

# SISUKORD

1. ARVUTI MUDEL .....	1
1.1. Põhimälu.....	2
1.2. Arvsüsteemid. Positsioonilised arvsüsteemid. Kümnend- kahend- ja kuueteistkümnendarvud.....	8
1.3. Andmete esitamine mäluseadmetel .....	13
1.4. Arvuti protsessor ja tema tööpõhimõte. Registrid. Käsusüsteem .....	17
1.5. Siin. Sisend-väljundportide süsteem .....	21
1.6. Algoritmilised keeled. Translaatorid ja interpretaatorid	27
2. ARVUTITE ELEMENDID JA SÕLMED .....	31
2.1. Lihtelemendid .....	31
2.2. Summaator .....	34
2.3. Trigerid.....	37
2.3.1. RS – triger .....	37
2.3.2. E – triger.....	39
2.3.3. Sünkroonne RS – triger .....	39
2.3.4. D – triger .....	40
2.3.5. T – triger.....	41
2.3.6. MS – triger.....	41
2.3.7. JK – triger.....	42
2.3.8. Kokkuvõte .....	43
2.4. Registrid.....	44
2.5. Summaatorite tüübid .....	45
2.6. Dekooderid .....	46
2.7. Loendurid.....	47
2.8. Komparaatorid .....	48
2.9. Multipleksorid.....	49
3. ARVUTISEADMED .....	50
3.1. Mäluseadmed .....	50
3.1.1. Mäluelemendid.....	50
3.1.2. Mäluseadmete liigitus.....	53
3.1.3. Dünaamilise muutmälu alaliigid .....	56
3.1.4. Mälumoodulid ja muutmälu lisamine.....	57
3.1.5. Vahemälu <i>cache</i> .....	60
3.1.6. Baasvahetussüsteem BIOS.....	62
3.1.7. Programmi Setup parameetrite muutmine .....	66

3.2. Mikroprotsessorid.....	67
3.2.1. CISC ja RISC mikroprotsessorid .....	68
3.2.2. Ajalooline ülevaade .....	69
3.2.3. Mikroprotsessori arhitektuur .....	72
3.2.3.1. Sünkroniseerimine .....	72
3.2.3.2. Protsessori registrid .....	73
3.2.3.3. Pentiumi arhitektuur .....	73
3.2.3.4. Arhitektuuri areng.....	75
3.2.4. Tootmisprotsess .....	76
3.2.5. Ühilduvus tarkvaraga.....	78
3.2.6. Mikroprotsessor Pentium.....	79
3.2.7. Mikroprotsessor Pentium Pro .....	80
3.2.8. Mikroprotsessor Pentium MMX.....	81
3.2.9. Mikroprotsessor Pentium II.....	83
3.2.9.1. SEC .....	84
3.2.9.2. DIB.....	84
3.2.9.3. Deschutes .....	85
3.2.9.4. Celeron .....	85
3.2.9.5. Pentium II Xeon.....	86
3.2.10. Mikroprotsessor Pentium III.....	87
3.2.10.1. Coppermine .....	87
3.2.10.2. Tualatin .....	89
3.2.10.3. Vaskühendused mikroskeemis.....	90
3.2.11. Mikroprotsessor Pentium 4.....	91
3.2.11.1. Willamette .....	91
3.2.11.2. Northwood.....	93
3.2.11.3. HT tehnoloogia.....	94
3.2.12. Mikroprotsessorid Celeron Pentium III ja Pentium 4 baasil.....	96
3.3. Personaalarvuti siinid.....	98
3.3.1. Põhimõisted .....	98
3.3.2. ISA siin.....	99
3.3.3. MCA ja EISA siinid .....	100
3.3.4. Kohtsiin <i>Local bus</i> .....	101
3.3.5. PCI siin.....	102
3.3.6. PCI-X siin .....	103
3.3.7. AGP siin .....	104
3.3.8. Uued standardid välisseadmete ühendamiseks..	107
3.3.9. USB siin .....	108
3.3.10. IEEE 1394 siin.....	110
3.3.11. USB 2.0 siin .....	115

