub vastuvõtjasse.



**Joonis 2.36** Ultraheli-lähedusmuunduri tööpõhimõte (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Ultraheliga objektide registreerimist ei mõjuta objekti optilised näitajad. Erinevalt induktiiv- ja pöörivooluanduritest ei ole ultrahelil piiranguid registreeritava objekti materjalile.

### Optilised andurid objekti registreerimiseks

Optoelektronilised muundurid koosnevad elementide paarist: valgusallikast ja vastuvõtjast, mis reageerib temale langevale valgustugevusele. Enamik paljudest vaatlusmeetoditest põhineb valgusallika füüsilisel paigutusel vastuvõtja suhtes.

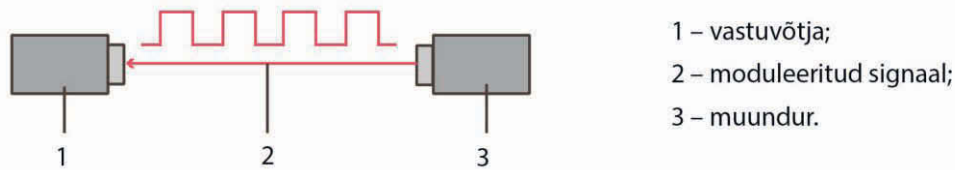
Enamik optoelektronilisi andureid kasutab valgusallikana valgusdioode (LED). LED on elektriliselt diodisarnane pooljuhtkristall, mis erineb sellest selle poolest, et ta kiirgab päri voolu korral väikesel määral valgust. Rakendustes, kus vaadeldav värvus on kontrastne, võib olla oluline LED värvi valik.

Optoelektroniline vastuvõtja kasutab tavaliselt ühte kolmest valgustundlikust elektroonilisest elemendist: fototakisti, fotodiood või fototransistor.

Valgusdioodid, välja arvatud infrapuna-LEDid, väljastavad vähem valgust kui fluorestsents- või hõõgniidiga valgusallikad. Tavaliselt väljastavad nad vähem valgust kui ümbritsev valgustase. Andurite valgusvoo moduleerimine võimaldab nõutavat tundlikkust, mis on vajalik nõrga valguse töökindlaks tuvastamiseks.

Valgusdioode võib sisse ja välja lülitada (moduleerida) suure kiirusega, tavaliselt mitme kHz sagedusega (Joonis 2.37). Modulatsioon võimaldab fototransistor-vastuvõtja võimendi

häälestada modulatsioonisagedusele võimendama ainult selle sagedusega pulseerivaid valgussignaale.



**Joonis 2.37.** Optiline lähedusandur eraldiseisvate osadega

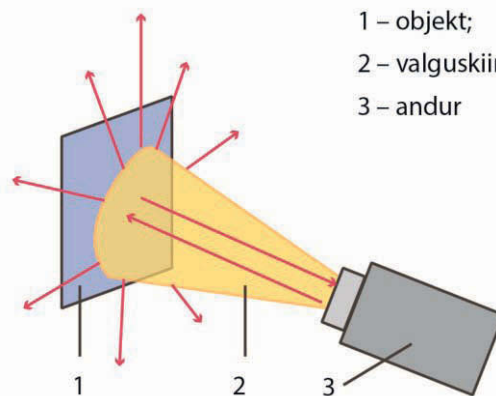
Vastuvõtja ignoreerib ümbritsevat valgust ja vastab ainult oma moduleeritud valgusallikale. Seetõttu võib moduleeritud valgussignaali võimendada väga kõrge tasemeni. Sellest hoolimata võivad väga eredad valgusallikad takistada anduri normaalset tööd.

Infrapuna-LEDe kasutatakse kõige rohkem optilistes andurites, kuid kui tuleb määrata värvust, kasutatakse nähtavas spektrialas töötavaid valgusdioode.

Eristatakse optiliste anduritega objektide registreerimise kolme põhitehnikat: difusioon-, barjäär- ja reflektortehnikat

### Difusioonmeetod

Seda meetodit kasutavates andurites registreeritakse objekt anduri eest möödumisel ja see objekt peegeldab valgusallika valgust tagasi vastuvõtjasse. Sel juhul on objekti värvusel tugev mõju. Mida heledam on objekti värvus, seda kaugemalt võib seda registreerida. Valgusallikas ja vastuvõtja on harilikult, kuid mitte alati, paigutatud samasse ümbrisesse.

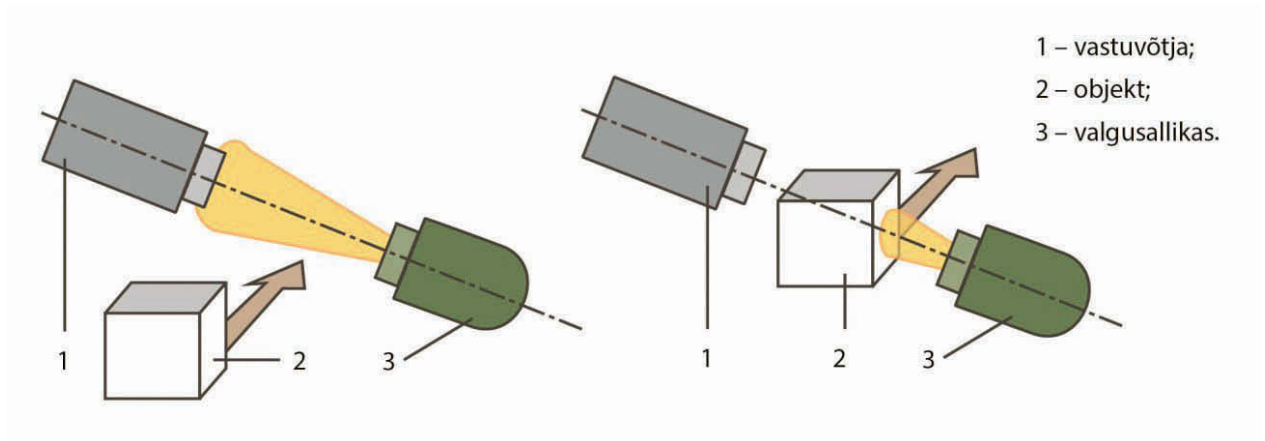


**Joonis 2.38.** Difusioonmeetodi piltlik selgitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Difusioonmeetodil (joonis 2.38) langeb valgusallika valgus objektile teatud nurga all. Sel hetkel valgus hajub objekti pinnalt erinevatesse suundadesse. Vastuvõtja võib olla eri nurga all ja sellesse jõuab nõrk hajunud valgus. Sellest vaatepunktist on difusioonmeetod objektide registreerimiseks suhteliselt ebaefektiivne. Veelgi enam, difusioonmeetodi korral on ülimalt tähtis, millisel määral registreeritava objekti pind peegeldab valgust. Heledaid valgeid pindu registreeritakse palju kaugema vahemaa tagant kui matte musti pindu. Suuremõtteline objekt, mis hõlmab kogu anduri voo, tagastab vastuvõtjale enam energiat kui väike objekt, mis hõlmab voogu ainult osaliselt. Enamikul difusioonanduritel on läätсед väljastatava valguskiire suunamiseks, aga ka suurema hulga peegeldunud valguse fokuseerimiseks. Difusioonandurite läätсед võimaldavad pikemat registreerimisvahemaad ja suurendavad oluliselt koostenurka läikivate ja siledete objektide määramise rakendustes.

### Registreerimise barjäärmeetod

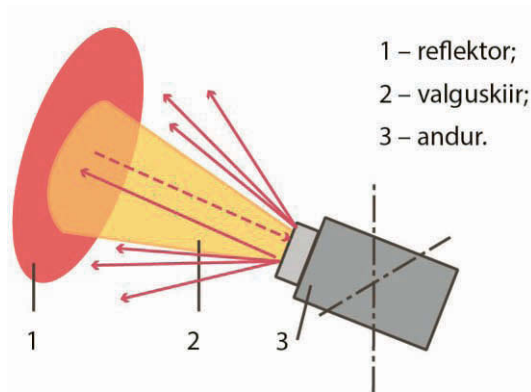
Barjäärmeetodi korral (joonis 2.39) on vastuvõtja ja allikas paigutatud eri ümbristesse üksteise vastu ja nende vahel on valgusvoog. Objekt tehakse kindlaks, kui ta läheb läbi vastuvõtja ja allika vahelt, katkestades vastuvõtjasse saadetava valgusallika valguse. Objekti registreerimisel optiliste anduritega on barjäärmeetod tõhusaim.



**Joonis 2.39.** Barjäärmeetodi piltlik selgitus

### Registreerimise reflektormeedod

Reflektormeedodi korral (joonis 2.40) kasutatakse reflektorit, mis peegeldab tagasi temale langenud valguse. Valgusvoog tekib valgusallika, reflektori ja vastuvõtja vahel. See võib olla infrapuna- või nähtav valgus. Kui objekt ristub valguskiirega, siis andurisse tagastuva peegeldunud valgusvoog tugevus väheneb ja objekt tehakse kindlaks.



**Joonis 2.40.** Reflektormeedodi piltlik selgitus (Nenova, Ivanov, Nenov, 2010)

Läikivate objektide kindlakstegemiseks tuleb andur paigaldada nõnda, et valgusvoog langemisnurk oleks erinev  $90^\circ$ -st. Sellisel viisil peegeldunud valguse tugevus väheneb.

Teine tehnika läikivate objektide kindlakstegemiseks on polariseerivate filtrite kasutamine. Filtrid paigutatakse valgusallika ja vastuvõtja ette, kusjuures filtrite polarisatsioonitasandid on pööratud  $90^\circ$ . Väljastatud polariseeritud valgus peegeldub reflektorilt, mis muudab ka selle polarisatsioonitasandit, nii et see saab läbida vastuvõtja polarisatsioonifiltri. Kui väljastatud valgus peegeldub objektilt, siis selle polarisatsioonitasand ei muutu ja vastuvõtja polarisatsioonifilter ei edasta seda valgust, mis võimaldabki objekti olemasolu tuvastada.



## Enesekontrolliküsimused

### 1. Mida teeb aktiivandur (generaator)?

- a) ei muunda energiat otse,
- b) muundab otseselt energia ühest liigist teise,
- c) ei vaja välist energiaallikat või ergutust,
- d) juhib automaatselt teistest allikatest tulevat energiat või ergutust.

### 2. Millised on anduritele esitatavad põhinõuded?

- a) kõrge tundlikkus,
- b) kardinaalne viga,
- c) hüstereesi olemasolu,
- d) korratavus,
- e) lai mõõtevahemik,
- f) kitsas talitlustemperatuurivahemik.

### 3. Kuidas jagatakse andurid vastavalt nende tööpõhimõttele?

- a) füüsikalised andurid,
- b) lülitid,
- c) keemilised andurid,
- d) pseudodigitaalsed andurid.

### 4. Kuidas jagatakse (liigitatakse) andurid sõltuvalt nendes kasutatud materjalide füüsikalistest omadustest?

- a) elektrijuht,
- b) pooljuht,
- c) komposiitmaterjal,
- d) dielektrik,
- e) kristall.

### 5. Kuidas jagatakse andurid vastavalt nende tootmisprotsessidele?

- a) integraalsed andurid,
- b) kelmeandurid,
- c) amorfsed andurid,
- d) paksukelmeandurid.

### 6. Millise nimega gruppidesse kuuluvad termopaarid?

- a) metall-termotakistite (RTD) grupp,
- b) termoelektriliste andurite grupp,
- c) termistoride grupp,
- d) termodiodide grupp.

### 7. Milliseid metallide ja sulamite kombinatsioone kasutatakse termopaaride tootmiseks?

- a) vask – konstantaan,
- b) koromell – alumell,
- c) plaatina – hõbe,
- d) plaatina ja roodium – plaatina.

- 8. Venituse tagajärjel, mida põhjustab geomeetriliste mõõtude ja vastupanu muutus tensoanduri elastse piirkonna mehaanilisel deformeerumisel, muutub tensoanduri:**
- väljundpinge,
  - reaalne takistus,
  - termiline emj (elektromotoorjõud),
  - väljundmahtuvus?
- 9. Kas tensoandurite materjaliks võib olla?**
- foolium,
  - vask,
  - pooljuht,
  - elektrijuht (niit),
  - plaatina.
- 10. Mis on rõhu mõõteühikuks SI-süsteemis?**
- kg,
  - pa,
  - si,
  - N.
- 11. Milline rõhu väärtuste vahemik määratleb vaakumi mõiste?**
- vähem kui 101.325 kPa,
  - rohkem kui 101.325 kPa,
  - üle 200 kPa,
  - alates 300 kPa kuni 350 kPa.
- 12. Mis on rõhu absoluutne mõõtmine?**
- rõhk määratakse vaakumi suhtes,
  - rõhk määratakse õhurõhu (atmosfäärirõhu) suhtes,
  - rõhku mõõdetakse 500 kPa suunas.
- 13. Mis vahe on näidik- ja diferentsiaalse anduriga rõhu mõõtmisel?**
- erinevust pole,
  - näidikandurid mõõdavad rõhku atmosfäärirõhu suhtes,
  - mõlemad mõõdavad rõhku vaakumi suhtes,
  - diferentsiaalne rõhk määratakse kahe rõhu erinevusena.
- 14. Kas rõhuandurites kasutatakse diafragmat, mis:**
- paindub rakendatud jõu mõjul,
  - toimib kui elektriline isolaator,
  - leiab rakendust ainult rõhu tensoandurites,
  - rõhuandurites ei kasutata diafragmat?
- 15. Kas potentsiomeetriselised andurid on:**
- fotoefektil põhinevad,
  - mehaaniliste kontaktidega,
  - tensoandurid,
  - magnetilised.

**16. Kas induktiivandurid võivad olla:**

- a) muutuva õhupilu pikkusega  $\delta$ ,
- b) reostaadid,
- c) muutuva õhupilu pindalaga  $s$ ,
- d) diferentsiaalsed.

**17. Millised allpool loetletud andurid on pöörleva liikumisega?**

- a) propelleriga vooluhulgaandur,
- b) turbiiniga vooluhulgaandur,
- c) kalibreeritud piluga vooluhulgaandur,
- d) düüsiga vooluhulgaandur.

**18. Suhteline niiskus on määratud kui:**

- a) õhus oleva veeauru rõhk,
- b) veeauru osarõhu suhe küllastunud veeauru rõhusele antud temperatuuril,
- c) ühes gaasi mahuühikus oleva veeauru mass,
- d) gaasi massi ja vee mahu suhe mahuühikus.

**19. Mis vahe on normaalselt avatud ja normaalselt suletud kontaktidel?**

- a) need ei erine üksteisest,
- b) normaalselt avatud kontakt katkestab elektri ahela mitteaktiivses olekus, samas normaalselt suletud kontakt ühendab elektri ahela,
- c) normaalselt avatud kontakt ühendab elektri ahela mitteaktiivses olekus, samas normaalselt suletud kontakt katkestab elektri ahela,
- d) mõlemad kontaktid katkestavad elektri ahela mitteaktiivses olekus.

**20. Lähedusmuunduriteks on:**

- a) kontaktandurid,
- b) enkoodrid,
- c) kontaktivabad andurid.

## 2.2. Programmeeritavad kontrollid

### 2.2.1. Programmeeritavate kontrollite rakendamine

Automatiseeritud töomasina juhtimissüsteemi kõige olulisemad osad on programmeeritav kontroll (PLC) ja selle juhtimisprogramm (kasutajaprogramm).

Igal automatiseeritud süsteemil või masinal on kontrollid. Sõltuvalt kasutatavast tehnoloogiast saab kontrollid jagada pneumaatilisteks, hüdraulilisteks, elektrilisteks ja elektroonilisteks. Tihti kasutatakse nende kombinatsioone. Tehakse vahet riistvaraliselt (nt elektro-mehaaniline) ja tarkvaraliselt programmeeritavatel kontrollitel. Esimest kasutatakse juhtudel, kus töomasina mistahes ümberprogrammeerimine ei tule kõne allagi ja töö nõuab spetsiaalse kontrolleri väljatöötamist.

Kui aga teostatav töö ei nõua spetsiaalse kontrolleri väljatöötamist või kui kasutaja peab tegema programmis muudatusi, siis eelistatakse kasutada universaalset kontrollit, mille programm salvestatakse elektroonilisse mälu. PLC on selline universaalne kontroll, millega saab süsteemi (protsesse) või töomasina funktsioone automaatselt juhtida, aktiveerides neid loogilises järjekorras.

PLC algne ülesanne oli sisendsignaali ühendamine vastavate väljunditega kindlaksmääratud programmi järgi. Binaaralgebra moodustab matemaatilise baasi selle operatsiooni (tehte) jaoks, mis tunnistab täpselt muutuja kahest määratletud olekust 0 ja 1 ainult ühte. Seega saab PLC väljund omada ainult neid kahte olekut.

Tänapäeva PLC ülesannete hulk on märgatavalt suurenenud: kontrollid on võimelised teostama taimerite ja loendurite funktsioone, mälu väärtuste seadmist ja lähtestamist (nullimine), kõiki matemaatilisi arvutusi.

Standard IEC 61131 defineerib PLCd nii: „Digitaalselt toimiv elektrooniline süsteem, mis on mõeldud kasutamiseks tööstuslikus keskkonnas, mis kasutab kasutaja juhiste ja funktsioonide nagu loogika, järjestus, ajastus, loendus ja aritmeetika salvestamiseks programmeeritavat mälu ning kontrollib läbi digitaal- või analoogsisendite ja -väljundite mitmesuguseid masinaid või protsesse. Nii PLC kui ka sellega seotud välisseadmed on projekteeritud nii, et neid saab hõlpsasti integreerida tööstusliku juhtimissüsteemi ning neid saab kergelt kasutada kavandatud funktsioonide teostamiseks“ (Müür, 2011).

PLCde esitatavad juhtimise, visualiseerimise ja üksiksüsteemide sidumise nõudmised üha kasvavad. Mitmed PLCd ühendatakse ühte võrku spetsiaalse andmesideliidide abil.

1970. aastate lõpus täiendati PLCd. Olemasolevate binaarsete sisendite ja väljundite kõrvale lisati analoogsed sisendid ja väljundid. Paljud tänapäeva tehnilised rakendused vajavad analoogsignaali töötlemist, mis võimaldab võrrelda suuruste etteantud analoogväärtusi tegelike mõõdetud analoogväärtustega.

Praegu turul pakutavad PLCd on kohandatud kliendi kasvanud nõudmistele ja on kasutatavad peaaegu igas rakenduses. Paljusid PLCd saab laiendada näiteks digitaal/analoog sisend/väljundmoodulitega, positsioneerimis- ja andmesidemoodulitega. Erilised PLCd on saadaval ohutus- tehnoloogia, laevandus- ja kaevandusülesannete jaoks. Peale selle on PLCd võimelised töötama mitut programmi korraga ja on ühendatavad teiste automaatikakomponentidega, kattes laia osa tootmise automatiseerimise rakendusest.

### 2.2.2. Programmeeritava kontrolleri riistvara

PLC on lühend kontrolleri, millega tähistatakse arvutit, mis on seotud töomasina andurite ja täituritega ning kohandatud teatud tüüpi juhtimisülesannete jaoks. Lihtne PLC koosneb toite-, keskjuhimis- ja signaalimooduli(te)st.

**Toitemoodul (PS)** varustab PLCd toitepingega, mis saadakse 120/230 V vahelduvvooluvõrgust (AC) või 24 V alalisvooluvõrgust (DC). Mõned PLCd ei vaja oma koosseisu toitemoodulit, kui keskjuhimismoodul saab 24 V DC toitepinge välisest toiteallikast (PLC saab elektrit eraldi toiteklemmide kaudu).

**Keskjuhtimismoodul (CPU)** on PLC aju, mis töötleb automatiseeritud protsessi või masina juhtimisprogrammi, mis on salvestatud sisseehitatud programmi mälu. Peale juhtimisprogrammi töötlemist määrab CPU teiste PLCs olevate moodulite parameetreid, haldab andmesidet programmeerimisseadmega, PLC laiendusmoodulitega, teiste PLC(de)ga ja/või teiste seadmetega nagu näiteks operaatoripaneel. Keskjuhtimismoodul võib omada eraldi toitesisendit, mälulaienduspesa (SD-kaardi jaoks) ja andmesideliidest.

Keskjuhtimismoodulil on spetsiaalne lüliti PLC töörežiimi valikuks. Praegused Siemensi PLCd omavad kaht töörežiimi: TÖÖ (*RUN*) režiim kasutaja programmi täitmiseks ja STOPP (*STOP*) režiim, mil kasutaja programmi täitmine on peatatud. Mõlema töörežiimi ajal saab PLCst laadida üles programmeerimisseadmesse (personaalarvuti) või sealt alla PLCsse masina juhtimisprogrammi. Vanad Siemensi PLCd omasid ka kolmandat töörežiimi, mida kutsuti TÖÖ-P (*RUN-P*) režiimiks. Selliste PLCde puhul sai kasutaja laadida programme üles ainult STOPP või TÖÖ-P režiimis. TÖÖ režiimis täideti ainult kasutaja programmi ja samas ei saanud kasutaja programmi muuta (TÖÖ-P režiimis sai seda teha).

**Signaalimoodulid (SM)** on sisend-väljundmoodulid (I/O) digitaal- (DI, DO) ja analoogsignaali (AI, AO) jaoks, mis tulevad anduritest kontrolleri või lähevad sealt lülititesse, täituritesse ja teistesse seadmetesse. Signaalimoodul teisendab saabuvad signaalid niisugusesse vormi, mida PLC suudab töödelda, ning toimetab vastupidiselt väljuvate signaalidega. Enamasti kasutavad digitaal-signaalimoodulid oma töös 24 V DC ja 120/230 V AC pinget. Analoo-signaalimoodulite juures on kasutusel alalispinge väärtusega kas  $\pm 10$  V, 0–10 V või 1–5 V ja alalisvool väärtusega kas 4–20 mA või 0–20 mA. Digitaal-väljundmoodulitest väljuvate signaalide muutmiseks on kasutusel optronid, transistorid ja releed, mis peavad kaitsma signaalimoodulit lühise, ülepinge ja ülekoormuse eest. Releedega saab lülitada erinevaid pingeid (DC ja AC) ja suuremaid voole kui transistoridega, kuid releed lubatud lülituste arv on tunduvalt väiksem kui transistoril. Üks digitaal-signaalimoodul võib omada 8, 16 või 32 sama tüüpi sisendit ja/või väljundit ning analoo-signaalimoodul kuni 2, 4, 6 või 8 sama tüüpi sisendit ja/või väljundit.

Peale eespool loetletud moodulite võib PLC omada veel kassetti/siini (millesse ehitatud andmesidesiiniga ühendatakse PLC moodulid); liidesmoodulit (IM), mis ühendab mitmed eraldiseisvad kassetid üheks PLCks; funktsioonimoodulit (FM), mis tegeleb keeruliste või aeg-kriitiliste protsessidega CPUst sõltumatult (nt kiire loendamine, PID- ja positsioonjuhtimine), andmesidemoodulit (CP), mis ühendab PLC tööväljasiiniga (nt Industrial Ethernet, PROFIBUS, ASi liides), jadaühendusmooduleid, kasutajaliidese moodulit (nt operaatoripaneel); hajutatud sisend-väljundmooduleid; kiiretoimelisi signaalimooduleid.

Igal PLC moodulil on lihtne kasutajaliides andmeside, patarei, I/O, PLC operatsiooni jne olekute ning vigade näitamiseks. Kasutatakse ka väikseid vedelkristallekraane (LCD) või valgusdioode (LED).

Mõned Siemensi PLCd ei vaja vahetult protsessorimooduli kõrvale toitemoodulit, kui automatiiseeritud süsteemil on eraldi 24 V DC toiteaseade, mille väljund on ühendatud CPUga. Samuti võib loobuda IM moodulist, kui PLC kasutab ainult ühte siini.

Mõne firma PLCde juures pole CPU ja toitemoodulite omavaheline asetus oluline. Näiteks Allen-Bradley CompactLogix PLCs võib PS paikneda siinil erinevas pesas (enne PSi võib paikneda kuni 4 moodulit), kuid CPU peab paiknema esimeses pesas.

### 2.2.3. PLC tüübid

Sõltuvalt sellest, missugune on CPU mooduli ehitus ja kuidas see on ühendatud teiste moodulitega, saab PLC jagada järgmisteks tüüpideks: kompaktne PLC, moodul-PLC, kassett-PLC, operaatorpaneeliga PLC, tööstusarvuti, kaart-PLC ja tarkvaraline PLC.

**Kompaktses PLCs** on CPU, PS ja SM paigutatud ühte väikesesse korpusesse. Sellisel PLC-l on kindel arv digitaal-I/Osid (mitte üle 30), üks või kaks andmesideleid (üks PLC programmeerimiseks ja teine tööstusandmesideks) ning HMI liides. Kompaktse PLCga saab ühendada lisamoduleid sisendite-väljundite arvu suurendamiseks. Lisamoodulid paiknevad samasuguses korpuses nagu kompaktne PLC (Joonis 2.41).

Kompaktseid PLCsid kasutatakse automatiseerimisel releede asendusena. Üks PLC ei maksa rohkem kui käputäis releesid. Selle programmeerimine on sama paindlik kui juhtmetega releeskeemi koostamine. Sellist tüüpi PLC nõrgaks küljeks on vähene mälu programmi ja andmete jaoks, protsessori nõrk jõudlus, taimerite ja loendurite väike arv ning mõned puuduvad andmetüübid (nt komakohaga arv, string). Kallimad kompakt-PLCd omavad samu funktsioone nagu teised PLCd. Nende ainsaks puuduseks on kindel arv I/Osid.

Kompaktse PLC tüüpi on Festo FEC PLC, Siemens Logo ja S7-200 PLC (joonis 2.41).



**Joonis 2.41.** Kompaktsed PLCd: vasakul Festo FEC FC660, keskel Siemens Logo ja paremal S7-200 PLC (Müür, 2011)

**Moodul-PLC** on võimsam ja sellel on rohkem funktsioone kui kompaktsel PLC-l. Tema osad nagu näiteks CPU, SP, SM, servo-mootori juhtimismoodul, positsioneerimismoodul ja CP moodul paiknevad eraldi korpustes. Moodul-PLC osad paigutatakse DIN-liistule või spetsiaalse kujuga kinnitusliistule ning need suhtlevad CPUga läbi sisese siinisüsteemi. Siinisüsteem võib olla üks osa CPUst, omada eraldi korpust või olla lamekaabel. Siinisüsteemi pesade arv on piiratud, kuid seda saab laiendada, kasutades spetsiaalseid siinisüsteemimoduleid (nt IM). Seega saab moodul-PLC koostada erinevatest moodulitest, nii nagu automatiseeritav masin või protsess seda nõuab.



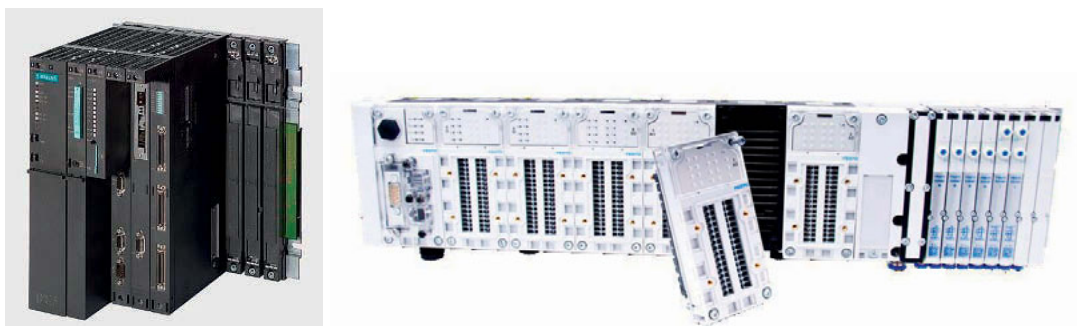
**Joonis 2.42.** Moodul PLC (Siemens S7-1200) (Brindfeldt ja Lepiksoo, Programmeeritavad kontrollid, 2011)

Võrreldes kompakt-PLCga on moodul-PLC võimeline kasutama suuremal arvul sisendeid ja väljundeid, toetab suuri tööprogramme, suurte andmemahdade salvestamist ning on võimeline lahendama mitut erinevat ülesannet (tööprogrammi) korraga.

Moodul-PLCd kasutatakse tänapäeval järgmiste ülesannete jaoks: masina automaatjuhtimine, -reguleerimine, positsioonjuhtimine, arvutamine, andmete töötlemine ja haldus, andmeside, jälgimine, veebiserver jne (joonis 2.42).

Moodul-PLC alla kuuluvad Siemensi S7-300 ja Allen-Bradley CompactLogix PLC (joonis 2.42).

**Kassett-PLC-l** on peaaegu samad funktsioonid ja võimalused kui moodul-PLC-l. Ainuke erinevus seisneb kassetis või siinis, kuhu PLC moodulid paigutatakse. Kassett-PLCs kasutataval kassetil on pesad PLC moodulite jaoks ja sisene siinisüsteem, mis on integreeritud tagaseina ning mis võimaldab vahetada informatsiooni eri moodulite vahel. PLC moodulitel on esipaneel koos HMIga ja nende korpuse tagumises osas on pistikud. Kassett-PLC eelisteks on kiirem andmeside PLC moodulite vahel ja moodulite kiirem toimimine.



**Joonis 2.43.** Kassett-PLC (vasakul on Siemens S7-400 ja paremal Festo CPX PLC)

Kassett-PLC alla kuuluvad Siemensi S7-400 PLC ja Festo CPX PLC (joonis 2.43).



**Joonis 2.44.** Operaatorpaneeliga PLC (Unitronics M90)

Nagu **operaatorpaneeliga PLC (OPLC)** nimigi ütleb, on antud seadmel lisaks kontrolleriile ka HMI liides automatiseeritud protsesside või masinate juhtimiseks ja nende töö jälgimiseks. HMI osa koosneb enamasti ekraanist ja klaviatuurist või puuteekraanist. HMI ekraan võib olla tekstipõhine või graafiline. Sellise süsteemi eeliseks võrreldes tavalise PLCga, mis kasutab eraldiseisvat operaatorpaneeli, on see, et operaatorpaneeli ei pea eraldi programmeerima. Süsteemi juhtimisprogramm ja HMI liides koostatakse ühes tarkvarakeskkonnas. See aitab kokku hoida süsteemi arendamise aega.

OPLC alla kuuluvad Unitronics M-90 ja Vision (joonis 2.44).

**Tööstusarvuti** on tavaline personaalarvuti, millesse on integreeritud PLC funktsionaalsus. PLC osa antud süsteemis võib põhineda riistvaral (kaart-PLC) või tarkvaral (virtuaalne PLC). Tööstusarvuteid kasutatakse keskmistes või suurtes automatiseerimiskonstruktsioonides, kus on oluline kiire protsessijuhtimine, kiire andmete kogumine ja vahetus koos OPC ja/või SQL serveritega (paigaldatud tööstusarvutisse), süsteemi hea jälgitavus ning selle pikk eluiga. Enamasti kasutab tööstusarvuti andmesidet automatiseeritud protsesside ja/või masinate juhtimiseks. Samas võib omada sisseehitatud I/Osid ja teisi PLC mooduleid.

Tööstusarvuti oluliseks puuduseks on see, et teatud aja möödudes pole võimalik saada varuosi (nt mälu, protsessor, videokaart jne), sest tootmises on uued paremad komponendid ja vanu komponente enam ei toodeta.

**Kaart-PLC** on spetsiaalne arvutisse paigaldatav kaart, millel on kõik tavalise PLC CPU funktsioonid. Enamasti paigutatakse see arvuti emaplaadil olevasse PCI pessa, mis võimaldab otsest andmevahetust arvutis oleva HMI ja/või teiste tarkvaraliste rakendustega. Kaart-PLC on vähemalt üks andmesideliides tema ühendamiseks otse tööstuslikku andmesidevõrku (selleks et vahetada andmeid hajutatud I/O-dega või muude PLC seadmetega).

**Tarkvaraline PLC** on virtuaalne PLC, mis töötab tavalises personaalarvutis ja emuleerib riistvaralist kontrolleri CPUd. Automatiseeritud protsesside või masinate juhtimiseks kasutab see arvutis olevaid andmesideliideseid (Etherneti kaart, COM pesa) või arvutisse asetatavaid spetsiaalseid andmesidekaarte, suhtlemaks hajutatud I/Odega ja teiste automaatseadmetega. Tarkvaralise PLC puuduseks on lisamälu puudumine andmete salvestamiseks. Toitepinge katkemisel (kadumisel) kaotatakse kõik protsessi juhtimisandmed, kuid sellest saab üle energiasalvestiga. Lisaks on arvuti operatsioonisüsteemi vahetumisel oht, et tarkvaraline PLC ei tööta uues süsteemis. Peale selle puudub garantii, et tarkvaralise PLCga samal ajal töötavad teised tarkvaralised rakendused (HMI või OPC server) ei mõjuta PLC tööd (nt protsessi juhtimiskiiruse vähendamine, andmesidekatkestused jne).



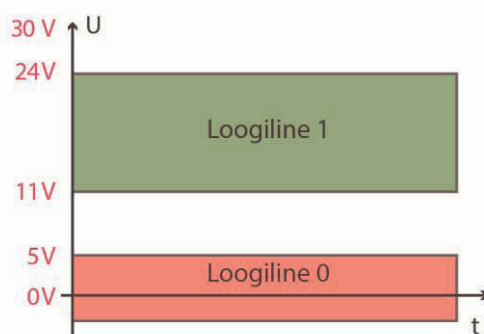
Tööstusarvutite alla kuuluvad Siemensi kassett-tööstusarvuti (paigutatav 19-tollise kasseti sisse), tavaline tööstusarvuti ja operaatorpaneeliga tööstusarvuti (Joonis 2.45). Tarkvaralise PLCna pakub Siemens SIMATIC WinAC RTX-i, mis vajab arvuti jaoks spetsiaalset andmesidevõrgukaarti.



**Joonis 2.45.** Firma Siemens tööstusarvutid (vasakul on kassett-tööstusarvuti, keskel tavaline tööstusarvuti ja paremal tööstusarvuti koos operaatorpaneeliga)

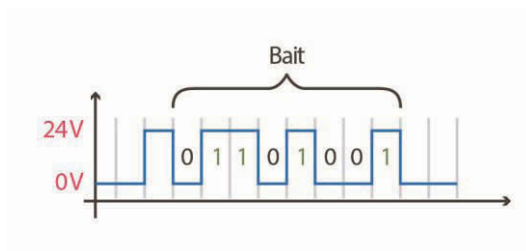
#### 2.2.4. PLC poolt töödeldavad signaalid

Automatiseeritud protsessis mõõdetakse füüsilisi suurusi nagu temperatuur, rõhk ja elektripinge. Samas PLC mõistab ja annab välja ainult elektrilisi signaale. Seetõttu vajavad signaalimoodulid füüsiliste suuruste väärtuste vastuvõtmiseks ja väljasaatmiseks signaalimuundureid. PLC puhul eristatakse kolme tüüpi signaale, millega ta on võimeline töötama: binaar-, digitaal- ja analoogsignaalid.



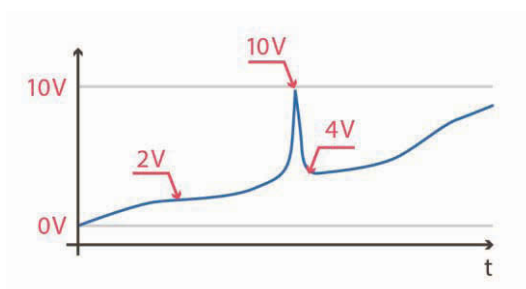
**Joonis 2.46.** 24 V DC binaarsignaali olekud

**Binaarsignaali** on 1-bitine signaal, millel on ainult kaks väärtust (0 – madal, väär, ja 1 – kõrge, tõene). Binaarsignaali väljastavad näiteks surunupp ja lüliti, kui need ühendada pingestatud vooluahelasse. Normaalselt avatud kontakt edastab vooluahelas (loogika) signaali väärtusega 1 siis, kui kontakt jõuga sulgeda, ja (loogika) signaali väärtusega 0, kui kontakt jälle avada. Elektriseadmetes tuleb siiski arvestada teatud hälvetega. Seetõttu on standardis IEC 61131 loogikasignaalidele määratud kindlad vahemikud. 24 V DC toitepingega kontaktivabade andurite väljundis loetakse pingevahemikku  $-3...+5$  V loogiliseks nulliks ja pingevahemikku 11...30 V loogiliseks üheks. 230 V AC puhul loetakse pingevahemikku 0...40 V loogiliseks nulliks ja vahemikku 164...253 V loogiliseks üheks.



**Joonis 2.47.** Digitaalsignaali

**Digitaalsignaali** on binaarsignaali jada, mis moodustab ühe terviku. Iga kohta digitaalsignaalis kutsutakse bitiks. Tüüpilised digitaalsignaali vormid on: terta – 4 bitti (ei ole laialdaselt kasutusel), bait – 8 bitti, sõna (*word*) – 16 bitti, topeltsõna – 32 bitti, topeltpikk sõna – 64 bitti (ei ole laialdaselt kasutusel).

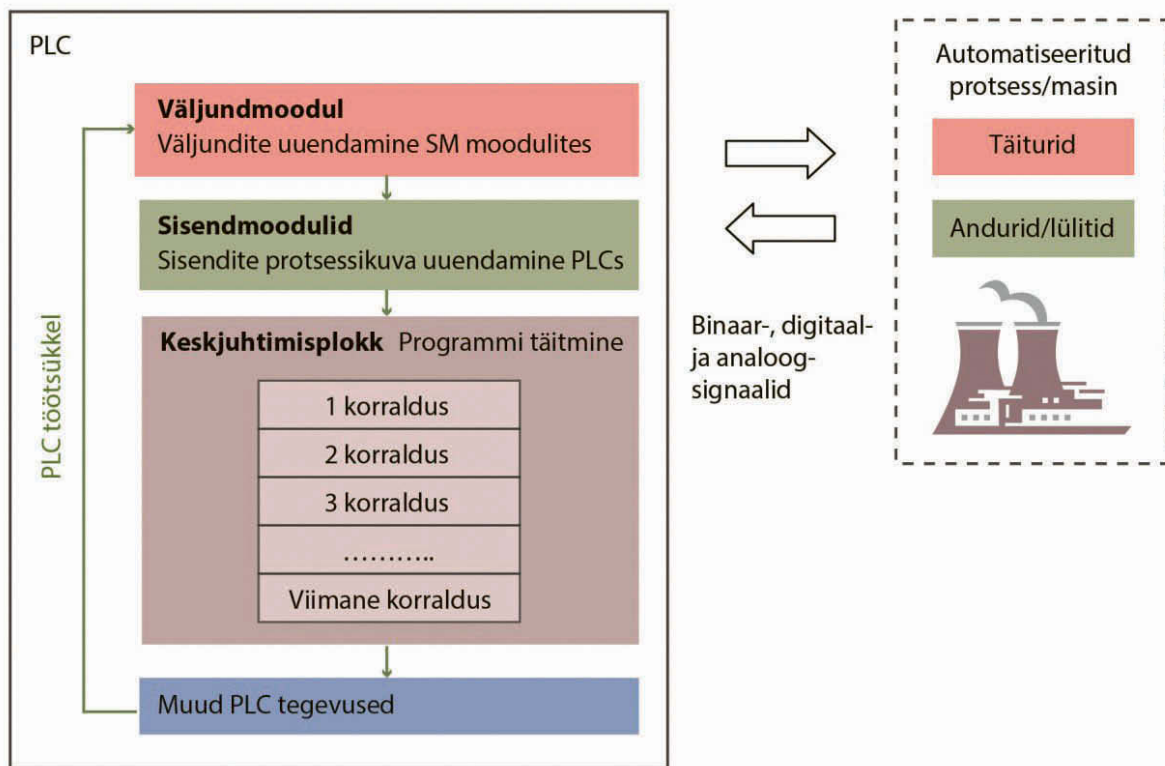


**Joonis 2.48.** Analoojsignaali

**Analoojsignaali** on mingi väärtuse (nt mõõdetud füüsilise suuruse) esitus elektrilise signaalina, näiteks 0...10 V või 4...20 mA. Nüüdisaegsed PLCd pole veel võimelised töötleva reaalseid analoojsignaale, seetõttu muundatakse kontrollerrisse sissetulev analoojsignaali digitaalsignaali ja väljuv digitaalsignaali muundatakse analoojsignaali. Signaali muundamine toimub analoojsignaalmoodulis. Kui digitaalsignaalis kasutatakse rohkem bittide (nt 8 bitti asemel 13 bitti), saavutatakse suurem eraldusvõime (resolutsioon) ja analoojsignaali suurem täpsus. Tüüpilise 0...10 V väärtusega analoojsignaali viga võib digitaalsignaali muundamise järel olla 0,1V; 0,01V või 0,001V (vastavalt digitaalsignaali kasutatavate bittide arvule).

### 2.2.5. Kuidas PLC töötab?

PLC toimib tsükliliselt. Iga PLC-sisene tsükkel algab PLC-sisese hooldustööga nagu mälu haldamine, diagnostika jne. See osa tsüklist tehakse operatsioonisüsteemi abil nii kiiresti, et kasutaja ei märka seda.



**Joonis 2.49.** PLC töotsükkel (Müür, 2011)

Järgmine samm on PLC sisendite pildi ehk protsessikuva uuendamine. SM moodulites mõõdetakse sisendite väärtused ja muudetakse binaar- või digitaalsignaalideks. Need signaalid saadetakse sisese siinisüsteemi kaudu CPUsse ja salvestatakse sisendite andmemälus (sisendite protsessikuva). Pärast seda hakkab CPU täitma programmimälus olevat kasutajaprogrammi (korraga täidetakse üht korralduserida). Kõik inimese poolt koostatud programmid tõlgitakse enne PLCsse saatmist vastavasse masinkeelde. Programmi (korralduserea) täitmise käigus määratakse väljundsignaalidele uued väärtused ja need salvestatakse väljundite andmemällu (väljundite protsessikuva).

Viimane samm on väljundite väärtuste uuendamine. Pärast programmi viimase korraldusrea täitmist saadetakse väljundite andmemälus olevad binaar- või digitaalsed signaalid SM moodulitesse, kus need muundatakse täituritele arusaadavasse vormi (nt analoogsignaale) ja saadetakse sealt edasi täituritele. Kui PLC töotsükkel on läbi saanud, siis alustab PLC uue tsükliga. Nii töötab Siemens S7-300 PLC.

Siemens PLC S7-300 PLC täidab kohe käivituse järel (esimese tsükli kestel) spetsiaalse käivitusprogrammi, mida nimetatakse külmkäivituseks (*cold start*) või soekäivituseks (*warm start*). Peale esimest tsükli hakkab Siemens PLC täitma (kasutaja) põhiprogrammi. Mõnikord katkestatakse põhiprogrammi täitmine mingi sündmuse toimumise tõttu (nt vajutati hädavariinuppu, SM riistvara läks katki või mingi ajavahemiku järel tuleb täita teatud kindlat programmilõiku). Peale katkestuste poolt käivitatud programmi täitmist jätkab PLC jälle põhiprogrammi täitmisega.

Teiste ettevõtete PLC töotsükli võivad olla teistsuguse ülesehitusega. Nt Allen-Bradley CompactLogic PLCs toimub I/O signaalide väärtuste uuendamine programmi täitmise ajal, mitte enne või pärast seda.

### 2.2.6. Multitegumtöö

Tänapäeva PLCd on võimelised täitma automatiseeritud protsessi juhtimisel korraga mitut ülesannet. Iga ülesanne võib koosneda mitmest eraldi programmist. Tegelikult täidab PLC iga protsessor korraga ainult üht ülesannet (selle mingit programmi), aga kuna protsessorid töötavad väga kiiresti, näib kasutajale, et PLC täidab mitut ülesannet korraga.

Standard IEC 61131 määratleb ülesannet kui hierarhiliselt kõrgemat juhtimistasandit PLC programmide täitmisel. PLC on võimeline aktiveerima ülesande kas ajaperioodi (kutsutakse perioodiliseks ülesandeks) või sündmuse baasil (kutsutakse mitteperioodiliseks ülesandeks) ning selles mingi kirjutatud programmi (korralduste kogumiku) täitmist (Müür, 2011). Perioodilisi ülesandeid täidetakse tsükliliselt programmeerija poolt määratud aja möödudes. Mitteperioodilisi ülesandeid täidetakse käimasoleva ülesande koosseisus oleva programmi töös konkreetse sündmuse ilmnemisel (nt mingi andmeelemendi või signaali väärtus muutub 0 → 1).

Tootmisprotsessis multitegumite teostamisel määrab ülesannete tähtsuse ehk prioriteedi programmeerija. Prioriteedinumbri väärtus algab nullist ja see tähistab kõrgeimat prioriteeti. Suurem prioriteedinumber tähendab täitmisel väiksemat prioriteeti. Kui PLC töötab mitu ülesannet kasutada CPU protsessorit samal ajal, siis määrab ülesande prioriteedinumber esimesena täidetava ülesande. Alustatakse kõige kõrgema prioriteediga ülesande täitmisest ja teised jäävad ootama. Kui mitmel täitmist ootaval ülesandel on sama prioriteet, siis peale eelmise ülesande täitmise lõpetamist (CPU protsessor saab vabaks) alustatakse pikima ooteajaga ülesande täitmist.

Kui mingi programm PLCs ei ole seotud ühegi ülesandega, siis on sellel programmil kõige madalam prioriteet ja seda täidetakse ainult siis, kui protsessor pole hõivatud (Brindfeldt, Tööstuslikud infovõrgud, 2011).

Multitegumid liigitatakse vastavalt ülesande täitmise katkestusmeetodile kaheks: eesõiguseta ja eesõigusega multitegumtöö. Eesõiguseta multitegumtöös täidetakse ülesanne lõpuni isegi siis, kui kõrgema prioriteediga ülesanne nõuab täitmist. Järgmisena jätkatakse kõige kõrgema prioriteedi ja pikima ooteajaga ülesande täitmisega. Eesõigusega multitegumtöös täidetakse mingit ülesannet seni, kuni kõrgema prioriteediga ülesanne muutub aktiivseks ja katkestab eelmise ülesande tegevuse. Seega väiksema prioriteediga ülesande täitmine on ooterežiimis seni, kuni kõrgema prioriteediga ülesande tegevus on täidetud. Eesõigusega multitegumtöös ei saa sama või väiksema prioriteediga ülesanded katkestada täidetavat ülesannet. Need peavad ootama, kuni käesolev ülesanne on täidetud/lõpetatud. Peale katkestatud ülesande täitmise lõpetamist jätkatakse kõige kõrgema prioriteedi ja pikima ooteajaga ülesande täitmist.

Mõnel PLCl võib olla juhtimismoodulis kaks või enam protsessorit. Sellised PLCd saavad täita mitut ülesannet üheaegselt (multitegumtöö reaalajas) ilma ajalise viivitusega. See võimaldab kiirelt reageerida protsessi või masina mitteregulaarsele käitumisele.

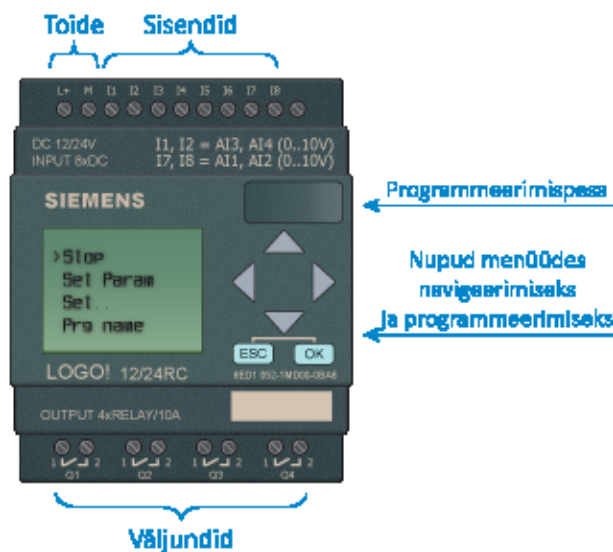
### 2.2.7. Siemensi Logo kontrolleri

See võib asendada ka näiteks automaatikas kasutatavaid releeskeeme, jäädes ise kokkuvõttes enam-vähem samasse hinnaklassi, mis releed maksnud oleks, kuid võtab vähem ruumi, programmi kirjutamine on kiirem kui releeskeemi ühendamine ning hilisemateks muutusteks juhtimises ei ole vaja juhtmestust ringi ühendada, vaid juhtalgoritmi saab muuta programmiselt. Kui on palju samasuguseid rakendusi, siis lihtsustab kontrolleri tööd juba selle võrra, et piisab, kui programm kirjutada vaid ühe rakenduse jaoks ja see kõigisse teistesse üle kanda.