3.4. Personaalarvuti emaplaat .....	116
3.4.1. Emaplaadi areng .....	116
3.4.2. BIOS-i areng .....	118
3.4.3. Emaplaadi väliskuju.....	119
3.4.3.1. ATX emaplaat .....	120
3.4.3.2. NLX emaplaat .....	121
3.4.3.3. MicroATX emaplaat.....	121
3.4.3.4. FlexATX emaplaat.....	122
3.4.4. Erinevad tõstekaardid.....	123
3.4.5. Protsessori ühendamine emaplaadile.....	125
3.5. Vahetatavad kettaseadmed .....	131
3.5.1. Disketiseadme ajaloost.....	132
3.5.2. Disketiseadme tööpõhimõte .....	133
3.5.3. Uued tehnoloogiad .....	134
3.5.4. Magnetketta tehnoloogia .....	136
3.5.5. Magnetoptiline tehnoloogia.....	136
3.5.5.1. LIMDOW tehnoloogia .....	138
3.5.5.2. MO ketaste ehitus ja maht.....	139
3.5.5.2. Uued MO tehnoloogiad .....	140
3.6. Kõvakettaseadmed .....	141
3.6.1. Kõvakettaseadme ajaloost .....	141
3.6.2. Kõvakettaseadmete ehitus .....	142
3.6.3. Kõvakettaseadmete tööpõhimõte .....	144
3.6.4. Kõvakettaseadmete töökiirus .....	146
3.6.5. Kõvakettaseadmed audio-video rakendustes .....	148
3.6.6. Kõvakettaseadme mahud.....	149
3.7. Kettaseadmete liidesed.....	151
3.7.1. IDE liides .....	151
3.7.2. EIDE liides.....	152
3.7.3. Ultra ATA liides.....	154
3.7.4. Kettamahu piirangud .....	157
3.7.5. ATA jadaliides .....	158
3.7.6. SCSI liides .....	160
3.7.7. SCSI liidese areng.....	161
3.8. CD-ROM kettaseadmed.....	165
3.8.1. Laserplaadi ehitus .....	165
3.8.2. Laserplaadi valmistamine tehases.....	166
3.8.3. CD-lugeri (laserplaadimängija) tööpõhimõte.....	168
3.8.4. Heli salvestamine laserplaadile .....	170
3.8.5. Vea avastamine ja parandamine .....	171
3.8.6. Pöörlemiskiirus .....	172
3.8.7. Erinevad standardid .....	173
3.8.7.1. Punane raamat.....	174

3.8.7.2. Kollane raamat.....	174
3.8.7.3. CD-ROM XA .....	175
3.8.7.4. Roheline raamat.....	175
3.8.7.5. Oranž raamat .....	176
3.8.7.6. Valge raamat.....	176
3.8.7.7. Sinine raamat.....	177
3.8.7.8. Purpurne raamat .....	177
3.8.7.9. CD-I Bridge .....	178
3.8.7.10. Photo CD .....	178
3.8.7.11. Failisüsteemid .....	179
3.9. CD-R ja CD-RW kettaseadmed.....	180
3.9.1. Kettaformaadid.....	181
3.9.2. CD-R kettaseadmed.....	183
3.9.3. CD-RW kettaseadmed.....	185
3.9.4. Minikettad.....	187
3.9.5. Digitaalsed audiokettad .....	188
3.9.6. Topelttihedusega kettad .....	189
3.9.7. Kettaformaad UDF .....	189
3.9.8. MultiRead kettaseadmed.....	191
3.9.9. Vigade vältimine kirjutamisel .....	192
3.9.10. Ketaste mahud .....	193
3.10. DVD kettaseadmed.....	195
3.10.1. Ajalugu .....	195
3.10.2. Formaadid.....	197
3.10.3. Tehnoloogia .....	198
3.10.4. OSTA .....	200
3.10.5. Failisüsteemid .....	201
3.10.6. Ühilduvus .....	202
3.10.7. Kodeerimine .....	204
3.10.8. Intellektuaalse omandi kaitse .....	206
3.10.9. Piirkondlik kodeerimine.....	209
3.10.10. DVD-ROM seadmed.....	211
3.10.11. DVD-Video kettad.....	213
3.10.12. DIVX kettad .....	214
3.10.13. DVD-Audio kettad.....	216
3.10.14. Salvestatavad DVD kettad.....	218
3.11. Kuvarid.....	221
3.11.1. Tööpõhimõte .....	222
3.11.2. Millest pilt koosneb? .....	225
3.11.3. Subjektiivsed väärtused.....	227
3.11.4. Ekraani suurus ja hind.....	228
3.11.5. Energiasääste, ohutus, kiirguskaitse ja demagnetimine .....	229

3.11.6. Vedelkristallkuvar .....	231
3.11.6.1. Puudev kaadrisagedus ( <i>refresh rate</i> ) .....	232
3.11.6.2. Vedelkristallpaneel .....	232
3.11.6.3. Passiivmaatrikskuvar.....	236
3.11.6.4. Aktiivmaatrikskuvar (TFT) .....	237
3.11.7. Plasma- ehk gaaslahenduspaneel.....	239
3.11.8. Elektroluminescentspaneel.....	241
3.12. Kuvari adapter ehk videokaart.....	242
3.12.1. Eraldusvõime, piksel ja graafikastandardid.....	243
3.12.2. Värvide intensiivsus.....	246
3.12.3. Virvtoonimine .....	247
3.12.4. Komponendid .....	247
3.12.4.1. Graafikaprotsessor .....	248
3.12.4.2. Videomälu .....	249
3.12.4.3. Digitaal-analoogmuundur RAMDAC .....	251
3.12.4.4. Graafikakaartide draiverid .....	252
3.12.5. Digitaalsed graafikakaardid .....	252
4. ARVUTIVÕRGUD .....	254
4.1. Põhimõisted .....	254
4.1.1. Võrguprotokollid ja OSI mudel .....	255
4.1.2. Topoloogiad .....	258
4.1.3. Pöördumisviisid .....	259
4.1.4. Kohtvõrkude arhitektuur .....	260
4.1.5. P2P võrgud .....	261
4.2. Arvutivõrkude standardid .....	263
4.2.1. Kiudlevi-andmeliides FDDI .....	263
4.2.2. Lubaring (Token Ring).....	264
4.2.3. Ethernet.....	266
4.2.4. Fast Ethernet.....	268
4.2.5. Gigabit Ethernet .....	268
4.3. Arvutivõrkude riistvara.....	269
4.3.1. Võrgukaardid.....	269
4.3.2. Jaoturid ja järgurid.....	270
4.3.3. Sillad .....	271
4.3.4. Marsruuterid .....	272
4.3.5. Kommutaatorid.....	273
4.3.6. Saatjad-vastuvõtjad.....	273
4.3.7. Võrgukaablid .....	274
4.4. Arvutivõrgud kodudes .....	276
4.4.1. Ethernet-i võrgud.....	277
4.4.2. Telefoniline kasutatavad koduvõrgud .....	277

# 1. ARVUTI MUDEL

Arvutitega on seotud erinevate valdkondade lõppkasutajad ning riistvara ja tarkvara teenindav personal. Erinevate kasutajate või teenindajate tarbeks võib koostada mitmeid arvutite talitlust ja struktuuri kirjeldavaid mudeleid. Näiteks võiks koostada sellise mudeli, mis kirjeldab lõppkasutajale sisend- ja väljundandmete edastamise kiiruse sõltuvust arvuti põhiparameetritest, või sellise mudeli (skeemi), mis kirjeldab elektroonikule arvuti emaplaadi struktuuri.

Vaatame, kuidas arvuti etteantud programmi järgi töötab ning kuidas on realiseeritud andmete (info) töötlemine. Nende küsimuste selgitamiseks kasutame järgmist arvuti mudelit.

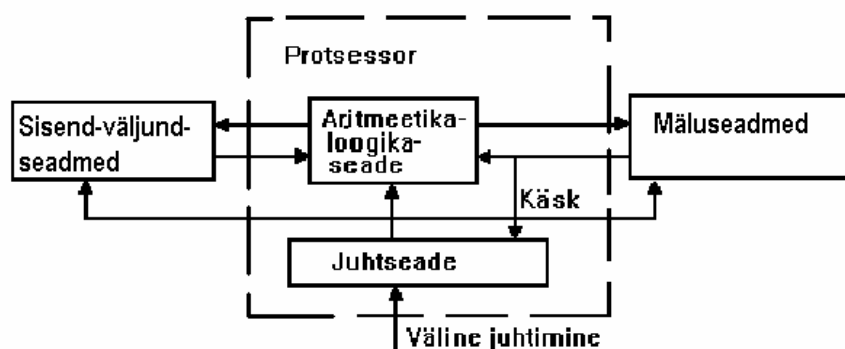
Arvutit võib kirjeldada kui erinevatest osadest koosnevat süsteemi.