Siemensi LOGO! kontrolleri on saadaval erinevates konfiguratsioonides. See on programmeeritav nii arvuti kaudu kui kontrolleri olevalt kasutajaliideselt. Viimane on hea

võimalus objektile olles programmi väiksemate muudatuste sisseviimiseks, kuid võrdlemise ebamugav lahendus põhiliseks programmeerimiseks. Selleks tuleks kasutada arvutit.

Järgnevatel näidetes tegeleme põhiliselt LOGO! 12/24RC (Basic) kontrolleri-ga.



**Joonis 2.50.** LOGO! 12/24RC (Basic)

LOGO! kontrolleri variandid jagunevad kahte gruppi:

- LOGO! Basic – kontrolleri-pealse kasutajaliidesega (nupud ja ekraan),
- LOGO! Pure – ilma kontrolleri-pealse kasutajaliideseta.

LOGO! juhtmoodulid ja laiendusmoodulid on paigaldatavad kas DIN liistule või seinale Ø M4 kruvide abil. LOGO! kontrolleri külgedel on eemaldatav kate, mille all on ühenduspea küljele kinnitatava laiendusmooduli jaoks. Laiendusmooduleid võib olla mitu.

Toite poolest liigitab Siemens LOGO! kontrolleri-d kahte pingeklassi:

- klass 1 – 12...24 V DC; 12 V DC; 24 V DC; 2V4 AC/DC,
- klass 2 – 115...240 V AC/DC (töötab võrgupingelt).

2. pingeklassi kontrolleri-d võib ühendada otse vooluvõrku, kuid kui on soov 1. pingeklassi kontrolleri-d võrgupingelt toita, siis on vaja toiteploki, mis võrgupinge madalamaks teeks ja alaldaks.

2. pingeklassi kontrolleri-te kasutamine tundub lihtsam ja odavam, kuna puudub vajadus toiteploki järele ja lihtsamates rakendustes peab see tihtipeale ka paika, kuid kui arvestada seda, et andurite, kasutajaliidese ja täiturite kaablid võivad tööstuskeskkonnas viga saada, siis tasub ohutuse seisukohalt kaaluda siiski 1. pingeklassi kontrolleri-t. Teine argument on see, et elektroonika tasandil on antud juhul lihtsam tegeleda alalisvoolu kui vahelduvvooluga. Valik sõltub kindlasti ka olemasolevatest vahenditest.

LOGO! kontrolleri-l on kaks toitesisendit. Üks on L+, mis on alalisvoolu korral pluss ja vahelduvvoolu korral faas. Teine on N, mis on alalisvoolu korral miinus ja vahelduvvoolu korral neutraal.

Sisendid ja väljundid võivad olla erinevatel seadmetel, kuid antud dokumendis, kui pole teisiti märgitud, mõeldakse sisendite ja väljundite all just kontrolleri-sisendeid ja väljundeid.

Sisendid on need, mille kaudu kontrolleri väljaspoolt tööks vajalikku informatsiooni saab (nupu-vajutused, seadme mehaaniliste osade asend, detailide liikumine liinil). Sisendeid tähistatakse tähega I (sõnast *input*). Põhilised sisendid on digitaalsisendid (DI, olek on 1 või 0, pinge kas on

sisendis või ei ole), kuid lisaks neile on nii lisamoodulitena kui sisseehitatult võimalik kasutada analoogsisendeid (AI, mõõdavad mingit pinge-, voolu- või takistusvahemikku). Analoogsisendeid on otstarbekas kasutada mõõdetud väärtuste lugemiseks, mille võimalikke olekuid on palju. Sellised olukorrad võivad olla näiteks õhurõhu, temperatuuri või tooriku kõrguse mõõtmine.

LOGO! 12/24RC kontrolleriil on 8 digitaalsisendit, millest 4 võib kasutada ka 0...10V analoogsisenditena või kiirete digitaalsisenditena.

Kontrolleri digitaalsisendid muutuvad aktiivseks (saavad loogilise 1) positiivse signaaliga, seega sobivad nendega kasutamiseks PNP-tüüpi väljundiga andurid.

Väljundid on need, mille kaudu kontrolleri informatsiooni teistele seadmetele edasi saadab (indikaatoritule süütamine, mootori käivitamine, rele lülitamine). Väljundeid tähistatakse tähega Q (vahel ka O). Enimkasutatavad väljundid on digitaalväljundid (DO, olek on 1 või 0, pinge kas on väljundis või ei ole), kuid kasutatakse ka erinevaid analoogväljundeid (AO, väljastavad mingit pinge-, voolu- või takistusvahemikku). Analoogväljundeid on otstarbekas kasutada väärtuste edastamiseks, mille olekuid on palju. Sellised olukorrad võivad olla näiteks mootori kiiruse etteandmine, lineaarajamile soovitava liikumiskauguse edastamine ja proportsionaalklapi juhtimine.

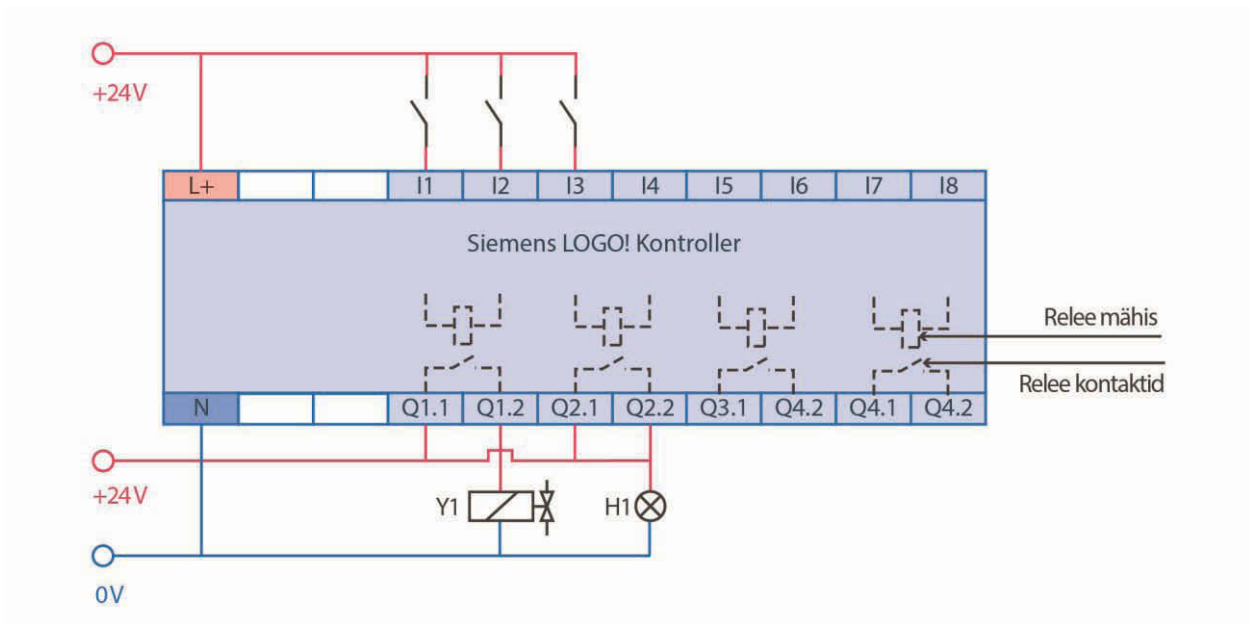
LOGO! 12/24RC kontrolleriil on neli 10 A releeväljundit. Mõlemad releekontaktid on välja toodud. Need on kontrolleriist endast täielikult isoleeritud. Sellest tulenevalt ei tule väljunditest iseenesest otsest väljundisignaali, vaid ühele kontaktidest tuleb väline toide vedada, mida siis teisele lülitatakse. Releekontaktid on normaalselt avatud.

LOGO! põhimooduleid ja laiendusmooduleid on saadaval ka transistorväljunditega. Need võimaldavad ainult alalisvoolu lülitamist ja on väiksema voolutaluvusega, kuid kontaktivad ja väga palju kiiremad kui releed. Suurte voolude lülitamist see ometi ei takista, kuna transistorväljundiga võib juhtida ka välist releed, kontaktorit või kontaktivaba pooljuhtreleed.

### **Kontrolleri ühendamise näide**

Joonisel 2.51 on näide 24 V pealt töötava LOGO kontrolleri kohta. Sellel on sisendite poolel kaks normaalselt avatud surunuppu ja üks normaalselt avatud lüliti. Väljundite poolel on sellel üks pneumo-/hüdrojaoti solenoid ja üks lamp.

Antud näites on väljundite toide võetud samast ahelast, kust kontrolleri ise enda toite saab.



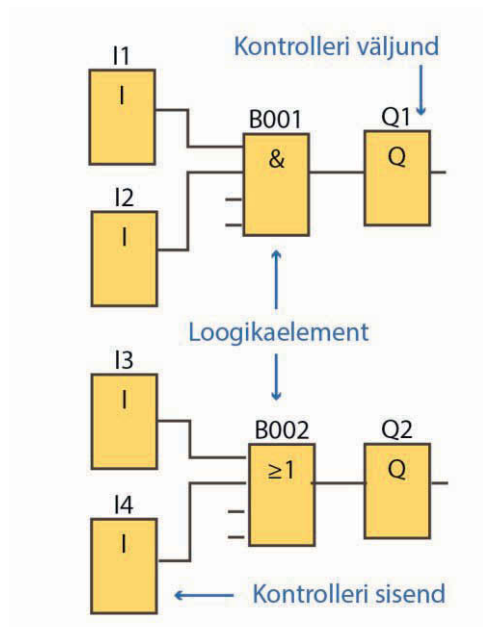
**Joonis 2.51.** 24 V LOGO kontrolleri ühendamise näide

## LOGO kontrolleri tarkvara ja programmeerimine

LOGO kontrolleri programmeerimistarkvaraks on LOGO Soft Comfort. Kui suurem osa tööstus- ja automaatikataarkvara töötab ainult ühes operatsioonisüsteemis, siis see töötab kolmes: MS Windows, Mac OSX ja GNU/Linux. Programmi loomisel on võimalik valida kahe graafilise programmeerimiskeele vahel: FBD ja LAD.

Kuna kontrolleri arusaadav masinkeeel ei ole inimesele mõistetav, siis on vahelülina loodud programmeerimiskeeled, mille abil saab inimene üles märkida, mida ta tahab, et kontrolleri teeks. Nendes keeltes kirjutatud programm tõlgitakse hiljem kontrolleri jaoks masinkeeelde. Programmeerimiskeeled võivad olla nii tekstipõhised kui graafilised. LOGO!Soft Comfort kasutab kahte graafilist programmeerimiskeelt: FBD ja LAD, kuid võib öelda, et see on eelkõige orienteeritud FBD-keelele.

Mõlema keele puhul on tegemist lineaarse programmeerimisega, kus kontrolleri täidab operatsioone tsükliliselt kindlas järjekorras algusest lõpu poole. Niipea kui kõik programmis olevad operatsioonid on teostatud, alustatakse nende täitmist uue tsükliga jälle algusest. See toimub muidugi piisavalt kiirest, nii et jääb mulje, nagu kõik operatsioonid toimuksid kogu aeg samaaegselt.



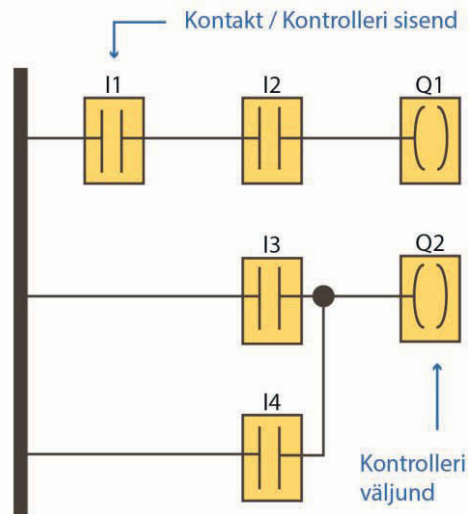
**Joonis 2.52.** FBD – funktsiooniplokkskeem

FBD (joonis 2.52) keel koosneb funktsiooniplokkidest ja on ehk arusaadavam inimestele, kes on varem loogikaelementide ja -funktsioonidega kokku puutunud. FBD-keel on pärit signaalitöötamise valdkonnast, kus on olulised reaali- või täisarvud. Praeguseks on sellest saanud universaalne programmeerimiskeel enamiku PLCde jaoks.

Plokkidel võib olla erinev hulk sisendeid ja väljundeid olenevalt nende funktsioonist. Funktsiooniploki sisendid on ploki vasakul pool, väljundid aga paremal pool, seega infoliikumine skeemis toimub valdavalt vasakult paremale. Funktsiooniploki väljundist ei saa signaali sama ahela algusesse tagasi tuua, kui vahel pole just mälu funktsiooniploki, nagu väljund (Q) või lipp (M). Põhjuseks on see, et kuigi näiliselt töödeldakse kõiki tingimusi korraga, siis tegelikult töödeldakse programmi tsükliliselt: alustatakse kuskilt algusest, jõutakse lõppu ja hakatakse uue tsükliga taas algusest peale. Probleem tekib sellest, et ahela algust töödeldi enne kui lõppu ja uue tsükli ajal lõpus olnud väärtus kuskil säilinud ei ole (seda hakatakse otsast peale



kokku arvutama). Seega selleks, et järgmise tsükli ajal mäletada ahela lõpus olnud vastust, tuleb seal kasutada mälu elementi.



**Joonis 2.53.** LAD – kontaktskeem (edaspidi rohkem selles dokumendis ei käsitleta)

LAD (joonis 2.53) keel imiteerib oma välimuselt ja ülesehituselt releeskeemi, mis peaks selle kasutamise tegema lihtsamaks elektrikutele ja teistele inimestele, kes oskavad elektriskeeme lugeda ja koostada.

Kontaktskeemi ahelad meenutavad lõpuks redeli pulkaside, millest ka nimi – *Ladder*. Erinevalt FBDst ahelad ei segune, vaid jäävad üsna selgelt eristatavaks. Skeemi vasakus osas on näha nõ toitesiin, kust signaal peaks lõpuks väljundini jõudma. Enamasti joonistatakse ka teine toitesiin paremale, et moodustuks „vooluring“, kuid siin seda tehtud ei ole. Olenevalt kontaktide ja muude elementide olekust peaks signaal lõpuks vasakult paremale jõudma.

Veel üks suur erinevus võrreldes FBDga on see, et kontaktskeemis puuduvad eraldi loogika-elementid nagu NING, VÕI jne. Need moodustatakse kontaktidest, nagu eelnevalt joonisel 2.53 näha.

Otsese programmi koostamisega on seotud ka mõned sellele eelnevad ja järgnevad etapid. Antud materjalis me nendel pikemalt ei peatu ja keskendume eelkõige selle realiseerimisele.

Juhtprogrammi koostamise etapid:

- spetsifikatsioon: protsessi või ülesande kirjeldus,
- projekteerimine: rakenduse (ehk lahenduse) kirjeldus,
- realiseerimine: lahenduse elluviimine,
- integreerimine/kasutuselevõtt: lahenduse sidumine keskkonnaga ja katsetamine.

Juhtprogrammi realiseerimise osa võib antud kontrolleri puhul jaotada järgnevalt:

- kontrolleri tüübi määramine,
- sisenditele ja väljunditele nimede andmine,
- programmeerimine,
- tarkvaraline simuleerimine,
- programmi kirjutamine kontrollerrisse.

Idealis peaks antud tegevus tõepoolest olema nii selge ja eraldatud kui ülaltoodud punktides, kuid praktikas muutuvad nende punktide piirid häguseks.

Programmeerimine oleneb suurel määral valitud programmeerimiskeelest. FBD puhul on ehk kõige lihtsam alustada vajalike sisendite ja väljundite tööväljale panemisest – sisendid vasakule, väljundid paremale.

Seejärel tasub mõtlema hakata, mis tingimustel midagi edasi juhtuma peaks. Olenevalt sellest tuleks lisada skeemi loogikaelemente ja muid funktsiooniplokke. Need on täpsemalt lahti seletatud antud raamatu lisa 1 (Brindfeldt ja Lepiksoo, „Programmeeritavad kontrollid“, 2011).

## Enesekontrolliküsimused

### 1. PLC on:

- a) mikrokontroller, mis on väike arvuti ühes mikroskeemis, sisaldades protsessori tuuma, mälu ja programmeeritavaid sisend/väljund välisseadmeid;
- b) toote elutsükli haldus, mille käigus rakendatakse toote elutsükli hindamise meetodeid;
- c) programmeeritav kontroller ehk tööstusarvuti, mida kasutatakse töömasina juhtimiseks. Selleks vajalike signaalide edastamine toimub kontrolleriga liidetud sisend/väljundmoodulite kaudu;
- d) sidesüsteem, mis võimaldab pidada andmevahetust elektriliinide kaudu;
- e) programmeeritav kontroller, mida kasutatakse elektrimootorite juhtimiseks.

### 2. Mida tähendab lühend CAD?

- a) klahvikombinatsiooni Ctrl + Alt + Delete,
- b) kirjeldamise ja hindamise osakond,
- c) kaabeldusskeem,
- d) toodete raalprojekteerimissüsteem,
- e) südame isheemiatõbi.

### 3. Milline standard kehtib PLC jaoks?

- a) IEC 61113,
- b) IEC 54321,
- c) IEC 61499,
- d) IEC 131,
- e) IEC 61131.

### 4. Millises PLC osas talletatakse ja täidetakse kasutaja poolt loodud juhtimisprogrammi?

- a) PS,
- b) SM,
- c) FM,
- d) CPU,
- e) CP.

### 5. PLC signaalmoodulid on:

- a) sisend/väljundmoodulid digitaal- ja analoogsignaali jaoks,
- b) seadmed muundamaks digitaalsignaale analoogsignaaleks ja vastupidi,
- c) sagedusmuunduri sisend/väljundmoodulid,
- d) andmesidemoodul automatiseeritud süsteemide vahel info vahetamiseks,
- e) seadmed, mida kasutatakse SCADA rakenduste loomiseks.

**6. Tavaline PLC koosneb:**

- a) toite-, keskjuhtimis- ja signaalmooduli(te)st,
- b) keskjuhtimis- ja signaalmooduli(te)st,
- c) keskjuhtimis-, toite-, signaalmooduli(te)st, HMI liidesest, andmesidemoodulist, ja hajutatud sisend/väljundmooduli(te)st,
- d) toite-, andmeside- ja signaalmooduli(te)st,
- e) toite-, keskjuhtimis-, andmeside- ja signaalmooduli(te)st.

**7. Moodul PLC on:**

- a) PLC, mille põhimoodulid paiknevad ühes kestas,
- b) PLC, mis peale tavaliste PLC moodulite sisaldab ka inimese-masina liidest,
- c) PLC, mille iga moodul paikneb eraldi kestas ja ühtse PLC süsteemi jaoks paigutatakse need kassetti ,
- d) virtuaalne PLC, mis töötab arvutites ja juhib automatiseeritud protsesse läbi hajutatud I/O seadmete,
- e) PLC, mille iga moodul paikneb eraldi kestas.

**8. Kassett-PLC on:**

- a) PLC, mille põhimoodulid paiknevad ühes kestas,
- b) PLC, mis peale tavaliste PLC moodulite sisaldab ka inimese-masina liidest,
- c) PLC, mille iga moodul paikneb eraldi kestas ja ühtse PLC süsteemi jaoks paigutatakse need kassetti,
- d) virtuaalne PLC, mis töötab arvutites ja juhib automatiseeritud protsesse läbi hajutatud I/O seadmete,
- e) PLC, mille iga moodul paikneb eraldi kestas.

**9. Tarkvaraline PLC on:**

- a) PLC, mille põhimoodulid paiknevad ühes kestas,
- b) PLC, mis peale tavaliste PLC moodulite sisaldab ka inimese-masina liidest,
- c) PLC, mille iga moodul paikneb eraldi kestas ja ühtse PLC süsteemi jaoks paigutatakse need kassetti;
- d) virtuaalne PLC, mis töötab arvutites ja juhib automatiseeritud protsesse läbi hajutatud I/O seadmete;
- e) PLC, mille iga moodul paikneb eraldi kestas.

**10. Standard IEC 61131 määrab loogilise signaali 1 (toitepinge on 24 V DC)?**

- a) pinge vahemikus 0...40 V,
- b) pinge vahemikus 11...30 V,
- c) pinge vahemikus 13...30 V,
- d) pinge vahemikus 0...11 V,
- e) pinge vahemikus -30...5 V.

**11. Standard IEC 61131 määrab loogilise signaali 0 (toitepinge on 230 V AC)?**

- a) pinge vahemikus 0...40 V,
- b) pinge vahemikus 220...230 V,
- c) pinge vahemikus 0...20 V,
- d) pinge vahemikus -5...30 V,
- e) pinge vahemikus 164...253 V.

## 12. Mis on digitaalsignaali?

- a) mingit informatsiooni kandev signaal,
- b) ühebitine signaal, mille väärtus võib olla TÕENE (loogiline 1) või VÄÄR (loogiline 0);
- c) pidevsignaali, millel on lõpmata palju väärtusi,
- d) binaarsignaali jada, mis moodustab ühe terviku ja võib omada rohkem kui üht väärtust, kuid mitte lõpmatuseni;
- e) elektriline signaal, mida elektrilised seadmed (nagu mootor) saavad saata ja vastu võtta.

## 13. Multitegumtöö tähendab, et:

- a) PLC on võimeline täitma mitut ülesannet korraga,
- b) kasutajaprogramm on jagatud väiksemateks programmilõikudeks,
- c) inimene võib täita mitut ülesannet samal ajal,
- d) kasutajaprogrammi täidetakse ainult siis, kui seda käsib mingi sündmus,
- e) kasutajaprogrammi täidetakse ainult teatud aja tagant.

## 14. Milline väide on tõene?

- a) multitegumtöö puhul täidetakse PLCs vähemalt kaht ülesannet ühel ajal,
- b) multitegumtöö puhul täidetakse väikseima prioriteediga ülesannet ja teised ülesanded peavad ootama selle täitmise lõpetamist,
- c) multitegumtöö puhul täidetakse kõrgeima prioriteediga ülesannet ja teised ülesanded peavad ootama selle täitmise lõpetamist,
- d) multitegumtöö puhul täidetakse kõrgeima prioriteediga ülesannet ja teised ülesanded saavad katkestada selle täitmise, kui uue ülesande prioriteet on väiksem,
- e) multitegumtöö puhul täidab PLC vähemalt kaht ülesannet korraga.

## 15. Milline rahvusvaheline standard kirjeldab PLC programmeerimiskeeli (programmeerimist)?

- a) IEC 60947,
- b) IEC 61131-3,
- c) IEC 61499,
- d) IEC 61131-4,
- e) IEC 61131-2.

## 16. Funktsiooniplokkskeem on:

- a) graafiline PLC programmeerimiskeel, mis põhineb elektriskeemil,
- b) masinorienteeritud PLC programmeerimiskeel,
- c) graafiline PLC programmeerimiskeel, mis põhineb loogika funktsioonplokkidel,
- d) graafiline PLC programmeerimiskeel, mis põhineb seadme töö algoritmil,
- e) kõrgtasemeline PLC programmeerimiskeel.

**17. Kontaktskeem on:**

- a) graafiline PLC programmeerimiskeel, mis põhineb elektriskeemil,
- b) masinorienteeritud PLC programmeerimiskeel,
- c) graafiline PLC programmeerimiskeel, mis põhineb loogika funktsioonplokkidel,
- d) graafiline PLC programmeerimiskeel, mis põhineb seadme töö algoritmil,
- e) kõrgtasemeline PLC programmeerimiskeel.

**18. Mis on esimene etapp PLC juhtimisprogrammi loomisel?**

- a) programmeerimine,
- b) projekteerimine,
- c) dokumenteerimine,
- d) probleemi sõnastamine,
- e) kasutuselevõtt.

## 2.3. Täiturid

I **Täitur** on juhitud mehaaniline seade toote valmistustöö teostamiseks. Täituri toimub rakendusvälise allika elektrilise, hüdraulilise või pneumaatilise energia muundamine ja edastamine valmistustööks kasutatava masina mehaanilise liikumise energiaks (füüsikaliseks tööks), mille tulemusena võib muutuda valmiva toote ja valmistusseadmete sisu või vorm.

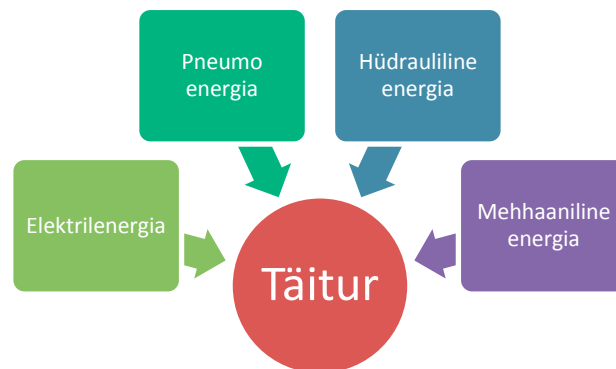
Töomasina mehaanilise liikumise teostamiseks vajaliku täituri termodünaamiline efektiivsus  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\text{kasulik\_energia}}{\text{kasutatud\_energia}} = \frac{\text{väljundenergia}}{\text{sisendenergia}}$$

### 2.3.1. Täiturmehhanismide klassifikatsioon

Täiturid liigitatakse energiaallikast edastatava energia liigi järgi (joonis 2.54):

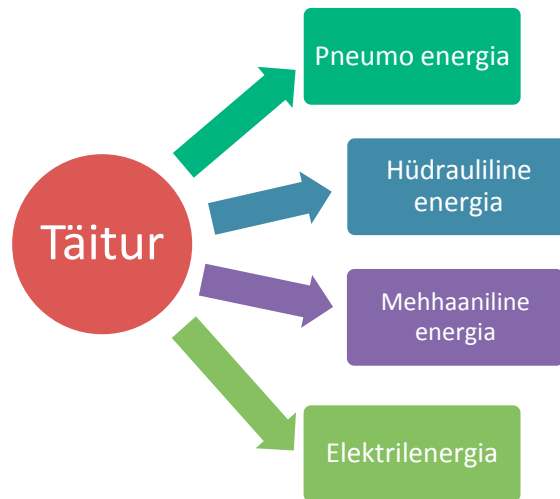
- elektrilised,
- pneumaatilised,
- hüdraulilised,
- mehaanilised.



**Joonis 2.54.** Täituri liigitus energiaallikast edastatava energia liigi järgi

Täitureid liigitatakse ressursi (objekti) suubuva energia liigi järgi (joonis 2.55):

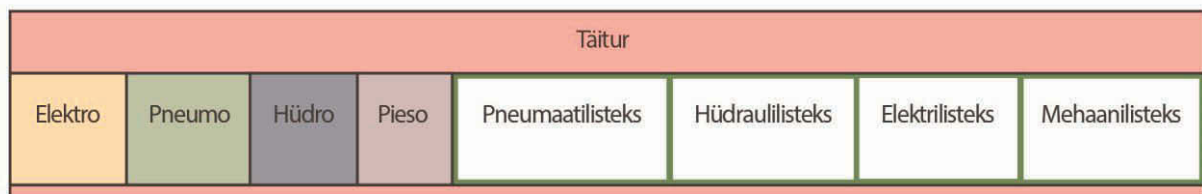
- elektrilised,
- pneumaatilised,
- hüdraulilised,
- mehaanilised.



**Joonis 2.55.** Täituri liigitus ressursi (objekti) suubuva energia liigi järgi

Täitureid liigitatakse nende sisendisse edastatava energialiigi ja sees toimunud muunduse tulemusena vahetult väljundist töömasinasse edastatava energialiigi järgi (Joonis 2.56):

- elektro-mehaanilisteks,
- elektro-pneumaatilisteks,
- elektro-hüdraulilisteks,
- pneumo-mehaanilisteks,
- pieso-elektrilisteks,
- elektrilisteks jne.

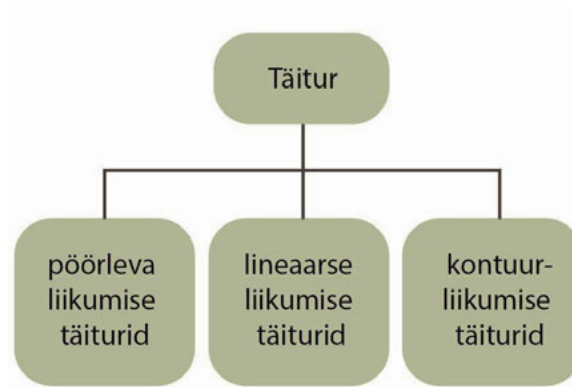


**Joonis 2.56.** Täituri liigitus sisendisse edastatava energia liigi ja sees toimunud muunduse tulemusena vahetult väljundist töömasinasse edastatava energialiigi järgi

Täituri väljundis avalduva ja töömasina sisendisse suunatud mehaanilise liikumise vormi (geomeetrilise liikumise kuju) järgi:

- pöörleva liikumise täituriid,
- lineaarse liikumise täituriid,
- kontuurliikumise täituriid.

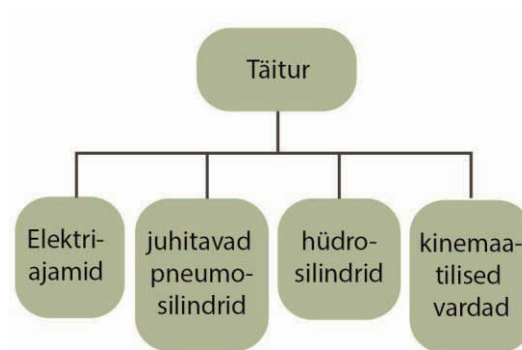




**Joonis 2.57.** Täiturite liigitus väljundis avalduva ja töomasina sisendisse suunatud mehaanilise liikumise vormi (geomeetrilise liikumise kuju) järgi

Toote valmistamiseks kasutatava rakenduse töomasinas vajaliku mehaanilise liikumise (mehaanilise energia) saamiseks kasutatakse väga erinevaid täitureid, näiteks:

- elektriajamid,
- juhitud pneumosilindrid,
- hüdro-silindrid,
- kinemaatilised vardad.



**Joonis 2.58.** Täiturite liigitus ajami tüübi järgi

Elektro-mehaanilised täiturid on sarnased mehaanilistega. Nendes on mehaaniline juhthoob asendatud elektrimootoriga. Lineaarse liikumise tekitamiseks saab kasutada erinevaid elektrimootoreid ja nendega seotud kinemaatilisi paare. Pöörleva mootori liikumine muundatakse täituri väljundis sirgjooneliseks näiteks kuulkruvipaari ja juhikute abil. Täiturivariandi valik sõltub loodava rakenduse projekteerimise tehnilistest nõuetest.

Toote automatiseeritud valmistussüsteemi loomisel kasutavad arendajad info-, energia- ja (füüsilist) valmistustehnoloogiat ning nüüdisaegseid arendusmeetodeid. Arendustegevuse käigus integreeritakse inimesed, automaatsed juhtimisseadmed ja energeetilised (mehaanilised) töomasinad. Uued tootmiseseadmed võimaldavad keerukamate toodete valmistamist.

Toote valmistamiseks kasutatava tehnoloogia ja selle teostamise tehnika keerukus kasvab. Infoajastul osalevad toodete valmistamisega seotud tootmistöötajad regulaarselt täiendõppes.

Tootmise automatiseerimisel kasutatakse töomasinates palju täitureid, mille väljundi mehaaniline energia, positsioon ja asend ruumis määravad toote valmistamise.

Keerukamaid täitureid nimetatakse sagedusmuunduriga ajamiteks, servoajamiteks ja samm-mootoritega ajamiteks. Elektriagam on ka täitur. Nende täiturite kirjeldamiseks on eeltoodud automatiseeritud valmistussüsteemi (rakenduse) struktuuriskeemi täiustatud.

### 2.3.2. Täiturmehhanismide valikukriteeriumid

Täiturmehhanismide valik on tavaliselt väga keeruline ja vastutusrikas töö, sest täiturid mõjutavad dünaamiliselt terviksüsteemi. Lisaks sellele määrab täituri valik kogu süsteemi toite (alalisvool, vahelduvvool vm) ning ülekandemehhanismi. Mõnikord, kui on võimalik saavutada soovitud liikumine otse süsteemi integreerimisega, võib ülekandemehhanismi ka ära jätta, näiteks kui kasutada sirgjoonelise liikumise tekitamiseks pöörleva mootori ja vajaliku ülekandemehhanismi asemel lineaarmootorit.

Täituri valikul peab projekteerija läbi mõtlema järgmised parameetrid:

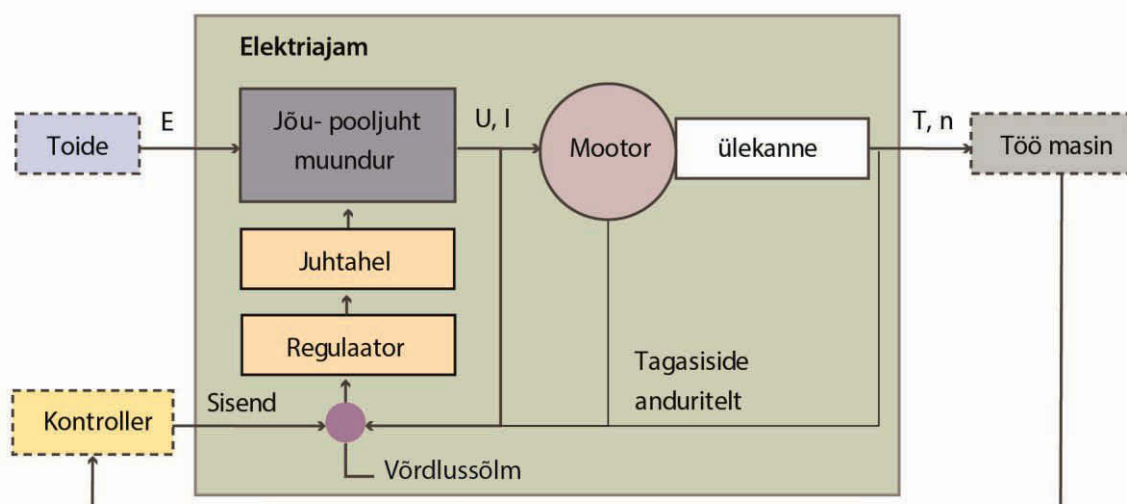
1. Võimsus püsirežiimil (*eontinuous power output*) – maksimaalne jõud/moment, mida täitur saaks arendada püsivalt, ilma et üle kuumeneks.
2. Töövahemik (*tange of motion*) – sirgjoonelise või pöörleva liikumise vahemik.
3. Diskreetsus (*tesolution*) – arendatava jõu/momenti väikseim samm.
4. Täpsus (*cccuracy*) – sisendi ja väljundi väärtuste muutumatu suhe.
5. Maksimaalne jõud/moment (*reak force/torque*) – täituri poolt suurim arendatav jõud/moment.
6. Soojuse hajutamine (*j eat dissipation*) – suurim soojuse hajutamise võimsus püsirežiimil.
7. Kiiruse karakteristik (*upeed characteristics*) – jõu/momenti ja kiiruse tunnusjoon.
8. Tühijooksukiirus (*po load speed*) – töökiirus koormusvabas olekus.
9. Sagedusvahemik (*lrequency response*) – sageduse vahemik, milles väljund reageerib sisendile korralikult. Kasutatav sirgjooneliselt liikuvatel täituritel.
10. Toide (*uapply*) – toite tüüp (elektrivool, suruõhk jm), faaside arv, pingeline, vool, sagedus.

Lisaks mainitud kriteeriumidele on määrava tähtsusega ülekandemehhanismi valik. Näiteks kui valitakse ülekandemehhanismiks hammasrattaülekanne, võib lõtku tekkimine mõjutada täituri täpsust. Sama kehtib ka rihmülekanne puhul, kui rihm peaks hakkama libisema.

### 2.3.3. Elektromehaanilised täiturid

#### Elektriagami mõiste

**Elektriagam** \*grgevt kecn'f tkxg+ on mitmesuguste töömasinate või abimehhanismide käitamiseks ette nähtud elektromehaaniline süsteem, mis koosneb elektrimootorist, jõuülekandest, toitemuundurist ja juhtseadmetest. Elektriagami põhifunktsiooniks on liikumise juhtimine (*motion control*). Tüüpilise elektriagami üldistatud plokk skeem on näidatud Joonis 2.59.



**Joonis 2.59.** Elektrijami struktuur (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

Joonise ülemine pool kujutab elektrijami jõuahelat, alumine pool juhtimissüsteemi. Jõupooljuhtmuundur, mida toidetakse ühe- või kolmefaasilisest kindla sageduse ja amplituudiga vahelduvvooluvõrgust, on ette nähtud elektrimasina (mootori) juhtimiseks. Elektrimootor juhib omakorda töomasina kiirust, momenti ja asendit. Kõik seadmed on varustatud anduritega, mis edastavad regulaatorile infot süsteemi oleku kohta. Regulaator võrdleb omavahel anduritelt saadud väärtusi sisendsignaalidega ning juhib sellele vastavalt jõupooljuhtmuundurit. Paljudes üldotstarbelistes rakendustes, nt ventilaatorites ja pumpades, kasutatakse elektrijamite kiiruse ja momendi juhtimiseks avatud juhtimissüsteemi (ilma tagasisideta anduritelt).

Elektrijamite peamiseks rakendusalaadeks on tööstus, energeetika ja elektritransport, kuid nad leiavad kasutust ka kodumajapidamistes, nt külmikud (kompressorid), ventilaatorites, pesumasinate, segistites (mikserid). Tänapäeval tarbitakse umbes 60% toodetud elektrienergiast elektrijamite poolt.

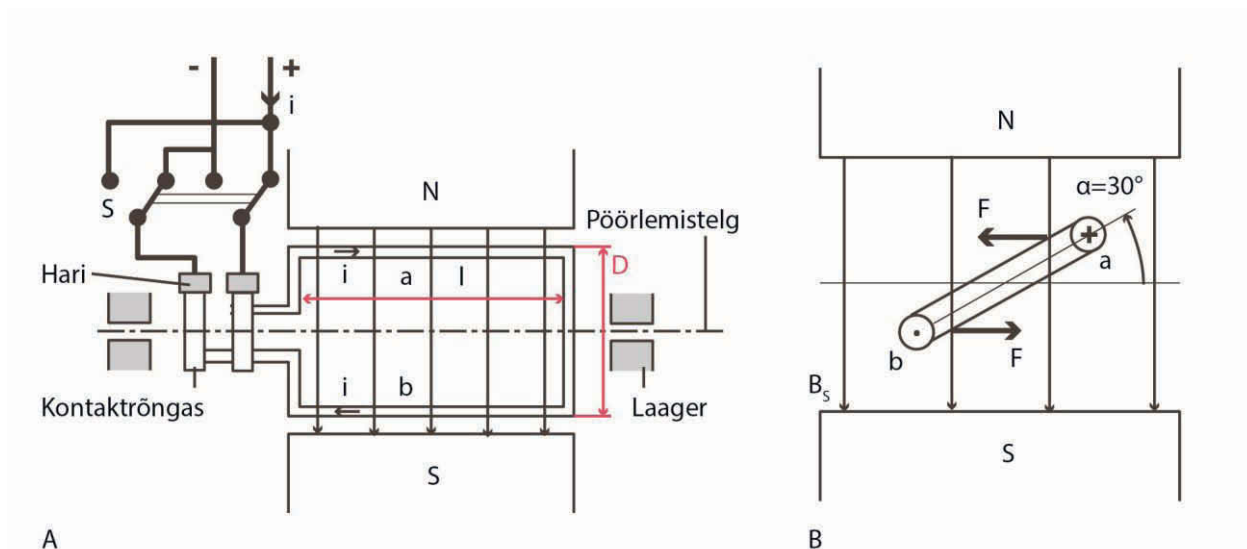
### Elektrimootorite ehitus

Elektrimootorid on elektromehaanilised täiturmechhanismid, mis muundavad elektrienergia mehaaniliseks energiaks, et panna sellega liikuma töomasinat. Elektrimootorid on tänapäeval kõige levinumad elektromehaanilised täiturmechhanismid.

Elektrimootorid koosnevad paigalseisvast staatorist ja pöörlevast rootorist koos võlliga. Staatoris tekitatakse pöörlev magnetväli, mis on vajalik rootori pöörlemapanemiseks. Rotor pöörleb laagritele toetuval võllil, mille külge on omakorda ühendatud mehhanism. Staatori ja rootori vahel eksisteerib õhupilu, mille kaudu toimub magnetvälja penetratsioon staatorist rootorisse. Elektrimootori ehitust iseloomustab Joonis 2.60.

Mootori pöörlemiseks on vajalik tekitada pöördemoment. Pöördemomendi tekitamiseks on vaja vooluga juhti ja magnetvälja. Kui asetada magnetvälja raam ning lasta sellest läbi elektrivool (vt Joonis 2.60 a), siis mõjub raamile jõud  $F$ , mis paneb raami pöörlema ümber laagritele asetatud telje (vt Joonis 2.60). Pöördemomendiks  $M$  nimetatakse jõu  $F$  ning jõuõla  $D$  korrutist ning arvutatakse:

$$M = F \cdot D \cdot \sin \alpha$$



**Joonis 2.60.** Pöördemomendi tekkimine alalisvoolumootoris (Lehtla, 2007)

Elektrimootorid võib sõltuvalt toitepinge tüübist jagada kolmeks grupiks:

- alalisvoolumootorid,
- vahelduvvoolumootorid,
- impulsstoitega mootorid.

### Alalisvoolumootorid

Alalisvoolumootorid (*direct current motors, dc motors*) koosnevad õhupiluga üksteisest eraldatud staatorist ja rootorist. Staatoril paiknevad magnetvälja poolused, milles tekitatakse magnetväli. Pöörlevat osa nimetatakse ankruks, mis koosneb mitmetest mähistest. Alalisvoolumootorites kasutatakse magnetvälja tekitamiseks staatoril paiknevat ergutusmähist või püsिमagnetiteid. Kontaktrõngaste ja harjakeste abil juhitakse pöörlevasse raami alalisvool (vt joonis 2.60). Selleks, et rootor pöörleks püsivalt ühes suunas, tuleb ankruvoolu suunda iga poolperioodi tagant reverseerida. Ankruvoolu suuna muutmiseks kasutatakse alalisvoolumootorites mehaanilist või pooljuhtidega töötavat kommutaatorit.

Sõltuvalt ergutusmähise asukohast võivad alalisvoolumootorid olla kas a) võõrergutusega, kus ergutusmähist toidetakse eraldi toiteahelast, b) jadaergutusega, kus ergutusmähis on ühendatud jadamisi ankruga, c) rööpergutusega, kus ergutusmähis on ühendatud paralleelselt ankruga, või siis kombineeritult jada- ja rööpergutusega. Lisaks sellele kasutatakse ka püsिमagnetergutust, mille puhul staatoril paiknevate püsिमagnetitega tekitatakse ajas muutumatu magnetväli.

Alalisvoolumootorite käivitamine toimub käivitusvoolu piiramiseks läbi ankruga jadamisi ühendatud takisti. Mootori kiiruse kasvades tuleb käivitustakisti väärtust vähendada.

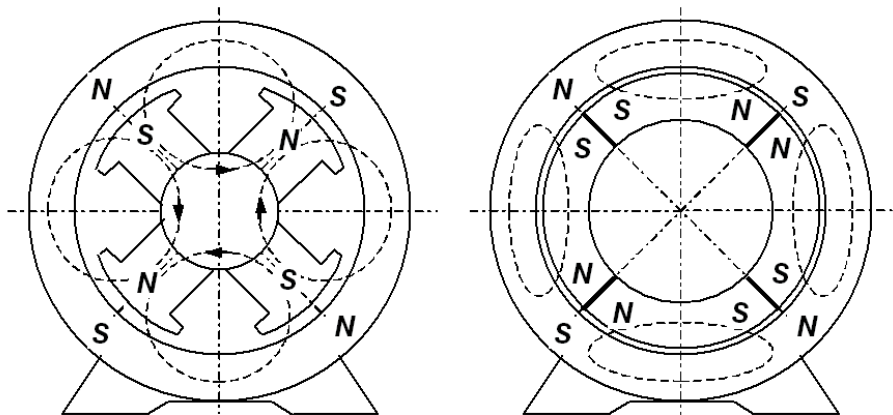
Varem olid nad laialdaselt kasutusel reguleeritava kiirusega ajamitena. Vaatamata heale kasutegurile, mis on tavaliselt üle 90%, kasutatakse neid tänapäeval järjest harvemini, kuna mikroprotsessortehnika ja jõuelektroonika areng võimaldab palju efektiivsemalt juhtida vahelduvvoolumootoreid, mis lisaks heale juhitavusele vajavad vähem hooldust ning on odavamad. Lisaks sellele pole alalisvoolumootorid kasutatavad keemiliselt agressiivses ja plahvatusohtlikus keskkonnas, mõnedes kohtades on need lausa keelatud. Kui on kasutatud harjadega mehaanilist kommutaatorit, on sädelemine nende vahel täiskoormusel vältimatu (Lehtla, 2007).

## Vahelduvvoolumootorid

Vahelduvvoolumootorid jagunevad omakorda veel ühe- ja kolmefaasilisteks mootoriteks. Ühefaasilisi mootoreid kasutatakse laialdaselt tööriistades ja koduses majapidamises. Kolmefaasilised vahelduvvoolumootorid on rohkem levinud võimsates tööstuslikes seadmetes. Ühefaasiliste mootorite käivitamiseks tuleb pöörleva välja tekitamiseks kasutada käivitusahelat. Käesolevas konseptsis keskendutakse kolmefaasilistele mootoritele.

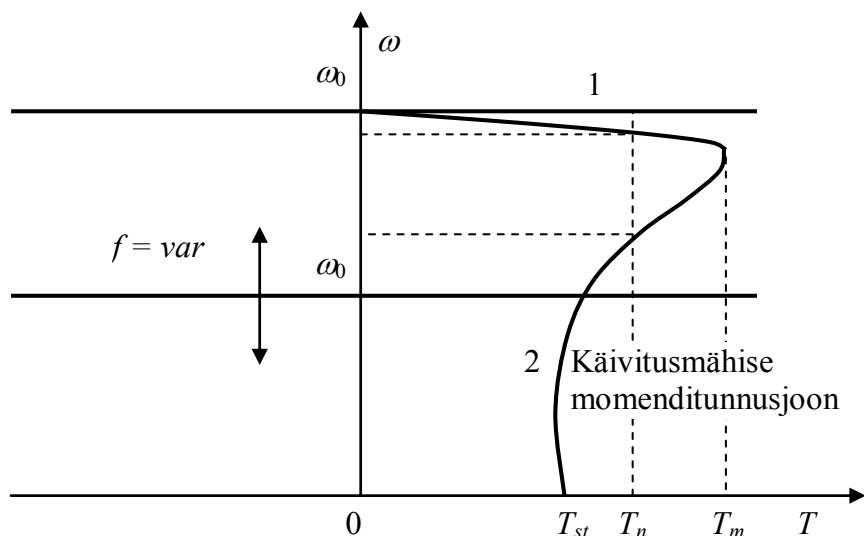
Asünkroonmootor on madala hinna ja lihtsa ehituse pärast tööstuses kõige enam kasutatav mootor, milles staatoril tekkiv pöörlev magnetväli paneb rootori pöörlema. Asünkroonmootori tööpõhimõtet, juhtimist ja kasutamist selgitatakse konseptsiooni järgnevatel punktides.

Sünkroonmootori (samuti ka asünkroonmootori) staatorimähis tekitab pöörleva magnetvälja. Eri- nevalt asünkroonmootorist tekitatakse aga sünkroonmootori rootoris elektromagnet- või püsi- magnetergutusega veel teine magnetvoog (ergutusvoog), mis magnetahela kaudu aheldub staatorimähise magnetvooga. Selle tulemusena haarab staatori pöörlev magnetväli rootori endaga kaasa (st staatorivälja N poolused tõmbuvad rootori S poolustega ja vastupidi) ning rootor hakkab pöörlema staatorivälja sünkroonkiirusel. Rootori ergutamiseks elektromagnetite abil tuleb ergutusvool juhtida pöörlevasse rootoris läbi rootoril asuvate kontaktrõngaste. Püsimagnetite kasutamisel sellist vajadust pole (Lehtla, 2007).



**Joonis 2.61.** Sünkroonmootori ehitus, väljepoolustega (vasakul) ja peitepoolustega (paremal) (Lehtla, 2007)

Sünkroonmootor arendab momenti ainult sünkroontalitusel. Seepärast on omaette probleemiks sünkroonmootori käivitamine otsese võrkulütuse puhul, milleks kasutatakse asünkroon- käivitusmähist. Sünkroonmasina kiiruse reguleerimine toimub samuti nagu asünkroonmasina puhul toitepinge sageduse reguleerimisega (vt Joonis 2.62).



$T_m$  – elektromagnetilise momendi maksimaalväärtuse käivitamisel;  $T_n$  – elektromagnetilise momendi nimiväärtus käivitamisel;  $\omega$  – rootori nurkkiirus (rad/s);  $\omega_0$  – mootori sünkroonnurkkiirus;  $f$  – toitevoolu sagedus

**Joonis 2.62.** Sünkroonmootori tunnusjoon. 1 – sünkroontalitluses; 2 – käivitamisel (Lehtla, 2007)

Püsिमagnetitega sünkroonmootoritel ergutusmähis puudub ning ergutusvoog tekitatakse püsिमagnetitega. Püsिमagnetitega sünkroonmasina rootori ehitus on lihtne, mistõttu niisugune mootor on eriti töökindel muutuva kiirusega ajamites.

Reluktantsmootor (*reluctance motor*) on väljepoolustega sünkroonmasina vorm, milles puuduvad ergutusmähis ja püsिमagnetid. Sellisel mootoril põhineb töö õhupilu magnetilise takistuse (ehk reluktantsi) muutumisel sõltuvalt rootori asendist.

Sünkroonmasinate põhilised kasutusalaad on võimsad kompressorid, laeva veo- ja tüürimisajamid, veskid, pumbad, paberimasinad jm. Väikese võimsusega püsिमagnetergutusega masinaid kasutatakse tööpinkide ja robotite ajamites. Nad on võrreldes asünkroonmootoritega kallimad ning konstruktsioonilt keerulisemad (Lehtla, 2007).

### Kaad elektrimootorites

Igas mehhanismis, sh elektrimasinas tekib paratamatult erinevaid energiakadusid. Energiakaod võivad tekkida järgmistel juhtudel (Lehtla, 2007):

- Elektrivoolu kulgemisel läbi mähiste. Kuna mähistel on teatud aktiivtakistus, siis eraldub neist soojusenergiat. Kuna mähised koosnevad põhiliselt vasest, siis nimetatakse neid kadusid ka vaseskadudeks.
- Magnetsüdamikus ajas muutuva magnetvälja toimel tekkivast übermagneetimisest ja pöörivooludest. Seda kadu tuntakse masina teraseskaona (ka rauaskaona). Teraseskadu on seda suurem, mida suurem (massiivsem) on magnetahel ja mida laiem on magnetmaterjali hüstereesisilmus ning suurem übermagneetimise sagedus.
- Masinaosade ja õhu vahelisest hõõrdest. Neid nimetatakse ka ventilatsioonikadudeks.
- Masina võlli laagrite sisesest hõõrdest, mis põhjustab hõõrdekao.

Mootori kasutegurit  $\eta$  saab tõsta nende kadude vähendamisega. Et vähendada vaseskadusid, tuleb kasutada võimalikult väikse aktiivtakistusega juhtmeid. Teraseskao vähendamiseks

kasutatakse magnetmaterjalina ferromagnetilist materjali, vahelduvmagnetväljade puhul kasutatakse pöörivoolude vähendamiseks lehtterast. Kuna magnetahelasse kuulub ka õhupilu, siis üritatakse teha mootori õhupilu võimalikult väikeseks. Hõõrdekadusid saab vähendada kvaliteetsete laagrite ning sobiva määride valikuga.

### Elektrimootorite talitusviisid

Sõltuvalt rakendusoludest võib muutuda töomasina täiturite koormus, pöörlemiskiirus, pöörlemissuund. Elektrimootorid kui täiturmehhanismi olulised osad peavad olema õigesti valitud.

Elektrimootor võib talitleda järgmiselt (Lehtla, 2007):

- ühtlasel püsikiirusel pööreldes (*continuous constant speed rotation*), nt ventilaator, ketas-saag, elektritransport;
- muutuva kiirusega pööreldes (*variable speed rotation*), nt pump (rõhu lang), kõvaketas,
- muutuva kiiruse- ja pöörlemissuunaga (*rotation with variable speed in both directions*), nt tõstemehhanismid: kraanad, liftid, robotid;
- ühtlaselt sirgjoonelisel (*linear movement with constant speed*), nt konveier,
- perioodiliselt edasi-tagasi (*periodical movement*), nt trükkimisseadmed,
- mitteperioodiliselt edasi-tagasi (*non-periodical movement*), nt elektriline roolimehhanism autodes, positsioneerimisseadmed.

Elektrimootori pöörlemist ilma koormuseta nimetatakse tühijooksuks. Sellisel juhul tekib mootoris madal pöördemoment ning elektrimasin tarbib vähem voolu. Paraku jääb tarbitava reaktiivenergia kogus samaks, mistõttu mootori võimsustegur  $\cos \varphi$  on madal.

Igasuguse mehhanismi töötamisel vabaneb teatud hulk soojust, mis tõstab selle osade (näiteks täiturmehhanismide) temperatuuri. Üheks temperatuuritundlikumaks osaks on seadme kunstmaterjalist valmistatud isolatsioon, mis üle teatud piiri kuumenedes võib üles sulada. Seadmete isolatsiooniklassid on määratud standardiga EN 60034, mis määrab ära ka elektrimootorite talitusviisid (vt Sageli valitakse mootori võimsus kestevaltitude jaoks (S1), kuid suur osa elektriajameid töötavad ka teistes talitlustes. Näiteks tõstemasinad kord tõstavad, kord langetavad, kuid vahepeal esineb nende töös seisakuid (nt koorma laadimisel). Samuti puurimisseadmed, mis koormatakse vaid puurimise ajaks, pausi ajal on mootor välja lülitatud. See tähendab, et mootori arendatav võimsus võib erinevate talitusviiside korral olla erinev, mistõttu tuleb talitusviisi ajami projekteerimisel täpselt ära määrata. Võimsates rakendustes (nt tõsteseadmed ja tööstusrobotid) muutuvad moment ja kiirus talituskestuse jooksul märgatavalt. Samuti vajatakse kiirenduse ajal suuremat käivitusmomenti ning pidurdamise ajal pidurdusmomenti.

Elektriajamid võivad töötada nii püsirežiimis kui ka tsükliliselt. Tavaliselt on mootorile märgitud suhteline lülituskestus  $q$  protsentides, mis on koormuse kestuse  $t_k$  ja tsükli (perioodi)  $T$  suhe (kataloogis esitatakse mootori võimsused standardsete lülituskestuste jaoks 15%, 25%, 40%, 60%) /1/.

$$q = \frac{t_k}{T}$$

Sageli valitakse mootori võimsus kestevaltitude jaoks (S1), kuid suur osa elektriajameid töötavad ka teistes talitlustes. Näiteks tõstemasinad kord tõstavad, kord langetavad, kuid vahepeal esineb nende töös seisakuid (nt koorma laadimisel). Samuti puurimisseadmed, mis koormatakse vaid puurimise ajaks, pausi ajal on mootor välja lülitatud. See tähendab, et mootori arendatav võimsus võib erinevate talitusviiside korral olla erinev, mistõttu tuleb talitusviisi ajami projekteerimisel täpselt ära määrata. Võimsates rakendustes (nt tõsteseadmed ja

tööstusrobotid) muutuvad moment ja kiirus talitluskestuse jooksul märgatavalt. Samuti vajatakse kiirenduse ajal suuremat käivitusmomenti ning pidurdamise ajal pidurdusmomenti.

**Tabel 2.4.** Elektrimootorite erinevad talitlusviisid EN 60034 järgi

Tüüp	Nimetus	Kirjeldus
S1	Kestevtalitlus <i>Continuous running</i>	Talitlusviis, kus masin töötab pidevalt nimikoormusel, mille kestus on küllaldane, et masina kõigi osade temperatuurid saavutaksid väljakujunenud väärtuse.
S2	Lühiajaline talitlus <i>Short-term</i>	Masina töötamise aeg nimikoormusel on nii lühike, et masina üksikute osade temperatuurid ei jõua välja kujuneda. Töötamisele järgneb paus, mille vältel masin jõuab jahtuda temperatuurini, mis on kuni 2 °C kõrgem väliskeskonna temperatuurist.
S3	Vaheajaline talitlus <i>Intermittent periodic</i>	Koosneb perioodiliselt vahelduvatest nimikoormusvahemikest ja pausidest, kusjuures tsükli vältus ei ületa 10 minutit. Masin ei saavuta tsükli ühegi osa vältel püsitemperatuuri.
S4	Vaheajaline talitlus olulise soojenemisega käivitusel <i>Intermittent periodic with a high startup torque</i>	Koosneb perioodiliselt vahelduvatest käivitus- ja nimikoormusvahemikest ning pausidest. Käivituskadu on selles talitluses suhteliselt suur ja mõjutab oluliselt masina soojenemist.
S5	Vaheajaline talitlus olulise soojenemisega käivitusel ja elektrilisel pidurdusel <i>Intermittent periodic with a high startup torque and electric braking</i>	Koosneb perioodiliselt vahelduvatest käivitus-, nimikoormus- ja pidurdusvahemikest ning pausidest. Käivitus- ja pidurduskadud on selles talitluses suhteliselt suured ja mõjutavad oluliselt masina soojenemist.
S6	Koormusmuutlik talitlus <i>Continuous-operation periodic</i>	Pidevalt toitevõrku lülitatud mootori nimikoormusvahemikud vahelduvad tühijooksuvahemikega, kusjuures masina osade temperatuurid ei jõua koormuse ega tühijooksu ajal välja kujuneda.
S7	Suunamuutlik talitlus <i>Continuous-operation periodic with a high startup torque and electric braking</i>	Lühikesed nimikoormusvahemikud järgnevad üksteisele pöörlemissuuna vaheldumisega. Pidurdus- ja käivituskadud on selles talitluses suhteliselt suured ja mõjutavad oluliselt masina soojenemist.
S8	Kiirusmuutlik talitlus <i>Continuous-operation periodic with related load-speed changes</i>	Lühikesed nimikoormusvahemikud järgnevad pidevalt üksteisele nimikiiruse vaheldumisega mingi teise kiirusega. Üleminek ühelt kiiruselt teisele on seotud suhteliselt suurte kadudega, mis mõjutavad oluliselt masina soojenemist.

Tabelist võib näha, et talitlusviisid S2, S3 ja S6 võimaldavad väiksemat mootori võimsust kui S1, sest nende koormamiste ajal ei saavuta mootori osad lubatud suurimat temperatuuriväärtust. Talitlusviisid S4, S5, S7 ja S8 aga suuremat mootori võimsust kui S1, sest töö ajal soojenevad nad rohkem kui kestevtalitluse puhul.

### Kaitseastmed

Täiturmehhanismi ehitus ja töötingimused sõltuvad asukohast, kuhu nad paigaldatud on. Sõltuvalt keskkonnast tagatakse neile löögi- ja vibratsioonikindlus, tolmu- ja veekindlus. Näiteks väga niisketes, keemiliselt agressiivsetes, kuumades, kõrge radiatsioonitasemega keskkondades tuleb seadmeid ümbritseva keskkonna mõjude eest kaitsta. Kaitse tagatakse kaitsekattega, mille kaitseklass vastab standardile EN 60529 kodeeringuga IP XY (*International Protection*), mille tähendused on toodud Tabel 2.5.



**Tabel 2.5.** Kaitseklassid ja nende tähendused

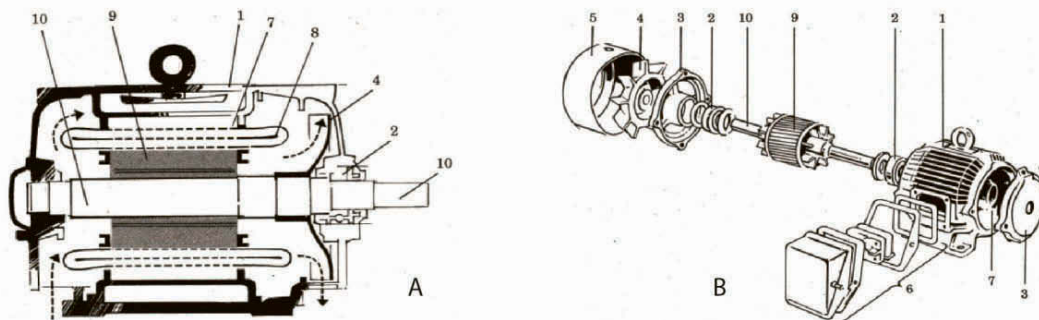
IP	X - kaitse juhupuute eest	Y - kaitse vee sissetungi eest
0	Kaitse puudub	Kaitse puudub
1	Esemed ja tahked kehad läbimõõduga üle 50 mm	Vertikaalselt langevad veetilgad
2	Sõrmed ja tahked kehad läbimõõduga üle 12 mm	15° nurga all langevad veetilgad
3	Tööriistad ja tahked kehad läbimõõduga üle 2,5 mm	Tihedad, kuni 60° nurga all langevad pritsmed (vihm)
4	Tööriistad ja tahked kehad läbimõõduga üle 1 mm	Kõikidest suundadest pritsiv vesi
5	Kõik esemed ja kahjulikud tolmuosakesed	Veejoad kõikidest suundadest
6	Puutekindel ja tolmukindel	Voolav vesi
7		Veekindel, vee all kuni sügavuseni 1 m
8		Surve all langev vesi või vee all allpool sügavust 1 m

Lisaks tabelis 2.5 mainitud kaitseviisidele tuleb tagada iga elektriga töötava täituri elektriline kaitse kas siis kere maandamisega, isolatsiooni tugevdamisega, eraldustrafo kasutamisega või täieliku puuteohutuse tagamisega.

#### 2.3.4. Asünkroonmootor

##### Asünkroonmootori tööpõhimõte

Asünkroonmootor on tööstuses kõige enam kasutatav elektrimootor, mis on tingitud eelkõige tema lihtsast konstruktsioonist. Asünkroonmootor koosneb paigalseisvast staatorist ning pöörlevast rootorist, mis on üksteise suhtes paigutatud nii, et nende vahel eksisteeriks õhupilu laiusega kuni 0,1...1 mm. Asünkroonmootori ehitus on näidatud Joonis 2.63.

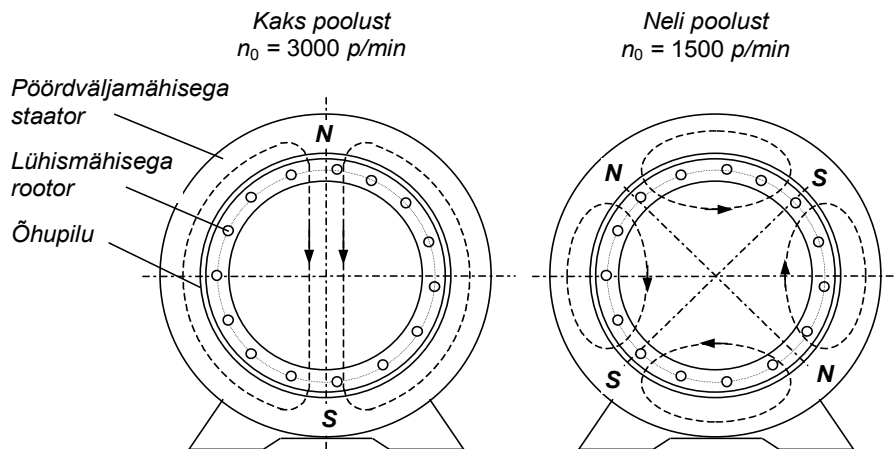


- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| 1 – mootori kere      | 6 – klemmikarp             |
| 2 – veerelaagrid      | 7 – staatori magnetsüdamik |
| 3 – laagrikilbid      | 8 – staatori mähis         |
| 4 – ventilaator       | 9 – rootor                 |
| 5 – ventilaatori kate | 10 – võll                  |

##### Joonis 2.63. Asünkroonmootori ehitus

Asünkroonmootori staator koosneb uretega magnetsüdamikust ja mitmest vaskjuhtmest valmistatud mähisest, mis on üksteise suhtes ruumiliselt nihutatud ning mida toidetakse kolme-faasilisest elektrivõrgust. Mähised võivad olla ühendatud kas kolmnurka või tähte. Selline paigutus tekitab ümber staatori pöörleva magnetvälja, mis läbi õhupilu aheldub rootoris olevatel mähistel ning tekitab rootori elektrivoolu (elektromagnetilise induktsiooni nähtus). Rotori elektrivool tekitab rootoris omakorda magnetvälja, mille vastasmõjul staatori magnetväljaga

tekib jõud, mis paneb rootori pöörlema. Rotori pöörlemiskiirus sõltub magnetvälja pöörlemise kiirusest, mis omakorda sõltub mootori pooluspaaride arvust  $p$  ja toitepinge sagedusest  $f$ . Joonis 2.64 on näidatud ühe ja kahe pooluspaariga lühisrootoriga asünkroonmootor, mille pooluspaaride arv on määratud staatori pooluspaaride arvuga.



**Joonis 2.64.** Ühe ja kahe pooluspaariga lühisrootoriga asünkroonmootor (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

Tänapäeval kasutatakse põhiliselt faasi- ja lühisrootoriga asünkroonmootoreid. Faasirootoriga mootoris (*slip ring rotor*) muudetakse rootori kiirust takistuse muutmiseega rootori ahelas, kasutades selleks spetsiaalseid harjakesi, mis aga kuluvad kiiresti. Järjest enam leiab kasutust lühisrootoriga asünkroonmootor (*squirrel cage*), kus rootori mähised on omavahel lühistatud.



**Joonis 2.65.** Asünkroonmootorites kasutatavad rootorid. A – lühisrootor; B – faasirootor (Lehtla, 2007)

Staatori magnetvälja pöörlemise kiirust nimetatakse sünkroonkiiruseks, mis avaldub:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p},$$

kus  $n_s$  on mootori sünkroonkiirus ( $p/min$ ),  $f$  on toitepinge sagedus ning  $p$  on pooluspaaride arv. Nagu näha, sõltub magnetvälja pöörlemise kiirus ka pooluspaaride arvust. Mida suurem on pooluspaaride arv, seda väiksem on sünkroonkiirus, kuid suurem arendatav pöördemoment. Erinevatele pooluspaaride arvule vastavad välja sünkroonkiirused toitesagedusel 50 Hz on ära toodud tabelis 2.6.

**Tabel 2.6.** Pooluspaaride arvule vastavad sünkroonkiirused

Pooluspaaride arv	Sünkroonkiirus p/min
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600

Mootori pöörlemiskiirust võib esitada ka pöörlemisnurkkiirusena  $\omega$ , mis näitab mootori pöörlemiskiirust radiaanides sekundi kohta.

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Asünkroonmootori rootori tegelik pöörlemiskiirus on staatori magnetvälja pöörlemise kiirusest väiksem. Seda iseloomustab libistus  $s$ , mis näitab mootori pöörlemiskiiruse  $n$  erinevust sünkroonkiirusest  $n_s$  ja avaldub:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

Koormuse suurenemisega suureneb ka libistus, mille väärtuseks on tavaliselt 1–5%. Asünkroonmootori poolt arendatav nimipöördemoment  $M$  võllil on avaldatav:

$$M = \frac{P_{meh}}{\omega_s} = \frac{P_{meh}}{2\pi f}$$

kus  $\omega_s$  on sünkroonnurkkiirus ja  $P_{meh}$  on mehaaniline võimsus mootori võllil, mis on antud mootori nimesildil.

Pöördemomendi mõjumisel hakkab mootor seisvast asendist ennast kiirendama kiirendusega  $\varepsilon$ , mis näitab pöörlemiskiiruse muutumise kiirust ning mõõdetakse radiaanidega sekundruudu kohta. Teades mootori kiirendust, saab välja arvutada mootori käivitamise aja teatud pöörlemiskiiruseni.

$$\varepsilon = \frac{n}{t}$$

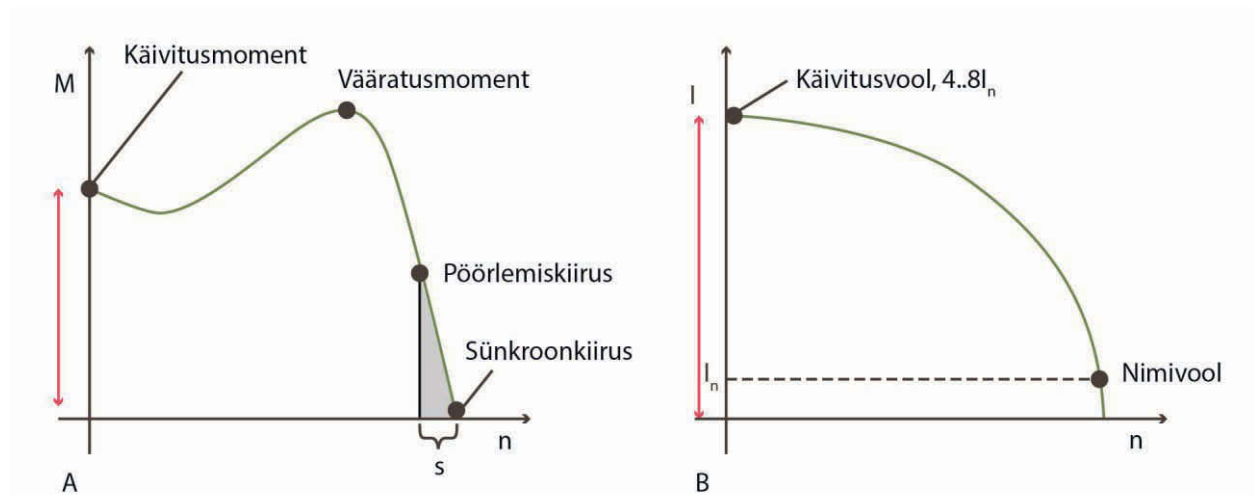
Iga seadme töös esineb paratamatult kadusid, st osa elektrivõrgust tarbitud energiast kulub mootori soojenemiseks, jahutamiseks, magnetimiseks, hõõrdumiseks laagrites jm. Mootori efektiivsust, kasuliku töö ja kogu tarbitud energia suhet, iseloomustab kasutegur  $\eta$ .

$$\eta = \frac{P_{meh}}{P_{el}}$$

kus  $P_{meh}$  on mehaaniline võimsus mootori võllil ja  $P_{el}$  mootori poolt tarbitav võimsus elektrivõrgust. Mida kõrgem on mootori kasutegur, seda rohkem tarbitud energiast läheb kasulikuks tööks. Elektrimootorite kasutegur jääb tavaliselt vahemikku 0,8...0,95.

Asünkroonmootori pöördemomendi sõltuvust pöörlemissagedusest iseloomustab tema mehaaniline tunnusjoon, mis on näidatud joonisel 2.66a. Mootori käivitamiseks on vaja tekitada mootoris käivitusmoment, mis on mootori nimimomendist 1...3 korda suurem. Suurimat momenti, mida mootor käivitamisel võib saavutada, nimetatakse väärtusmomendiks. Nimipöörlemiskiiruse saavutamisel, mis on libistuse  $s$  tõttu väiksem kui sünkroonkiirus, töötab

mootor oma nimirežiimis (nimipöörlemiskiirusel ja nimimomendil). Asünkroonmootori tööpunkt võib sõltuvalt koormusest varieeruda lubatud libistuse piires (2...8 %).



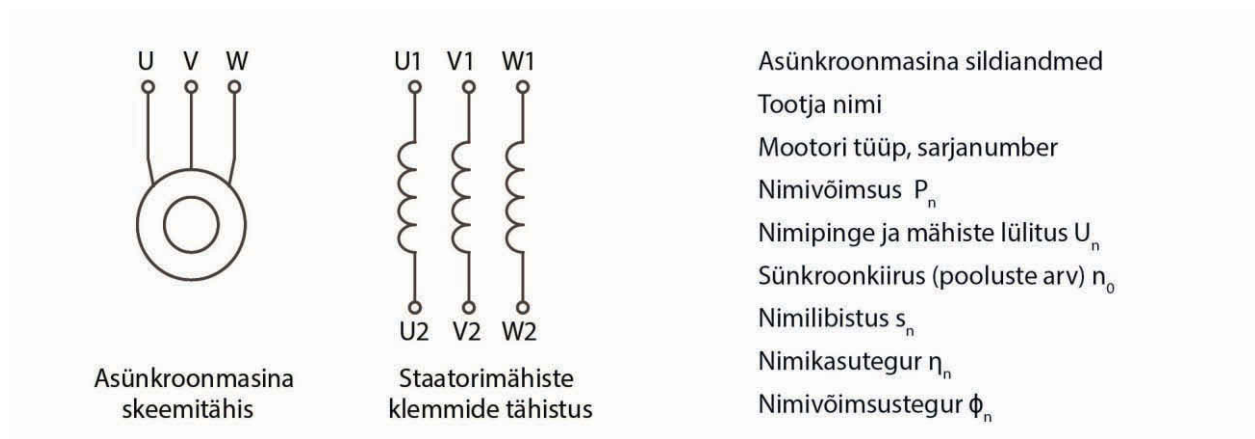
**Joonis 2.66.** Asünkroonmootori tunnusjooned otsevõrku käivitamisel. A) –  $M/n$  tunnusjoon; B) –  $I/n$  tunnusjoon (Lehtla, 2007)

Mootori lubatav ülekoormus momendi järgi on 1,6...1,8 korda suurem nimimomendist. Suurema koormusmomendi puhul võib mootor nõ vääratuda (vääratusmoment). Sel juhul kiirus väheneb järsult ning mootori mähised hakkavad väga kiiresti kuumenema.

Joonisel 2.66b on näidatud voolu sõltuvust pöörlemiskiirusest. Nagu on näha, võib asünkroonmootori otsevõrkkäivitusel käivitusvool olla nimivoolust  $I_n$  4 ... 8 korda suurem.

### Asünkroonmootori sildiandmed

Igale mootori kere külge on ühendatud seda mootorit iseloomustav nimesilt, millel on sildiandmed. Sildiandmetelt saab kasutaja välja lugeda, kuidas mootorit tuleb kasutada. Lühisrootoriga asünkroonmootori skeemitähis ja mähiste tähistamine on toodud Joonis 2.67.

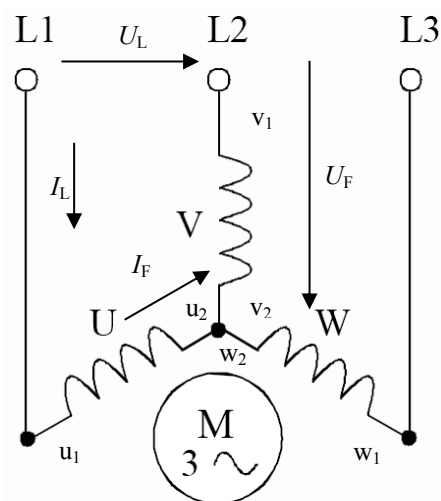


**Joonis 2.67.** Lühisrootoriga asünkroonmootori skeemitähis ja mähiste tähistamine (Lehtla, 2007)

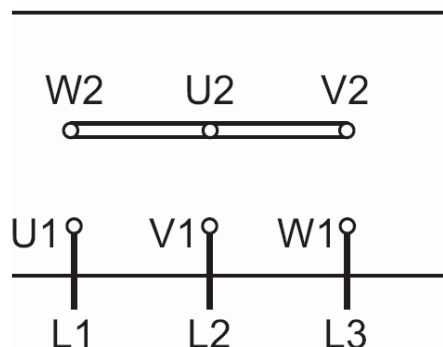
### Asünkroonmootori ühendamise toiteallikaga

#### Tähtühendus

Tähtühenduse korral on mootori mähised ühendatud nii, et kolme mähise lõpud on omavahel ühes punktis kokku ühendatud. Seda punkti nimetatakse nullpunktiks. Mähiste algused on ühendatud toitesüsteemiga. Tähtühendust tähistatakse sümboliga Y. Tähtühendus on illustreeritud Joonis 2.68.



a)



b)

**Joonis 2.68.** Asünkroonmootori tähtühendus. a) skemaatiline tähistus; b) toitekaabli ühendamine mootori klemmidele

Tähtühenduse korral kehtivad järgmised elektrilised seosed:

$$I_L = I_F - \text{faasivool on võrdne liinivooluga,}$$

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_F - \text{liinipinge on faasipingest teguri } \sqrt{3} \text{ korda suurem,}$$

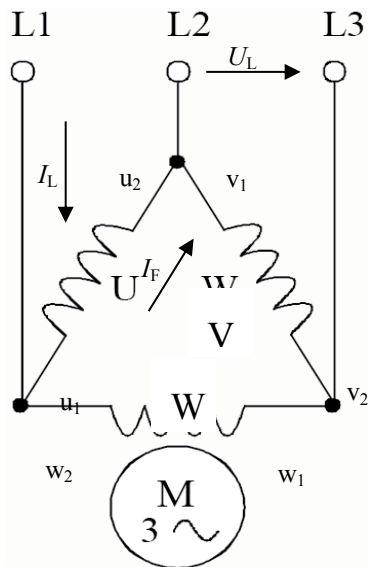
$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I = 3 \cdot U_F \cdot I - \text{näivvõimsus,}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \cos \varphi - \text{aktiivvõimsus,}$$

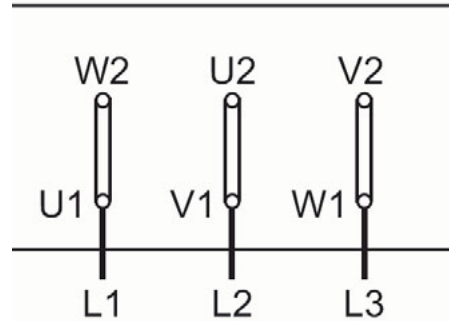
$$Q = S \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I \cdot \sin \varphi = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \sin \varphi - \text{reaktiivvõimsus.}$$

### Kolmnurkühendus

Kolmnurkühenduse korral on mootori mähised ühendatud nii, et ühe mähise algus on ühendatud teise mähise lõpuga. Nende mähiste ühenduspunktid on ühendatud toitesüsteemiga, mida illustreerib **Error! Reference source not found.** Kolmnurkühendust tähistatakse sümboliga  $\Delta$ .



a



b

**Joonis 2.69.** Asünkroonmootori kolmnurkühendus. (a) skemaatiline tähistus; (b) toitekaabli ühendamine mootori klemmidele

Kolmnurkühenduse korral kehtivad järgmised elektrilised seosed:

- $I_F = \sqrt{3} \cdot I_L$  – faasivool on liinivoolust teguri  $\sqrt{3}$  korda suurem,
- $U_L = U_F = U$  – liinipinge on faasipingega võrdne,
- $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L = 3 \cdot U \cdot I_F$  – näivvõimsus,
- $P = S \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \cos \varphi = 3 \cdot U \cdot I_F \cos \varphi$  – aktiivvõimsus,
- $Q = S \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \sin \varphi = 3 \cdot U \cdot I_F \sin \varphi$  – reaktiivvõimsus.

Kolmnurka ühendatud mootor tarbib võrgust 3 korda suuremat võimsust kui samasse võrku ühendatud tähtühenduse korral. Kolmnurka tohib ühendada mootoreid vaid sellisel juhul, kui mootori mähiste faasipinge võrdub konkreetse liinipingega. Infot mähiste ühendusviisi ja nimipinge kohta saab sildiaandmetelt.

Mootori ühendamisel tuleb tähelepanu pöörata mootori sildiaandmetele ja mootori ühendamise viisile. Kui mootori sildiaandmetel on kirjas  $\Delta/Y$  230 / 400 V, siis tohib Euroopa elektrivõrgus liinipingega 400 V mootorit ühendada ainult tähte. Tähte ühendamisel langeb igale mähisele pinge 230 V, kolmnurka ühendamise puhul aga 400 V, mis põhjustab suuri voolusid ning võib viia mootori ülekuumenemise ja riknemiseni. Sellist mootorit tohib ühendada kolmnurka ainult kolmefaasilisse võrku liinipingega 230 V, mis võib olla saavutatud näiteks trafo abiga. Kui mootori sildiaandmetel on kirjas  $\Delta/Y$  400 / 690 V, siis tuleb mootorit samasse toitevõrku optimaalse töö tagamiseks ühendada kolmnurka, sest siis langeb igale mähisele pinge 400 V. Kui ühendada see mootor tähtühendusse, langeb mähistele aga pinge 230 V ning mootori ressurs ei ole optimaalselt ära kasutatud. Sellist mootorit tohib ühendada tähte mõnda tööstuslikku elektrivõrku, kus on kolmefaasiline toide liinipingega 690 V.

### Impulsstoitega mootorid

Samm-mootorid erinevad sünkroonmootoritest selle poolest, et pöörlev magnetväli tekitatakse neis mitte kolmefaasilise siinuspingega, vaid järjestikuste impulsside jaotamisega masina mähistel. Samm-mootorid sobivad kasutamiseks väikese võimsusega positsioonjuhtimisega

ajamites, kus mootorile antud impulsside arv on võrdeline rootori pöördenurga (ehk asendi) muutusega. Ajami positsioonimiseks pole vaja kasutada täiendavat asendiandurit. Sammu vähendamiseks ja positsioonimistäpsuse suurendamiseks valmistatakse samm-mootorid suure pooluste arvuga. Suurema võimsuse korral pole samm-mootorite kasutamine otstarbekas nende väikese kasuteguri tõttu (Lehtla, 2007).

### Samm-mootori ehitus ja tööpõhimõte

Samm-mootor on elektrimasin, mis muudab alalispinge impulsid mootori võlli mehaaniliseks energiaks. Samm-mootoritel on sõltuvalt ehitusviisist (bipolaarsed või unipolaarsed mootorid) 4, 6 või 8 ühendusklemmi, ehitusviisilt on nad sünkroonmootorid, mille rootor pöörleb vastavalt staatorimähisesse antud taktimpulssidele ja mille pöördenurk on määratud läbitud sammude arvuga.

Kuna samm-mootor on numbriliselt juhitav, siis sobib ta ideaalselt kokku diskreetsete juhtimis-süsteemidega, näiteks mikroprotsessoriga. Igale impulsile vastab teatud pöördenurk  $\alpha$ ,  $n$  impulsile aga pöördenurk  $\gamma = n \cdot \alpha$ . Siit. järeldub, et samm-mootorit võib kasutada positsioneerimisel avatud juhtimisahelaga, st tagasisideta süsteemides. Samm-mootori eeliseks on asjaolu, et puudub tagasisideanduri vajadus ajami positsioneerimisel. Positsioneerimistäpsuse suurendamiseks konstrueeritakse mootorid suurema pooluste arvuga. Kuna samm-mootorit juhitakse järjestikuste impulssidega, siis võib madalatel pööretel olla samm-mootori liikumine katkendlik.

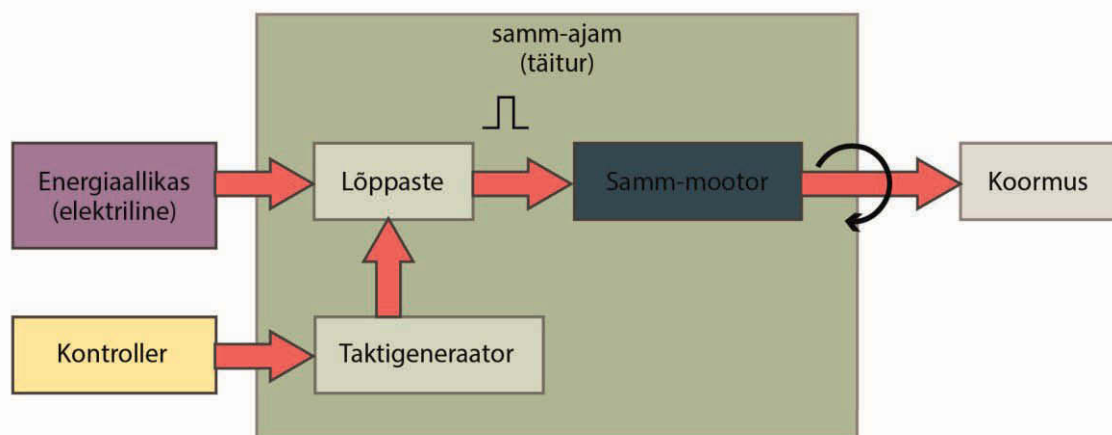
Samm-mootorid on rentaablid võimsuseni kuni  $\sim 1$  kW, neid toodetakse ka lineaarmootorite kujul.

Samm-mootori ühe takti samm ehk sammunurk  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{360^\circ}{N_{ph} \cdot m \cdot Z},$$

kus  $N_{ph}$  on pooluste arv faasi kohta,  $m$  faaside arv ning  $Z$  hammaste arv.

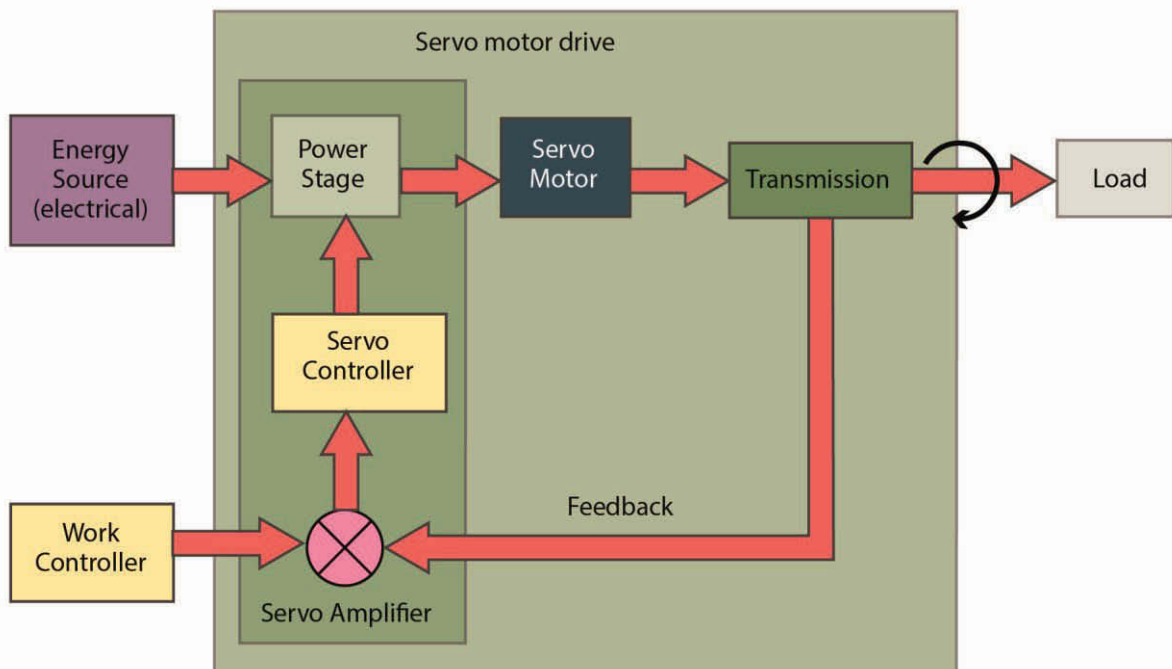
Samm-mootor koos taktgeneraatori ja lõppastmega moodustab samm-ajami (joonis 2.70). Taktsignaali moodustatakse töö etteandesuuruste (kiirus, asend, kiirendus) alusel ja nendega tüüritakse transistorlülitite koosnevat lõppastet. Transistorlülitite ülesanne on samm-mootori mähiste voolu kommuteerimine ettenähtud liikumistrajektoori tagamiseks.



**Joonis 2.70.** Samm-ajami struktuurskeem (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

### 2.3.5. Servoajami ehitus ja tööpõhimõte

Servoajam koosneb servomootorist ja servovõimendist (joonis 2.71 ja joonis 2.72). Servovõimendi (ka servokontrolleri või servomuunduri) peamine ülesanne on mootori toitevoolude reguleerimine. Sõna „servo” tuleneb ladinakeelsest sõnast „servus”, mis tähendab teenijat, orja või abimeest. Tööpinkide servoajamid on kasutusel peamiselt abiajamitena.



Joonis 2.71. Servoajami struktuurskeem (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, & Beldjajev, 2011)



Joonis 2.72. Servovõimendid ja -mootorid

Servovõimendi ehk servomuundur reguleerib etteantud momendi ja kiiruse saavutamiseks mootori mähistesse antavat voolu. Servovõimendi koosneb põhiosadena lõppastmest ja regulaatorist.

Regulaator tüürib lõppastet ja tagab etteande- ja tegelike suuruste (vool, asend, kiirus) pideva võrdlemisega mootori täpse töö ka muutuva koormuse tingimustes.

Lõppaste kujutab endast jõuelektronikal põhinevat modulaatorit, mis formeerib servomootori toitevoolud, tagamaks täituri ettenähtud liikumistrajektoori.

Erinevalt tavalistest elektriajamitest, mis töötavad enamasti püsikiirusel, on servoajami talitlus tavaliselt ebaühtlane. Nimikiiruseni kiirendamine kestab tihti ainult mõne millisekundi, millele



järgneb lühikese aja pärast sama kiire pidurdus; seejuures peab positsioneerimistäpsus olema sajandikmillimeetri suurusjärgus.

Servoajamitele esitatakse paljudel juhtudel alljärgnevalt loetletud nõudeid:

1. suur positsioonimistäpsus,
2. suur kiiruse reguleerimistäpsus,
3. suur reguleerimispiirkond,
4. momendi stabiilsus,
5. küllaldane ülekoormatavus,
6. suur toimekiirus.

Servoajami eelisteks ülejäänud reguleeritavate ajamite ees on head dünaamilised näitajad, suur täpsus ja nullkiirusmoment (suur moment nullilähedastel kiirusel) ning kompaktne ehitusviis suure erivõimsuse juures. Ajami dünaamiliste omaduste all mõistetakse tema toimekiirust, mille suurenemisel kasvab ka töömashinate kiirus, töötüklite arv ja lõpptulemusena masinate tootlikkus.

Ajami nõutav täpsus on sageli määratud töömashinaga, mille käitamiseks ajamit kasutatakse. Moodne suure toimekiirusega ajam peab rahuldama erinevate töömashinate omadustega määratletud nõudeid.

Servoajamid on suure täpsuse ja toimekiirusega ning laias kiirusvahemikus töötavad ajamisüsteemid, mis täidavad oma funktsioone ka ajutiste ülekoormuste puhul.

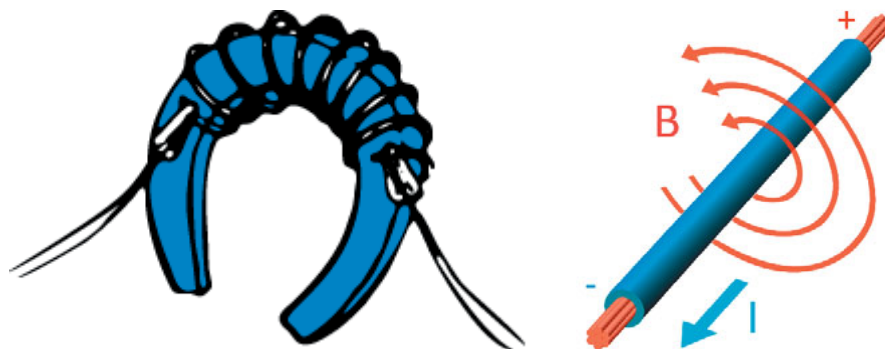
### 2.3.6. Elektromagnetilised täiturid

#### Solenoidid

Elektromagnet on magnetiliik, milles magnetväli tekitatakse elektrivoolu poolt. Voolu kadumisel kaob ka magnetväli. Briti elektriinsener William Sturgeon leiutas elektromagneti aastal 1825. Esimene elektromagnet oli hobuserauakujuline rauatükk, mille ümber oli mitu keerdu lõdvalt keritud mähist.

Kui mähist läbis elektrivool, elektromagnet magnetiseerus ning voolu lõppedes elektromagnet demagnetiseerus. Sturgeon demonstreeris selle jõudu, tõstes üles üheksa naela seitsmeuntsise rauatükiga, mille ümber olid mähitud traadid, millesse lasti üheelemendilise patarei vool (Joonis 2.73).

Kõige lihtsam elektromagneti tüüp on keerdu keritud traadijupp. Mähist, mis moodustab sirge toru kuju (sarnaselt korgitõmbajale), nimetatakse solenoidiks. Palju tugevama magnetvälja saab tekitada siis, kui mähise sisse asetatakse paramagnetilisest või ferromagnetilisest materjalist (tavaliselt pehmest rauast) „südamik“. Südamik kontsentreerib magnetvälja, mis võib seejärel olla palju tugevam kui mähise enese väli.



Joonis 2.73. Sturgeoni solenoid (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, & Beldjajev, 2011)

Solenoid on seade, kus muundatakse elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Liikumise järgi võib solenoidi liigitada lineaarliikumise ja pöördliikumise solenoidideks.

Solenoidid on tavaliselt integreeritud seadmed, mis täidavad klappide, klambrite, lülitite, riivide, lukkude ja press-seadmete funktsioone. Solenoidi kasutatakse automaatikaseadmetes, kus on vaja sooritada lühikese teekonnaga liikumist:

- lineaarselt 1 mm kuni 100 mm,
- pöördliikumised alla 95 °.

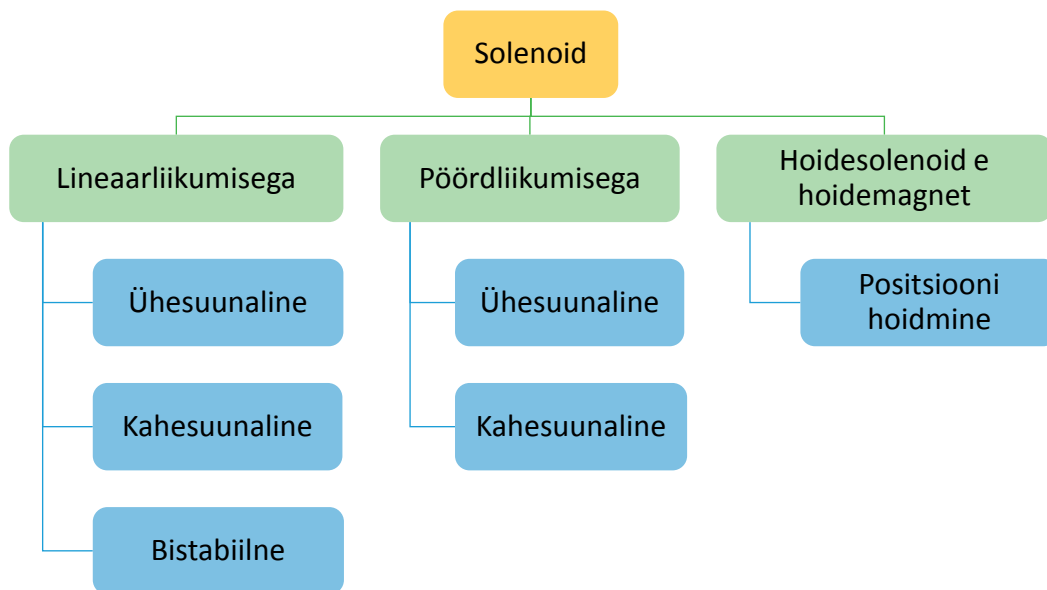
Solenoidide kasutamise plussid:

- suur kiirus (lineaarliikumine 2 mm või pöördliikumine 45 ° alla 10 ms),
- suur töötsükli arv (üle 10 miljoni tsükli),
- konstruktsiooni lihtsus,
- lihtne valmistada vastavalt tellija soovidele.