Süsteemiks nimetatakse ühist ülesannet täitvate osade kogumit, kusjuures iga osa võib omakorda olla süsteem (alamsüsteem).

Sellise süsteemi tundmaõppimist alustame erinevate osade uurimisest ning seejärel vaatame erinevate osade vahelist sõltuvust ja koostööd.

Iga uuritav osa on esialgu "must kast", millel on mingi sisu, sisend ja väljund. "Musta kasti" tundmaõppimiseks analüüsitakse sisendi ja väljundi vahelist seost. Kasti sisuks on mudel, mis kirjeldab, kuidas sisendist saadakse väljund. Selline mudel ei kirjelda arvuti (osa) mikroskeemide, transistoride vms. funktsioneerimist, vaid kirjeldab selle osa sisendi ja väljundi vahelist seost.

Klassikaline arvuti tööpõhimõtet kirjeldav mudel, mille töötas välja John von Neumann 1945 aastal, on toodud joonisel 1.



Joonis 1.1. Arvuti tööpõhimõtet kirjeldav mudel

*Arvuti tööpõhimõte:* sisendandmetest moodustatakse väljundandmeid, täites sammhaaval käske (programmi), mis on salvestatud mällu. Kõiki operatsioone juhib juhtseade.

*Arvuti osade põhifunktsioonid on järgmised:*

*ALU* – (inglise keeles *arithmetic and logic unit*) aritmeetika-loogikaseade sooritab tehteid (liidab, võrdleb);

*mäluseadmetes* salvestatakse andmed ja programmid;

*sisend-väljundseadmed* teisendavad sisestatava info (algandmed, programmid, hääl, pildid jm.) arvutile arusaadavale kujule (elektrisignaalideks) ja väljundandmed (tulemused, lahendid) tarbijale vajalikule kujule (tekst ekraanil, juhtsignaal mingile andurile, väljatrükk vm.);

*juhtseade* korraldab andmete sisestust, väljastust, tehete sooritamist ALU-is, andmevahetust ALU ja mäluseadmete vahel. Infot selle kohta, missugust tehet sooritada, saab juhtseade mälust käskude kujul.

Töödeldav info, olgu see siis programm, kirjatekst, pildid, hääl või midagi muud, teisendatakse sisend - väljundseadmes elektrisignaalideks. Ka infovahetus arvuti eri osade vahel (s.o. osade omavaheline ühendamine) on realiseeritud elektrisignaalide abil.

Järgnevalt vaatame, kuidas töötavad arvuti osad.

## **1.1. Põhimälu**

Arvuti mälu ülesandeks on säilitada infot muutumatul kujul nii, et hiljem oleks võimalik seda kasutada.

Info, mida mälu säilitatakse on mitmesugune:

- programm, mida protsessor parasjagu täidab,
- algandmed ja töö tulemused,
- programmid, mis parasjagu ei tööta,
- väljastatav info (näiteks ekraanipilt)
- jm.

Personaalarvutites jagatakse mälu üldjuhul kolme ossa:

- põhimälu ehk operatiivmälu,
- püsिमälu,
- välismälu.

*ROM (Read Only Memory)* - arvuti *püsिमälu*. Püsिमälu täidetakse arvuti valmistaja poolt sagedamini vajaminevate programmide ja antud konkreetse arvuti kohta käiva püsiinfoga - *BIOS-iga*

(*Basic Input - Output System*). Sellised programmid teevad näiteks operatsioonisüsteemi laadimist põhimällu, riistvara testimist, infovahetust välisseadmetega jne. Püsिमällu salvestatud infot ei saa üldjuhul muuta, seda saab ainult kasutada.

*Põhimälu* on selline mälu, mille poole protsessor saab vahetult pöörduda. Kuna pöördumisaeg ei sõltu sellest, millise põhimälu osa poole pöörduetakse, siis kasutatakse põhimälu asemel nimetust *suvapöördusmälu* (*Random Access Memory - RAM*). Põhimälu nimetatakse ka *operatiivmäluks*, sest tema ülesandeks on salvestada protsessori poolt parasjagu täidetavat programmi ja vajalikke algandmeid, et tagada kiire andmevahetus protsessoriga. Erinevalt püsिमälust saab põhimälu sisu muuta, mistõttu kasutatakse termini *põhimälu* asemel ka nimetust *muutmälu*.