### Solenoidide klassifikatsioon

Lineaarliikumise solenoidid jagunevad:

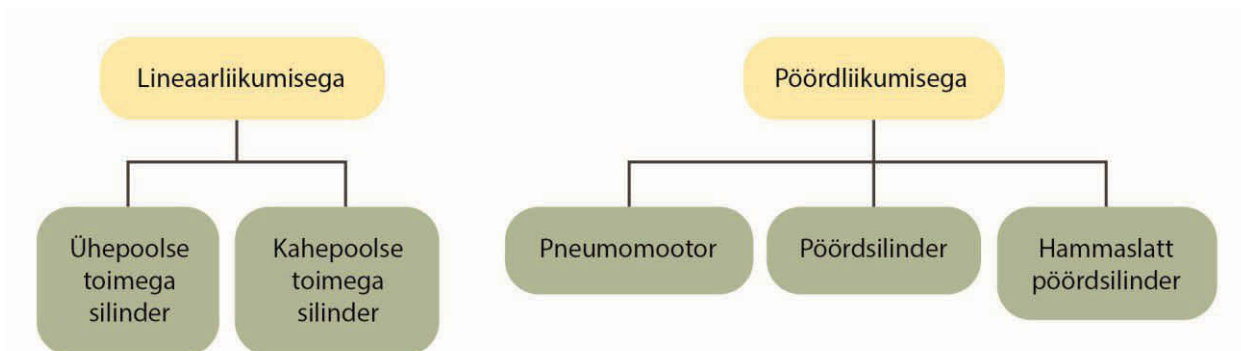
- Ühesuunalised lineaarliikumise solenoidid (solenoidmähisest arendatav jõud mõjub ühes suunas, tagasiliikumine toimub mehaaniliselt, näiteks vedru abil).
- Kahesuunalised lineaarliikumise solenoidid (liikumine toimub kahes suunas, kasutatakse kahte erinevat mähist).
- Bistabiilsed või lukustusfunktsiooniga lineaarliikumise solenoidid (liikumine saavutatakse elektrilise impulsi abil, liikumissuund määratakse polaarsusega ja lõpp-positioonid säilitatakse püsिमagnetitega ühes otsas).



### 2.3.7. Pneumaatilised täiturid

#### Pneumaatilised täiturid (silindrid, mootorid)

Pneumaatilises täituri toimub pneumaatilise energia muundamine ja edastamine valmistustöök kasutatava masina mehaanilise liikumise energiaks (füüsikaliseks tööks), mille tulemusena võib muutuda valmiva toote ja valmistusseadmete sisu või vorm. Pneumaatilised täiturid jagunevad linear- ja pöördliikumise täituriteks (joonis 2.74).



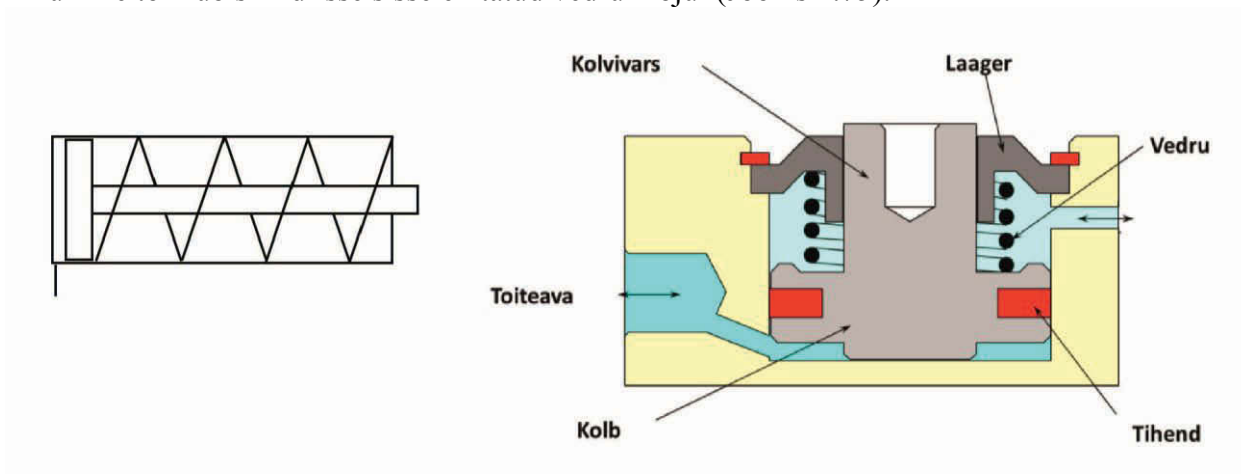
**Joonis 2.74.** Pneumaatiliste täiturite liigitus (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

### Lineaarliikumisega pneumotäitured

#### Ühepoolse toimega silinder

Lineaarliikumisega täitureid (pneumosilindrid) kasutatakse lineaarliikumise saamiseks mehaanilistes süsteemides.

Ühepoolse toimega silindri puhul juhitakse suruõhku ainult ühele poole kolbi. Sellised silindrid on kasutusel juhtudel, kui on tarvis sooritada tööliikumist ainult ühes suunas. Kolvi tagasiliikumine toimub silindrisse sisse ehitatud vedru mõjul (Joonis 2.75).



**Joonis 2.75.** Ühepoolse silindri tööpõhimõte ja tingmärk (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

Tagastusvedru jõud on arvestatud selliselt, et tagada kolvi piisavalt kiire tagasiliikumine. Ühepoolse toimega silindritel on kolvi liikumisulatus piiratud tagastusvedru pikkusega ja ei ole üldjuhul suurem kui 100 mm. Seda tüüpi silindreid kasutatakse lukustamiseks, kinnitamiseks, kokkusurumiseks, tõukamiseks, tõstmiseks, detailide etteandmiseks jne.

Kasutusel on kahte tüüpi ühepoolse toimega silindreid:

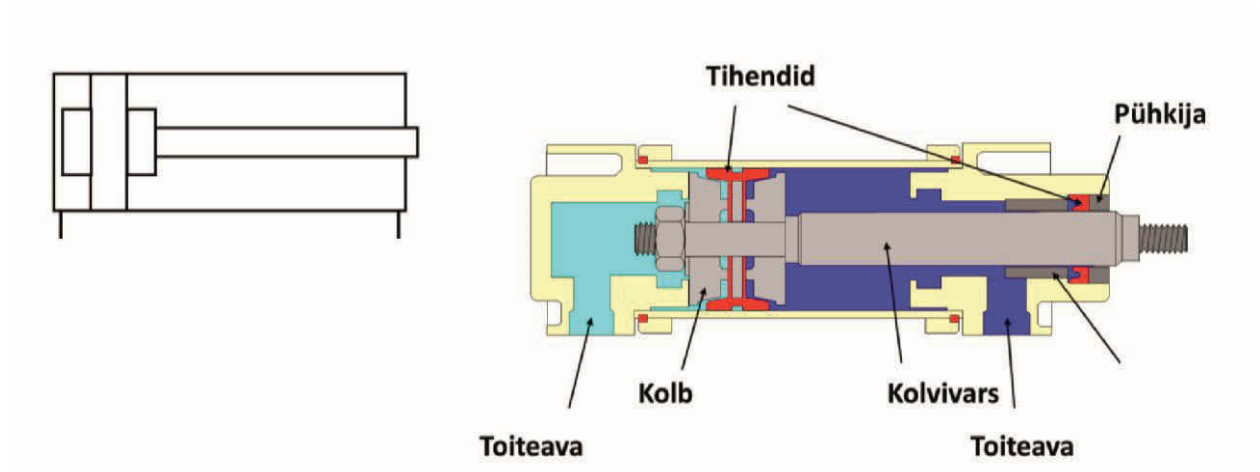
- Tööliikumine toimub suruõhu mõjul, kolvi tagasiviimine lähteasendisse toimub aga vedru mõjul.
- Tööliikumine toimub vedru mõjul, kolvi tagasiviimine lähteasendisse toimub aga suruõhu mõjul. Selliseid silindreid kasutatakse siis, kui suruõhu kadumine on ohtlik tehnoloogilisele protsessile või inimestele (autode ja rongide suruõhuga töötavad pidurid).

Ühepoolse toimega silindrite konstruktsiooniline eritüüp on membraansilindrid. Membraansilindrites asendab kolbi kas kummi-, plastik- või terasmembraan. Kolvivar on kinnitatud

membraani keskele. Sellistes silindrites puudub hõõrdejõud, tekib ainult membraani deformatsioonist tekkiv elastsusjõud.

### Kahepoolse toimega silindrid

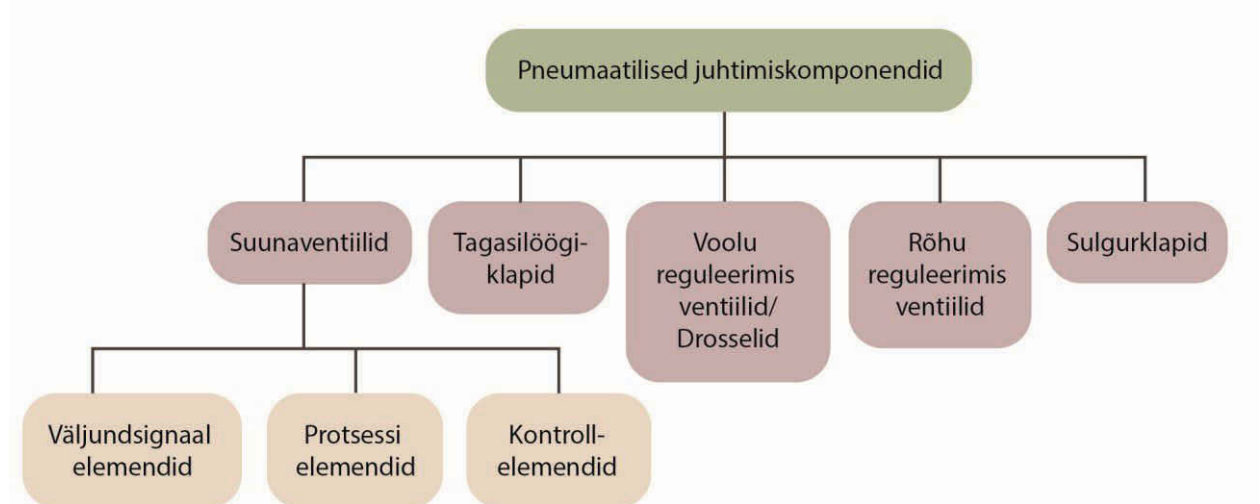
Kolvi liikumine silindris toimub suruõhuga mõlemas suunas, nii miinus- kui ka pluss-suunas. Kahepoolse toimega silindrid on kasutusel juhul, kui on vaja sooritada kasulikku tööd mõlemas suunas. Kolvi liikumisulatus on kahetoimelisel silindril praktiliselt piiramatut, kuid see peab olema selline, et silinder säilitaks jäikuse (Joonis 2.76).



**Joonis 2.76.** Kahepoolse silindri tööpõhimõtte tingmärk (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

### Pneumaatilised juhtimiskomponendid

Pneumaatiliste täiturite rakendamiseks on tarvis juhtimiskomponente, mille ülesandeks on vajalike juhtimissignaali tekitamine, täiturite liikumiskiiruse, suruõhu rõhu reguleerimise ja muude juhtimisoperatsioonide täitmine pneumosüsteemides. Juhtimiskomponendid on (Joonis 2.77):



**Joonis 2.77.** Pneumaatilised juhtimiskomponendid (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

### Pneumojaotid

Pneumojaotid on pneumokomponendid, mille abil muudetakse suruõhu liikumisteed pneumotorustikes.

Pneumoskeemides kujutatakse pneumojaoteid tingmärkidena, milles ei kajastu pneumojaoti ehitus, vaid ainult nende poolt täidetav funktsioon.

Nullasendiks nimetatakse (nt vedruga tagastuval pneumojaotil) seda asendit, milles paiknevad pneumojaoti liikuvad osad, kui pneumojaoti ei ole rakendunud olekus. Lähteasendiks nimetatakse asendit, millisesse liiguvad pneumojaoti liikuvad osad, kui pneumoskeem, millesse ta on lülitatud, ühendatakse pneumovõrku ja millest algab pneumoseadme töötssükkel.



Pneumaatiline lõpulüüti



Kangiga juhitud pneumojaoti



Trossiga juhitud pneumojaoti



Rullikuga juhitud pneumojaoti

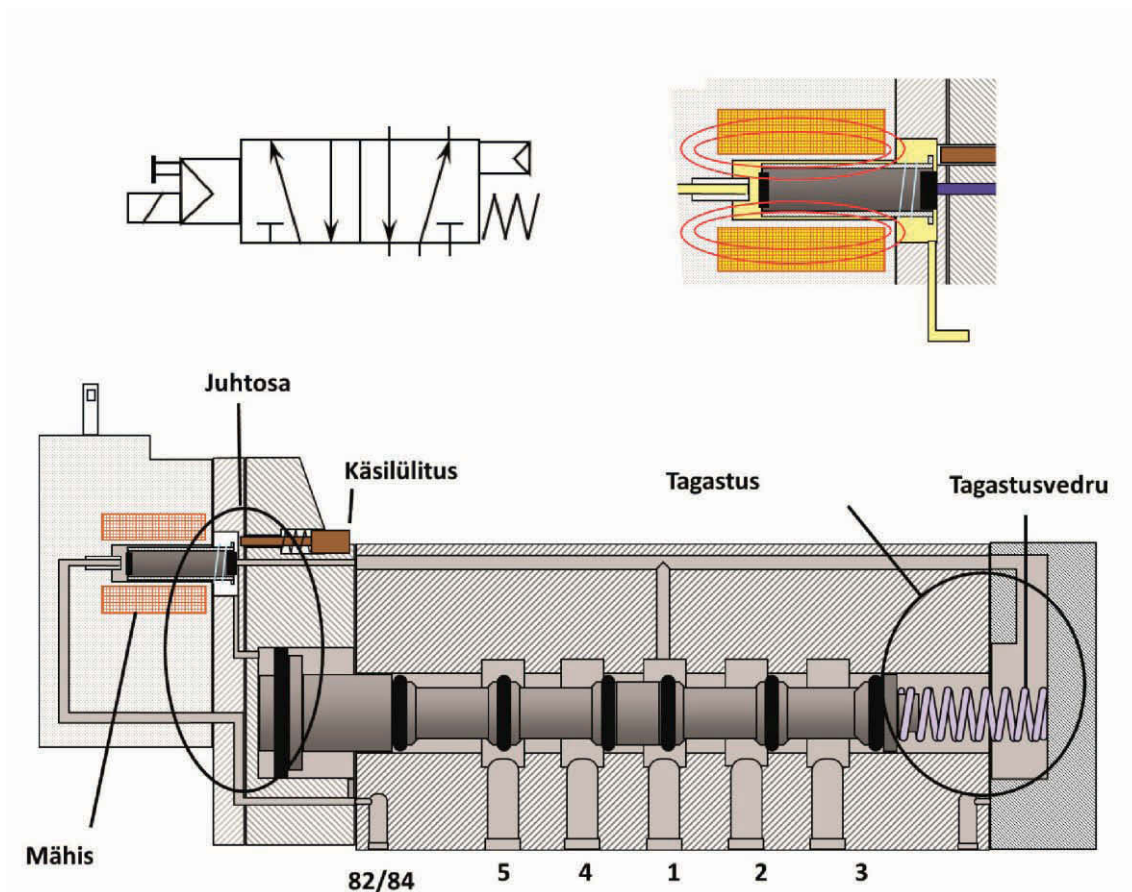


Elektriliselt juhitud pneumojaoti

**Joonis 2.78.** Pneumojaotite näited

### **Elektromagnetiga juhitud pneumojaotid (elektromagnetid ja nende kommuteerimine)**

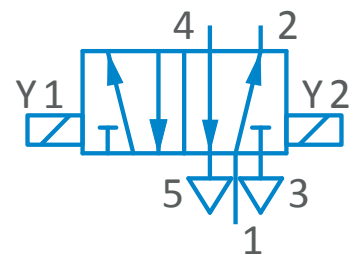
Pneumojaotites kasutatakse vahetut juhtimist ja võimendusega juhtimist. Võimendusega juhtimise korral juhitakse solenoidi kaudu abijaotit, mille kaudu omakorda toimub pneumojaoti juhtimine (Joonis 2.79; Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011).



**Joonis 2.79.** Võimendusega 5/2 elektriliselt juhitud monostabiilne pneumojaoti (Brindfeldt, Pettai, Hõimoja, Beldjajev, 2011)

Kahe sisendiga ilma tagastusvedruta pneumojaoti nimetatakse impulssjaotiks ehk bistabiilseks pneumojaotiks.

Kui aktiveerida elektromagnet Y1, siis käiguventiili südamik muudab oma positsiooni ja avaneb käiguventiili õhukanal 1.4. Selle käiguventiili südamik jääb sellisesse asendisse seni, kuni antakse juhtsignaal elektromagnetile Y2. Ainult siis lülitub käiguventiil ümber ja avaneb õhukanal 1.2.



Tagastusvedru puudumise tõttu on sellel ventiilil tekkinud uued omadused:

- jaoti ümberlülitamiseks piisab lühiajalisest signalist – impulsist,
- kuna südamik jääb peale ümberlülitamist muutumatusse asendisse, siis võib öelda, et sellel elemendil on **viimase signaali mälu** ,
- mõlemapoolse juhtsignaali olemasolul pneumojaoti südamik ei muuda oma asendit.

## Enesekontrolliküsimused

### 1. Mis on täitur?

- a) hüdrauliline või pneumaatiline muundur,
- b) energia muundamise ja edastamise seade,
- c) elektrooniline seade.

### 2. Kuidas täitureid liigitatakse?

- a) energiaallikast edastatava energia liigi järgi,
- b) mehaanilise liikumise vormi järgi,
- c) suuruse ja kuju järgi.

### 3. Milliseid parameetreid järgitakse täituri valikul?

- a) töövahemik ja maksimaalne jõud,
- b) soojuse hajutamine ja sagedusvahemik,
- c) käivituste arv.

### 4. Mis on elektriajam?

- a) elektromehaaniline süsteem,
- b) töömasin,
- c) regulaatoriga elektrimootor.

### 5. Mis ümbritseb elektrivooluga juhet?

- a) magnetväli,
- b) elektriväli,
- c) energiaväli.

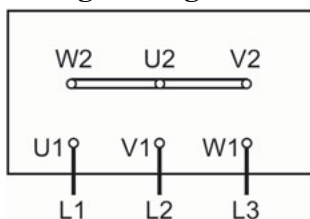
### 6. Millist vahelduvvoolumootorit kasutatakse tööstuses kõige rohkem?

- a) asünkroonmootor,
- b) sünkroonmootor,
- c) reluksioonmootor,

### 7. Mis on teraseskadu?

- a) elektrimootori mähistes tekkivad kaod,
- b) elektrimootori magnetsüdamikus tekkivad kaod,
- c) elektrimootori hõõrdumisel tekkivad kaod.

### 8. Millega on tegemist?



- a) tähtühenduses asünkroonmootori toitekaabli ühendamine mootori klemmidele,
- b) kolmnurkühenduses asünkroonmootori toitekaabli ühendamine mootori klemmidele,

**9. Samm-mootor võib olla:**

- a) alalisvoolumootor või servomootor,
- b) induktsioonmootor,
- c) aktiiv-, reaktiiv- või hübriidrootoriga,
- d) õõnes või perforeeritud rootormootor,
- e) asünkroon- või sünkroonmootor.

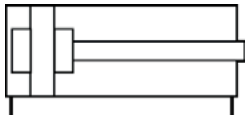
**10. Milline on peamine servomootori tüüp?**

- a) püsिमagnetitega sünkroonmootor,
- b) samm-mootor,
- c) ühefaasiline asünkroonmootor.

**11. Kui suurt hoidejõudu suudab rakendada hoidesolenoid?**

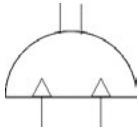
- a) üle 700 kg,
- b) 200 kuni 400 kg,
- c) 100 kuni 300 kg.

**12. Millise silindriga on tegemist?**



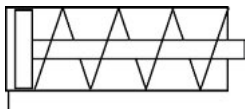
- a) kahepoolse toimega silinder,
- b) ühepoolse toimega silinder,
- c) pöördliikumise silinder.

**13. Millise silindriga on tegemist?**



- a) kahepoolse toimega silinder,
- b) ühepoolse toimega silinder,
- c) pöördliikumise silinder.

**14. Millise silindriga on tegemist?**



- a) kahepoolse toimega silinder,
- b) ühepoolse toimega silinder,
- c) pöördliikumise silinder.

**15. Mitu ava ja mitu asendit on järgneval pneumojaotil?**



- a) 4/4,
- b) 4/3,
- c) 4/5.



16. Mitu ava ja mitu asendit on järgneval pneumojaotil?



- a) 2/2,
- b) 4/2,
- c) 2/4.

17. Millise pneumojaoti juhtumismeetodiga on tegemist?



- a) üldtähis,
- b) pneumaatiline kaudne,
- c) elektriline,
- d) pedaal.

18. Millised on suruõhumootorite positiivsed omadused?

- a) pöörlemissageduse ja pöördemomendi sujuv reguleerimine,
- b) väikesed mõõtmed,
- c) ei ole tundlikud ülekoormusele,
- d) madal hind.

## 2.4. Infovõrgud

Kaasaegsetel tootmise, transpordi ja andmevahetuse süsteemidel on üks ühine eriomadus: neil kõigil on keeruline hierarhiline struktuur ehk ülesehitus, mis on moodustatud hulgast seotud ja vastastikku toimivatest alamsüsteemidest. Alamsüsteemide ulatusliku funktsionaalsuse ja kõrge jõudluse saavutamine on omakorda seotud tootmise juhtimise integreeritud süsteemide arendamisega. Iga tootmissüsteemi juhtimist saab loogiliselt kirjeldada ja esitada kolmetasandilise hierarhilise mudeliga. Juhtimishierarhias kuuluvad kõige madalamale tasandile süsteemid, mis toimivad individuaalsetes masinates, seadmetes ja täiturmehhanismides ja on mõeldud seal toimivate tootevalmistusprotsesside automaatseks reaajaliseks juhtimiseks. Teine tase seob esimese taseme süsteemid kokku territoriaalse/tootmisprintsipi alusel operatiivse/administratiivse iseloomuga juhtimisülesannete täideviimise eesmärgil. Kolmas tasand hõlmab ärijuhtimisega seotud süsteeme, mis sisuliselt kuuluvad majanduse ja ettevõtte organisatsioonilise tegevuse valdkonda (Rashidov ja Jordanov, 2011).

### 2.4.1. Sissejuhatus tööstuslikesse sidevõrkudesse

#### Sidesüsteemide arhitektuur

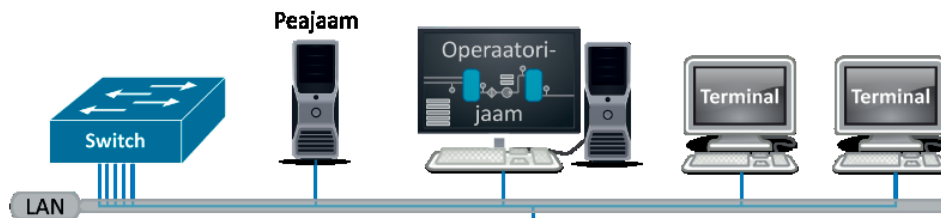
Kaasaegsete tootmissüsteemide struktuuri iseloomulikud omadused mõjutavad andmevahetussüsteemide ehk sidesüsteemide arhitektuuri. Sidesüsteeme arendatakse ja nende teostust kirjeldatakse kolmetasandiliste hierarhiliste heterogeensete arvutivõrkude loogika põhjal (Joonis 2.80):

- **informatsiooni tasand** – põhivõrk;
- **juhtimistasand** – tootevalmistuse juhtimiseks mõeldud võrgud, mis hõlmavad seirearvuteid ja tööjaamu;
- **tööväljatasand** – sidevõrgud koos programmeeritavate loogikakontrollerite, andurite ja täituritega.

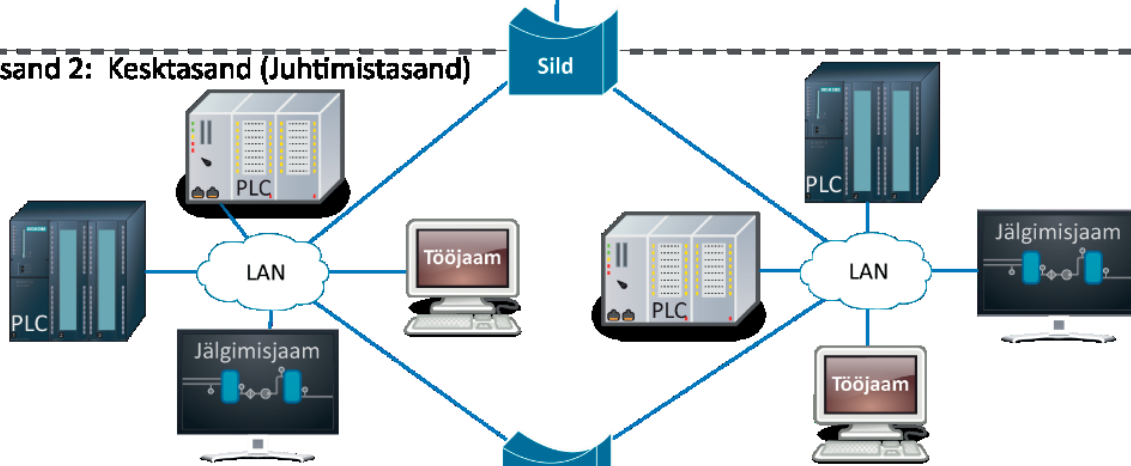
#### Kaasaegsete sidesüsteemide iseloomulikud tunnused

Kaasaegsed sidevõrgud kasutavad andmevahetusel erinevaid edastuskeskkondi nagu metallkaablid, valguskaablid, raadioside, infrapunakiired jne. Hiljuti on hakatud sides arendama, tingituna andmevahetusliideste hinna langemisest, erinevaid vastastikku täiendavate funktsioonidega võrguarhitektuure. See kõik loob sobivad tingimused heterogeensete tööstussüsteemide ehitamiseks, mille eripäraks on juhtimisfunktsioonide globaliseerumine (juhtimisfunktsioonide hajutamine globaalses ulatuses) (Joonis 2.80).

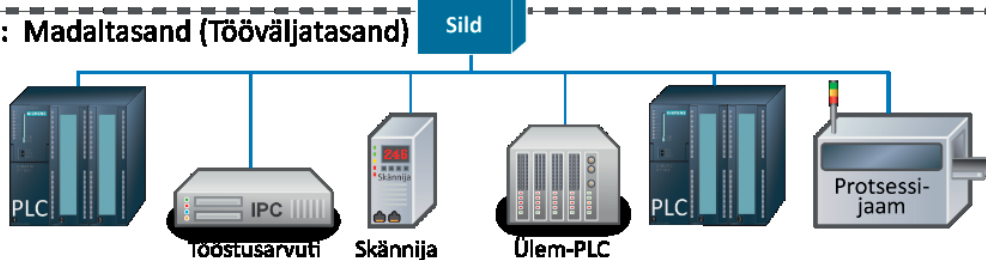
### Tasand 3: Kõrgtasand (Informatsioonitasand)



### Tasand 2: Kesktasand (Juhtimistasand)



### Tasand 1: Madaltasand (Tööväljatasand)



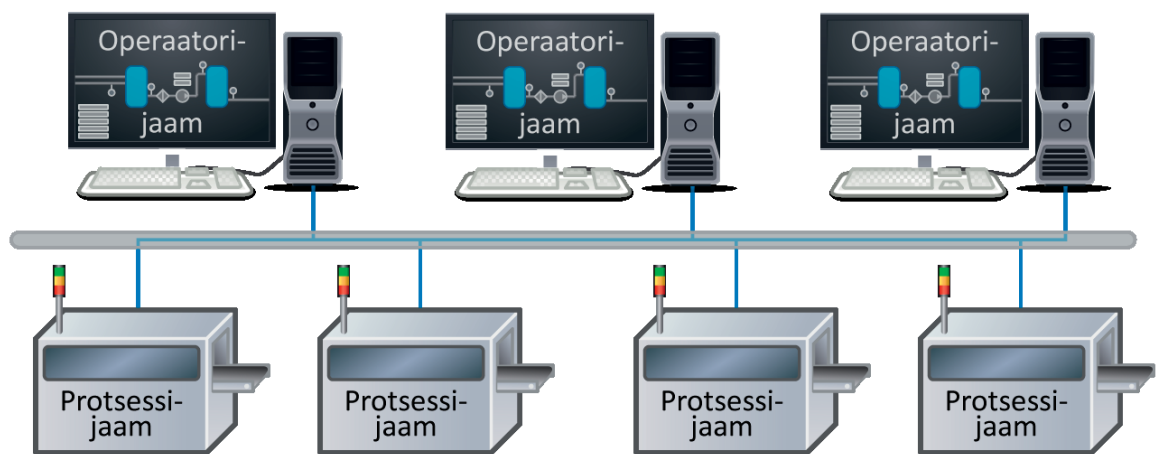
**Joonis 2.80.** Tootmis- ja andmesidesüsteemide kolm teostustasandit (Brindfeldt, Tööstuslikud infovõrgud, 2011)

#### 2.4.2. Hajusjuhtimissüsteemid

Tootmise juhtimissüsteemides rakendatavad alamsüsteemid on peamiselt hajutatud vormis (*distributed control systems, DCS*). Hajusjuhtimissüsteemide on kahte põhitüüpi: põhiliselt vertikaalselt integreeritud ja põhiliselt horisontaalselt integreeritud.

##### Vertikaalselt integreeritud hajusjuhtimissüsteemi arhitektuur – esimene tüüp

Seda tüüpi iseloomustab teostuse (funktsiooniplokkide, funktsioonide) hierarhiline (siiski põhiliselt vertikaalne) ülesehitus. Detsentraliseeritud süsteemis ja selle alamsüsteemides domineerib andmevahetus erinevatele teostustasanditele seotud funktsioonide vahel. Selliste süsteemide näiteks võib tuua tootmisettevõtte valmistussüsteemi või andmesidesüsteemi (Joonis 2.81).

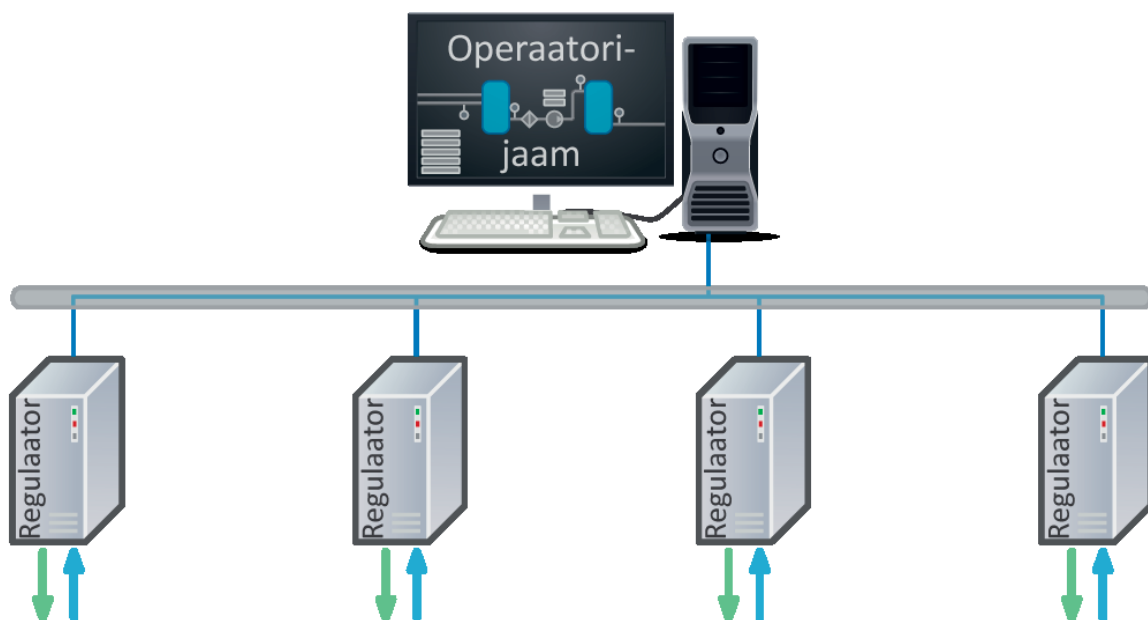


**Joonis 2.81.** Detsentraliseeritud süsteemi esimene tüüp

Alamsüsteemid (kontrollerid, andmekogumisseadmed, seirearvutid, operaatorjaamad) on tegelikult iseseisvad hajusjuhtimissüsteemi komponendid, mis toimivad ka vastastikku, vahetades intervallide järel võrgus informatsiooni. Sellist tüüpi hajusjuhtimissüsteemide arengu põhisuunaks on üleminek andmevahetusel avatud arhitektuurile, mis baseerub võrgustandarditel ja protokollidel nagu Ethernet koos TCP/IPga ja edastusmeediumidel, mis toetavad kasutaja-serveri vahelist infovahetust hajusjuhtimissüsteemide alamsüsteemide vahel.

Vertikaalselt integreeritud hajusjuhtimissüsteemi arhitektuur – teine tüüp

Seda hajusjuhtimissüsteemi tüüpi iseloomustab kõrge detsentraliseerimistase (joonis 2.82) ja spetsiaalsete funktsioonidega alamsüsteemiseadmete kasutamine. Hajusjuhtimissüsteem koosneb näiteks lihtsatest kontrolleritest, mis baseeruvad ühekiibilistel mikroarvutitel, ja tööjaamaks konstrueeritud arvutist.

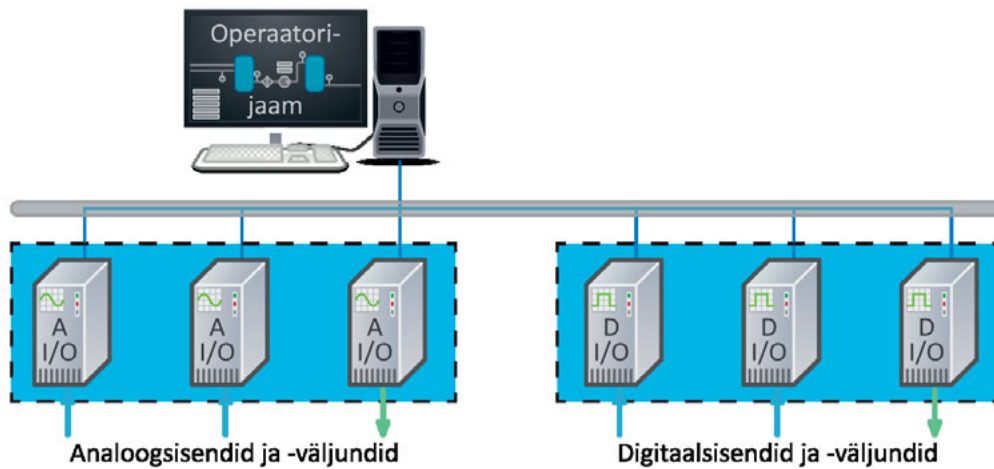


**Joonis 2.82.** Detsentraliseeritud süsteemi teine tüüp

Horizontaalselt integreeritud hajusjuhtimissüsteemi arhitektuur

Horizontaalselt integreeritud arhitektuurid võimaldavad hajusjuhtimissüsteemi alamsüsteemide vahel nii vertikaalset kui horisontaalset infovahetust. Selle arhitektuuriklassi põhiomaduseks on

eemalasuivate sisend- ja väljundmoodulitega süsteemid, kus mikroprotsessoriga kontrollid on kärbitud intelligentseteks sisend/väljund-seadmeteks, samal ajal kui olulisi juhtimisfunktsioone täidab tööjaama rollis olev arvuti (Joonis 2.83).



**Joonis 2.83.** Horisontaalselt integreeritud hajusjuhtimissüsteemi tüüp

Horisontaalselt integreeritud süsteemid (sisaldavad sideks vajalikku tööväljavõrku) on saanud üha kasvava tähelepanu osaliseks tootmise tööväljatasandil.

**Juhtimissüsteemide struktuuri aluseks olevaid arvutivõrkusid, mis sisaldavad intelligentseid üksusi nagu regulaatorid, programmeeritavad kontrollid, intelligentseid sensorid, täiturid jne, nimetatakse tööväljavõrkudeks.**

### 2.4.3. Võrgusidega jaotusvõrkude funktsionaalne jaotamine

Funktsionaalsest vaatenurgast jagunevad võrgusidet võimaldavad juhtimissüsteemid kolmele tasemele:

#### Tööväljatasandi süsteemid

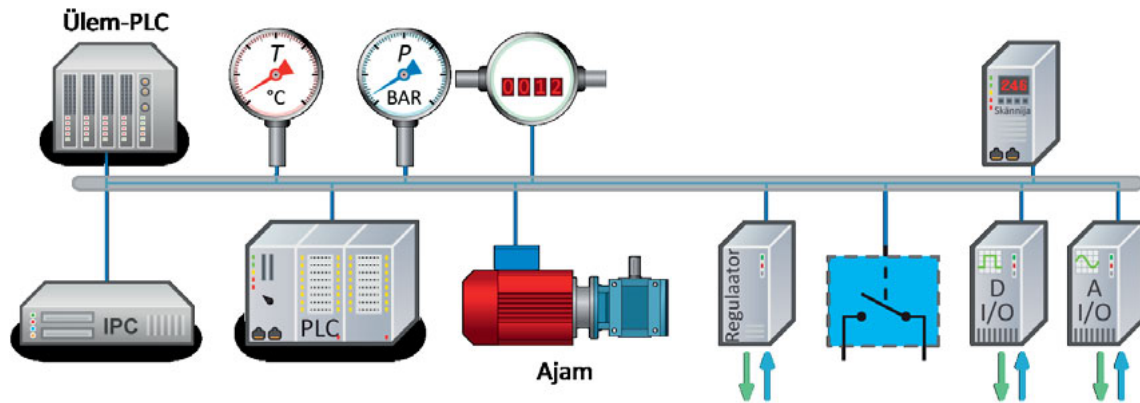
Nendes on ehitusel kasutatud tööväljavõrke eri programmeeritavate kontrollite (*programmable logic controllers*, PLC) ja intelligentsete terminaliüksuste (sensorid, mõõteseadmed, täiturid jne) vaheliseks sideks. Nendes süsteemides kasutatakse selliseid tööväljaprotokolle nagu DeviceNet, CAN, Foundation Fieldbus, Profibus-DP jne. Tööväljavõrgud on aluseks võrgusidega tootmise juhtimissüsteemide hierarhia esimese ja mõnikord ka teise tasandi ehitamisel. Neid kasutatakse katkematu tootmisprotsesside, juhtelementide, kontrollite, andurite ja teiste tootmisprotsessis kasutatavate üksuste juhtimisel.

Tööväljavõrkudel on teiste sidestruktuuride ees mitmeid eeliseid:

- tagavad suurema andmeturvalisuse, kaasates juhtimisinformatsiooni,
- võimaldavad suuremat täpsust andmete ülekandel, kuna rakendavad täielikult digitaalset sidet,
- mitmevariandiline ligipääsuvõimalus, mille puhul kasutatakse detektoreid erinevate protsessiparameetrite väärtuste lugemiseks,
- võimalus kaugkonfigureerimiseks ja võrguüksuste diagnostikaks.

## Juhtimistasandi süsteemid

Need koosnevad programmeeritavatest kontrolleritest (PLC) kohalikes deterministliku loomuga võrkudes (Joonis 2.84).



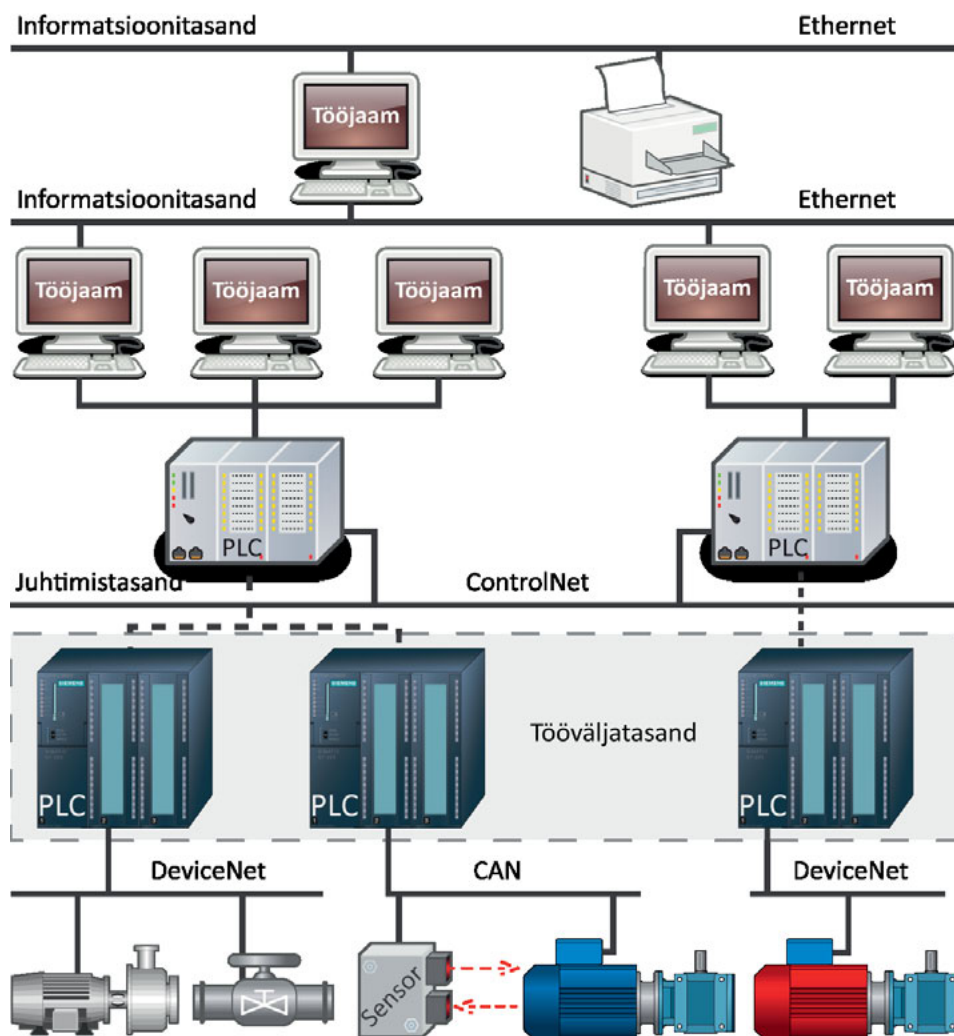
**Joonis 2.84.** Juhtimistasandi võrgu näide

Selle tasandi süsteemid võimaldavad protsesside juhtimist reaajas ning erinevat tüüpi programmeeritavate kontrollerite, tööjaamade, arvutite, programmi- ja diagnostikaüksuste vastastikust toimimist. Sellele tasandile kuuluvad võrgud on oma olemuselt jadakommunikatsioonisüsteemid, mis tõhustavad ühendust üksuste vahel, mis vahetavad rakendatud informatsiooni kindlaks määratud (eeldefineeritud) viisil. Nende eesmärgiks on hõlbustada tehnoloogiaga seotud programmide vahetamist ning koordineerida ja juhtida programmeeritavate kontrollerite vahelist informatsioonivahetust. Võrgud peavad olema vastavuses neile esitatud standardnõuetega andmeülekande mahu, turvalisuse, kiiruse, müratakistuse ja reaajaoperatsioonide ettemääratuse osas (Rashidov ja Jordanov, 2011).

## Informatsioonitasandi süsteemid

Informatsioonitasandi süsteeme kasutatakse juhtimiseks ja informatsiooni vahetamiseks ettevõtte tasandil; nende eesmärgiks on lahendada äriettevõtte haldamise peamisi ülesandeid. Nende süsteemide üldiseks olemuslikuks probleemiks on ülekantud informatsiooni hulk, ülekandekiirus, turvalisus ja kaitse autoriseerimata ligipääsu eest. Selle tasandi kaasaegsed süsteemid kasutavad laialdaselt Etherneti spetsifikatsiooni (joonis 2.85).

Selle tasandi võrkudele on omane tihe suurte andmekoguste (-mahtude, -massiivide) vahetamine. Erinevalt enamusest konkureerivatest tehnoloogiatest on selle eeliseks regulaarne hindade alanemine. Etherneti uuemate täiustatud versioonide kasutamine laieneb ka tööväljatandile (Rashidov ja Jordanov, 2011).



**Joonis 2.85.** Etherneti võrgu kasutus tootmise arhitektuuri infotasandil

#### 2.4.4. Võrgutopoloogia ja mudelid

##### Kaasaegsete tootmissüsteemide eriomadused

Topoloogia defineerib sidevõrgu struktuuri. Eristatakse kahte tüüpi topoloogiat: loogiline ja füüsiline.

- Füüsiline topoloogia tegeleb ühenduskaablite, võrguseadmete ja võrgus asuvate kasutajatööjaamade riistvara konfigureerimisega.
- Loogiline topoloogia määrab viisi, kuidas kasutajad saavad ligipääsu võrgule ja võimalikud marsruudid sõlmedevaheliseks andmevahetuseks.

#### 2.4.5. Füüsiliste topoloogiatega tüübid

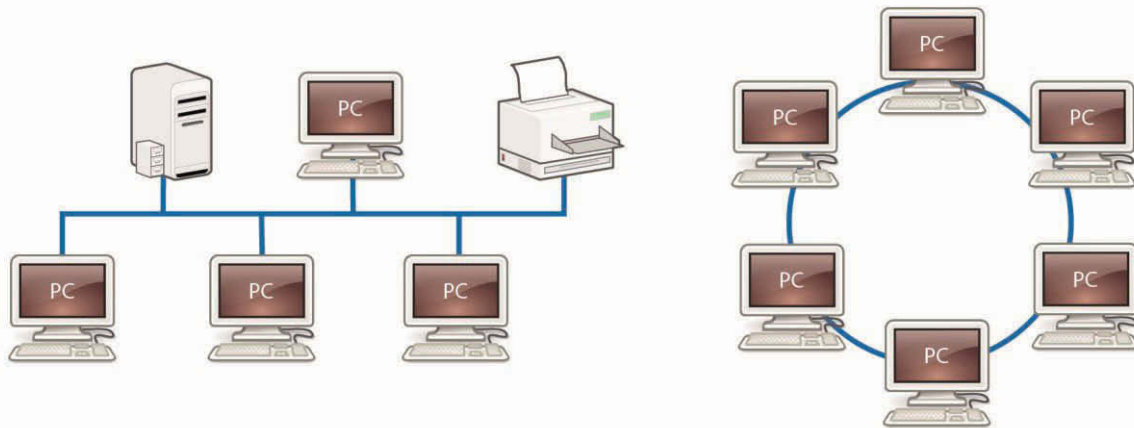
##### Siinitopoloogia

Siinitopoloogia puhul on kõik üksused sidemeediumiga ühendatud võrguadapterite abil magistraalliini külge (Joonis 2.86, vasakul). Samaaegselt on ainult ühel üksusel lubatud info-pakette saata. Seetõttu on vaja hallata ja juhtida üksuste ligipääsu meediumile. Igast jaamast (üksusest) tulev ülekande jaotatakse üle kogu siini mõlemas suunas ja seda võivad vastu võtta kõik üksused. Andmed kantakse üle pakettidena, mis sisaldavad vastuvõtva jaama aadressi, saatja aadressi ning muud infot.

Siinitopoloogia puuduseks on see, et võimalike signaalimoonutuste vältimiseks ei tohi tööjaamade vahekaugus teineteisest või magistraalliinist ületada maksimaalset lubatud kaugust. Veel enam, see võrk ei võimalda lihtsat diagnostikat. Siinitopoloogia ei võimalda võrgusisest andmekaitset, kuna kõik ülekanded tehakse mööda ühist magistraalliini, võimaldades seega igal võrgukasutajal autoriseerimata ligipääsu süsteemi (Rashidov ja Jordanov, 2011).

### Ring-topoloogia

Selles topoloogias ühendatakse üksus otse järgmise üksuse külge ja viimane üksus esimese külge (Joonis 2.86, paremal). Sellisel moel saavutatakse ringikujuline füüsiline ühendus. Kõik üksused ringis on ühendatud repiiterite abil. Sõnumeid kantakse jaamast jaama ainult ühes suunas. Ring-topoloogia võrgud kontrollivad, kas edastatud sõnumid jõuaksid sihtpunkti. Iga kord, kui üksus võtab vastu sellele adresseeritud sõnumi, kopeeritakse see ja saadetakse saatjale tagasi lipuga, mis kinnitab vastuvõtmist. Iga kindla üksuse poolt saadetud pakett saadetakse edasi järgmisele ringis asuvale üksusele. Kui pakett jõuab sihtpunkti, siis see salvestatakse ja see jätkab liikumist mööda ringi. Pakett eemaldatakse ringist selle üksuse poolt, mis selle saatis.



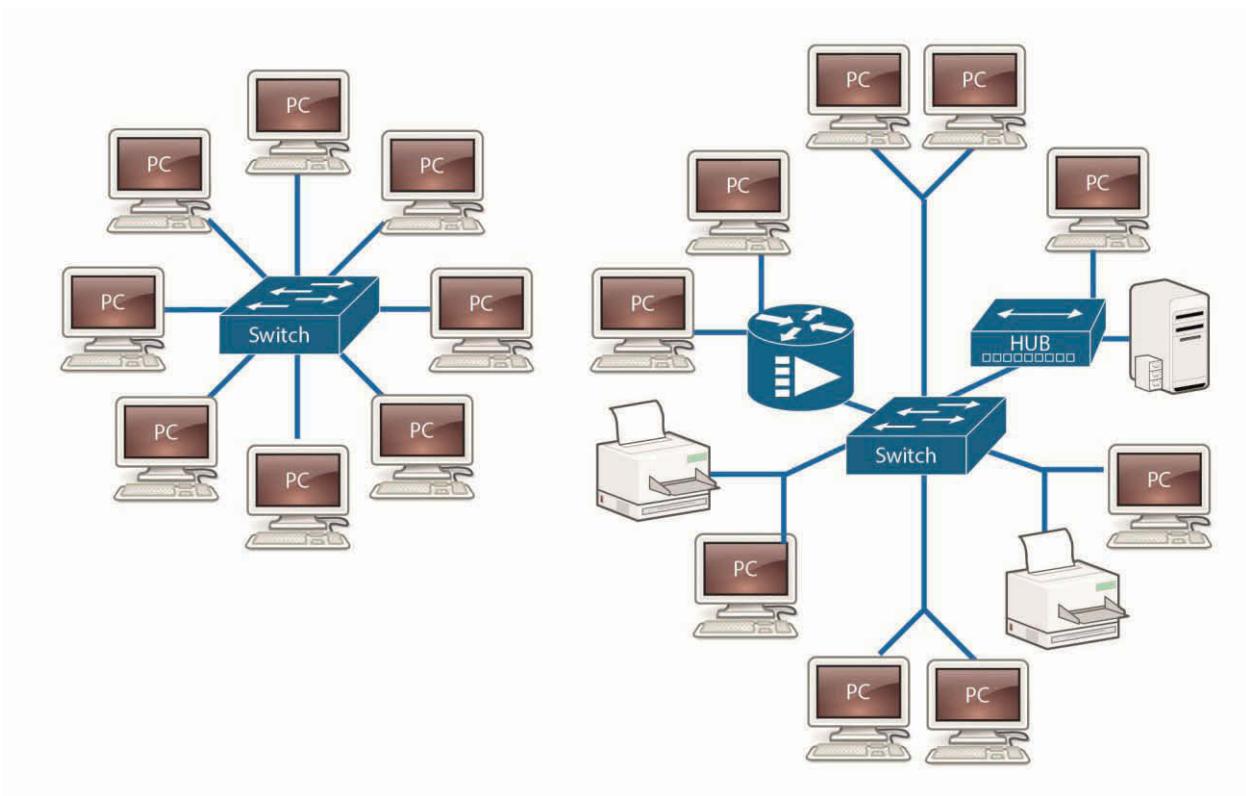
**Joonis 2.86.** Siinitopoloogia ja ring-topoloogiaga võrk

Ring-topoloogia probleemiks on kõigi tööjaamade võrdne võimalus pääseda võrku. Individuaalseid ring-topoloogia võrke on võimalik ühendada ühiseks ring-topoloogia võrguks sildade abil, mis edastavad andmeid ühest ringist teise. Algselt ehitatud ring-topoloogia võrku on väga raske lisada uusi tööjama, kuna see eeldab kõigi võrgus toimuvate operatsioonide seiskamist, et lisada uus tööjaam, teha vajalik kaabeldus ja seadistus.

### Täht-topoloogia

Täht-topoloogia puhul on iga tööjaam (joonis 2.87, vasakul) ühendatud keskse sideüksusega (näiteks kontsentraator/jaotur) kahe ühesuunalise ühenduse abil (üks edastamiseks ja teine vastuvõtmiseks). Sideüksus võib olla passiivne (see jaotab sisendsignaale väljundliinidele) või aktiivne (see võtab vastu sisendsignaale ja edastab need väljundliinidele). Täht-topoloogiatega spetsiifiliseks eeliseks on see, et mõned üksused võrgus võivad omada suuremat prioriteeti kui ülejäänud. Sel viisil on sideüksus võimeline kontrollima kõrgema prioriteediga tööjaamadest tulevaid sõnumeid enne teiste üksuste päringute vastuvõtmist. Seda kasutatakse võrkudes, kus mõni tööjaam peab saama oma päringutele kohe vastuse. Lisaks eelnevale võimaldab täht-topoloogia kasutada tsentraliseeritud diagnostikat. Kuna kõik sõnumid saadetakse sideüksusele, siis ei ole keeruline analüüsida individuaalsetelt tööjaamadelt tulevaid sõnumeid. See konkreetne topoloogia lubab lisada sidevõrku uusi tööjama ja analüüsida detailselt võrgu jõudlust. Täht-topoloogia peamiseks puuduseks on see, et sideüksuse vea või tõrke korral muutub kogu võrk mittetoimivaks. (Rashidov ja Jordanov, 2011).





**Joonis 2.87.** Täht-tüüpi topoloogia selgitus

### Laiendatud täht-topoloogia

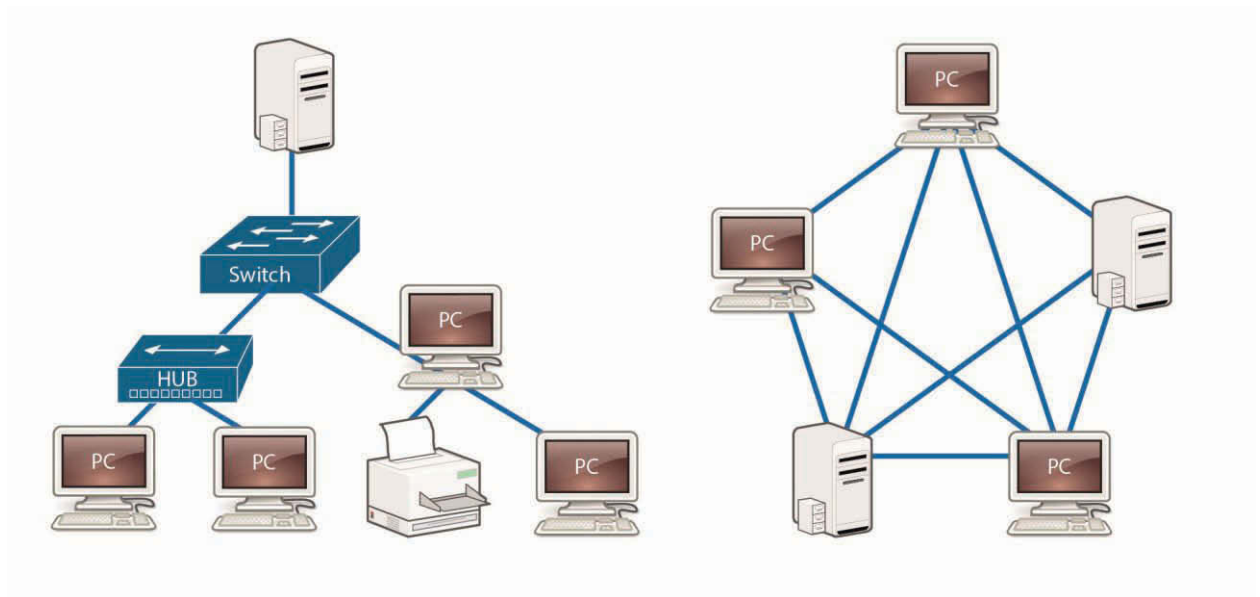
Laiendatud täht-topoloogia (ühendatud tähed) on täht-topoloogia teisend. Seda tüüpi topoloogia puhul on mitmed tähed kaasatud ühisesse konfiguratsiooni (Joonis 2.87, paremal). Laiendatud täht-topoloogia eeliseks on see, et vigane sideüksus ei muuda kogu sidevõrku düsfunktsionaalseks, kuigi lokaalse tähe tööjaamad ei saa kasutada võrguteenuseid.

### Hierarhiline topoloogia

Hierarhilisel topoloogial on mitmeid sarnasusi laiendatud täht-topoloogiaga (Joonis 2.88, vasakul), kuigi tema struktuur on üles ehitatud kui puu (kogu sidesüsteem hargneb allapoole liikudes laiali).

### Silmus-topoloogia

Silmus-topoloogiat (joonis 2.88, paremal) kasutatakse neil juhtudel, kui mõne sideme katkemisel peab võrk edasi töötama. Igal üksusel on oma ühendus mitme teise üksusega. Kui mõne teekonna (sideme) kasutamine ebaõnnestub, siis otsitakse andmetele alternatiivne teekond teiste seadmete kaudu.



**Joonis 2.88.** Hierarhiline (vasakul) ja silmustopoloogia (paremal)

#### 2.4.6. Üksused füüsilise ja loogilise võrgu struktureerimiseks

Sidevõrkudes kasutatakse füüsiliste ja loogiliste struktuuride loomiseks erinevaid sideüksusi. Saadaval on kolme grupi sideüksusi.

##### Passiivsed üksused

Passiivsed üksused on sidevõrgu ühenduspunktid, mis ei muuda sisendisse saabuva signaali parameetreid. See üksuste grupp sisaldab:

- Ühenduspistikud (*Jack couplers*) (Joonis 2.89, vasakul) on passiivsed muhvi-tüüpi üksused, mida kasutatakse võrgukaabli pikendamiseks.



**Joonis 2.89** Pistikühendus

- Seinapistik (*wall plate*) (joonis 2.89, paremal) on ühenduspaneel ühe tööjaama jaoks, millel on tavaliselt üks või kaks porti. Portidesse on võimalik asetada pesasid RJ-45 või RJ-11 tüüpi otsadele.
- Juhtpaneel (*Patch panel*) (joonis 2.89, vasakul) on ühendus- ja jaotuspunkt kaablite korraldamiseks.
- Passiivne kontsentraator/jaotur (*passive concentrator/hub*, joonis 2.90, paremal) on keskne ühenduskolmik või -mitmik, mille abil luuakse seos hulga tööjaamade vahel. See ei sisalda elektroonilisi komponente ega vaja seega elektritoidet. Suvalisse porti saabus sisendsignaal edastatakse kõigisse teistesse portidesse.



**Joonis 2.90** Passiivne konsentraator/jaotur

### Aktiivsed seadmed

Aktiivsed seadmed võimendavad sisendsignaali. Lisaks on need võimelised signaali muutama ühest ülekandemeediumi tüübist teise. Siia kuuluvad järgmised seadmed:

- Ülekandemeediumi konverterid (*transmission medium converters*). Need on tuntud kui adapterid või ülekandemeediumi translaatorid/konverterid, mis konverteerivad võrguliiklust kahe erinevat tüüpi ülekandemeediumiga sidevõrgu segmenti vahel. Näiteks valguskonverter loob ühenduse UTP-kaabelvõrgu ja valguskaabelvõrgu vahel.
- Repiiter. See seade funktsioneerib füüsilisel tasandil, suurendades sidevõrgu kogupikkust. See taastab signaalitugevuse ja parandab impulsi tugevust suurematel vahemaadel. Repiiterid ei filtreeri neid läbivaid signaale, nad ainult regenereerivad signaale, sealhulgas saadetud sõnumeid, müra ja häireid. Nende põhikanduseks on sama võrgu kahe võrgusegmenti ühendamine ja nendevaheliste signaalide võimendamine normaalsele tasemele. Repiitereid on võimalik kasutada mitmete ülekandemeediumidega, kuni nende tüübid ühtivad; siiski ei saa neid kasutada erinevat tüüpi struktuure või ligipääsumetodeid kasutavate segmentide ühendamiseks (Brindfeldt, "Tööstuslikud infovõrgud", 2011).



**Joonis 2.91.** Repiiter

- Jaotur (*hub*). See on mitme sisendiga repiiter, millega luuakse täht-ühendus. Seda iseloomustavad tehnilised spetsifikatsioonid ja omadused on järgmised:
  - muudab võrgu füüsilist topoloogiat, kuid mitte selle loogilist struktuuri,
  - ühendab individuaalsed, võrgukaardiga varustatud tööjaamad ühtseks võrguks,
  - võimaldab lisada olemasolevasse võrku uusi füüsilisi tööjaamu,
  - kõik pordid on võrdse prioriteediga,
  - protsessi, mille käigus hub mõned pordid välja lülitab, kui tuvastatakse talitlushäire, nimetatakse segmentatsiooniks,
  - leiab rakendust võrkudes, mis kasutavad UTP kaableid,
  - vastuvõetud andmepakette ei puhverdata, mistõttu on andmevahetuskiirus väike,
  - ei sünkroniseeri teistel kiirustel töötavaid porte.



**Joonis 2.920** Jaotur (*jub*)

### Seadmed võrgu, segmentide ja alamvõrkude konfigureerimiseks

Selliseid seadmeid nagu sillad, *switch*id, ruuterid ja lüüsid kasutatakse sidevõrkude loogiliseks struktureerimiseks (Joonis 2.95).

- Sild (*bridge*. Joonis 2.93). See jagab võrgu loogilisteks segmentideks ja sõnumid edastatakse ühest segmendist teise üle silla pordi, kui vastuvõtja unikaalne võrguaadress (MAC) kuulub vastavasse segmenti. See seade sisaldab mõlema segmendi üksuste aadressitabelit ja side käib järgnevate sammude jadana:
  - Andmepaketi vastuvõtmisel algatatakse lähteadressi ja sihtaadressi kontroll. Tabelis on esitatud igas segmendis oleva üksuse individuaalne aadress.
  - Kui sihtaadressi ei ole tabelisse kirjutatud, tuleb pakett edastada kõikidesse segmentidesse. Sihtaadressi puudumisel tabelist lisatakse see võimalusel sinna automaatselt.
  - Sild edastab paketi vastavale segmendile, kui sihtaadress on tabelisse kirjutatud.
 Kui lähteaddress ja sihtaaddress on samas segmendis, ei edasta sild andmepaketti teise segmenti.



**Joonis 2.930** Sild

Sildade peamine eesmärk on filtreerida segmentidevahelist liiklust, et vähendada ummikuid suuremate kohtvõrkude puhul. Sillad võivad tegutseda kui eraldiseisvad seadmed või olla osa arvutist. Sillad tegutsevad OSI võrgumudeli kanalikihis – andmepakettide tasandil. Need leiavad rakendust võrkudes, mis on ehitatud konsentraatorite/hubidega, et limiteerida andmepakettide valet edastamist või ühendada kaht eemalasuvat lokaalvõrku üheks. Sarnaselt eraldavad need ühe konkreetse segmendi liikluse ülejäänud osa liiklusest ja tõstavad kogu võrgu mahtu ning kiirust. Kaks lokaalset võrku, mis on silla abil ühendatud, on füüsiliselt küll erinevad, kuid loogiliselt siiski üks võrk.

- Kommutaator (*switch*. Joonis 2.94). See on uuema generatsiooni sild, mis kindlustab informatsiooniedastusel paralleelse töötlemise. *Switch*'i kasutatakse kõige laialdasemalt tööjaamade ühendamiseks täht-topoloogiavõrkudes. See suurendab võrgu andmevahetuskiirust. Välimuselt sarnaneb see hubiga, kuid kommutaator on siiski sellest oluliselt intelligentsem seade. Hub edastab vastuvõetud signaali kõigisse portidesse, *switch*

seevastu filtreerib informatsiooni ning edastab selle ainult sihtseadmetele. *Switch* on mitme pordiga sild ja tegutseb järgneva sammujadana:

- Paketi saabumisel kindlase *switch*i porti kontrollib, kas pakett on korralikult vastu võetud, seejärel viitab oma tabelile, et kindlaks teha, kas selles on vastuvõtja MAC-aadressi kirje.
- Kui MAC-aadress puudub tabelist, edastab kommutaator andmepaketi kõigisse oma portidesse ja saab vastuse sihtseadmelt. Vastavustetabelisse tehakse kirje, mis näitab, milline väljundport sobitati selle konkreetse MAC-aadressiga. Kõik järgnevad sama aadressi kandvad andmepaketid edastatakse otse vastavasse porti.
- Kommutaator edastab paketi otse vastavasse porti, kui on olemas MAC-aadressi kirje. Eksisteerib kolme tüüpi vastuvõtja-aadresse (andmeplokkide edastusviisi): leviedastus (*broadcast*), multiedastus (*multicast*), üksikedastus (*unicast*). Leviedastusaadressi puhul saadetakse pakett kõigisse portidesse, samal ajal kui multiedastusaadressi puhul saadetakse pakett eelnevalt kindlaks määratud portidesse. Üksikedastusaadressi puhul saadetakse pakett ainult ühte porti, mis omakorda tõstab võrgu turvalisust, mahtu ja kiirust.



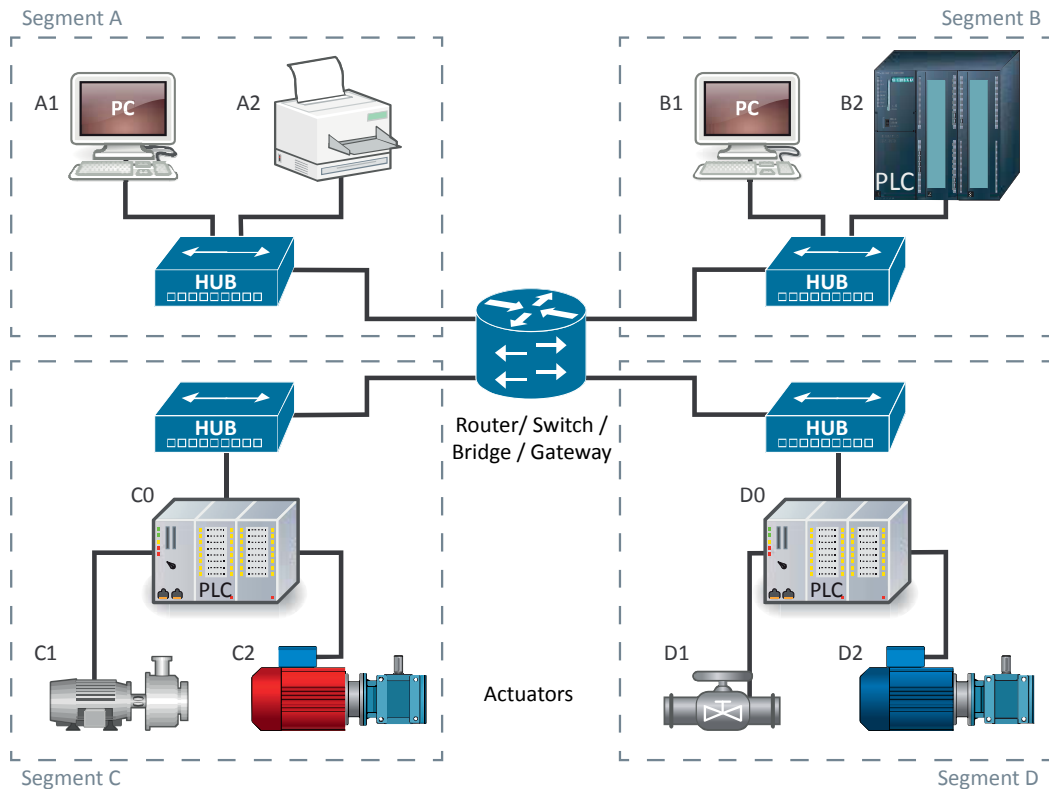
**Joonis 2.940** *Üy kexj* (kommutaator)

*Switch*i eri tüüpe eristatakse sõltuvalt sellest, millist OSI mudeli võrgukihti need tegutsemiseks kasutavad. Tavapärased *switch*id töötavad OSI mudeli teise kihi baasil. Kõrgema klassi kommutaatorid töötavad OSI mudeli kolmanda ja neljanda kihi baasil. Need *switch*id toimivad sarnaselt ruuteriga. Tavaliselt on nende ühendus limiteeritud ühe MAC-aadressiga ja ühenduse ülekandekiirus on ka limiteeritud.

Teised *switch*i spetsiifilised tunnused on järgmised:

- Iga pordi jaoks on spetsiaalne protsessor, mis töötleb sissetulevaid andmepakette (kaadreid) ülejäänud portide protsessoritest eraldi.
- Võimaldab igal tööjaamal edastada andmeid üle ülekandemeediumi ilma teiste tööjaamadega konkureerimata.
- Kontrollib sellesse ühendatud seadmete MAC-aadresse.
- Tõlgib andmepakette ühest standardist teise (näiteks Ethernetist FDDI-sse).
- Lingib (ühendab) mitmed eraldiseisvad seadmed ja võrgusegmenid, millest igatüüpi võib olla veel sellesse ühendatud terminale.
- Puhverdad andmed (salvesta-ja-edasta) enne vastuvõtja ühendusparameetrite tuvastamist.

- Kommutaatorid suhtlevad omavahel täisdupleks-režiimis, mis võimaldab andmeid edastada ja vastu võtta samaaegselt, kokkupõrketa.



**Joonis 2.95** Ruuter ja *switch* võrgusegmentide vahel

- Ruuter on eraldiseisev seade, mida kasutatakse infopakettide jaotamiseks erinevate võrkude või võrgusegmentide vahel. Ruuterina saab kasutada ka tavalist arvutit. Erinevalt hubidest, sildadest ja madalama taseme *switch*'idest töötab ruuter OSI võrgukihi IP-aadressidega, mitte MAC-aadressidega. Sillaga võrreldes isoleerib ruuter liiklust efektiivsemalt, kasutades individuaalsete sõlmede aadresse. Kui võrgus lingitakse kindel seade ruuteri abil, jääb selle MAC-aadress varjatuks. Ruuterid saavad valida parima otsetee kindlale aadressile võimalike olemasolevate marsruutide hulgast. Ülekandemarsruudi määramiseks ja andmepakettide edastamiseks kasutab ruuter enda marsruutimistabelit, millesse on salvestatud teiste ruuterite IP-aadressid. Ruuter genereerib selle tabeli ise, kogudes vastavat infot, muutuste ilmumise korral aga uuendab tabelit teiste ruuterite abil.

Ruuteri poolt tehtavat tööd (joonis 2.95) saab illustreerida järgneva näitega.

Võrk A koosneb seadmetest A1 ja A2. Võrk B koosneb seadmetest B1 ja B2. Mõlemad võrgud on ühendatud ruuterite abil. Kui andmed saadetakse seadmest A1 seadmesse A2, ei edasta ruuter pakette võrku B. Sel viisil on võrgu B liikluse ülekoormamine limiteeritud. Juhul kui saadetakse andmed seadmest A1 seadmesse B1, edastab ruuter andmed võrku B, kus andmed tuleb vastu võtta seadme B1 poolt.

Ruuteri kasutamine ühendusseadmena vähendab võrguliiklust individuaalsete võrkude vahel ja parandab kohtvõrgu turvalisust.

- Lüüsid (*gateways*). Lüüs ühendab kahte kohtvõrku ning globaalseid võrke, mis ei ühildu ligipääsuprotseduuride ja protokollide poolest (näiteks DeviceNet ja CANopen). Lisaks sellele eristab ja tuvastab ta erinevate võrkude liiklust kummalgi pool lüüsi. Kõige sagedamini kasutatakse lüüse kohtvõrgu linkimiseks globaalsesse võrku või kahe eemalasetsitava kohtvõrgu linkimiseks üle globaalse võrgu.

## 2.4.90 Võrgumudelid

Mitmed töötlemise, juhtimise, kodeerimise ja muud võrguside andmeüksuste protsessid eeldavad kommunikatsiooniprotsessi läbimise erinevate etappide (kihtide) ja faaside kirjeldamise (modelleerimise) formaliseerimist.

### OSI võrgumudel

OSI võrgumudel kirjeldab baasarhitektuuri, mis jaotab võrguside andmepakettide vahetamiseks seitsmes iseseisvas kihis (Joonis 2.96). See on välja töötatud Rahvusvahelise Standardiorganisatsiooni (*International Standards Organization*, ISO) poolt. OSI võimaldab **süsteemidel** omavahel suhelda (Rashidov ja Jordanov, 2011).



**Joonis 2.96** ISO-OSI viitemudeli kihid

Seda standardit kasutavad võrguseadmete tootjad seadmete, operatiivsüsteemide ja protokollide loomisel, sellel on järgmised spetsiifilised tunnused:

- Iga kiht suhtleb külgnevate kihtidega ainult standardiseeritud protokollide abil.
- Igale kihile on omistatud spetsiifilised funktsioonid; kiht pakub liidest ja teenuseid ülemisele kihile ja sarnaselt kasutab ise alumise kihi teenuseid.
- Kihte eraldatakse liideste järgi.
- Enne seda kui andmed saadetakse ühest kihist teise, jagatakse see andmepakettideks – eed on infoüksused, mida edastatakse ühtsena ühest seadmest teise.
- Võrgutarkvara edastab andmepaketid jadamsi ühest kihist teise, teostades igale paketi-kihile lisavormindamist või adresseerimist.
- Kasutajapoolel käib andmepakett läbi kihtide tagurpidises järjestuses; iga kiht eemaldab ülekande ajal selle kihi poolt lisatud lisainfo. Kui andmepakett jõuab rakenduskihti, eraldatakse täielikult aadressinfo.
- Rakenduskiht (7). See on mudeli kõige ülemine kiht, mis töötab vahendajana tarkvararakenduste ja võrguteenuste vahel. Sellel töötavad protokollid nagu HTTP, FTP, Telnet, SMTP, POP3, IMAP4, SNMP. Kihi põhiülesandeks on juhtida üldist võrgu ligipääsu, andmevoogusid ja vigade parandamist. Selle kihi spetsiifilised tunnused on järgmised:
  - Kasutajatel on otsene ligipääs.
  - Lülitab sisse programmi seadmed ja töödeldavad andmed, mis tõenäoliselt vahetavad infot teiste tööjaamadega.

- Igale sõnumile lisatakse päis, luues sellega informatsiooni struktuuri, mis identifitseerib edastava ja vastuvõtva tööjaama.
- Esitluskiht (6). See määrab kindlaks andmevahetuse formaadi. Siin esitatakse andmed universaalsetes andmepakettides. Vastuvõtja poolel konverteeritakse andmed universaalsetest andmepakettidest vastuvõtva jaama esitluskihi poolt kasutatavasse formaati. Selle kihi tunnusteks on:
  - Esitluskihi sõnumid muudetakse edastamiseks ja vastuvõtjale arusaamiseks mugavasse formaati.
  - Võimaldab andmete pakkimist, andmete krüpteerimist autoriseerimata ligipääsu ärahoidmiseks ja protokollide transleerimist, et võimaldada erinevate seadmete ja operatiivsüsteemide vahelist sidet.
  - Igale sõnumile lisatakse päis, mis sisaldab infot pakkimise ja krüpteerimise meetodite ning andmete kirjutamise formaadi kohta.
- Seansikiht (5). See kiht loob seansikanali kahe võrguseadme vahel. Programmide vahel on iga seansi jooksul dialoog. Seansid võimaldavad kahesuunalist sidet täisdupleks-režiimis või pooldupleks-režiimis. Ühendusmeetod on kirjutatud seansikihi päisesse. Seansikiht juhib ja sünkroniseerib andmeülekannet ning kaitseb ülekandekatkestuste eest. Seansikihi protokollide hulgas on sellised liidesed nagu Network Basic Input/Output System (NetBIOS), Berkeley UNIX soklid (Sockets), Windows Sockets (Winsock).
- Transpordikiht (4). See teostab andmepakettide transporti täpses jadas ilma vigade ja kadudeta. Lisaks on see kiht võimeline liiklust optimeerima, ühendades eelnevaid mittetäielikke andmepakette. Sellel kihil töötavad transpordiprotokollid nagu TCP, UDP ja domeeni-nimesüsteemi (DNS) teenus. Transpordikihi omadused on järgmised:
  - Kindlustab andmeedastuse kaitse.
  - Valmistab ette kontrollsummad, mis võimaldavad tuvastada ja parandada andmeedastuse ajal tekkivaid vigu.
  - Arhiveerib ülekantud andmed vea ilmnemise korral edastamiseks.
  - Lisab sõnumi päisesse kontrollsumma ja andmepaketi positsiooni andmed.
  - Vastuvõtvas jaamas pakib andmepaketid lahti ja korrastab need algsesse järjekorda, millele järgneb nende vastuvõtmise kinnituse saatmine.
- Võrgukiht (3). See adresseerib sõnumid ja määrab kindlaks marsruudi, mida mööda andmepaketid kantakse üle lähtejaamast sihtjaama. Aadressid lisatakse sõnumitele päisevormis. Kiht jälgib liiklust ja juhib andmeprioriteete (teenuse kvaliteet, *Quality of Service*, QoS). IP-protokoll ja ruuterid töötavad antud kihi baasil.
- Kanalikiht (2). See kiht saadab andmekaadreid (sõnumeid) võrgukihilt füüsilisele kihile. See koosneb kahest alamkihist: meediumpöörduse juhtimiskiht (*Media Access Control*, MAC) ja loogilise lüli (ühenduse) juhtimiskiht (*Logical Link Control*, LLC). MAC eraldab tööjaamadele ligipääsu operatiivmeediumile ja defineerib MAC-aadressid. LLC määrab kindlaks loogilise struktuuri. Vastuvõtja poolel pakib andmelülikiht füüsilise kihi järjestikbitid andmekaadrite formaati.

Iga kaadri saatmisele järgneb selle saabumise kinnituse genereerimine. Kaadrid, mille kohta ei ole vastuvõtmise kinnitust või mis on viga saanud, edastatakse uuesti. Sild- ja kommutaator-seadmed töötavad kanalikihi baasil.

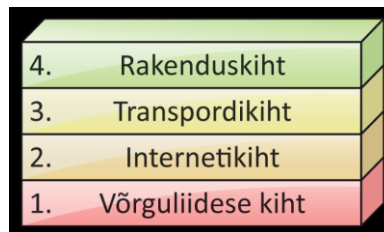


- Füüsiline kiht (1). See kiht pakub kaadrites baitide ja bittide krüpteerimist elektriliste või valgussignaalide moel, nagu ka nende edastamist võrgumeediumile (kaabel). Lisaks teostab see järgnevaid põhifunktsioone:
  - Defineerib kaablite ühendamisviisid võrgujaamade väljundterminalidesse.
  - Defineerib andmeedastustehnika mööda võrgukaablit, nagu ka andmekrüpteerimise ja bittsünkroniseerimise.
  - Määrab ära iga biti kestuse ja selle, kuidas bitid muudetakse vastavaks elektriliseks või valgusimpulsiks võrgukaabli jaoks.

Sellel tasandil opereerivad seadmed on võrgukaardid, kordistajad (*doubler*), kontsentraatorid ja konverterid. Füüsilises keskkonnas edastatakse signaale.

### DoD mudel

DoD (*Department of Defense*) võrgumudel töötati välja USA kaitseministeeriumi poolt enne OSI mudelit. See töötati välja koos TCP/IP protokollidega osana ARPAneti projektist. Seetõttu tuntakse DoD ka TCP/IP mudeli nime all. DoD koosneb neljast kihist (Joonis 2.97).



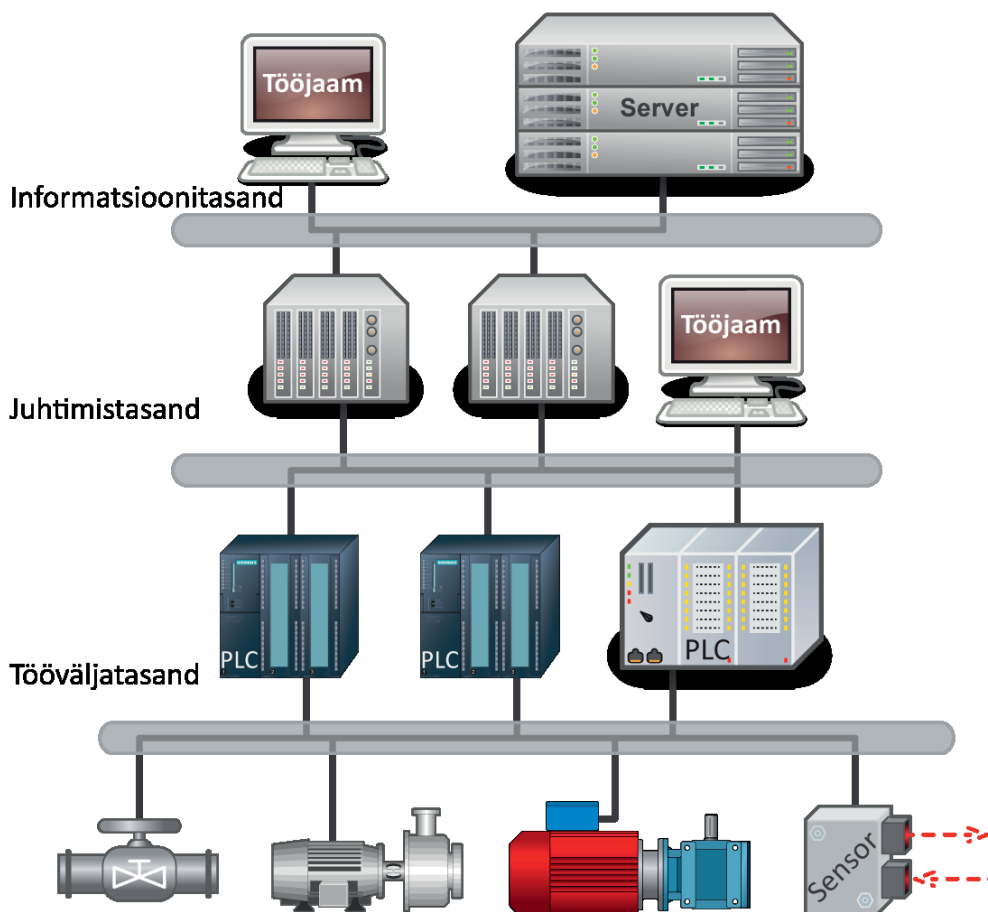
**Joonis 2.97** DoD viitemudel

DoD koosneb neljast kihist (Rashidov ja Jordanov, 2011):

- Rakenduskiht (*application layer*) – mudeli kõige kõrgem kiht, mis täidab OSI mudeli kolme kõrgema kihi funktsioone.
- Transpordikiht (*transport layer*) – vastab OSI mudeli transpordikihtile.
- Internetikiht (*internetworking layer*) – vastab OSI mudeli võrgukihile.
- Võrguliidese kiht (*network interface*) – vastab OSI mudeli kanali- ja füüsilisele kihile.

### Tööstuslike tööväljavõrkude struktuur

Tööväljavõrgud paiknevad tööstuslike süsteemide teostuse hierarhia kõige madalamal tasemel ja neid rakendatakse tootmise juhtimises, täpsemini öeldes toodete valmistamise juhtimises (Joonis 2.98). Nende peamine eesmärk on kanda andmeid terminali tööväljaseadmete (andurid, juhtelemendid jms) ning tööstuslike süsteemide kõrgemate hierarhiatasemete funktsioonide teostamiseks rakendatavate seadmete (PLC, töö- ja operaatorjaamad) vahel. Tööväljavõrkusid iseloomustab struktuuri lihtsus, kõrge andmeedastuskiirus, paindlikkus ja sellesse kuuluvate komponentide madal hind. Lisaks hõlbustavad nad olulisel määral võrgusidega automaatsete juhtimissüsteemide diagnoosimist ja häälestamist. Tööväljavõrkude häälestus võimaldab erinevate tootjate seadmete integreerimist (Rashidov ja Jordanov, 2011).



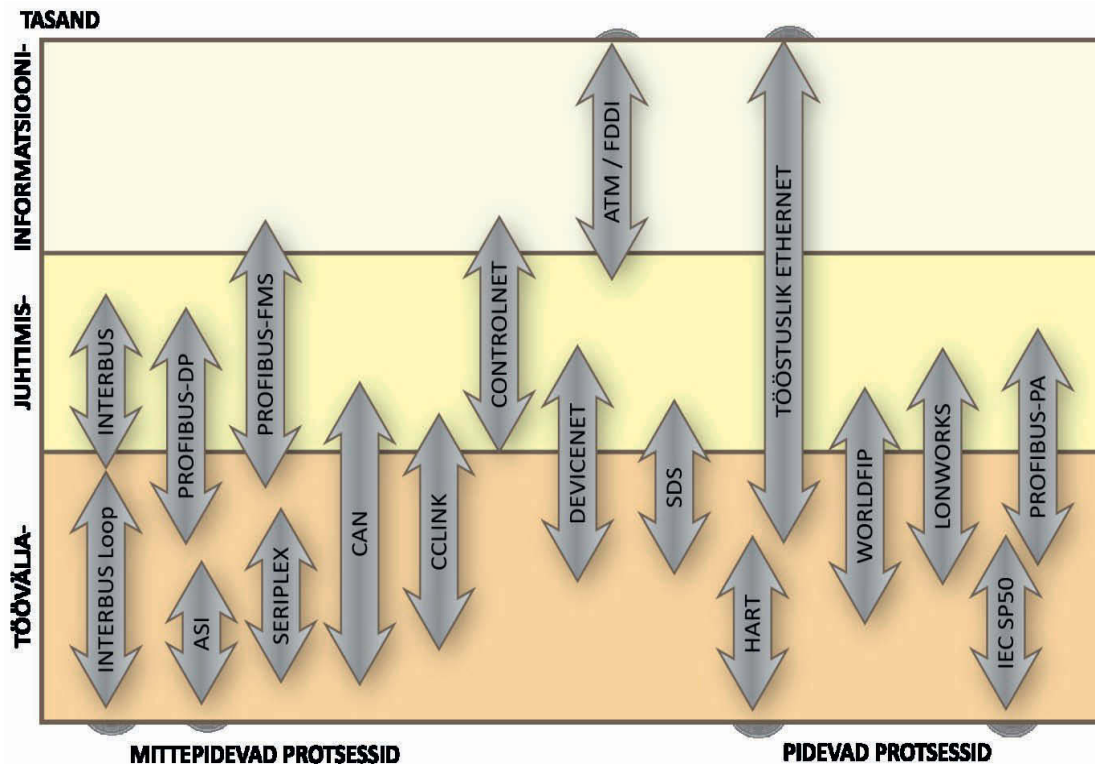
**Joonis 2.980** Tööväljavõrk toimib tööstussüsteemide teostuse hierarhias tööväljatasandil

Kuigi suuremat osa omaks võetud tööväljavõrkude spetsifikatsioonidest on algselt arendatud kui ühe ettevõtte toodet, on täna automatiseerimisseadmete tootjad ühinenud mitmetes organisatsioonides, mis toetavad ühe või teise töövälja kommunikatsioonistandardit. Selle põhjuseks on fakt, et parem ühilduvus, jõudlus ja odavus tööväljakommunikatsioonis ehk seadmetevahelises andmevahetuses kindlustab suurema turuosa. Hoolimata sellest et tööväljavõrgud on avatud (toimivad standardsete protokollide järgi), näitab praktika, et sageli erinevate tootjate seadmed ei tööta ühes võrgus.

Tööväljavõrkude seadmete kokkusobivuse määravad nende seadmete omadused:

- erinevad diagnostikafunktsioonid,
- erinevate seadmete sidumine põhikaablitega ja neist eemaldamine ilma ülejäänud sõlmede vahelist kommunikatsiooni segamata ning elektrivoolu välja lülitamata,
- automaatne seadmete konfigureerimine ilma spetsialiseeritud seadmeid ja tarkvara kasutamata,
- seadmete standardiseeritud profiilide kasutamine,
- seadmete füüsilise võrkuühendamise standardiseeritud mehhanismid,
- enesediagnoosimise funktsioonid,
- ettemääratud funktsioonid kriitilise seisundi tuvastamiseks.

Joonis 2.99 esitab valiku tööväljavõrke, vaadates nende rakendamist erinevate tootmistehnoloogiaprotsesside juhtimissüsteemides.



Joonis 2.990 Tööväljavõrkude tüübid ja kasutusvõimalused

Tööväljavõrkude rakendamisel tuleks järgida alltoodud tingimusi:

- erinevate tootjate poolt tehtud seadmete kokkusobivus ja vahetatavus,
- tööväljaterminalid peaksid automaatsetes juhtimissüsteemides toetama kiiret võrgusidet,
- võimalik kiiresti paigaldada ja häälestada,
- paindlik komponentide valik,
- terminalidel on intelligentne enesediagnostika,
- süsteeme saab paigaldada kuni 1000 m füüsilise jaotuse/paigutusega,
- kaabliga ühendatavate seadmete piiratud arv.

### Tööväljavõrkude funktsionaalsus

Tööväljavõrgud täidavad võrgusidena tootmise automaatsetes juhtimissüsteemides järgmisi funktsioone:

- andmete edastamine terminalide vahel nagu loogikakontrollerid, täiturid, sensorid jne,
- seadmete konfiguratsiooni puudutava lisainformatsiooni edastamine.

Tööväljavõrkude oluline omadus on võimalus ehitada avatud (ehk standarditele vastavaid) süsteeme, kuna puudub vajadus võrgustruktuuri keske juhtimise järgi.

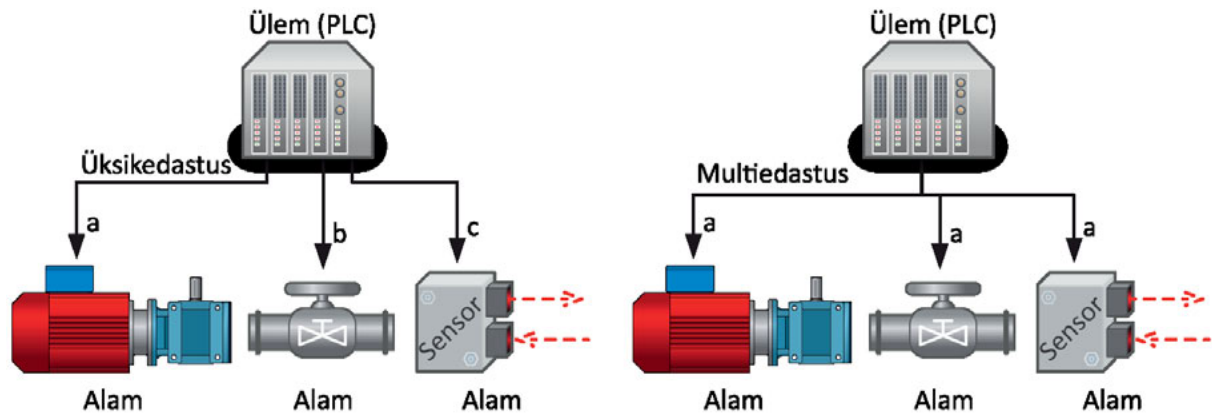
### Tööväljavõrkudes kasutatud informatsiooniülekanemismeetodid

Tööväljavõrkude ülekandemeetodid võimaldavad edastada informatsiooni ühele või mitmele sõlmele võrgus. Informatsiooni võrgustamise baasüksused on kaadrid, andmepaketid ja datagrammid. Kaader koosneb bittide ja baitidega tööväljadest ja seostatakse OSI mudeli füüsilise kihiga, kusjuures andmepakett seostatakse selle mudeli kõrgemate kihtidega.

Tööväljavõrkude informatsiooniülekanndemeetodid on järgmised:

- Üksikedastus (*unicast*, üks ühele)

Selle meetodi puhul edastatakse andmepakett saatjalt ühele vastuvõtjale (joonis 2.100).



**Joonis 2.100** Üksikedastuse ja multiedastuse selgitus

- Multiedastus (*multicast*, üks mitmele)

Multiedastusmeetodi puhul edastatakse andmepakett saatja poolt saajate hostile võrgus. Saatja adresseerib andmepaketi, kasutades saajate multiedastusaadressi, mispeale see saadetakse üle võrgu igale multiedastusaadressis olevale saajale.

- Leviedastus (*broadcast*, üks kõigile)

Leviedastusmeetodi puhul edastatakse andmepakett kõigile võrgus asuvatele seadmetele. Saatja adresseerib paketi, kasutades leviedastusaadressi, mispeale saadetakse see üle võrgu kõigile seadmetele.

### Tööväljavõrkudes kasutatavate seadmete klassid

Tööväljavõrkudes jaotatakse seadmed järgmisteks klassideks:

- Ülemseadmed

Ülemseadmed määravad andmevahetusmeetodid võrgus ja täidavad juhtimis- või informatsiooni juhtimisfunktsioone. Need on aktiivsed seadmed, mis saadavad võrgus sõnumeid ilma eelnevate päringuteta, juhul kui neil on autoriseeritud ligipääsumarker antud võrku.

- Alluvseadmed

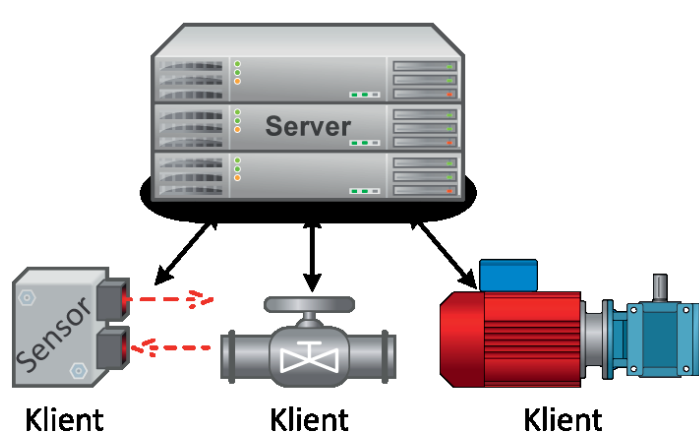
Alluvseadmed on võrgusidega automaatsete juhtimissüsteemide terminalid: töövälja testrid/meetrid, muundurid, täiturid, sisend/väljundmoodulid, mõõtmisseadmed. Need on passiivsed seadmed, millel on piiratud juurdepääs võrku; nad kinnitavad vastu võetud või edastatud sõnumid juhtseadmetelt.

## Tööväljavõrkude kommunikatsioonimehhanismid

Kommunikatsioonimehhanismid määravad seadmetevahelised loogilised ühendused, kommunikatsiooniprotokollid ja ühendused seadmetes asuvate objektide vahel. Tööväljavõrkudes kasutatakse kõige sagedamini järgmisi kommunikatsioonimehhanisme:

- Klient/server

See on kaasaegsetes arvutivõrkudes põhiline kommunikatsioonimudel. Server jagab siin ressursse ja vastab klientide päringutele. Kliendid kasutavad serveri ressursse. Kliendil peaks olema oma ressursid, et käivitada rakendused, mis kasutavad serverilt saadavaid andmeid. Üsna tihti on mõned kliendi ja serveri osad arvutivõrkudes vahetatud, tehes sellega ülemseadmed klientideks, samal ajal kui alluvseadmed on võrgus serverid. Ülemseadme funktsiooni saab täita vaid hajusjuhtimissüsteem (DCS), programmeeritav kontrolleri või personaalarvuti (PC) (Joonis 2.101). Alluvseadmed on toorandmete allikad (tööväljatestrid, andurid, mõõtmisüsteemid) teistele seadmetele nagu täiturid, kaugsisend/väljundmoodulid. Kommunikatsioon võrgus algatatakse ülemseadme poolt, mis üritab võtta ühendust ühe või mitme alluvseadmega. Pärast tuvastusprotsessi konfigureerib ülemseade alamseadmed vastavalt neilt saadud informatsioonile nende kasutust arvestades. Töö ajal juhib ülemseade alluvseadmeid ja sellel on nende üle täielik kontroll, kuni otsustab oma ühenduse nendega katkestada (Rashidov ja Jordanov, 2011).



**Joonis 2.101.** Klient-server topoloogia

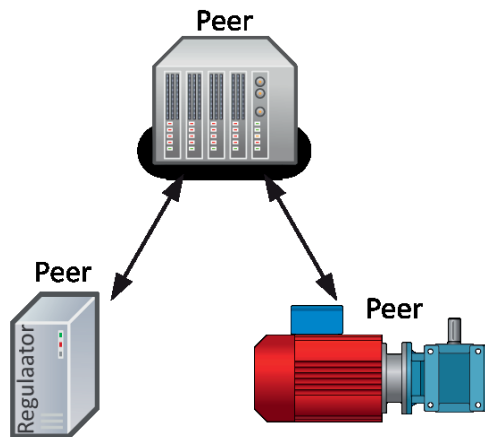
Selle mehhanismi oluliseks eeliseks on võrguandmete lihtsustatud käsitlemine; suurem osa andmetest on koondatud ülemseadmesse. Andmete ja kogu võrgu turvasüsteem on samuti lihtsustatud. Selle oluliseks puuduseks on, et kogu võrgu töövõime võib ülemseadme kahjustuse korral ohtu sattuda.