John von Neumanni mudelis asuvad nii püsिमälu kui ka põhimälu plokis **Mäluseadmed**.

*Välismälu* ülesandeks on informatsiooni pikemaajalisem säilitamine. Välismäluna kasutatakse tavaliselt kettaseadmeid.

John von Neumanni mudelis võib välismälu paigutada ploki **Sisend-väljundseadmed** alla, sest protsessor ei saa lugeda andmeid otse välismälust, vaid peab need eelnevalt põhimällu salvestama.

Enne kui minna põhimälu kirjeldava mudeli juurde, vaatame kuidas esitada infot, mida arvuti töötleb.

Arvuti töötleb ja salvestab elektrisignaale. Selleks et nende signaalidega mingit teadet edasi anda või nende signaalide nivoode muutuste abil mingit ülesannet lahendada, on vaja kokku leppida, kuidas neid signaale kirjeldada (kodeerida). Kuna igal signaalil on mingi nivoo, siis võib neid kirjeldada nivoo väärtuste järgi. Nivoo väärtus on mingi arv.

Igapäevases tarbimises kasutatakse arvude nimetamiseks ja üleskirjutamiseks kümnendsüsteemi. Kümnendsüsteemi võiks rakendada ka arvutite elektrisignaale kirjeldamiseks - igale kümnendsüsteemi numbrile (0...9) vastaks üks elektrisignaali. Kümne erineva numbri abil on võimalik esitada kõik kümnendsüsteemi arvud, tähtede kodeerimiseks tuleks kasutada mingit muud kodeerimise viisi.

Tehniliselt on sellise arvuti realiseerimine küllalt keeruline ja kulukas. Sellised elemendid, mis suudavad eristada ja omandada kümnet erinevat seisundit, on kallid ja nende töökiirus on väike.

Järelikult kümnendsüsteemi kasutamine elektrisignaale kodeerimiseks ei ole otstarbekas.



Üldjuhul töötleb arvuti ainult kahe nivooga signaale. Iga elektrisignaali on kas +5 V või 0 V. Nende kahe nivoo kodeerimiseks on vaja ainult kahte arvu: 0 vastab nivoole 0 V ja 1 vastab nivoole +5 V. Kõik teised arvud, tähed ja märgid on esitatavad 0 ja 1 jadadena. Iga kindla pikkusega 0 ja 1 kombinatsioonile vastab mingi number, täht või märk.

Info salvestamiseks kasutatakse selliseid elemente, millel on füüsilises mõttes kaks stabiilset seisundit (laetud, mittelaetud; avatud, suletud). Üleminek ühest olekust teise ei tohi olla juhuslik (iseeneslik). Sellise mälu elemendi olekute kodeerimiseks on vaja samuti kahte arvu: 0 vastab mittelaetud või suletud, 1 vastab laetud või avatud olekule.

Ühte mälu elementi on võimalik salvestada minimaalne hulk infot. See minimaalne hulk on võetud info hulga mõõtühikuks, mida nimetakse bitiks.

1 bitt on vähim mõeldav infohulk, mis võib ühelt elemendilt teisele edasi kanduda. 1 bitt infot saadakse ühe teate vastuvõtmisel kahe erineva teate hulgast.

Näiteks kaks teadet: valgusfoor töötab  
valgusfoor ei tööta.

Ühebitilise info kodeerimiseks kasutatakse arve 1 ja 0:  
valgusfoor töötab - 1  
valgusfoor ei tööta - 0.

Sama kehtib ka mälu elemendi korral:  
element on avatud - 1  
element on suletud - 0.

Seega kokkuvõtteks võib öelda, et arvuti väikseim infot salvestav element võib salvestada ühe biti infot.