- Võrdõiguslik (*peer-to-peer*)

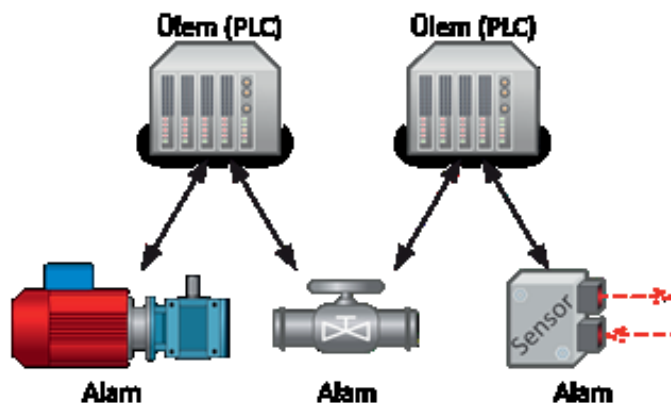
Selle kommunikatsioonimehhanismi tüüpiline omadus on, et kõik võrku ühendatud seadmed on võrdväärsed ja võivad funktsioneerida samaaegselt nii alluvana kui ka ülemana (Joonis 2.102). Võrdõiguslikkust kasutatakse identifitseeriva informatsiooni vahetamiseks alluv- ja ülemseadmete vahel ja see leiab rakendust tööstuslikes võrkudes nagu Profibus-FMS, LonWorks, WorldFIP.

- Mitmik-ülemseadmed (*multi-master*)

Seda kommunikatsioonimehhanismi kasutatakse juhul, kui mitu ülemseadet vajavad ligipääsu andmetele, mis asuvad ühel ja samal alluvseadmel (Joonis 2.102). Igal suvalisel ajahetkel saab ainult üks ülemseade juhtida ja konfigureerida mitme ülemseadme alluvuses olevaid alluvseadmeid.



**Joonis 2.1020** Võrdõiguslik andmevahetus võrku ühendatud seadmete vahel



**Joonis 2.1030** Mitme ülemseadme andmevahetus alluvseadmetega toimub ajajaotuse režiimis

Mitmik-ülemseadmetega mehhanism kasutatakse tööstuslikes võrkudes nagu Profibus-DP, DeviceNet jne.

- Pollimine (*poll*)

Pollimise korral saadab ülemseade päringu igale alluvseadmele eesmärgiga vahetada nendega andmeid. Alluvseade annab tingimusteta vastuse. See mehhanism ei ole piisavalt funktsionaalne, kuna teised seadmed ei pääse otse andmetele ligi, kuigi neil on neid vaja.

- Impulss, üldlevi (*strobe, broadcast*)

Impulsi/üldlevi puhul saadab ülemseade päringu kõigile alluvseadmetele eesmärgil vahetada nendega andmeid. Sellele päringule saadavad vastuse ainult need seadmed, mis on üldlevisõnumis määratud.

- Otsesõnumid (*explicit messages*)

Otsesõnumeid kasutatakse võrdõigusliku kommunikatsioonimehhanismi puhul. Seda tüüpi sõnumeid võivad genereerida kõik seadmed võrgus, kusjuures vastuvõtja peab saatma kinnituse. Otsesõnumite mehhanismi rakendatakse võrguseadmete esmasel identifitseerimisel, konfigureerimisel ja diagnostikal.

- Killustatud sõnumid (*fragmented messages*)

Killustatud sõnumite mehhanismi tuleb kasutada juhul, kui tekib vajadus edastada sõnumit, mis ületab korraga edastatavat andmemahtu. Selle mehhanismi puhul on andmed jagatud fragmentideks, mis hiljem vastuvõtja pool kokku pannakse, moodustades algse sõnumi.

- Tsüklilised sõnumid (*cyclic messages*)

Tsüklilisi sõnumeid kasutatakse perioodiliseks andmete edastamiseks alluvseadmetelt ülemseadmetele. See mehhanism vähendab võrguliiklust ja ülemseadmete tööd.

- Olekumuutus (*change of state*, COS)

Olekumuutuse mehhanismi puhul on alluvseadmed konfigureeritud nii, et nad saavad andmeid ülemseadmetele ainult siis, kui nende olek/seisund muutub. Ülejäänud ajal kasutavad ülemseadmed viimaseid alluvseadmelt saadud andmeid protsessijuhtimise eesmärgil, vähendades sel moel olulisel määral võrguliiklust.

- Tootja-tarbija (*producer-consumer*)

Tootja-tarbija mehhanismi puhul kantakse informatsioon perioodiliselt üle võrgu, kasutades üldlevimeetodit, kusjuures iga seade saab ilma viivitusega kätte selle osa informatsioonist, mida ta vajab. Iga seade (informatsiooni algataja) kirjutab andmepaketi päisesse ühenduse ID. Peale seda kui andmepakett on saadetud võrku, tuvastab iga seade, mis loeb ühenduse ID, kas see informatsioon on talle mõeldud ja kas ta seda vajab. Paketis on informatsiooni sisu piisav potentsiaalsete vastuvõtjate tuvastamiseks. See mehhanism leiab laialdast kasutust DeviceNet, ControlNet, Fieldbus Foundation spetsifikatsioonides. Tootja-tarbija meetod võimaldab täielikku võrgumeediumi kasutamist ja võrguliikluse vähendamist.

- Allikas-sihtpunkt (*source-destination*)

See mehhanism on alternatiiv tootja-tarbija mehhanismile. Selle puhul saavad alluvseadmed ainult neid andmepakette, mis sisaldavad nende seadmete aadressi. Kui mitu seadet vajavad sama infot, siis tuleb seda edastada mitu korda. Sellised protseduurid on ebaefektiivsed ja võivad põhjustada terve hulga probleeme reaalsajalise sünkroniseerimise ja töötamise puhul, kuna seadmed, mis vajavad identset infot, saavad selle kätte erinevatel ajahetkedel. Allikas-sihtpunkt mehhanismi kasutatakse varasema generatsiooni spetsifikatsioonides nagu Profibus-DP, Modbus Plus ja Interbus S. Kommunikatsioon allika-sihtpunkti mehhanismi puhul on kohmakam kui tootja-tarbija mehhanismi puhul, kuna andmepaketid võrgus sisaldavad lisainfot, mida kasutatakse sõnumi adresseerimiseks ning sama sisuga sõnumeid võidakse saata erinevatele seadmetele.

### **Kaasaegsed tööväljavõrgud**

Allpool vaadeldavad tööväljavõrgud on vaid murdosa tööstuses kasutatavatest tööväljavõrkudest, mis võimaldavad üles seada kaasaegse võrgusidega automaatse juhtimissüsteemi.

- AS-liides (*AS-Interface*) on üks kõige lihtsamatest tööväljavõrkudest. Seda kasutatakse elementaarsete sisend/väljundfunktsioonidega terminalide ühendamiseks.
- CAN liides (*CAN Interface*) on jadakommunikatsioon tööstuslikes rakendustes, mis põhineb ISO-11898 standardil. Võimaldab turvalist ja kõrge täpsusega andmeedastust.
- *DeviceNet* – majanduslikult efektiivne võrgulahendus, kus kontrollid ja tööstuslikud tööväljaseadmed on otseühenduses ilma tavapärase madalama taseme sisend- ja väljundkaabelduse vajaduseta.
- *Profibus* – avatud standardil baseeruv tööväljavõrk, mis on laialt rakendatav tootmise automatiseerimises. See võimaldab kasutada programmeeritavaid hajutatud intelligentsusega kontrollereid jagatud võrgus.
- *Modicon Modbus Plus* – deterministlik tööväljavõrk klient/server kommunikatsiooniga ja kõrge andmevahetuskirusega kontrollereid ja terminalide vahel.
- *HART* – kõige laialdasemalt kasutatud automatiseerimisvaldkonna tööväljavõrk, mis hõlmab kõiki tööstusalasid, sealhulgas energiatehnikat, naftakeemiat jne. See võimaldab edastada samaaegselt digitaal- ja analoogsignaale ning kasutada kõrgendatud turvalisusega võrkusid püsivalt ja ohtlikus keskkonnas.

- *LonWorks* – võrdõigusliku andmevahetusega tööväljavõrk (standardiseeritud), mida kasutatakse suure hulga terminalidega süsteemides.
- *Interbus* – määratleb ring-topoloogiaga tööväljavõrgud andmete edastamiseks.
- *BACnet* – kasutatakse peamiselt ehitusautomaatikas.
- *SERCOS* – tööväljavõrk kiireks andmevahetuseks optilisel kandjal; see on loodud multikoordineeritud elektriagamite juhtimissüsteemide jaoks.
- *Allen-Bradley Data Highway Plus (DH+)* – kasutatakse kiire kommunikatsiooniga Allen-Bradley kontrollerite juures.
- *General Electric Genius I/O, Allen-Bradley Remote I/O* – see on mõeldud eelpool nimetatud tootjate sisend/väljund kaugmoodulite ühendamiseks ülemseadme(te)ga.
- *FOUNDATION Tööväljasiin (fieldbus)* – spetsiaalselt arendatud kõrge tundlikkusega rakendustele, mis vajavad kõrget turvalisustaset ja kiiret andmeedastust. Sobib tööstuslikuks kasutamiseks ohtlikus keskkonnas, kuna selle põhiomaduseks on täpne sünkronisatsioon juhtimise ja side vahel.
- Ethernet/IP – kõige laialdasemalt kasutatav reaalajaline side tööstuslikes rakendustes. Ethernet/IP on tööstuslik laiend Ethernet TCP/IP-le, mida iseloomustab kiire andmeside.

#### 2.4.80 Juhtimistasandi tööstuslikud võrgud

Juhtimistasandi võrgud omavad olulist osa automaatsete juhtimissüsteemide struktuuris. Need esindavad tööstusliku juhtimishierarhia teist kihti ja on lõikumispunktiks kahele kõrvalasuvale tasandile. Sel tasandil viiakse läbi reaalajaline protsesside haldamine ning erinevat tüüpi kontrollerite, personaalarvutite, operaatorjaamade ning programmeerimis- ja diagnostikaseadmete konfigureerimine ja vastastikune andmete vahetamine. Siin toimuv infovoog koosneb peamiselt programmide, parameetrite, andmete ja kontrollerite juhtimisinfo vahetamisest. Eriti lühikeste masinaaegumistega (*timeouts*) protsesside puhul toimub infovoog tootmisprotsessiga samaaegselt ilma katkestusteta. Limiteeritud operatiivse salvestusega kontrollerite puhul on oluline ühe tootmistsükli ajal laadida alamprogramme, mis omakorda tekitab vajaduse sünkroniseerida tootmine ja infovoog. Juhtimistasandi kommunikatsioon on intensiivne väikeste ja keskmiste suurustega andmepakettidega side, mis esitab kõrgemad nõudmised täpsusele, müraimmuunsusele ja etteennustatavusele. Need iseloomulikud omadused on tingitud sellest, et suurem osa edastatavatest andmetest on loodud protsesside juhtimiseks reaalajas. Juhtimistasand ühendab sisend/väljund andmevahetusfunktsioonid ja võrdõiguslikud ühendused individuaalsete programmeeritavate kontrollerite, detsentraliseeritud juhtimissüsteemide ning kasutajaliidesena (*Human Machine Interface, HMI*), möödunud sündmuste arhiivina ja järelvalve teostamiseks kasutatavate arvutite vahel. Sel moel saavutatakse kõrge sidekiirus kõigi seadmetega, mis omavad otsest ligipääsu informatsioonile. Lisaks võimaldavad selle tasandi võrgud mitmete loogikajuhtimise, signaliseerimise ning blokeerimise jaoks tsükliliste ja diskreetsete juhtimisstruktuuride kaasamist. See annab võimaluse oluliselt vähendada juhtmeühendusi ning sarnase standardi raamides kasutada erinevate tootjate poolt toodetud funktsionaalseid blokke. Võrgud põhinevad tootja-tarbija kommunikatsioonimehhanismil. See võimaldab võrgukandja efektiivset kasutamist ja võrguliikluse vähendamist, kuna andmed edastatakse ühekordselt ja kõik sõlmed võivad sõnumit kasutada sõltumatult tarbijate arvust. Võrku on võimalik lisada teisi seadmeid ilma võrgu sünkroniseerimist ja andmete, mida edastatakse samaaegselt kõigile punktile, kahjustamiseta. Juhtimistasandi võrgud hõlmavad veel järgmisi spetsiifilisi omadusi (Rashidov ja Jordanov, 2011):

- võrguside determinism,
- kõrge kiirusega andmeedastusvõime (5-12 Mb/s),
- paindlik sisend/väljundandmete juhtimine,
- lihtsustatud programmeerimine ja automaatne võrgu konfigureerimine,



- erinevate tootjate poolt toodetud sisend/väljundseadmete ja programmeeritavate kontrolleri kasutamine.

Juhtimistasandi tööstuslikud võrgud leiavad rakendust avatud juhtimissüsteemides, kuna pakuvad paindlikke lahendusi tootmise installeerimise ja töötamise protsessis. Sellistele spetsifikatsioonidele vastavad näiteks ControlNet ja Profibus ning veel sagedamini kasutatakse Ethernet/IP.

## 2.4.90 Informatsioonitasandi võrgud

### Informatsioonitasandi võrkude üldised omadused ja nõuded

Informatsioonitasand hõivab võrgusidega automaatse juhtimissüsteemi hierarhias kõige kõrgema kihi. Selle tasandi süsteemi kasutatakse ärilise info vahetamiseks ja haldamiseks. Kõik olulised tootmisprotsesse puudutavad parameetrid kogutakse ja nende väärtused arhiveeritakse andmebaasis, kuna see on vajalik juhtimisotsuste tegemiseks. Informatsioonitasandi võrkusid iseloomustab kõrge läbilaskevõime (kandemaht), need võrgud on mõeldud suurte andmekoguste vahetamiseks. Andmed on edastamiseks ja töötlemiseks sobivale kujule viidud informatsioon. Informatsioonitasandile iseloomulikud probleemid on enamjaolt seotud:

- edastatava informatsiooni kiiruse ja hulga optimeerimisega,
- ülekantavate andmete turvalisusega,
- andmekaitsega autoriseerimata ligipääsu eest,
- ühtse lähenemise puudumisega tööstusliku automatiseerimise rakenduskihi defineerimisel.

Terve hulga võrkude lahendused on kokkusobimatud, kuna need erinevad sidesüsteemi arhitektuuri, rakenduskihi protokollide, objekt-orienteeritud modelleerimise ja süsteemide konfiguratsioonimudelite poolest.

Kõige laialdasemalt kasutatavaks võrguks selle tasandi kaasaegsetes süsteemides on Ethernet. Etherneti tüüpi LAN ja WAN võrkude kasutamine ja Interneti kiire areng on olulised põhjused, miks tööstuslikus automatiseerimises ollakse huvitatud Ethernetist ja TCP/IP/UDP-st. Kiire Ethernet, programmeeritavad kommutaatorid ja täis-dupleks side rakendamine võimaldab sel tasandil seada üles järjest efektiivsemaid informatsiooni- ja juhtimissüsteeme. Tööstuslikus automatiseerimises kasutatavat Etherneti standardversiooni kutsutakse tööstuslikuks Ethernetiks (*Industrial Ethernet*). Mitmed organisatsioonid on ühendanud jõud, et arendada välja üldine tööstusliku Etherneti protokoll. Siiski iseloomustab nende organisatsioonide lahendusi operatsioonide ühildamatus. Mõned populaarsed spetsifikatsioonid (võrgud) on:

- *Ethernet / IP (Open DeviceNet Vendor Association)*,
- *Foundation Fieldbus High-Speed Ethernet (Foundation Fieldbus)*,
- *Interbus on Ethernet (Interbus Club)*,
- *Open Modbus (Modconnect)*,
- *Profinet 1.0/2.0 (Profibus User Organization)*,
- *IDA (IDA Group)*.

### Informatsioonitasandi võrkude reaallajaline toimimine

Mõned kõige olulisemad põhjused, miks Ethernet ei ole võimeline tagama ajaintervalli, mille jooksul süsteem peaks vastama välisele sündmusele, on:

- Suuri andmekirjeid vahetavad seadmed blokeerivad teiste sõlmede (seadmete) ligipääsu võrgule määramatuks ajaks.

- Kahe või enama seadme samaaegsel andmeedastusel tekivad kokkupõrked, mis tõkestavad liikluse kõigisse seadmetesse. Mida suurem arv seadmeid on võrgus, seda suurem on kokkupõrgete tõenäosus.
- Puudub võimalus eristada kõrge ja madala prioriteediga liiklust.
- Puudub garantii minimaalse viitega ühenduskanali loomiseks reaalsajalise andmevahetuse eesmärgi jaoks.
- Sagedusriba on jagatud kontrollimatult, mistõttu tekib vajadus kasutada arbitreerimist.

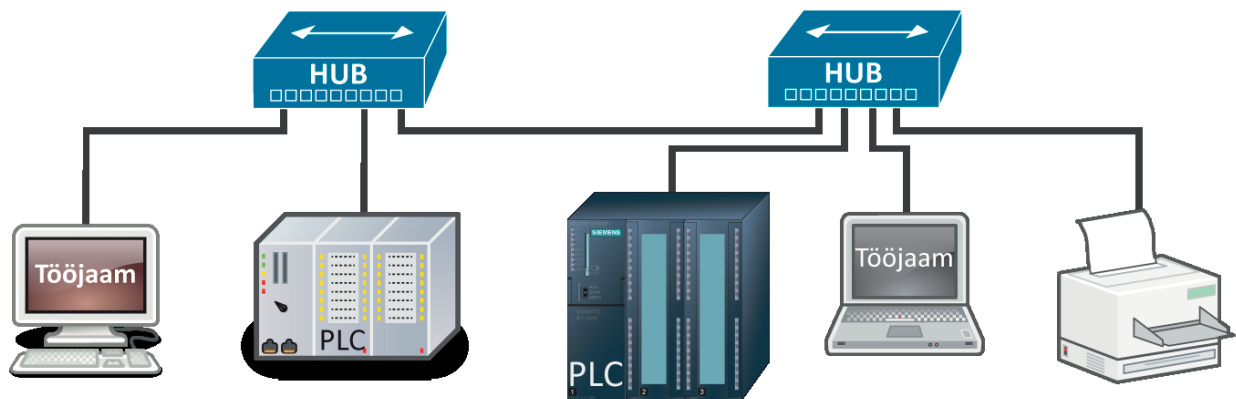
### Informatsioonitasandi võrkudes kasutatavad seadmed

- Suured juhtarvutid, mis võimaldavad juhtida suuri andmehulki ja keerulisi arvutusülesandeid. Need on võimelised haldama sadu ja tuhandeid kasutajaid.
- Operaatortööjaamad ja kasutajaliidesed.
- Sisend/väljundmoodulid ja adapterid.
- Programmeeritavate kontrolleri protsessorid, robotid ja süsteemid.

### Informatsioonitasandi andmevahetuse tüübid

Informatsioonitasandil kasutatakse järgmisi peamisi andmevahetustüüpe.

- Üldise iseloomuga andmete vahetamine:
  - kasutatakse suurte kirjete puhul, mis ei ole ajakriitilised,
  - andmevahetus toimub läbi lühikese elueaga konkreetsete ühenduste,
  - andmepaketid edastatakse TCP/IP protokollide abil ja kasutatakse selle spetsiifilisi töötlemisfunktsioone.
- Sisend-väljundandmed:
  - andmevahetus toimub väikeste ajakriitiliste andmepakettidega läbi pika elueaga kaudsete ühenduste,
  - andmepaketid edastatakse UDP/IP protokollide abil, mille peamiseks eeliseks on UDP suur läbilaskevõime.
- Reaalsajaline sünkroniseeritud tsükliline andmevahetus:
  - sünkroniseerib tsüklilist andmevahetust masina/tootja ja suvalise hulga tarbijate vahel,
  - andmepaketid edastatakse UDP protokollide abil.



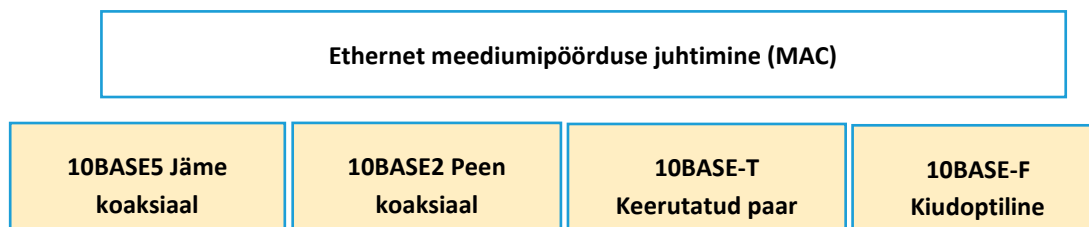
**Joonis 2.1040** Tööstusliku süsteemi infotasandi seadmete ühendusnäide

### Etherneti võrguspetsifikatsioon

Ethernet on Xeroxi, Digitali ja Inteli poolt välja töötatud võrguarhitektuur, mis on leidnud laialdast rakendamist kaasaegsetes arvutivõrkudes. Füüsiliselt on see konfigureeritud kui „siin“ või „täht“ ja kasutab seadmetes ligipääsuks edastusekeskkonnale (meediumile) CSMA/CD protokollit. Etherneti puhul „võistlevad“ seadmed autoriseerimises, et andmeid edastada. See võrguarhitektuur jaguneb andmeedastuskiiruse järgi:

- Ethernet andmeedastuskiirusega kuni 10 Mbit/s (tabel 2.7)
- kiire Ethernet, mis töötab kiirusega 100 Mbit/s (tabel 2.8)
- Gigabit Ethernet, mille kiiruse maht on üle 1 Gbit/s (tabel 2.9).

Standardne Etherneti süsteem töötab andmeedastuskiirusel 10 Mbit/s. Standardiorganisatsiooni IEEE 802.3 standardis on kirjeldatud nelja erinevat signaaliedastuskeskkonna (meediumi) tüüpi ehk tüüpühendussegmenti (Joonis 2.105).



**Joonis 2.105** Signaali edastuskeskkonna tüübid

IEEE määratlus näiteks „10BASE-T“ sisaldab kolm informatsioonisegmenti. Esimene neist, „10“, tähistab andmeedastuse kiirust meediumis, see on 10 Mb/s. Sõna „BASE“ esitab signaalile omase põhiühenduse iseloomu. Segmenti tüüpi või selle pikkust näitab kolmas määratluse osa. Paksu koaksiaalkaabli puhul näitab „5“ segmenti maksimaalset pikkust. Peene koaksiaalkaabli puhul näitab „2“ 200 m või pigem 185 m pikkust ühe segmenti kohta. Täht „T“ tähistab vastavalt keerutatud paaridega kaableid ja „F“ optilisi kiude. Keerutatud paaridega kaabel on kõige enam kasutatud meedium arvutite kokkuühendamiseks sidevõrgus.

**Tabel 2.70** 10 Mbit/s Etherneti omaduste kokkuvõte

	<b>10Base5</b>	<b>10Base2</b>	<b>10BaseT</b>	<b>10BaseF</b>	<b>10Broad36</b>
<b>Edastuskeskkond, meedium</b>	Koaksiaalkaabel DB15	Koaksiaalkaabel RG-58/U (50Ω)	Kaks paari UTP kategooria 3/4	Paar optilisi fiibreid  (λ=850 nm)	Koaksiaalkaabel RG-6  75Ω
<b>Kaabli diameeter</b>	~13 mm	~6 mm	0,4 – 0,6 mm	62,5/125 μm	0,4 – 1,0 mm
<b>Konnektorite tüüp</b>	AUI	BNC	RJ-45, MDI või MDI-X	ST või SC	
<b>Andmeülekanne, kodeerimise viis</b>	Otsene, Manchester	Otsene, Manchester	Otsene, Manchester	Otsene, Manchester	Moduleeritud ülekanne
<b>Füüsiline topoloogia</b>	Siin/puu	Siin/puu	Täht	Täht	Siin/täht
<b>Maksimaalne segmenti pikkus</b>	500 m	185 m	100 m (jaoturist sõlmeni)	2000 m (kontsentraatorist sõlmeni)	1800 m
<b>Sõlmede arv segmentis</b>	100. segasegment	30, segasegment	1024 (kogu võrgus), kakspunkt	1024 (kogu võrgus), kakspunkt	
<b>Maksimaalne kaetud ulatus</b>	2500 m (4 repiiteriga)	925 m (4 repiiteriga)	500 m	2000 m	3600 m
<b>Eelised</b>	Sobilik põhivõrgu jaoks (siiski pole enam kasutusel)	Madal hind	Lihne hooldada	Sobilik eri hoonete vahel kasutamiseks	Pakub maksimaalset ulatust

### Kiire Ethernet (100 Mb/s)

1995. aasta juunis tutvustati 802.3u (*Fast Ethernet*), mis võimaldab andmeedastuskiirust kuni 100 Mbit/s. Standardist on erinevaid versioone, mille omadused on toodud Tabel 2.8

**Tabel 2.8** Kiire Ethernet (100 Mb/s)

	100BaseTX	100BaseFX	100BaseT4
<b>Sidemeedium</b>	Kahe paariga STP või UTP kategooria 5	Kiudoptiliste kiudude paar	Neli paari UTP kategooria 3/5
<b>Maksimaalne kaugus kontsentraatorist sõlmeni</b>	100 m	2000 m	100 m
<b>Eelised</b>	Täis-dupleks kiirusega 100 Mbit/s	Täis-dupleks kiirusel 100 Mbit/s + suuremad kaugused	Kasutab kaablit UTP kategooria 3

100BaseTX standardi puhul kasutatakse keerutatud kahepaarilist juhet (üks vastuvõtmiseks ja teine ülekandmiseks) sõlme ühendamiseks kontsentraatoriga. Samal eesmärgil kasutatakse 100BaseFX standardis ainult ühe paariga kiudoptilist kaablit. 100BaseT4 standard arendati suurema kiirusega andmeülekannete hõlbustamiseks telefonikaablite (UTP, kategooria 3) kaudu; selleks on vaja kasutada nelja juhtmepaari.

### Ülikiire Ethernet "1 ki cdk'Gj gtpgv"

1998. aasta juunis tutvustati 802.3z standardit kiudoptilise kaabli jaoks ja 1999. aasta märtsis võeti kasutusele 802.3ab UTP kategooria 5 kaabli jaoks. Need standardid võimaldavad andmeülekannet kiirusel 1 Gbit/s. Gigabit Etherneti standard on kombinatsioon 802.3 ja ANSI X3T11 fiiberkanali (*Fibre Channel*) standarditest. Tabel 2.9 on esitatud standardi Gigabit Etherneti erinevate versioonide omadused.

**Tabel 2.9** Gigabit Ethernet standardi erinevate variantide võrdlus

	1000BaseCX (802.3z)	1000BaseT (802.3ab)	1000BaseSX (802.3z)	1000BaseLX (802.3z)
<b>Sidemeedium</b>	150 tasakaalustatud STP kaabel (uut tüüpi kaabel)	UTP kaabel, kategooria 5	Paar optilisi multimoodkiude	Paar optilisi multimoodkiude
<b>Maksimaalne kaugus kontsentraatorist sõlmeni</b>	25 m	100 m	500 m	3000 m
<b>Eelised</b>	Halli suurus	Külgnevate hallide ulatus	Ehitise põhivõrguna	Ehitistevahelise põhivõrguna

### Ülekandemeedium

LAN kaablite hulgas on kõige populaarsemaks ülekandemeediumiks UTP (varjestamata keerdpaar) kaabel, mille abil saavutatakse võrreldes koaksiaalkaabliga kõrgem andmeedastuskiirus (Tabel 2.10).

UTP kaableid toodetakse vastavalt nende funktsioonile ja kõrgele andmeedastuskiirusele erinevate arvutivõrgukategooriate tarbeks. Juhtmetevaheliste häirete vähendamiseks/vältimiseks toimub transpositsioon; selle ideeks on, et häire tekitab juhtmepaarides (faasis ja nullis) identsed voolud, mis neutraliseerivad üksteist. Samal põhjusel on igal paaril jooksva meetri kohta erinev transpositsioonide arv. Paarid märgistatakse erinevates värvides ja kaks värvimustrit on standardiseeritud: EIA/TIA T568A ja T568B.

Kaablid ühendatakse kahe mustri abil: "otse läbi" ja "risti". Kui mõlema kaabliotsa juhtmed on paigutatud rea A või B järgi, siis on kaabel otse. Kui ühes otsas on rida A ja teises B, siis on kaabel risti. Otsekaablite puhul on ühendus kas arvuti-kommutaatori või arvuti-jaoturi vahel, samas ristikaablite puhul on ühendus arvuti-arvutiga, kommutaator-kommutaatoriga või jaotur-jaoturiga.

**Tabel 2.100** Keerutatud paaridega kaabli ja RJ45 pistiku ning pesa ühendamine

	Jalg	TIA/EIA 568B	TIA/EIA 568A
	JALG1	oranž-valge	<b>roheline-valge</b>
	JALG2	oranž	<b>roheline</b>
	JALG3	roheline-valge	<b>oranž-valge</b>
	JALG4	sinine	<b>sinine</b>
	JALG5	sinine-valge	<b>sinine-valge</b>
	JALG6	roheline	<b>oranž</b>
	JALG7	pruun-valge	<b>pruun-valge</b>
	JALG8	pruun	<b>pruun</b>

Otse kaabel				Risti kaabel											
T-568B		T-568B		T-568A		T-568A									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8

FL kaabli nimetuses (100BaseFL) tähendab „kiudlink” (*fiber link*). Neid kaableid kasutatakse moduleerimata signaalide edastamiseks mööda fiiberoptilist kiudu, mis kasutab nullide ja ühtede edastamiseks valgusimpulsse elektriliste signaalide asemel. Erinevalt vaskjuhtmekaablitest on need suure distantsiga andmeülekanal häirekindlad ja väikese signaalitugevuskaoaga. FL märgistust kandev kaablisegment võib olla kuni 2000 m pikk.

#### **2.4.100 Traadita side tööstuslikus keskkonnas**

##### **Traadita võrkude sisu ja taust**

Traadita kohtvõrgud baseeruvad raadiolainete tehnoloogial. Need on mõeldud mõõdukate andmepakettide edastamiseks ning terve hulga jälgimise, korrastamise ja haldamisega seotud funktsioonide täitmiseks.

Traadita kommunikatsioonitehnoloogiaid iseloomustab:

- kõrge paindlikkus võrgutopoloogia seadistamisel,
- puuduvad juhtmed,
- laiendatud mobiilsus ja kõigi võrguseadmete vaba liikumine,
- otsapunktidevaheline väiksem võrguliiklus tänu individuaalsete süsteemisegmentide vahelisele kõrgema tasandi mitte-koostoimele,
- asjakohane andmeülekandekiirus,
- sobivus tööstuslike automatiseerimisstandarditega nagu DeviceNet, Ethernet jne,
- kõigi võrku ühendatud seadmete lihtne ja kiire käivitamine jms.

#### **2.4.130 Traadita võrkude grupid**

Kaasaegne WLAN suhtleb tavaliselt üle vahemike, mis varieeruvad ühest kuni mõnesaja meetrini, üle kantakse ainult digitaalset infot. Maksimaalse läbilaskevõime alusel jaotatakse tehnoloogiad kolme gruppi.

##### **Kõrge läbilaskevõimega tehnoloogia**

Esimene grupp on kõrge läbilaskevõimega topoloogia, mille maksimaalne kiirus ei ole vähem kui 12 Mbps. HIPERLAN/2 tehnoloogiat kasutatakse andmete, kõnede ja piltide edastamiseks tööstuslikes, administratiiv- ja eluhoonetes. Selle tehnoloogia abil on realiseeritud kärglühiulatuses WLAN, mis peaks ulatuma kõrgema tasandi tööstusliku jagamiseni. Definitsiooni kohaselt on ülilairibatehnoloogia (*Ultra Wideband Technology, UWB*) kanali laius vähemalt 20% kandja sagedusest ja mitte vähem kui 500 MHz. Wi-Fi (raadiokohtvõrk, *Wireless Fidelity*) tehnoloogia on mõeldud võrkudele, mis tegutsevad vastavalt IEEE802.11 standarditele, mille jaoks termin Wi-Fi tähendab sama, mida Ethernet tähendab IEEE802.3 standarditele. Sellest tehnoloogiast on kaks versiooni, kuid ainult see, mis vastab IEEE802.11a standardile, võimaldab suurt kiirust. Sellele on omane 300 MHz sagedusriba 15 kanaliga, igaühes 52 kandjat.

##### **Keskmise läbilaskevõimega tehnoloogia**

Keskmise läbilaskevõimega tehnoloogiad töötavad kiirustel vahemikus 1 kuni 11 Mbps. Üldiselt kasutatakse neid arvutivõrkudes, personaalvõrkudes (*Personal area network, PAN*) ja avalikes ligipääsusüsteemides (*Public access systems, PAS*). Siia kuulub teine Wi-Fi versioon (vastavalt IEEE802.11b standardile), mille ribasagedus on 80 MHz ja millel on 14 kanalit. Nimi „koduraadiovõrk“ (*Home FR technology*) viitab selle peamisele funktsioonile. Sellele tehnoloogiale on omased mõned ühendatud seadmed, maht teist tüüpi võrkudega suhtlemiseks ja võime täita osalisi võrgufunktsioone siis, kui arvuti on välja lülitatud. Külgnevate võrkude olemasolu, näiteks tehase töökodades, ei häiri oma seotud tegevusega, kuna seadmetel on 24-kohaline identifikaator.

**Tabel 2.11.** Traadita andmesidevõrgu rakendused

N r	Võrk	Standard	Maksimaalne andmekiirus Ribalaius	Ülekanne Ulatus	Sagedus	Grupp
1	HIPERLA N/2	ETSI Projekt BRAN	54 Mbps	-	5 GHz	Kõrge läbilaskev õimega tehnoloogia
2	UWB	IEEE802.15.3a	100 Mbps	10 m	3.1-10.6GHz	
3	Wi-Fi	IEEE802.11a	54 Mbps	50 m	5 GHz	
4	Wi-Fi	IEEE802.11b	11 Mbps	50 m	2.4 GHz	Keskmise läbilaskev õimega tehnoloogia
5	HomeRF	N/A	10 Mbps	5 m	2.4 GHz	
6	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2 Mbps	10 m	2.45 GHz	
8	ZigBee	IEEE 802.15.4	250kbps	30–500 m	2.4 GHz, 868, 915 MHz	
7	Z-Wave	N/A	40 Kbps	30m	2.4 GHz	Madala andmeedastuse kiirusega tehnoloogia
9	EnOcean	N/A	120 Kbps	300m	868.3 MHz	
10	DECT	N/A	32 Kbps	100 m	1.96 GHz	
11	KONNEX	KNX;EN50090	38.4 Kbps	-	868 MHz	

**Madala andmeedastuskiirusega tehnoloogiad**

Need on mõeldud tööstuslikus ja kodukeskkonnas elektrooniliste seadmete juhtimiseks, selle keskmine andmeedastuskiirus on kuni mõnisada kbps, mis tuleneb teiste eeliste arvelt nagu madal hind ja kasutatavate seadmete madal energiakulu. Selliseid tehnoloogiaid on mitmeid, mõned näited:

**ZigBee võrgud**

ZigBee traadita võrgu omaduseks on unikaalne iseseadistus ja isetaastumine sel hetkel, kui eraldiseisvad võrguseadmed lülituvad võrku, identifitseerides üksteist. Mõne sellise seadme vea korral taastab võrk ennast ja alustab andmete ülekannet uut marsruuti pidi. Andmed, sealhulgas võrgu teenuseinformatsioon, kantakse üle kiirusel 250 Kbit/s. ZigBee traadita võrk töötab sageduskanalite ulatustel 868 MHz, 915MHz, 2, 4MHz. Selle tegevusulatus on paarikümnest meetrist hoonetes paarisaja meetrini väljas.

**EnOcean**

See traadita tehnoloogia sarnaneb ZigBeele ja selle arendas välja EnOcean GmbH, mille asutas Siemens AG 2001. aastal.

See on täielikult keskkonnasõbralik, kuna sellesse kuuluvad seadmed, sensorid ja saatjad ei vaja töötamiseks patareisid. Need on iselaaduvad, kasutades energia laadimiseks ümbritsevast keskkonnast mitmeid meetodeid. See standard leiab rakendust valgustussüsteemides, turvasensorites, erinevat tüüpi meditsiiniseadmetes ja tööstuslikes süsteemides. EnOceani tehnoloogia tegutsemisulatus on umbes 300 meetrit ja selle andmeedastuskiirus kuni 120 Kbit/s.

## Z-Wave

Z-Wave on protokoll traadita andmeedastuseks lühikestel distantsidel minimaalse energiakuluga. Z-Wave protokollil põhinevad seadmed rakendavad suhteliselt väikest kiirust (umbes 40 Kbit/s 30 meetri ulatuses) ja töötavad ühe patareiga kauem kui aasta.

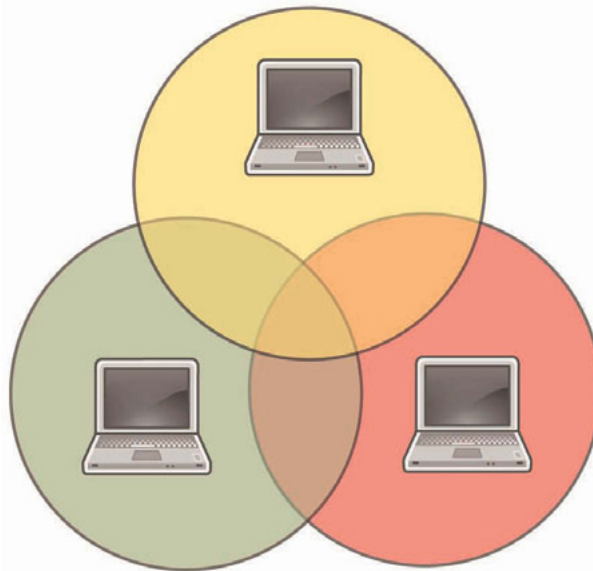
Üldiselt kasutatakse seda tehnoloogiat „tarkades“ kodudes, eriti valgus- ja soojusjuhtimis-süsteemides, tulekahjuhoiatussensorites, videojälgimis- ja kaitsesüsteemides. Z-Wave võimaldab kõiki neid sensorite ja seadmete võrkusid juhtida ühe kaugjuhtimisüksuse abil.

## Traadita võrkude loogilised topoloogiad

Traadita võrkusid ehitatakse erinevate loogiliste topoloogiatega järgi.

### AD-HOC

Selles režiimis (Joonis 2.106), mida kasutatakse kõige enam mobiilseadmete omavaheliseks ühendamiseks, ei ole vajalik, et mõni traadita võrguseade kanali ligipääsu sünkroniseeriks. Seda iseloomustab madal produktiivsus ja võimalik kokkupõrgete tekkimine (Brindfeldt, Tööstuslikud infovõrgud, 2011).

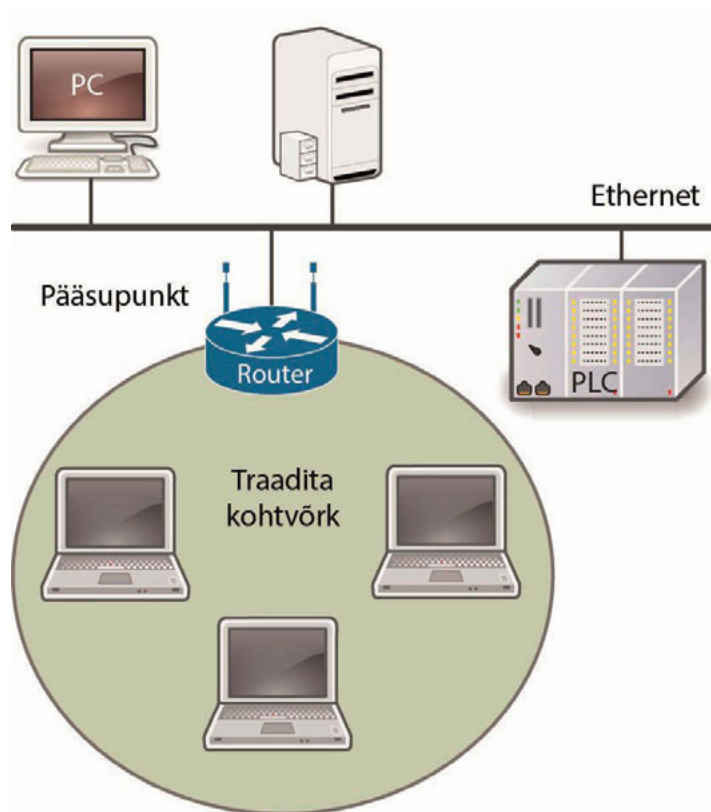


**Joonis 2.106** AD-HOC võrgu moodustumine

### Juurdepääsupunkt–klient

Praktiliselt on see kõige sagedamini kasutatud topoloogia seadmete traadita võrkudesse ühendamiseks. Suur hulk mobiiliseadmeid kasutab ühe põhijaama (*base station*, BS) teenuseid, seda nimetatakse ka pääsupunktiks (*Access point*, AP), mis juhib/haldab kõiki sellega seotud kliente. Põhijaam juhendab klienti, millist kanalit andmete ülekandmiseks kasutada ja millal. Sõltuvalt omistatud reeglitest võivad mõned kliendid saada teiste klientide ees prioriteete (QoS). Niiöelda „varjatud terminalide“ poolt ei ole kokkupõrkeohtu, kuna kõik kliendid peavad võrku pääsemiseks kasutama pääsupunkti; teiste sõnadega – pääsupunkt (AP) näeb kõiki kliente, samal ajal kui need üksteist ei näe.

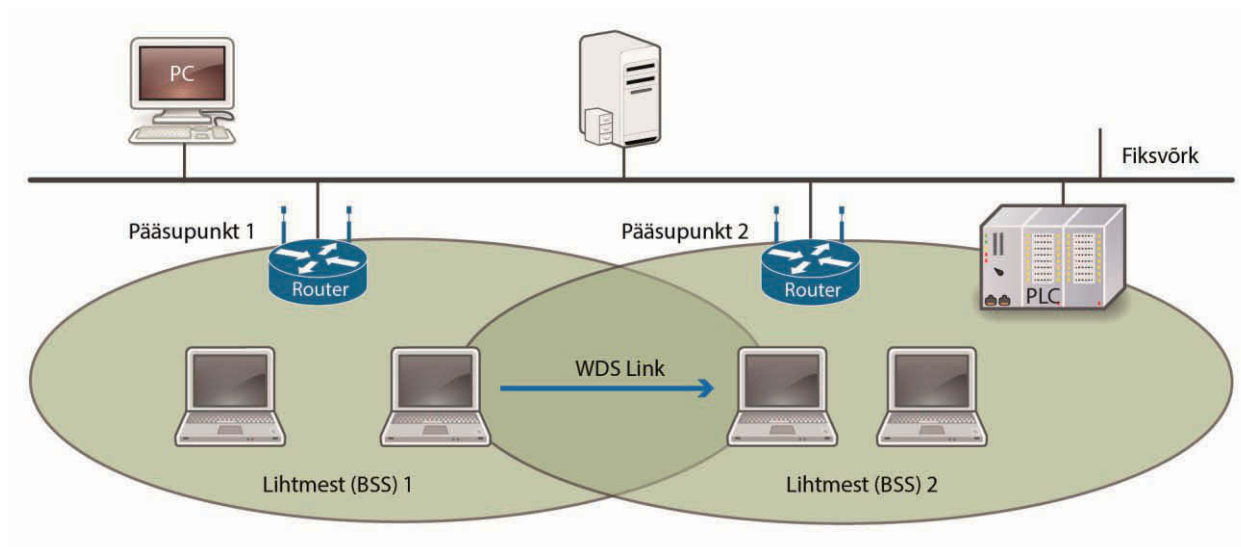




**Joonis 2.107.** Juurdepääsupunkti kasutamine arvutivõrgus

**Traadita võrk (WDS, *Y k rguu'F kant kdwxgf "U lwxg* )**

Traadita võrgusüsteemid kasutavad pääsupunkt–klient topoloogiat, kus iga pääsupunkt moodustab kuuldava tsooni. Erinevus juurdepääsupunkt –klient topoloogiast seisneb erinevate pääsupunktide traadita sides, et võimaldada ligipääsu viitevõrku. Kõik pääsupunktid peavad töötama samal raadiokanalil ja omama teiste WDS võrgu moodustavate MAC-aadresside nimekirja (Brindfeldt, "Tööstuslikud infovõrgud", 2011).



**Joonis 2.1080** Traadita võrgu moodustumise selgitus

## Enesekontrolliküsimused

### 1. Mis on võrgustatud automatiseeritud juhtimissüsteemi eesmärk?

- a) tootmisprotsesside juhtimine,
- b) automaatsete juhtimisseadmete ja terminalide ühendamine sidevõrku,
- c) protsessi hajutamine sidevõrku,
- d) sidevõrgu automaatne seadistamine,
- e) terminalide ühendamine sidevõrku.

### 2. Millistel tasanditel hajutatakse juhtimissüsteeme võrguside abil?

- a) töövälja-, juhtimis- ja infotasandil,
- b) töövälja- ja infotasandil,
- c) info- ja juhtimistasandil,
- d) alg-, operatsiooni- ja juhtimistasandil,
- e) neid ei hajutata ühelgi tasandil.

### 3. Millised nendest väidetest kirjeldavad kohtvõrgu tüüpe?

- a) võrdõigusliku ligipääsuga võrk,
- b) klient-server võrk,
- c) liittüüpi võrk,
- d) punktist-punkti võrk,
- e) kõik eelloetletud väited.

### 4. Milline all-loetletud võrgutüüpidest on kiireim?

- a) võrdõigusliku ligipääsuga võrk,
- b) klient-server võrk,
- c) liittüüpi võrk,
- d) ülem-alluv tüüpi võrk,
- e) kõik eelnimetatud väited.

### 5. Millised on põhilised topoloogiaklassid tööstuslikes võrkudes?

- a) füüsiline,
- b) töövälja,
- c) informatsiooni,
- d) loogiline,
- e) punkti.

### 6. Milliseid võrguseadmeid kasutatakse sidevõrgu loogiliseks struktureerimiseks ehk ülesehituseks?

- a) ülekandemeediumi konverterid,
- b) sild,
- c) ruuter,
- d) lüüsid.

- 7. Millised on põhilised funktsioonid, mida teostavad tööväljavõrgu sideseadmed automaatjuhtimissüsteemides?**
- andmeedastus, mida teevad terminalid (lõppseadmed),
  - andmeedastus võrku informatsioonitasandil,
  - andmeedastus, mis sõltub konfiguratsioonist,
  - andmeliikluse hajutamine seadmete vahel,
  - edastatavate andmete kokkupakkimine.
- 8. Milliseid sideseadmeid kasutatakse tööväljaseadmetena?**
- operaatorjaamad,
  - andurid,
  - tööstusarvutid,
  - ruuterid,
  - mõõtmiseseadmed.
- 9. Milliseid allpool loetletud võrguspetsifikatsioone kasutatakse tööväljavõrgus?**
- CAN,
  - ATM/FDDI,
  - ControlNet,
  - HART,
  - DeviceNet.
- 10. Millised on sidevõrgu põhilised funktsioonid ja omadused informatsioonitasandil?**
- kõrge andmeedastuskiirus,
  - keskmine-kõrge andmeedastuskiirus,
  - väikeste andmekoguste vahetamine,
  - suurte andmekoguste vahetamine,
  - terminalide vahetu juhtimine.
- 11. Millist võrgustruktuuri kasutatakse kõige rohkem informatsioonitasandil?**
- hierarhiline,
  - täht,
  - lineaarne,
  - ring,
  - liit.
- 12. Milliseid seadmeid kasutatakse infotasandi võrkudes?**
- suurarvuteid,
  - tööjaamu,
  - andureid,
  - täiturmehhanisme,
  - inimene-masin liideseid.
- 13. Millist kaablit kasutatakse Etherneti standardisüsteemi ehitamisel?**
- 10BASE5 jäme koaksiaalkaabel (*Thick Coax*),
  - 10BASE2 peenike koaksiaalkaabel (*Thin Coax*),
  - 10BASE-T keerutatud paar (*Twisted-Pair*),
  - 10BASE-F optilised kiud (*Fiber Optic*),
  - 10BASE-E laiendatud (*Extended*).

**14. Mitu funktsionaalset tasandit sisaldab TCP/IP mudel?**

- a) 2,
- b) 3,
- c) 4,
- d) 5,
- e) 7.

**15. Millistel traadita sidetehnoloogiatel on väike andmeedastuskiirus?**

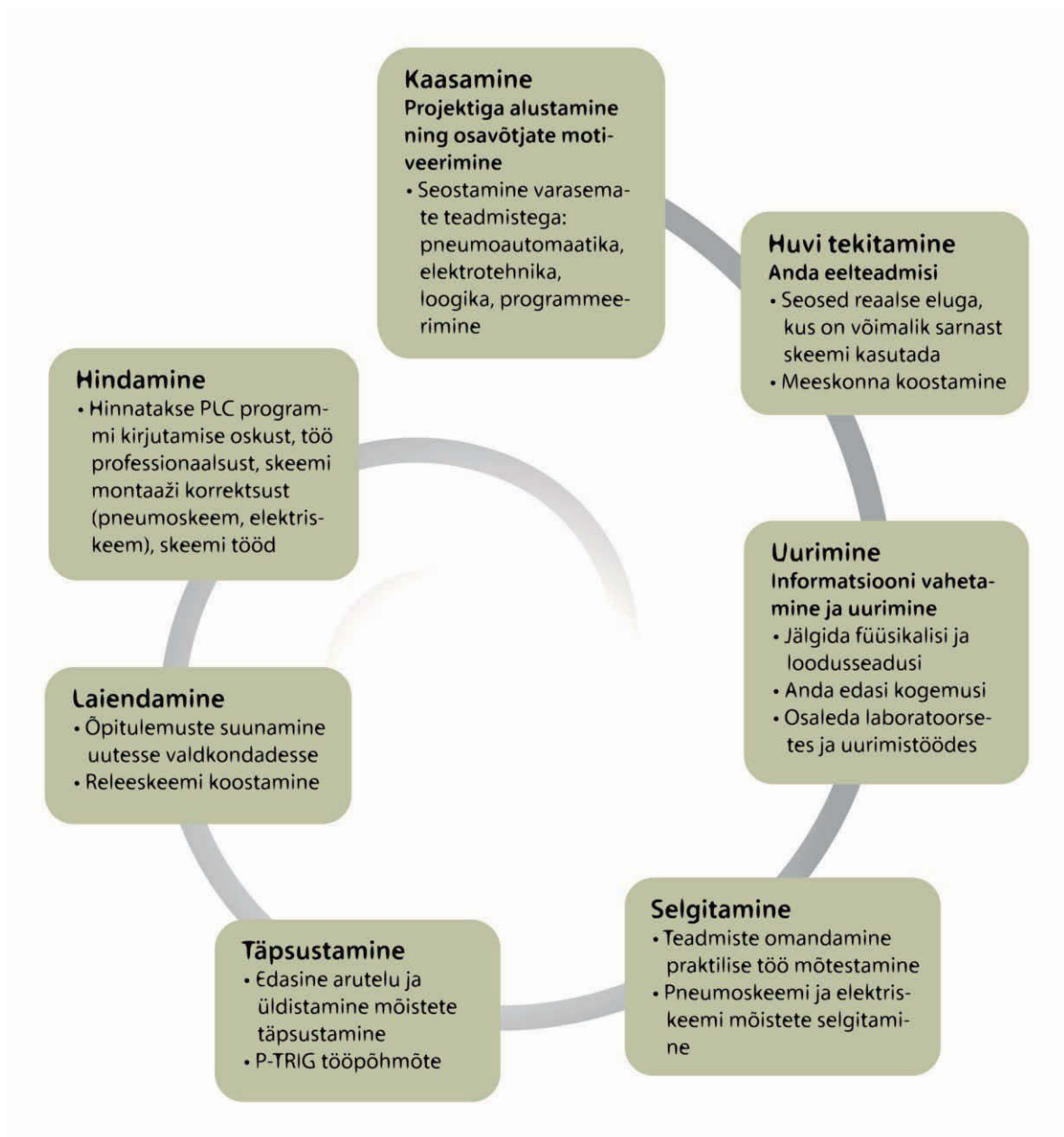
- a) ZigBee võrgud,
- b) Bluetooth tehnoloogia,
- c) EnOcean tehnoloogia,
- d) Z-Wave tehnoloogia,
- e) Wi-Fi tehnoloogia.

**16. Milline on kõige tavalisem topoloogia, mis iseloomustab seadmete ühendamist traadita sidevõrkudes?**

- a) AD-HOC,
- b) pääsupunkt-klient,
- c) repiiter,
- d) WDS-traadita hajussüsteem,
- e) sild.

## **2.5. Mehhatroonika projekt**

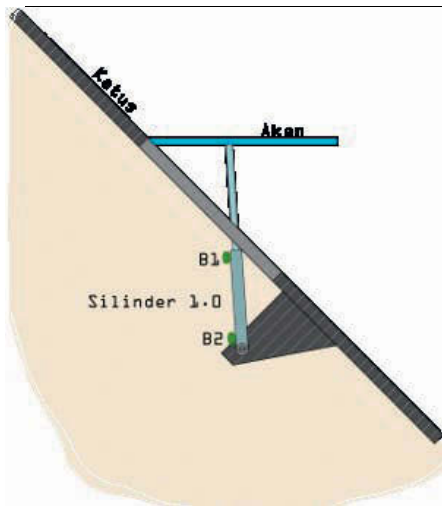
Mehhatroonika rakendamine praktikas eeldab erinevate erialade inimeste tihedat koostööd. Koostööd saab teha tõhusamaks kui õppimisel ja praktilises tegevuses osalevad inimesed tunnevad mudeleid, mis aitavad (mehhatroonilise) süsteemi loomise või arenduse protsessi ühtemoodi mõista. Selle tulemusena saab oma harjumuspärasest käitumist kohandada, et kergemini teisi mõista, ületada emotsionaalseid, tunnetuslikke ja sotsiaalseid barjääre. Meeskonna koosseisus õppimise protsessi kirjeldab ka nn. 7E mudel. Järgnevalt rakendatakse 7E mudelit (joonis 2.109) mehhatroonika näidisprojekti kirjeldamisel (vt tabel 2.12).



**Joonis 2.109.** Mehhatroonika projekt läbi 7E mudeli

**Tabel 2.12.** Protsess: Ühe pneumosilindriga kasvuhooneakna juhtimine

<p><b>Projekt:</b> ühe pneumosilindriga kasvuhooneakna juhtimine</p>	<p><b>7E mudel</b></p>
<p><b>Pneumosilinder</b> on täitur, mis võimaldab muuta suruõhuenergia ehk pneumaatilise energia lineaarse liikumise (sirgjoonelise liikumise) energiaks. Selles näites on kasutusel bistabiilne pneumosilinder ehk silinder, mille kolvil on kaks stabiilset asendit kummaski silindri otsas. Sellel puudub vedru ning seega liigub vars nii sisse kui välja õhu toimel.</p> <p>Selles rakenduses kasutame silindrit, millel on kolvi külge kinnitatud magnet, et kolvi positsiooni silindri sees (ja seega seda, kas vars on väljunud) oleks võimalik tuvastada herkonanduritega.</p> <p><b>Pneumojaoti</b> on komponent, mille abil on võimalik muuta suruõhu liikumisteede pneumotorustikus. Antud juhul võimaldab solenoidi rakendumine õhusurve ühelt poolt pneumosilindri kolbi välja lasta ja survestada pneumosilindri kolvi teist poolt, mille tulemusena hakkab pneumosilindri vars väljuma (või, vastupidi, ühendades sisenema). Kasutusel on vedruga tagastuv pneumojaoti, seega kui solenoid ei ole enam pingestatunud, lülitub jaoti tagasi algsesse asendisse.</p> <p><b>Herkonandurid</b> on kontaktivabad andurid (st ei pea otseselt tunnetatava objektiga füüsiliselt kokku puutuma, et signaali saada), milles olev herkonkontakt lülitub läheduses asuva magnetvälja toimel.</p> <p><b>Solenoid</b> on seade, milles muudetakse elektrienergia võrdlemisi lühikeseks mehaaniliseks liikumiseks. Tegu on sisuliselt elektromagnetiga, mis antud rakenduses muudab pneumojaoti asendit (enamasti on pneumojaotis selleks siiski veel pneumaatiline võimendusaste, kuna pneumojaotitele mõeldud solenoididest saavutatav jõud on väike).</p>	<p><b>Kaasamine</b></p> <p>Kursusele sisenemine ja kursusest osavõtjate motiveerimine.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seostada varasemate teadmistega: pneumo-automaatika, elektrotehnika loogika ja programmeerimine.</li> </ul>
<p><b>Ülesande kirjeldus:</b> hoone katusel on aken (joonis 2.110). See on liiga kõrgel, et seda käsitsi avada ja sulgeda. Hoonesse on juba paigaldatud suruõhuvõrk, seega saame kasutada akna avamiseks ja sulgemiseks pneumosilindrit. Meil on ühtlasi üle ka üks S7-1200 kontrollid, mida me antud rakenduse juhtimiseks saame kasutada.</p>	<p><b>Huvi tekitamine</b></p> <p>Antakse eelteadmisi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• selgitatakse seoseid reaalse eluga, kus on võimalik analoogset skeemi kasutada,</li> <li>• sotsialiseerumine ja meeskonna koostamine.</li> </ul>



**Joonis 2.110.** Rakenduse paigutus



**Joonis 2.111.** Juhtpaneel

Juhtpaneelil (joonis 2.111) on kaks nuppu:

S1 – avab akna

S2 – sulgeb akna

Iga nupu all on LED-indikaator, mis näitab akna olekut. Näiteks: kui aken on kinni, siis põleb H2. Kuna aknal on kaks olekut (avatud ja suletud), siis vajame pneumosilindri külge kahte andurit (B1 ja B2).

Praktikas ei ole nii lihtsa rakenduse jaoks mõtet kallist kontrolleri raisata ja odavam on sama asi näiteks releede või keerulisemal juhul spetsiaalselt valmistatud elektroonikaplaadi baasil lahendada, kuid esimeseks katsetuseks peabki rakendus võimalikult lihtne olema.

### Uurimine

Toimub informatsiooni vahetamine ja uurimine kus tegeletakse järgmiste teemadega:

- millised sisendeid ja väljundeid me kasutame?
- kogemuste edasiandmine
- osalemine uurimis- ja laboratoorses töödes

### Pneumoskeem

Antud rakenduses tuleb kogu akna liigutamiseks vajalik jõud suruõhutorustikust ehk tegelikult kusagil asuvast kompressorist. Antud pneumaatikaskeem võimaldab meil seda jõudu suunata ning meile vajalikult rakendada, kasutades rõhu all olevat suruõhku ja selle liikumisel vabanevat energiat.

Süsteemi pneumaatilise osa (joonis 2.112) jaoks kasutame me akna täielikuks avamiseks piisavalt pika

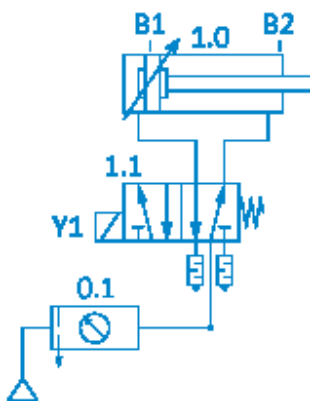
### Selgitamine

Teadmiste omandamine:

- laboratoorse (praktilise) töö mõtestamine,
- pneumoskeemi ja elektriskeemi mõistete selgitamine.



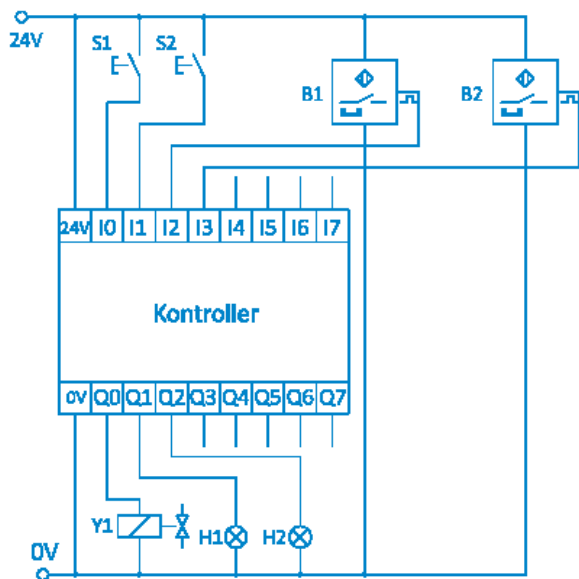
varrega kahepoolse toimega silindrit (1.0), solenoidiga 5/2 pneumojaotit (1.1) ja õhuallikat (0.1).



**Joonis 2.112.** Pneumoskeem

### Elektriskeem

Süsteemi elektriline osa (joonis 2.113) koosneb kahest normaalselt avatud nupplülitist (S1, S2), kahest herkonandurist (B1, B2), kahest indikaator-LEDist (H1, H2), ühest solenoidist (Y1) ja ühest Siemens S7-1200 kontrollerrist (digitaalsisend-/väljundmooduli(te)ga).



**Joonis 2.113.** Elektriskeem

### PLC programm koostamine

Kui nupp S1 on alla vajutatud ja andur B2 on aktiivne (aken on suletud), siis lülitatakse sisse solenoid Y1. S1 nuppu all hoides ei üritata solenoidi korduvalt sisse lülitada tulenevalt positiivse frondi tuvastusest. Kui vajutatakse nuppu S2 ja aken on avatud, siis lülitatakse solenoid Y1 välja. Jällegi kasutatakse positiivse frondi tuvastust, et vältida mitmekordset väljalülitusoperatsiooni – antud rakenduses pole see hädavajalik, kuid väldib keerulisemates skeemides konflikti, kui mitu nuppu on korraga alla vajutatud. Andurite B1 ja B2 väärtused kantakse otse üle lampidele

### Täpsustamine

Edasine arutelu ja üldistamine, mõistete täpsustamine.

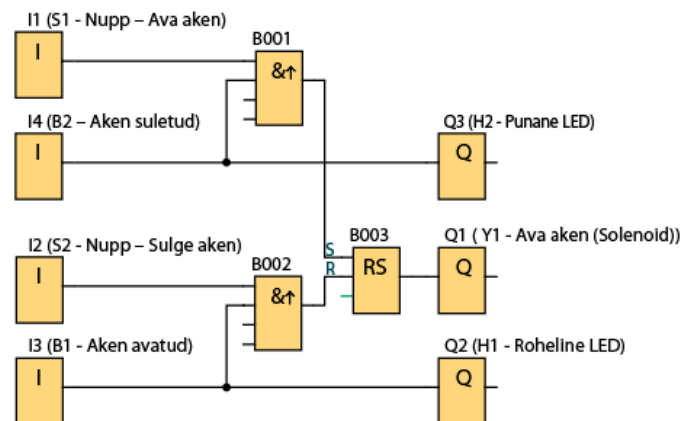
H1 ja H2 peaaegu nii, nagu need oleksid elektriliselt ühendatud.

Diskussioon, mille käigus leitakse meetod, kuidas on võimalik lahendada antud ülesanne lihtsamalt ilma kalli kontrolleri abita.

PLC programmis kasutatav muutujate tabel:

Sümbol	Kommentaar
S1	nupp – ava aken
S2	nupp – sulge aken
B1	andur B1 – aken avatud
B2	andur B2 – aken suletud
Y1	Solenoid (akna avamine)
H1	roheline LED
H2	punane LED

Programm (FBD-keeles)



### Laiendamine

Õpitulemuste suunamine uutesse valdkondadesse, näiteks: releeskeemi koostamine.

### Hindamine

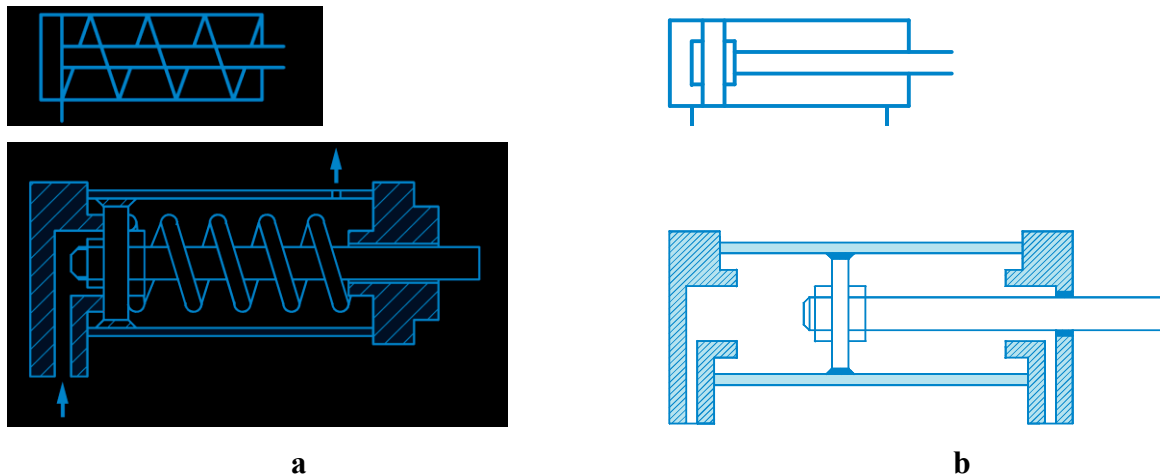
Hinnatakse, mida õpilased teavad ja suudavad:

- sümbolite tabeli koostamise oskus
- PLC programmi kirjutamise oskus
- töö professionaalsus ja skeemi montaaži korrektsus (pneumoskeem, elektriskeem)
- skeemi töö

### 3. Ülesanded

#### 3.1. Ülesanne: Ühe ja kahepoolse toimega silinder

Ühe (ehk monostabiilse) ja kahepoolse toimega (ehk bistabiilse) silindri ehitust on kirjeldatud joonisel 3.1.



**Joonis 3.1.** Pneumosilinder: a) ühepoolse toimega silinder ja tema tingmärk b) kahepoolse toimega silinder ja tema tingmärk

#### Ühepoolse ja kahepoolse toimega silindri võrdlemine

Igal silindril on eelised ja puudused. Märkige ristiga, kumb silinder sobib paremini, vastavalt küsimusele.

Nr	Küsimus	Monosilinder	Bisilinder
1	Milline silinder arendab suuremat jõudu ühesuguse õhusurve ja kolvi diameetri korral?		
2	Milline silinder võib tõsta ja langetada raskusi?		
3	Millisel silindril on kolvi töökäigu pikkus suurem, kui mõlemad silindrid on ühesuguste mõõtmega?		
4	Millisel silindril on õhutarbimine väiksem üheks liikumiseks edasi-tagasi?		
5	Millisele silindrile piisab lihtsamast juhtimisskeemist?		

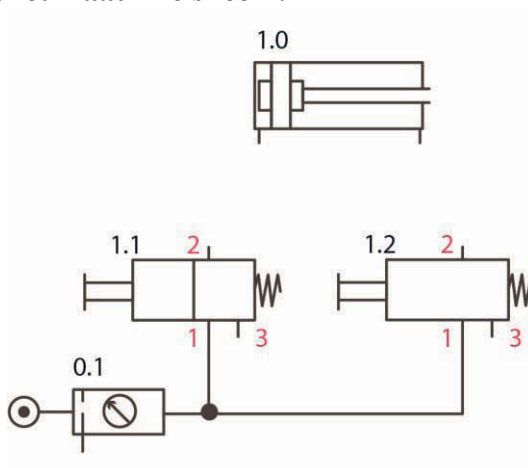
## Ülesande püstitus

Vajutades esimesele pn nupule, 1.1 – bistabiilne silinder väljub.

Vajutades teisele pn nupule 1.2 – bistabiilne silinder siseneb.

	Toimumise järjestus	Signaalid/tingimused
1	Silindri kolb 1.0 väljub	kui pneumonupp 1.1 on alla vajutatud
2	Silindri kolb 1.0 siseneb	kui pneumonupp 1.2 on alla vajutatud

## Lõpetage järgnev poolik pneumaatiline skeem:



## Monteerige skeemi kohaselt pneumoajam.

### Vastake küsimustele:

1. Kas silindri kolb liigub, kui vajutame üheaegselt mõlemale nupule? Kui liigub, siis millises suunas?

.....

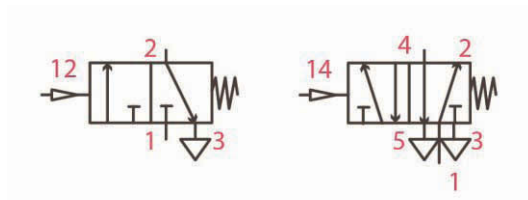
2. Kas see skeemi kohaselt koostatud pneumseade suudab hoida raskust (nupud ei ole alla vajutatud)?

.....

### 3.2. Ülesanne: Kaudne juhtimine

#### Pneumosignaali juhtimine

Iga pneumovoolik avaldab õhuvoolule takistust. Väikese läbimõõduga pikkade pneumovoolikute kasutamine muudab pneumoajami töökiiruse aeglasemaks. See tähendab, et pneumojaoti peab asetsema võimalikult lähedal pneumoajamile.



Joonis 3.2. 3/2 ja 5/2 pneumojaoti

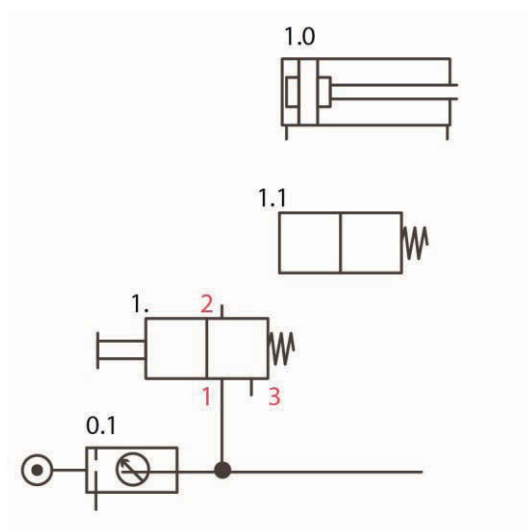
Teisest küljest juhtnupp peab sageli asetsema võimalikult kaugel töötsoonist ja pneumoajamitest. Sellepärast on vaja jaotada pneumoskeem kaheks osaks: juhtosa ja jõuosa, kus on olemas silindri juhtimiseks pneumojaoti ja eraldi signaalelement – antud juhul pneumonupp. Selle jaoks kasutatakse pneumaatikas pneumaatilise juhtsignaaliga pneumojaoteid. Selle pneumojaoti südamik on sarnane monosilindriga. Juhtsignaal muudab pneumojaoti südamiku asukohta. Juhtsignaali puudumisel liigub pneumojaoti südamik tagastusvedru toimele tagasi lähteasendisse.

#### Ülesande püstitus

Koostage skeem nii, et eemalasuva nupule vajutamisel silindri kolb väljub ja lahti lastes kolb siseneb.

	Toimumise järjestus	Signaalid/tingimused
1	Silindri kolb 1.0 väljub	kui pneumonupp 1.1 on alla vajutatud
2	Silindri kolb 1.0 siseneb	kui pneumonupp 1.1 EI ole alla vajutatud

#### Lõpetage pneumaatiline skeem.



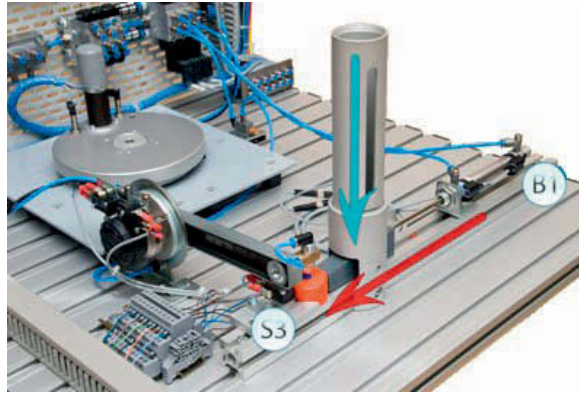
#### Monteerige skeemi kohaselt kaudse juhtimisega pneumoseade.

### 3.3. Ülesanne: automaatne töö

#### Ülesande püstitus

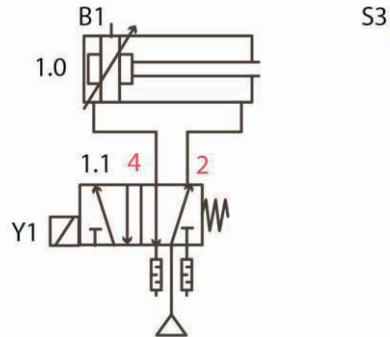
Rakendus kokku monteerida joonise 3.3 kohaselt, ühendada (elekter ja pneumo) ja programmeerida kontrolleri, et see toimiks järgnevalt:

Väljalükkav moodul sooritab nii üksikut kui ka automaatset töösükli. Üksiku tsükli start toimub nuppu S1 vajutades (silinder lükkab ühe tooriku välja ja siseneb automaatselt).

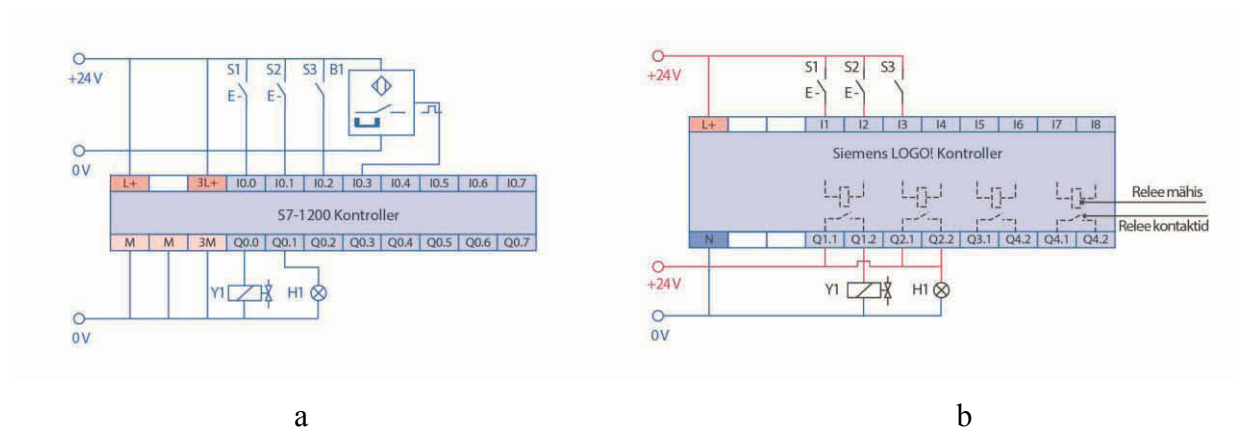


Joonis 3.3. Rakenduse osade paigutus

Automaatse tsükli start toimub nupu S2 allavajutamisel ning peatamine nupu S1 allavajutamisel. Pärast peatamissignaali peab seade viimase tsükli lõpuni tegema. Automaatse režiimi ajal põleb indikatsioonilamp H1. Mooduli start on mõlema režiimi korral võimalik vaid algspositsioonist.



Joonis 3.4. Pneumoskeem



Joonis 3.5. Elektriskeem: a) Kontrolleriga S7-1200; b) LOGO kontrolleriga

### 3.4. Ülesanne: induktiivandur

#### Ülesande püstitus

Rakendus kokku monteerida, ühendada (elekter ja pneumo) ja programmeerida sedasi, et see toimiks järgnevalt:

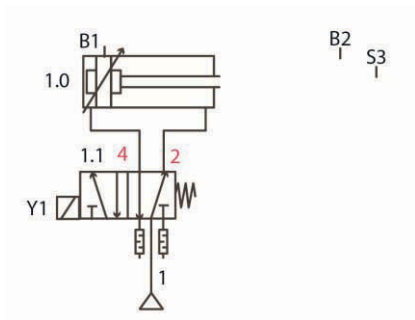
Pneumaatiline silinder lükkab töötlemiseks tooriku staapel-magasinist välja (joonis 3.3). Silindri start toimub nupu S1 allavajutamisel. Silindri start on võimalik ainult kolvi sisenenud positsioonist.



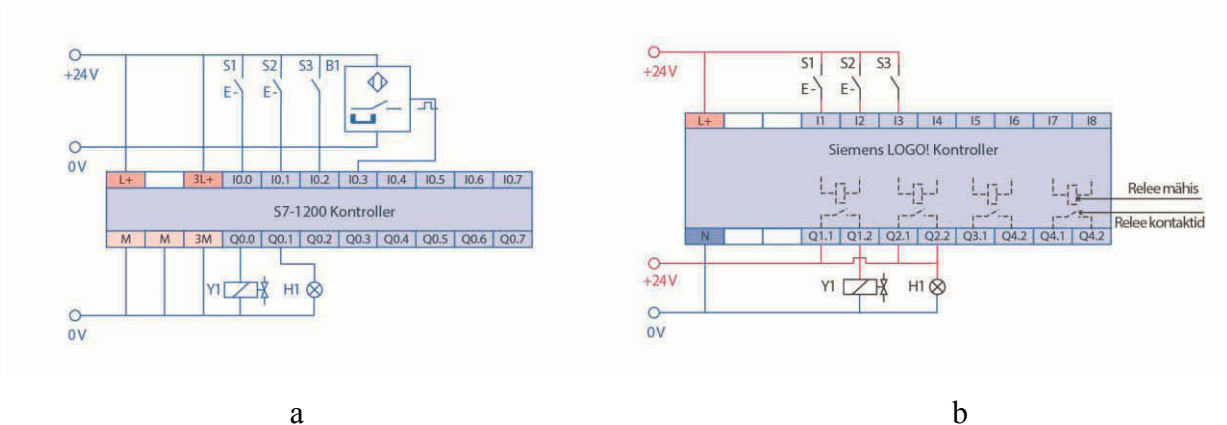
Joonis 3.6. Induktiivandur

Juhtimisülesande kirjeldus:

Kolb liigub automaatselt tagasi juhul, kui toorik ei ole metallist. Kui toorik on metallist (avariirežiim), siis jääb silindri kolb väljundasendisse. Silindri kolb siseneb nupu S2 allavajutamisel.



Joonis 3.7. Pneumoskeem

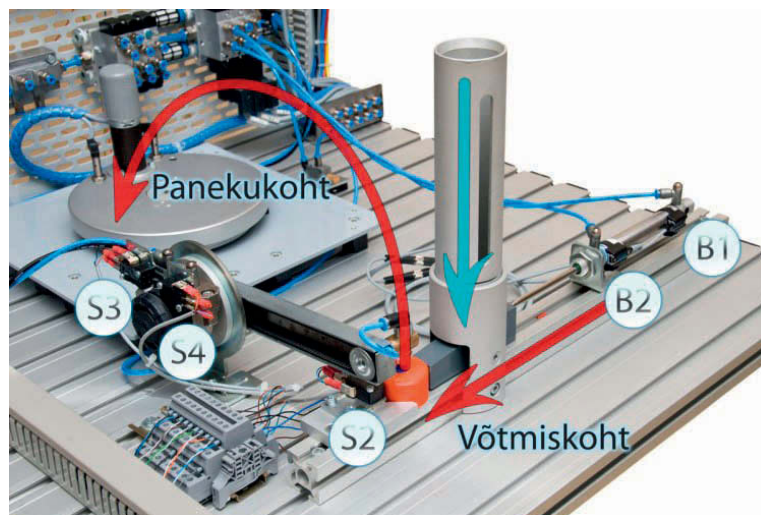


Joonis 3.8. Elektriskeem: a) kontrolleri S7-1200; b) LOGO kontrolleri

### 3.5. Ülesanne: kahe pneumosilindriga rakenduse juhtimine

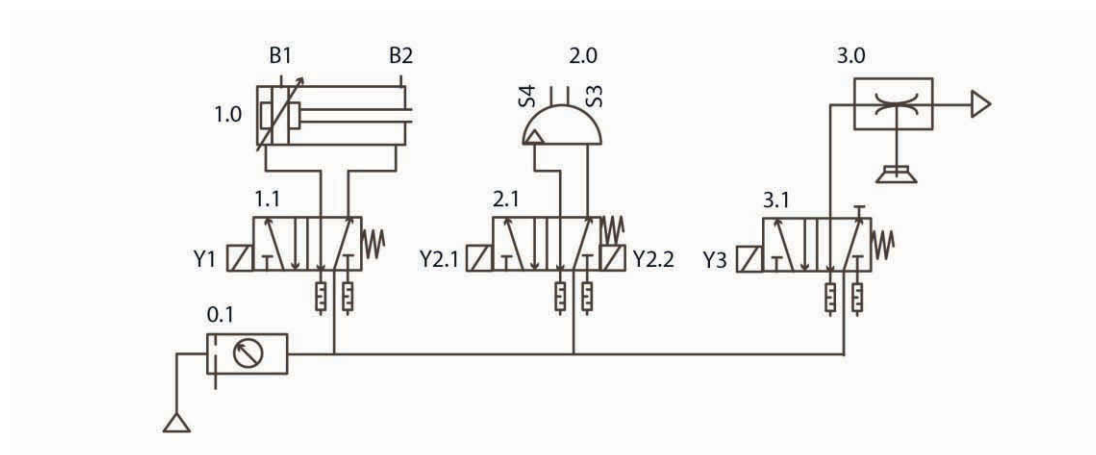
Protsessi kirjeldus:

Rakenduse näites (joonis 3.8) lükkab kahepoolse toimega silinder toorikud ükshaaval välja ning pöördsilinder liigutab toorikuid iminapa abil tõstvat hooba. Pärast tooriku ülestõstmist pannakse see teisele poole maha. Programm töötab ainult ühe tsükli, kuna teisel pool pole toorikute eest ära võtmist.



Joonis 3.8. Rakenduse seadmete paigutus ja tähistus

#### Pneumoskeem



Joonis 3.9. Pneumoskeem

Rakenduse (joonis 3.9) pneumaatikaosa koosneb:

- kahepoolse toimega lineaarsilindrist (1.0),
- kahepoolse toimega pöördsilindrist (2.0),
- vaakumgeneraatorist (3.0),
- iminapast,
- kahest 5/2 ühe solenoidiga jaotist (1.1 ja 3.1),
- ühest 5/2 kahe solenoidiga jaotist (2.1),
- õhuallikast (0.1).

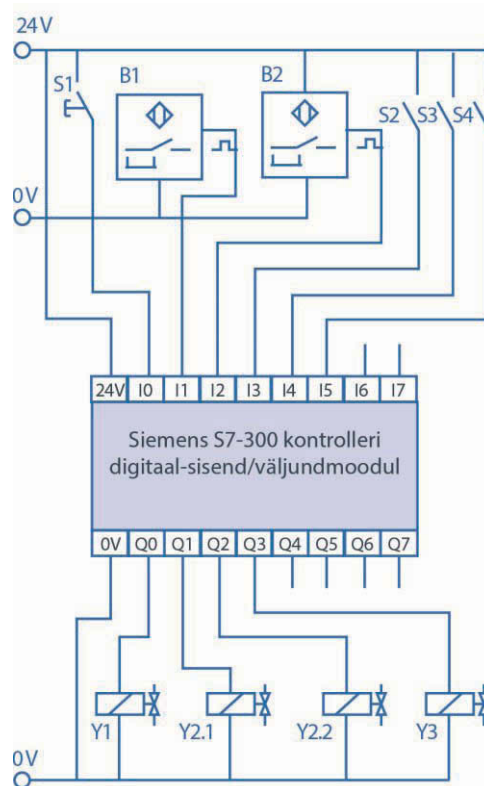
Kahe solenoidiga bistabiilse jaoti (2.1) asemel võiks kasutada ka ühe solenoidiga monostabiilset jaotit. Siis tuleb rakendusse teha mõned muudatused.





**Joonis 3.10.** Kahepoolse toimega pöördsilinder (2.0) ja kahepoolse toimega lineaarne pneumosilinder (1.0)

### Elektriskeem



**Joonis 3.11.** Elektriskeem

Süsteemi elektriosa (joonis 3.11) koosneb:

- ühest nupplülitist (S1),
- kahest herkonandurist (B1, B2),
- kolmest lõpulülitist (S2, S3, S4),
- neljast solenoidist (Y1, Y2.1, Y2.2, Y3),
- ühest Siemens S7-1200 kontrollerrist (digitaal-sisend/väljundmooduliga).

## Kasutatud allikad

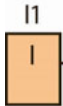
- Amber, G., & Amber, P. (1957). *A Yardstick for Automation*. SAE Technical Paper 570251.
- Brindfeldt, E. (15. 10 2011. a.). *Tööstuslikud infovõrgud*. Kasutamise aasta: 2014, allikas Tööstuslikud infovõrgud: <https://www.tthk.ee/TIV/>
- Brindfeldt, E., & Lepiksoo, U. (12. 10 2010. a.). *Mehhatroonikaseadmed*. Kasutamise kuupäev: 05. 04 2014. a., allikas Mehhatroonikaseadmed: <https://www.tthk.ee/MEH/>
- Brindfeldt, E., & Lepiksoo, U. (15. 10 2011. a.). *Programmeeritavad kontrollid*. Kasutamise aasta: 2014, allikas Programmeeritavad kontrollid: <http://www.tthk.ee/PLC/>
- Brindfeldt, E., Pettai, E., Hõimoja, H., & Beldjajev, V. (2011). *Täiturid*. Tallinn: TTÜ.
- Lehtla, T. (2007). *Elektrijamid*. Tallinn: Tallinn University of Technology, Department of Electrical Drives and Power Electronics.
- Müür, M. P. (2011). *Programmeeritavad Kontrollerid Tööstusautomaatikas*. Tallinn: TTÜ.
- Nenova, Z., Ivanov, S., & Nenov, T. (2010). *Andurid tööstusautomaatikas*. Gabrovo: TTÜ.
- Pettai, E. (2005). *Tootmise automatiseerimine*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli elektrijamite ja jõuelektroonika instituut.
- Rashidov, A., & Jordanov, S. (2011). *Tööstuslikud võrgud ja liidesed automatiseerimissüsteemis*. Gabrovo: TTU.

# Lisa 1: SIEMENS LOGO kontrollid

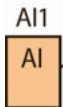
## Sisendid, väljundid ja konstandid

Selleks, et programmiselt saaks lugeda sisenditesse tulevaid väärtusi ja määrata väljunditesse minevaid väärtusi, on vaja midagi, mis neid sisendeid ja väljundeid programmis esindaks või neile viitaks. LOGO! Soft Comfort pakub selleks otstarbeks alltoodud plokkid. Siia hulka on arvatud ka konstandid nagu *high* ja *low*.

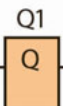
## Kontrolleri elektrilised sisendid ja väljundid



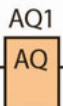
**Digitaaletisendeid** esindab kõrvalolev plokk. Selle väljundi väärtus on loogiline 1, kui kontrolleri sisendisse tuleb signaal. Kui signaal puudub, on ploki väljundis loogiline 0. Nendele plokkidele saab määrata riistvaras kajastuvad sisendid 1...24.



**Analoogsisendid** on sarnased digitaalsisenditele, kuid neil on kahe väärtuse (1 ja 0) asemel rohkem väärtusi (0...1000) ja need esindavad kontrolleri analoogsisendisse tulevat voolu- (4...20 mA, 0...20 mA) või pingevahemikku (0...10 V).



**Digitaalväljundi** ploki sisendisse (vasakule poole) signaali andes lülitab kontrollid digitaalväljundeid sisse ja välja (olenevalt moodulist siis kas releväljundeid või transistorväljundeid). Digitaalväljundeid saab tarkvara poolest olla kuni 16. Väljundplokil on ka väljund, kus kajastub väljundi olek eelmise programmi tsükli ajal. Sealt võib võtta signaali sama ahelat puudutavate tingimuste jaoks, kuna otse (ilma mäluemendita, mis ühe tsükli jagu olekut mäletaks) kinnist loogikaahelat ei saa luua.



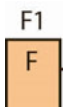
**Analoogväljundi** plokk võtab oma sisendis vastu väärtuseid 0...1000, milles peale kontrolleri analoogväljundis kajastub samaväärne väärtus, olenevalt valitud väljunditüübist. Analoogväljundi plokkid saab olla vaid kaks.

## Kontrolleri kasutajaliidese sisendid



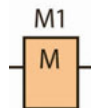
**Kursori klahvi sisendi** plokk esindab LOGO! kontrollidil olevaid navigatsiooninuppe: ▲ (C1), ▼ (C2), ◀ (C3), ▶ (C4).

Klahvi signaali programmi saatmiseks tuleb vajutada Esc + [nooleklahv]. Muus osas toimivad need nagu tavalised digitaalsisendid.



**LOGO! TD funktsiooniklahvi sisendi** plokk esindab LOGO! TD paneelil olevaid funktsiooninuppe: F1, F2, F3, F4. Need toimivad nagu tavalised digitaalsisendid.

## Lipud / mälu



**Lipud** ehk plokid, mis hoiavad mälus ja väljastavad ploki sisendisse antud väärtust.

**Lipp binaarväärtusega** hoiab meeles ja vahendab väärtusi 1 või 0. Sarnane digitaalväljundi plokiga, aga selle vahega, et see ei lülita riistvara tasemel midagi. Lipud jäävad vahemikku M1...M27.

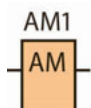
On ka mõned eriotstarbelised lipud:

**M8** – käivituse tuvastamise lipp. Lipp, mille väärtus on 1 esimese programmi tsükli ajal pärast kontrolleri sisselülitamist. Teise programmi tsükli ajal läheb automaatselt nulli.

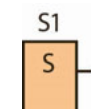
**M25** – LOGO! LCD ekraani taustavalgust lülitav lipp. Kui lipp on 1, siis taustavalgus põleb, kui 0, siis ei põle.

**M26** – LOGO! TD (väline lisa-kasutajaliides) LCD-ekraani taustavalgust lülitav lipp. Kui lipp on 1, siis taustavalgus põleb, kui 0, siis ei põle.

**M27** – tekstikodeeringut (*charset*) valiv lipp. Kui lipu väärtus on 0, siis on valitud esimene kodeering, kui 1, siis teine.

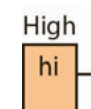


**Lipp analoogväärtusega** hoiab meeles ja vahendab analoogväärtusi esindavaid väärtusi vahemikus 0...1000. Neid on võimalik kasutada kuni 6 tk (AM1...AM6).

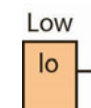


**Nihkeregistri bitti** esindav plokk. Mõeldud kasutamiseks koos nihkeregistri funktsiooniplokiga. Antud plokk võib esindada ühte nihkeregistri kaheksast bitist. Mõeldud bittide lugemiseks, kirjutamist ei võimalda.

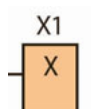
## Konstandid



**Kõrge konstant** ehk plokk, mis annab pidevalt välja kõrget signaali (loogiline 1).



**Madal konstant** ehk plokk, mis annab pidevalt välja madalat signaali (loogiline 0).



**Lahtine ühendus** ehk väljundi plokile sarnane plokk, mis ei tee mitte midagi. Mõeldud ühendamiseks funktsioonide väljunditesse, mis järgmist plokki nõuavad, kuid kui midagi antud väljundisse pole tegelikult soovi panna.

## Binaarloogika funktsioonid

Binaarloogika funktsioonid on põhilised, mida tööstuskontrollerites kasutatakse. Tööpõhimõte on lihtsustatult see, et kui funktsiooni sisendite olek vastab funktsioonile omasele tingimusele, siis muutub funktsiooni väljund sellele vastavalt. Tingimused on antud funktsioonide tõeväärtustabelites.

FBD-keeles kujutatakse binaarloogika funktsioone ristkülikutena, millel on vasakul sisendid ja paremal väljundid. LAD-keeles seevastu koostatakse enamasti binaarloogika funktsioonid „kontaktidest“.

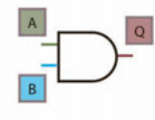
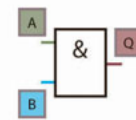
Punkt kas funktsiooni sisendis või väljundis tähendab selle signaali inverteerimist ehk pööramist. Kui algselt on olek 1, siis pärast on 0 ja vastupidi.

## Lihtloogika funktsioonid

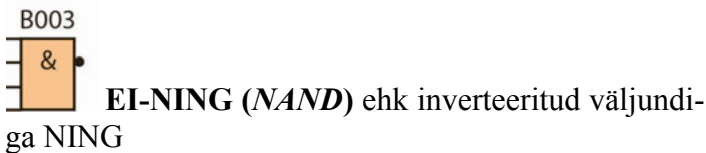


Väljund on kõrge ainult siis, kui kõik sisendid on kõrged. Kõigis muudes olukordades on väljundi väärtus 0. Ühendamata sisendeid ei arvestata.

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

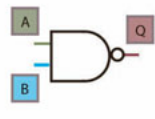
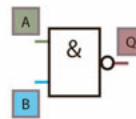


NING loogikafunktsiooni võib vaadelda ka läbi kõrvaloleva loogikakeemi, kus loogikalülitusele on sisendiks kaks surunuppu ja väljundiks lamp.



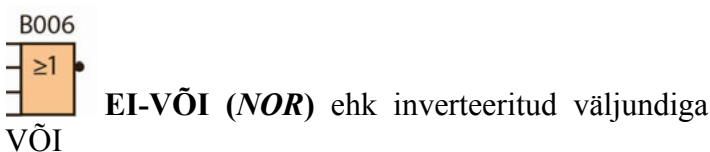
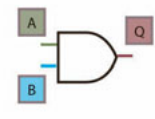
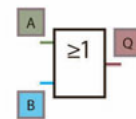
Kui kõikide sisendite väärtus on 1, siis väljundi väärtus on 0. Kõigis muudes olukordades on väljundi väärtus 1.

A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



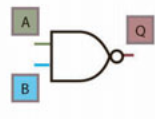
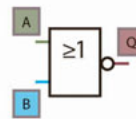
Kui kas või üks sisenditest on kõrge, muutub ka väljund kõrgeks. Väljund on madal ainult siis, kui mitte ükski sisenditest ei ole kõrge.

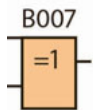
A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



Kui kas või üks sisenditest on kõrge, muutub ka väljund madalaks. Väljund on kõrge ainult siis, kui mitte ükski sisenditest ei ole kõrge.

A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

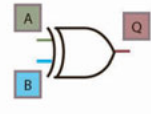
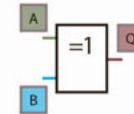




**VVÕI (XOR)** ehk välistav VÕI

Kui **ainult üks** sisend on kõrge, siis on ka väljund kõrge. Kui mõlemad sisendid on madalad või mõlemad on kõrged, siis on väljund madal.

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



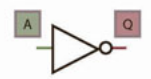
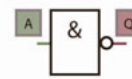
B008



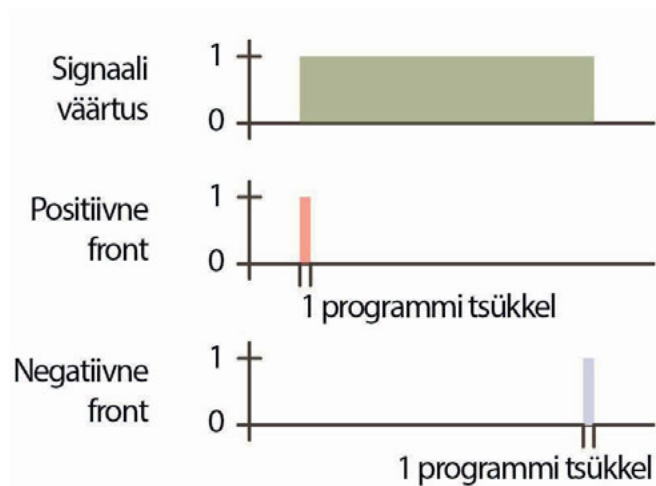
**EI (NOT)**

Inverteeriv funktsioon. Muudab oleku vastupidiseks. Kui sisend on kõrge, siis väljund läheb madalaks ja kui sisend on madal, siis väljund läheb kõrgeks.

A	Q
0	1
1	0



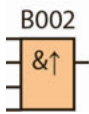
### Signaali väärtuse muutuse avastamine



Signaali väärtuse kasvamist (muutus  $0 \rightarrow 1$ ) nimetatakse positiivseks frondiks ja signaali väärtuse vähenemist (muutus  $1 \rightarrow 0$ ) negatiivseks frondiks. Kasutades frondi-tuvastuseks mõeldud funktsioone, kirjeldab signaali muutust lühike impulss väärtusega 1 funktsiooniploki väljundis. Selle impulsi kestus on üks programmitsükkel. Funktsiooniploki väljundisse ei teki järgmist signaali enne, kui sisendsignaali on tagastunud ja jälgitav front taasesineb.