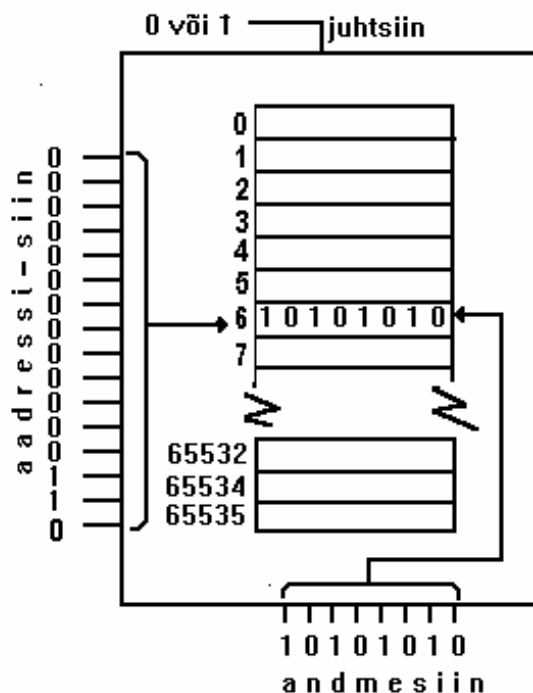
Põhimõlgu salvestatakse info järjestatud bittide jadana. Vajaminev infohulk on üldjuhul paljudes järjestikustes bittides, sellepärast grupeeritakse põhimõlgu bitid alates esimesest kaheksa kaupa baitideks.

Bait on infohulk, mida põhimõlgu korraga salvestatakse või mida põhimõlgu korraga loetakse.

Ühe baiti salvestamiseks on tarvis kaheksat mälu elementi, mis moodustavad *mälupesad*.

Igal mälupesal on oma järjenumbr e. aadress. Aadress võimaldab otse iga mälupesaga poole pöörduda.

## Lugemine ja kirjutamine põhimällu - põhimälu tööpõhimõte



Joonis 2.1. Põhimälu

Põhimälu sisenditeks ja väljunditeks on põhimälu ja protsessori vaheline siin. Siin jaguneb alamsiinideks:

aadressisiin,  
juhtsiin e. käsusiin,  
andmesiin.

Igal alamsiinil on oma ülesanne protsessori ja põhimälu vahelise andmevahetuse tagamisel. Siinidest lähemalt punktis 1.5.

### Põhimälu tööpõhimõte

Juhtsiinilt sisestatakse käsk, millist operatsiooni teostada: 0 - salvestada, 1 - lugeda. Aadressisiinilt saadav bitijada määrab ära, mitmendasse mälupessa andmesiinilt saabuv bitijada paigutada või mitmenda mälupesa sisu väljastada andmesiinile. Aadressisiinil laiusest (s.t. mitu bitti korraga edastatakse) sõltub adresseeritava mälu ulatus. Joonisel 2.1 kujutatud aadressisiinil laiused on 16 bitti, 16 bitiga saab adresseerida  $2^{16}$  mälupesa (0 - 65 535). Joonisel 2.1 toodud põhimälu ulatus on 64 KB.

IBM PC tüüpi arvutite põhimälu ulatus on 1 MB s.t. põhimälus on 1 048 575 mälupesa, mille poole protsessor saab otse pöörduda.

1 bait [B]	=	8 bitti	
1 KB	=	$2^{10}$ B	= 1024 B
1 MB	=	$2^{10}$ KB	= 1024 KB = 1 048 576 B
1 GB	=	$2^{10}$ MB	= 1024 MB = 1 073 741 824 B

Põhimälu 1-MB-ne piir on seotud firma IBM esimese 16-bitise personaalarvutiga - XT-tüüpi arvutiga. Selle arvuti aadressiisiin oli 20 bitine, s.t. võimaldas adresseerida 1 MB põhimälu ( $2^{20}$ ). Selle arvutiga on seotud ka operatsioonisüsteemi MS DOS algus.

*Operatsioonisüsteem* on arvuti tööd korraldavate programmide pakett. Operatsioonisüsteem MS DOS töötati välja lähtudes 1-MB põhimälust ja kõik rakendusprogrammid, mis töötavad MS DOS-i keskkonnas, arvestavad põhimälu piiri 1 MB.

Arvutiasjanduse arenedes tekkisid põhimäluga järgmised probleemid:

- 1) põhimälu poole pöördumiseks kuluv aeg on võrreldes protsessori töökiirusega liiga pikk,
- 2) põhimälu maht 1 MB jääb väikeseks.

Põhimälu poole pöördumiseks kuluva aja vähendamiseks jagati põhimälu osadeks. Iga mäluosa poole pöördutakse ainult mingil kindlal eesmärgil. Osadeks jagamine on realiseeritud operatsioonisüsteemi kuuluvate programmide abil. Sellise mälujaotuse korral jääb arvuti tarbija kasutada 640 KB põhimälu, sellest umbes 100 KB kasutab operatsioonisüsteem (MS DOS).