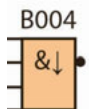
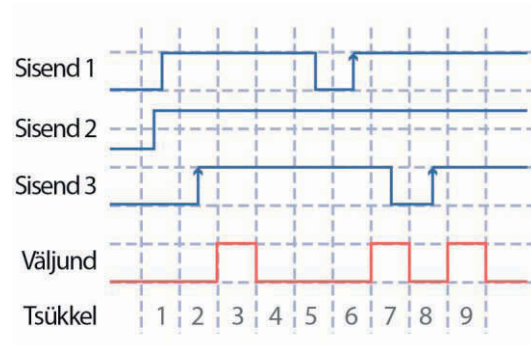
Frondituvastus on kasulik siis, kui ei ole oluline mitte signaali olek, vaid vastava oleku tekkimise hetk. Sobib kasutamiseks näiteks nupuvajutuste, anduri rakendumiste jms tuvastamiseks. Enamasti seda ei kasutata, sest tihtipeale piisab lihtsalt oleku kontrollist (kas on 1 või 0), aga selle probleem on see, et kui on vaja saanud signaali peale teostada ühekordset tegevust (näiteks mingi loenduri suuremaks lugemine), siis tavalise olekutuvastusega suureneks loenduri väärtus ka järgnevate programmitsüklite ajal. Hetkelise nupuvajutuse ajal võib mõni loendur end kümnete tuhandeteni loendada.

## Frondituvastusega loogika



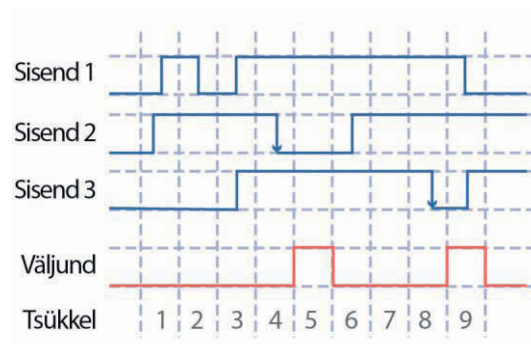
**Frondituvastusega NING (*AND Edge*)** Tuvastab sisendites viimase positiivse frondi.

Väljund läheb kõrgeks **ainult üheks programmitsükliks**, niipea kui kõik sisendid on kõrgeks läinud.



**Frondituvastusega EI-NING (*NOT-AND Edge*)**

Tuvastab esimese negatiivse frondi, kui **kõik sisendid** on eelnevalt kõrgeks olnud. Normaalolekus on väljund madal. Kui kõik sisendid on kõrgeks ja vähemalt üks neist läheb madalaks, läheb väljund **üheks programmitsükliks** kõrgeks.

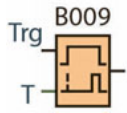


## Erifunktsioonid

Erifunktsioonid pole küll kindel ja iseloomustav mõiste, kuid antud juhul on see nimetus, mille alla andis koondada keerukamad funktsioonid. Paljusid neist ei annagi siinse programmilise lihtloogika baasil lahendada, kuid mõne saab asendada ka „Binaarloogika funktsioonide“ peatüki alt tuntud lihtloogikafunktsioonide kogumiga.

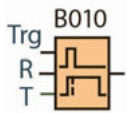
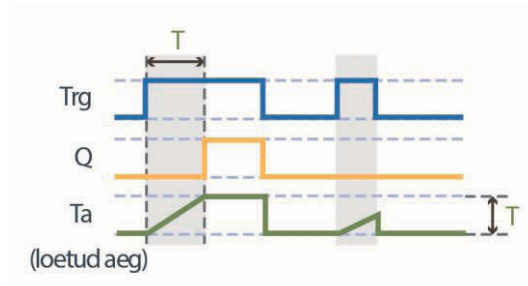
## Taimerid ehk viivituse teostajad

Juhtimisülesannetes on tihti vaja tekitada ajalisi viiteid, selleks on LOGO! kontrolleriil terve hulk funktsiooniplokke. Põhilised neist on ka siin välja toodud.



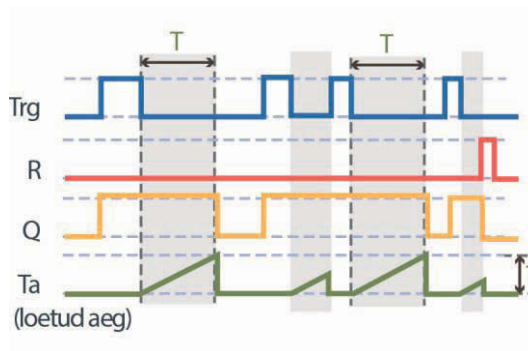
**Sisselülitusviitega taimer (*On-Delay*)**

Väljund  $Q$  on algselt madal. Kui pärast kõrge väärtuse andmist  $Trg$  sisendisse möödub parameetris  $T$  määratud aeg, siis läheb väljund kõrgeks ja püsib kõrge kuni  $Trg$  sisendi madalaks minemiseni.

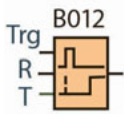


**Väljalülitusviitega taimer (*Off-Delay*)**

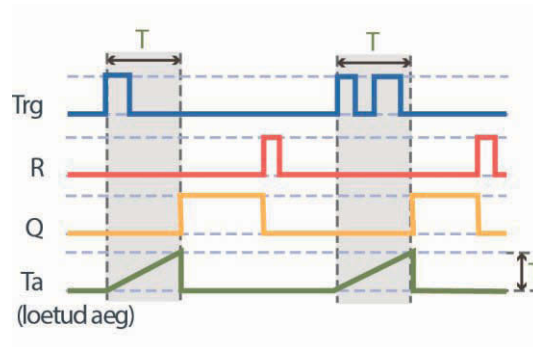
Väljund  $Q$  on algselt madal. Kui sisendi  $Trg$  väärtus läheb kõrgeks, siis läheb kohe kõrgeks ka väljund  $Q$ . Kui sisend  $Trg$  madalaks läheb, siis väljund  $Q$  on veel parameetriga  $T$  määratud aja kõrge. Pärast seda läheb see madalaks. Väljundit saab enneaegselt madalaks sundida  $R$  sisendi kõrgeks lülitamisega.





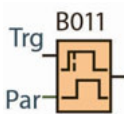


**Salvestav sisselülitusviitega taimer (*Retentive On-Delay*)**



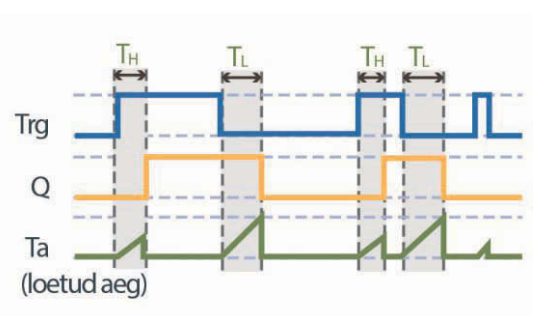
Sarnane sisselülitusviivitusega taimeriga, aga  $Trg$  sisendist kõrge signaali kadumine ei peata taimerit tööd.

Väljund  $Q$  on algselt madal. Kui pärast kõrge väärtuse andmist  $Trg$  sisendisse möödub parameetris  $T$  määratud aeg, siis läheb väljund kõrgeks ja püsib kõrge, kuni  $R$  sisendisse antakse kõrge signaal.

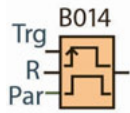


**Sisse-/väljalülitusviivitusega taimer (*On-/Off-Delay*)**

Sellel taimeril on kaks viivitusparameetrit.  $T_H$  määrab sisselülitusviivituse aja ja  $T_L$  määrab väljalülitusviivituse aja.  $Ta$  on aeg, mida loetakse.

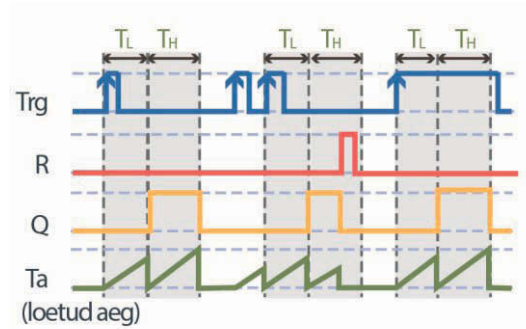


Kuni sisend  $Trg$  on kõrge, loetakse aega  $Ta$ . Kui see jõuab  $T_H$  parameetriga määratud ajani ( $Ta = T_H$ ), siis väljund  $Q$  läheb kõrgeks ja  $Ta$  läheb nulli. Kui sisend  $Trg$  läheb madalaks, siis hakatakse jälle  $Ta$  aega lugema. Kui loetav aeg saavutab sama väärtuse kui  $T_L$ , siis läheb väljund madalaks.



### Frondituvastusega pulsstaimer (*Edge triggered wiping relay*)

Sellel taimeril on kaks viivitusparameetrit.  $T_L$  määrab sisselülitusviivituse aja ja  $T_H$  määrab väljalülitusviivituse aja.  $Ta$  on aeg, mida loetakse.

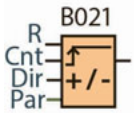


Kui sisend  $Trg$  läheb kõrgeks, siis hakatakse lugema aega  $Ta$ . Kuna kasutatakse frondituvastust, pole vahet, kas  $Trg$  jääb kõrgeks või läheb kohe madalaks. Kui sisendi tõusvast frondist on möödunud  $T_L$  parameetriga määratud aeg ( $Ta = T_L$ ), siis läheb väljund  $Q$  kõrgeks ja  $Ta$  läheb nulli. Kohe hakatakse lugema järgmist aega, mis on väljundi väljalülitusviivitus. Kui loetav aeg saavutab sama väärtuse kui  $T_H$ , siis läheb väljund madalaks.

Kui taimer on aktiivne ja  $Trg$  sisendisse saabub uus tõusev front, siis alustatakse lugemist taas algusest. Kui aktiivse taimer  $R$  (*reset*) sisendisse saabub mistahes hetkel tõusev front, siis lugemine peatatakse ja väljund läheb madalaks.

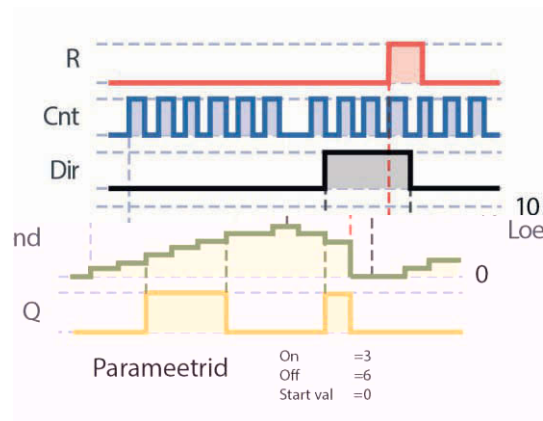
### Loendurid

Loendurid, nagu nimigi ütleb, on funktsioonid, mis võimaldavad midagi loendada. Programmiselt võimaldavad need lugeda näiteks funktsiooni sisendisse saabuvasid tõusvaid fronte ja reaalses rakenduses juba näiteks toorikuid, nupuvajutusi või töötsükleid. Kui loendur on loendatud määratud numbrini, siis annab ta sellest teada ploki väljundi oleku muutmise teel.



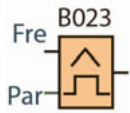
### Üles/alla loendur (*Up/down counter*)

Suurendab või vähendab loendi väärtust ühe võrra iga kord, kui *Cnt* sisendisse saabub positiivne front. Kui sisend *Dir* on madal, siis loeb loendur ülespoole, kui kõrge, siis allapoole. See loendur ei suuda loendada alla nulli ega üle 999. Kui *R* sisendisse tuleb positiivse frondiga signaal, siis võtab loendi enda algväärtuse (nt 0) ja viib väljundi madalaks. Pärast seda on loendur algolekus.



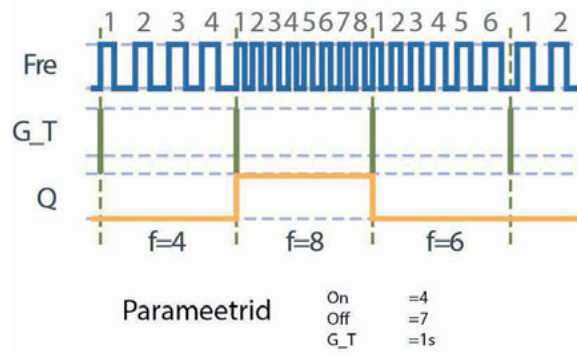
Kui loendi väärtus saavutab On parameetri väärtuse, lülitub loenduri väljund *Q* kõrgeks. Kui loendi väärtus saavutab Off parameetri väärtuse, lülitub loenduri väljund madalaks. *Start val* parameeter määrab loendi algväärtuse.

- Kui  $On \geq Off$ 
  - $Q = 1$ , kui loend  $\geq On$
  - $Q = 0$ , kui loend  $< Off$
- Kui  $On < Off$  (nagu kõrvalolevas näites)
  - $Q = 1$ , kui  $On \leq loend < Off$
  - $Q = 0$ , kui loend  $\geq Off$



### Sageduspäästik (*Thershold trigger*)

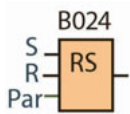
Võimaldab paika panna aja  $G\_T$  (*Gate time*), mille vahemikus  $Fre$  sisendisse tulnud pulsse loetakse. On parameeter määrab läve, mitu pulssi ajaühikus ( $G\_T$ ) peab tulema, et väljund  $Q$  sisse lülitada.



Off parameeter määrab läve, mitu pulssi ajaühikus ( $G\_T$ ) peab tulema, et väljund  $Q$  välja lülitada. Pulsside arv ei pea olema täpne, vaid sisselülitused ja väljalülitused toimuvad allmääritud põhimõttel:

- Kui  $On \geq Off$ 
  - $Q = 1$ , kui pulsside-arv  $> On$
  - $Q = 0$ , kui pulsside-arv  $\leq Off$
- Kui  $On < Off$  (nagu kõrvalolevas näites)
  - $Q = 1$ , kui  $On \leq$  pulsside-arv  $< Off$
  - $Q = 0$ , kui pulsside-arv  $\geq Off$

### Muud funktsioonid

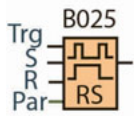


### RS triger (*Latching relay*)

RS triger toimib mäluelemendina ja jätab oma väljundi oleku meelde. Sellel on kaks sisendit  $S$  ehk set ja  $R$  ehk reset.  $S$  sisend seab trigeri väljundi  $Q$  kõrgeks. See jääb kõrgeks seni, kuni see  $R$  sisendi kaudu madalaks seatakse.

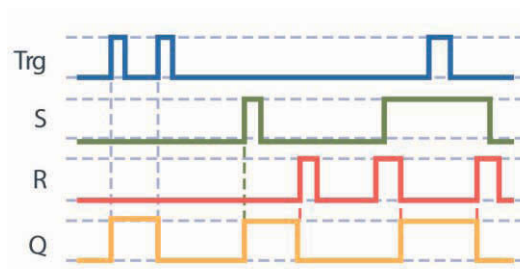


Seda on hea kasutada siis, kui mingi lühikese sisendsignaali peale peab kontrolleri väljund rakendunuks jääma kuni mingi teise lühikese sisendsignaalinini. Samuti on seda mugav kasutada erinevate protsesside olekute meeldejätmiseks, näiteks „automaattsükkel hetkel töötab“.



**Pulssrelee (Pulse relay)**

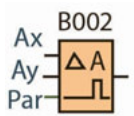
Pulssrelee *Trg* sisend pöörab väljundi *Q* olekut. Kui enne oli väljund kõrge, siis pärast *Trg* sisendisse tulnud kõrget signaali läheb väljund madalaks, ja vastupidi. Säilinud on ka RS trigerist tuntud sisendid *S* ja *R*, mis avaldavad väljundile samasugust mõju nagu RS trigeri puhul. *S* sisend seab trigeri väljundi *Q* kõrgeks. See jääb kõrgeks seni, kuni see *R* sisendi kaudu madalaks seatakse või ka antud juhul *Trg* sisendi kaudu pööratakse.



Antud funktsioon on kasulik näiteks siis, kui ühe ja sama mittefikseeruva nupuga on vaja mingit väljundit nii sisse kui välja lülitada, kuid sama väljund peab olema juhitud paralleelselt ka erinevate sisendsignaalide kaudu (näiteks veel kaks nuppu, üks sisse, teine välja).

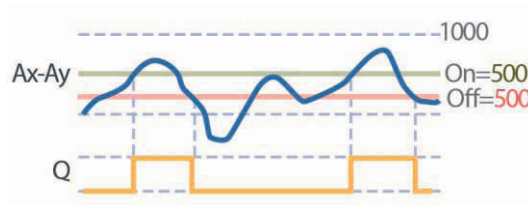
### Analoogfunktsioonid

Analoogväärtused muudetakse kontrolleri digitaalseks, seega tegelikkuses pole tegemist analoogfunktsioonidega, vaid funktsioonidega, mis töötlevad mitmebitilisi digitaalväärtuseid, mis ainult esindavad analoogväärtusi.



**Analoogkomparaator (Analog Comparator)**

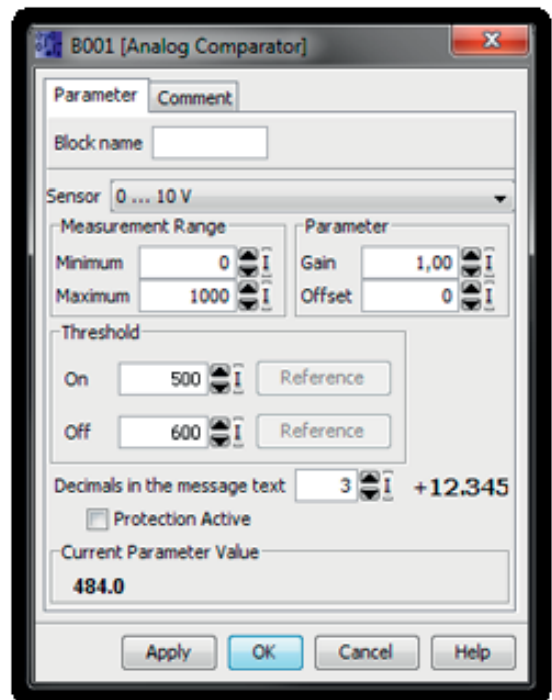
Võrdleb kahte analoogsignaali esindavat väärtust ja lülitab ploki binaarväljundit olenevalt rakendumislävest.



Funktsioon leiab sisendite  $A_x$  ja  $A_y$  vahe. Edasi võrdleb see vahet sisselülituslävega (parameeter On) ja väljalülituslävega (parameeter Off). Kuigi funktsioonil on kaks sisendit, ei pea tingimata mõlemat ühendama. Kui on soov võrrelda ainult ühte analoogsisendi väärtust rakendumislävega, võib teise sisendi tühjaks jätta.

Väljundi lülitumise tingimused:

- Kui  $On \geq Off$ 
  - $Q = 1$ , kui  $(A_x - A_y) > On$
  - $Q = 0$ , kui  $(A_x - A_y) \leq Off$
- Kui  $On < Off$ 
  - $Q = 1$ , kui  $On \leq (A_x - A_y) < Off$
  - $Q = 0$ , kui  $(A_x - A_y) \geq Off$



Sarnane analoogkomparaatorile, kuid sellel on vaid üks sisend. Kui üks sisend ja vahe arvutamine välja jätta, on kõik sama. Lülitab ploki binaarväljundit olenevalt sisendsignaalist  $A_y$  ja selle väärtusest sisselülituslätte On ja väljalülituslätte Off suhtes.

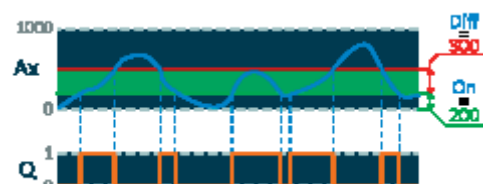
Väljundi lülitumise tingimused:

- Kui  $On \geq Off$ 
  - $Q = 1$ , kui  $A_x > On$
  - $Q = 0$ , kui  $A_x \leq Off$
- Kui  $On < Off$ 
  - $Q = 1$ , kui  $On \leq A_x < Off$
  - $Q = 0$ , kui  $A_x \geq Off$



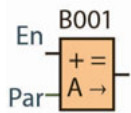
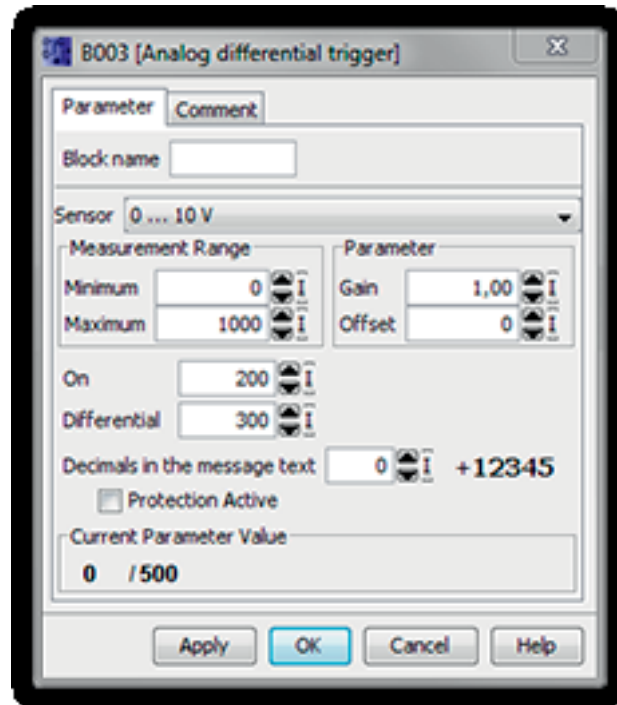
Funktsioon, mille binaarväljund läheb kõrgeks, kui sisendi  $A_x$  väärtus on vahemikus, mis jääb parameetri On väärtuse ja sellest parameetri Differential võrra erineva väärtuse vahele.

Mugav mingisuguse vahemiku tuvastamiseks. Kasutades mitut erinevate vahemikega instantsi sellest



funktsioonist, võib näiteks toorikuid kõrguse järgi sorteerida või näidata kasutajale, millal mingi küttekeha sobivas vahemikus olev temperatuur on saavutatud.

- $Q = 1$ , kui  $On \leq Ax < (On + Differential)$
- $Q = 1$ , kui  $On \geq Ax > (On + Differential)$

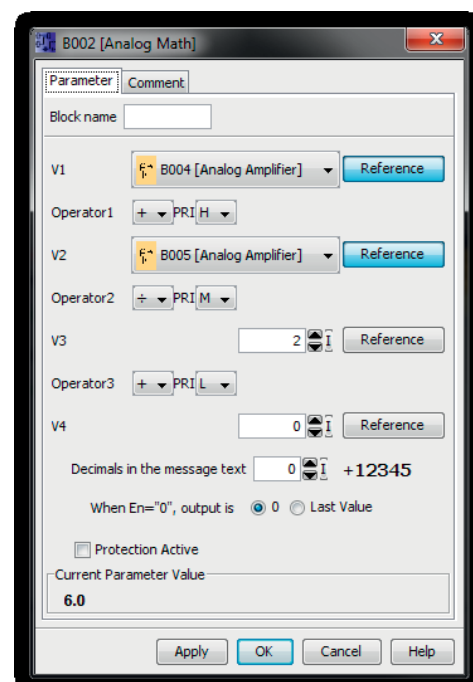


### Analoog-aritmeetika (*Analog math*)

Võimaldab lihtsat analoogväärtuste liitmist, lahutamist, korrutamist ja jagamist. Funktsioonis saab kasutada kuni 4 operandi. Operand võib olla nii konstant kui ka mõne teise analoogfunktsiooni väljund. Seda funktsiooni ei ole võimalik otse sisenditega siduda, kuigi kohandatud sisendväärtust on võimalik lugeda läbi analoogpäästiku (*analog trigger*) või analoogvõimendi (*analog amplifier*) funktsioonide.

Tehte järjekorra määramiseks on võimalik anda tehetele 3 erinevat prioriteeti: *H* – kõrge; *M* – keskmine; *L* – madal. Kõrgema prioriteediga tehted teostatakse esimesena, madalamaga viimasena.

Siin aknas on kujutatud tehe  $(B004.Ax + B005.Ax) / 2$ .



Operandidena saab kasutada järnevate funktsioonide näidatud parameetreid:

- analoog-komparaator (*Analog comparator*):  $Ax - Ay$ ,
- analoog-päästik (*Analog trigger*):  $Ax$ ,
- analoog-võimendi (*Analog amplifier*):  $Ax$ ,
- analoog-multiplekser (*Analog multiplexer*):  $AQ$ ,
- analoog-ramp (*Analog ramp*):  $AQ$ ,
- analoog-aritmeetika (*Analog math*):  $AQ$ ,
- PI kontrolleri (*PI controller*):  $AQ$ ,
- üles/alla loendi (*Up/Down counter*):  $Cnt$ .

### **Analoogvõimendi (*Analog amplifier*)**

Tegu on funktsiooniga, millega saab analoogväärtust skaleerida mingisse teise vahemikku. Parameetriteks on Gain ehk võimendustegur ja Offset ehk nihe.

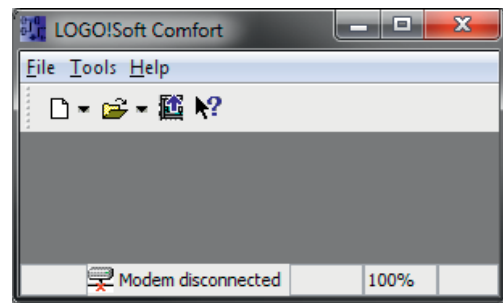
Pingesisendi vahemik on vaikimisi 0...1000. Selleks peab olema Gain 1,00 ja offset 0. Kui peaks tekkima vajadus saada sisend hoopis vahemikus 0...10, siis tuleb Gaini parameetriks määrata 0,01. Sellisel juhul vastab väärtus täpselt pingele, kuid kaotame täpsuses. Kui peaksime vajama hoopis vahemikku 50...500, siis peaks Gain olema 0,45 ja Offset 50.


Samasugune funktsionaalsus on olemas ka mitmes teises analoogfunktsioonis.

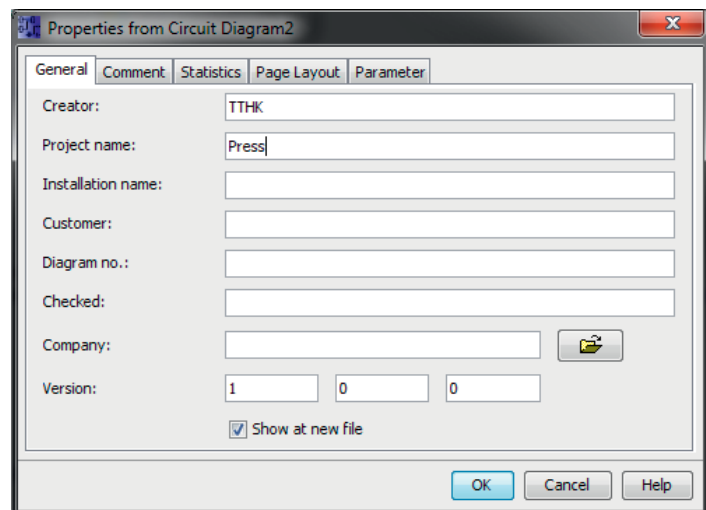


## Kiirjuhend LOGOSOFT programmi käivitamiseks

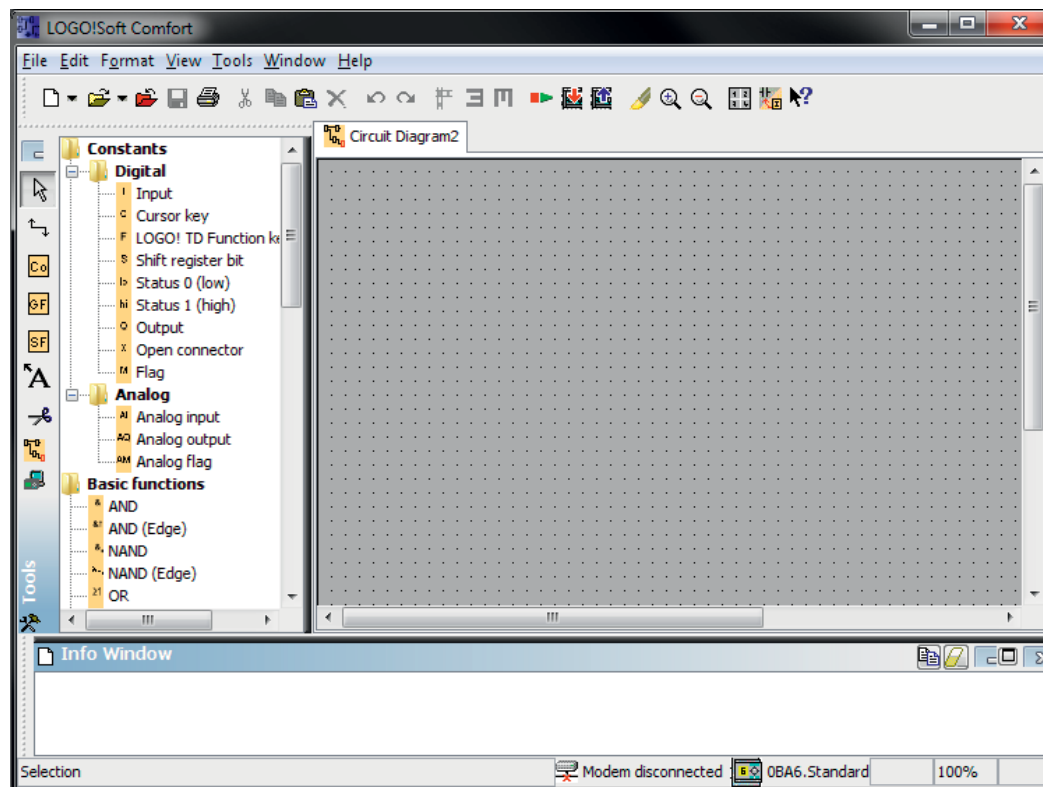
- Tuleb käivitada programm **LOGO! Soft Comfort**.
- Avaneb allnähtav aken.




- Tuleb **luua programm**, vajutades nupule  või valides menüüst **File > New > Function block diagram (FBD)**.
- Avaneb dialoog.
- Programmile võib panna **nime** ja soovi korral täita ka muud lahtrid, seejärel tuleb vajutada **OK**.

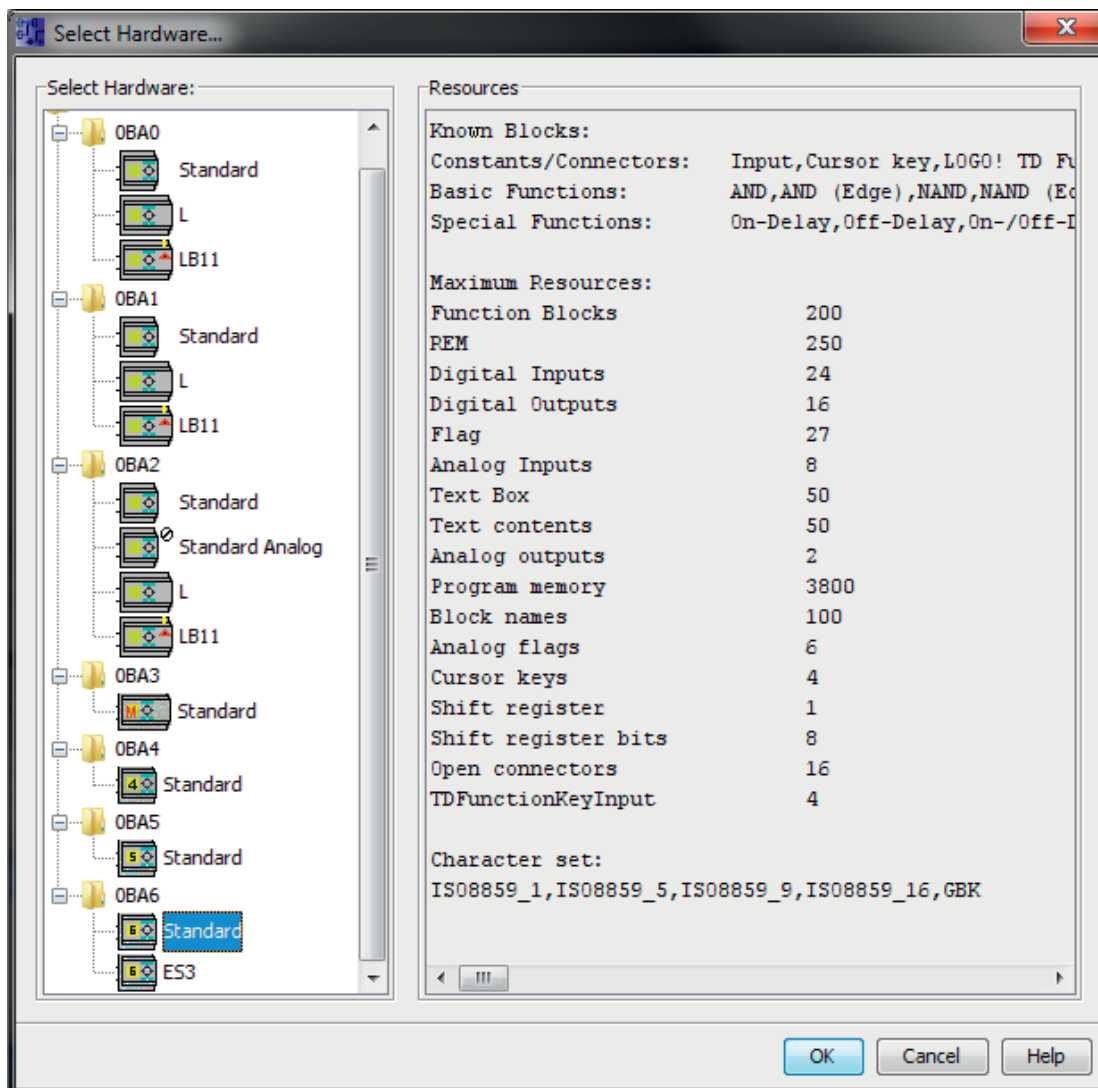


- Ette tuleb tühi programmeerimisala:

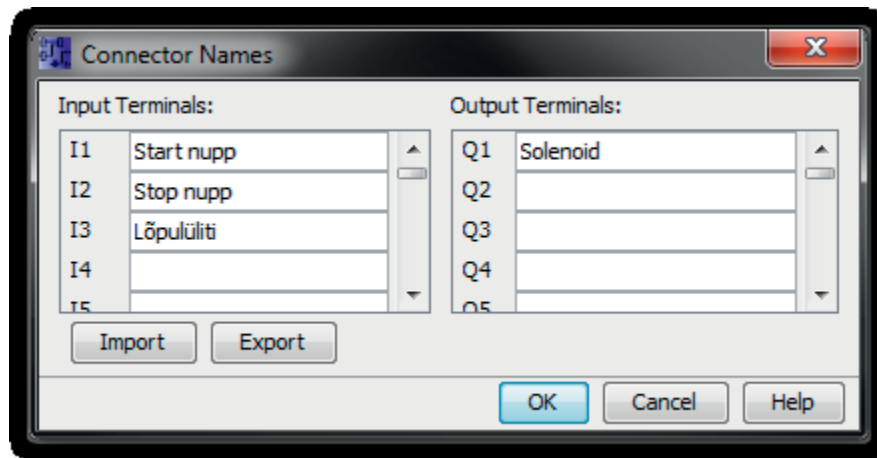


- Tuleb avada kontrolleri tüübi valimise dialoog, vajutades topeltvajutusega **riistvara valiku nuppu**  või valides menüüst **Tools > Select Hardware**.
- Avaneb dialoog.

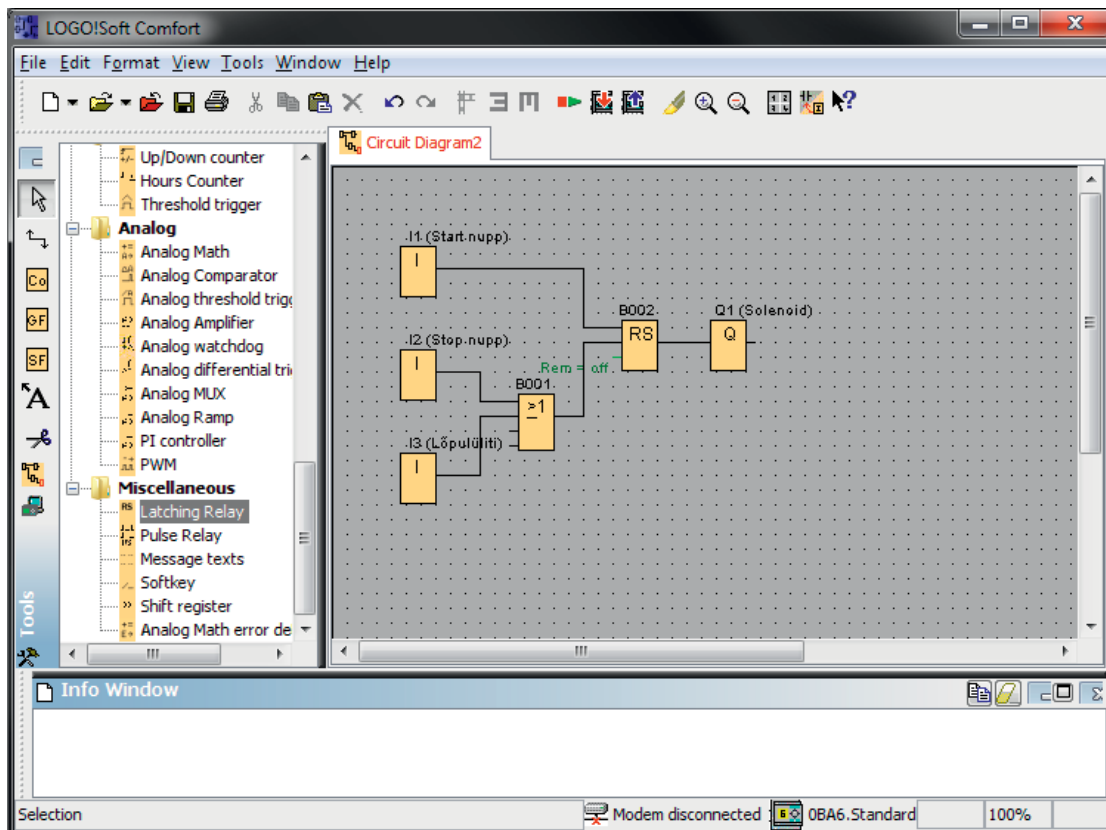
- Tuleb **valida** menüüst **kontroller**, millele kirjutatav programm mõeldud on, ja seejärel vajutada **OK**:



- On soovitatav täita sisendite ja väljundite tabel, valides menüüst **Edit > Input/Output Names**.



- Tuleb **koostada programm**. All on näide programmist.



- Tuleb **kontrolleri sisse lülitada** (toide peale anda), kui seda juba tehtud ei ole.
- Programmeerimiskaabel tuleb **ühendada** kontrolleri programmeerimisportiga ja arvuti USB või järjestikportiga (RS232).

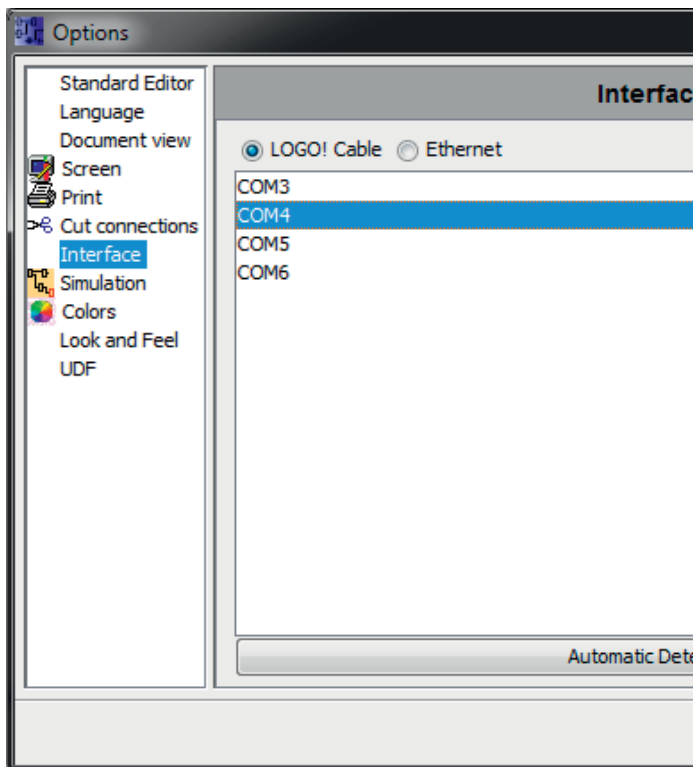


- LOGO! programmeerimiskaabel
- Windows Device Manageris

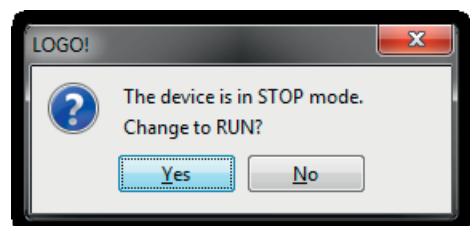
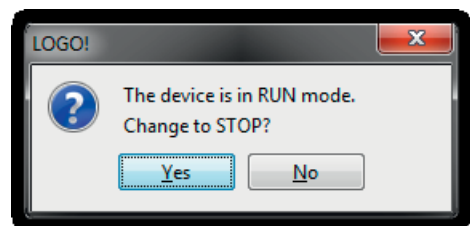
Tarkvaras tuleb **määrata port**, mille kaudu programmeerimine toimub. Selleks tuleb minna **Tools > Options > Interface** ja vajutada nuppu **Automatic Detection** või port käsitsi määrata (Windowsis on võimalik Device Manageri alt COM portide numbreid vaadata).

Kui õiget porti ei paista, tuleks tarkvarale restart teha. Kui ka see ei aita, tuleks USB kaabli või USB &ls;>RS232 kaabli draiverid uuesti paigaldada.

Märkus: vanematel kontrollritel tuleb eelnevalt programm peatada ning valida PC kaudu programmeerimisrežiim.



- Nüüd on võimalik programm **kontrollerisse laadida**, vajutades Download (📁 PC > LOGO) nupule.
- Kui ilmub dialoog, mis küsib luba kontrolleri programmi peatamiseks, võib vajutada **Yes**.
- Kui ilmub dialoog, mis küsib luba kontrolleri programmi taaskäivitamiseks, võib vajutada **Yes**. Tuleb arvestada, et programmi käivitamisega võivad kontrolleri poolt juhitud täiturid liikuma hakata ja ebasoodsatel tingimustel inimestele vigastusi põhjustada.



Sellega on kontroller programmeeritud ja programm kontrollerisse laetud ning käivitatud.

## Lisa 2: Lühendite loetelu

AC	Alternating Current – vahelduvvool
ACCU	Accumulator – akumulaator
ADM	Analoog digitaalmuundur
AI	Analogue Input – analoogsisend
AO	Analogue Output – analoogväljund
ARP	Aadressi teisenduse protokoll
AS	Täiturite ja andurite piirkonna tööväljavõrk
ATM	Asünkroonne andmeedastusmeetod
BCD	Binary Decoded Decimal – binaarselt kodeeritud kümnend arv
CAD	Computer Aided Design – toodete raalprojekteerimissüsteem
CAE	Computer Aided Engineering – toote valmistustehnoloogia raalprojekteerimissüsteem
CAM	Computer Aided Manufacturing – paindlik valmistusmoodul
CAN	Kontrolleripiirkonna võrk
CP	Communication Processor – andmeside moodul
CPU	Central Processing Unit – keskjuhetimismoodu
CSMA/CD	Kandesageduse- ja kokkupõrketundlik mitmikjuurdepääs
CTDMA	Samaaegne hulgipöördusmeetod
CTR	Kriitiline temperatuuritakisti
CW	ClockWise – kellaosuti liikumise suund
D	Derivative controller – diferentseeriv regulaator
DA	Andmehõive
DB	Data Block – andmete plokk
DC	Direct Current – alalisvool
DCS	Hajusjuhtimissüsteem
DI	Digital Input – digitaalsisend
DLC	Andmepikkuskood
DNS	Domeeninimesüsteem
DO	Digital Output – digitaalväljund
DoD	Kaitseministeeriumi (Department of Defense) võrgumudel
Ethernet/IP	Reaalajaline sideprotokoll tööstuslikes rakendustes
FB	Function Block – funktsiooniplokk
FBD	Function Block Diagram – funktsiooniplokkskeem
FC	Function – funktsioon
FDDI	Optilise hajusvõrgu andmeliides
FM	Function Module – funktsioonimoodul
FMS	Paindootmise süsteem
FTP	Faili edastusprotokoll
HART	Adresseeritav andur
HMI	Human-Machine Interface – inimese-masina liides
HTTP	Hüpertexti edastusprotokoll

I	Integral controller – integraalne regulaator
I/O	Input/Output – sisendid-väljundid
IEC	Rahvusvaheline Elektrotehnikakomitee
IM	Interface Module – liidesmoodul
IP	International Protection code – kaitseklass
ISO	Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon
LAD	Ladder Logic – kontaktaseskeem
LAN	Andmeside kohtvõrk
LCD	Liquid Crystal Display – vedelkristallekraan
LD	Ladder Diagram – kontaktaseskeem
LED	Light-Emitting Diode – valgusdiod
LLC	Loogilise lüli (ühenduse) juhtimine (Logical Link Control)
MAC	48-bitine unikaalne tootja poolt omistatud võrguseadme identifikaator, meediumpöörduse juhtimise aadress
MOS	Metall-oksiid-pooljuht
N	Magnetic north – magneti põhjapoolus
NTC	Negatiivne temperatuurikoefitsient (pooljuhtmaterjalil)
OB	Organization Block – juhtplokk
OSI	Avalik etalonmudel, mille kohaselt andmevahetusprotsess võrgus on jaotatud seitsmeks iseseisvaks kihiks
P	Proportional controller – proportsionaalne regulaator
PC	Personaalarvuti
PID	Proportional-Integral-Derivative controller – proportsionaalne-integraalne-diferentsiaalne regulaator
PLC	Programmable Logic Controller – programmeeritav kontroll
POU	Program Organization Unit – programmi ülesehituse üksus
PS	Power Supply – toitemoodul
PTC	Positiivne temperatuurikoefitsient (pooljuhtmaterjalil)
RTD	Takistuslik temperatuuriandur
S	Magnetic south – magneti lõunapoolus
SAW	Pindakustilised lained
SM	Signal Module – signaalimoodul
ST	Structured Text – struktureeritud tekst
TCP	Edastusohje protokoll; andmete transpordi juhtimise protokoll
TCP/IP	Edastuse juhtimise protokoll/interneti protokoll
TEDS	Elektrooniliste andmelehtede andur
UDP	Kasutajadatagrammi protokoll, kasutaja andmete edastuse juhtimise protokoll
UTP	Varjestamata keerutatud juhtmetest paar
UWB	Ülilairibatehnoloogia
WAN	Laivõrk (Wide Area Network),
WDS	Traadita hajusvõrk, raadiovõrk
Wi-Fi	Raadiokohtvõrk, vastavalt IEEE802.11 standarditele, kandesagedus üle 500 MHz



### Lisa 3: Vastused

Peatüki nr	Õiged vastused
1	1b; 2c; 3e; 4b; 5a; 6d; 7c; 8e; 9c
2.1	1b, c; 2a, d, e; 3a, c; 4a, b, d; 5a, b, d; 6b; 7a, b; 8b; 9a, b; 10b, c; 11a; 12a; 13b, d; 14a; 15a, b, d; 16a, c, d; 17a, b; 18b; 19b; 20c
2.2	1c; 2d; 3e; 4d; 5a; 6a; 7e; 8c; 9d; 10 -; 11a; 12d; 13a; 14c; 15b; 16c; 17a; 18d
2.3	1b; 2a; 3a; 4a; 5a, b; 6a; 7b; 8a; 9c; 10a; 11a; 12a; 13c; 14b; 15b; 16a; 17c; 18c
2.4	1 -; 2 -; 3 -; 4 -; 5 -; 6 -; 7 -; 8 -; 9 -; 10 -; 11 -; 12 -; 13 -; 14 -; 15 -; 16 -