Põhimälu ulatuse suurendamiseks lisati talle täiendavalt mäluplokke. Füüsiliselt paigutatakse täiendavad mäluplokid arvuti emaplaadile või lisaplaadile. Mäluplokkide lisamisel tekib probleem lisatud mälu adresseerimisega e. kasutuselevõtmisega. XT-tüüpi arvuti aadressiisiin laiuse on 20 bitti, see võimaldab edastada aadresse 1 MB põhimälule. Aadressiisiin laiendamiseks 24 bitini saadi põhimälu ulatuseks 16 MB. Sellise aadressiisiiniga arvutid on AT tüüpi. Uuemates arvutites on aadressiisiin laiuse kuni 32 bitti, millele vastab põhimälu ulatus 4 GB. Aadressiisiin laiendamiseks tekib võimalus suuremaid aadresse edastada, kuid uusi aadresse e. täiendavat mälu peab operatsioonisüsteem oskama ka kasutada. Operatsioonisüsteem MS DOS oskab töötada 1 MB põhimäluga. Selleks et kasutada lisatud põhimälu, tuleb kasutada eriprogramme. Olenevalt sellest, millisel otstarbel lisatud põhimälu

kasutatakse, valitakse vajalik eriprogramm - lisamälu juhtimise draiver.

### *Kokkuvõtteks.*

Ideaaljuhul peab arvutimälu mahust piisama kõigiks vajalikeks rakendusteks ja mälu töökiirus peab olema nii suur, et protsessor saaks töötada täiskiirusel.

Kõrge hinna tõttu on sellise mälu realiseerimine suures mahu praktiliselt võimatu. Kulused suurendab ka põhimälu jaoks vajalik katkematu toide. Praktikas realiseeritakse arvuti mälu (põhimälu, püsिमälu ja välismälu) mitut eri tehnoloogiat ühendades, lähtudes vastava mälu kasutamisest. Põhimälu kasutatakse parajagu töösoleva info (programm, andmed, vm.) hoidmiseks. Infot hoitakse põhimälus bitijadana, mis on grupeeritud kaheksa kaupa baitideks. Igat baiti hoitakse ühes mälupesas, millel on aadress. Mälupesade aadress võimaldab protsessoril info lugemiseks või kirjutamiseks otse tema poole pöörduda.

Termini *põhimälu* asemel kasutatakse ka *operatiivmälu*, *muutmälu* või *suvapöördusmälu* (RAM).

Järgnevalt vaatame, kuidas kodeerida infot nii, et arvuti ja tarbija sellest ühtemoodi aru saaksid.

## 1.2. Arvsüsteemid. Positsioonilised arvsüsteemid. Kümnen-, kahend- ja kuueteistkümnenarvud

Töödeldavat informatsiooni teisendatakse sisend-väljund-seadmes elektrisignaalideks. Ühel signaalil võib olla kaks nivood, mida kodeeritakse järgmiselt: nivoole 0 V vastab arv 0 ja nivoole 5 V vastab arv 1.

Seega võib öelda, et elektrisignaal sisaldab 1 biti infot: kahest võimalikust väärtusest 0 või 1 saab tal olla ainult üks väärtus.

Arvuti töötleb seega bitijadasid. Kuidas kasutada mingit bitijada (näiteks 1 baiti) konkreetse arvu tähistamiseks?

Igapäevases tarbimises kasutatakse arvude esitamiseks kümnenndsüsteemi.

Arv kirjutatakse numbrite jadana, kusjuures kasutatakse kümnet erinevat numbrimärki: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. Need numbrid tähistavad ühtlasi ka esimesi täisarve nullist kuni üheksani. Arvu kümme tähistamiseks kasutatakse esimest liitsümbolit 10. Kõik teised arvud avaldatakse astendamise-, korrutamise- ja liitmistehete abil üheteistkümne esimese täisarvu kaudu.

Näiteks numbrijada

734,17

tähendab kümnenndsüsteemi arvuna summat

$$7 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0 + 1 \cdot 10^{-1} + 7 \cdot 10^{-2}$$

ja number 7 kümnenndsüsteemi arvuna korrutist

$$7 \cdot 10^0$$

Sellist arvude kujutamise viisi nimetatakse positsiooniliseks, s.t. iga numbri väärtus sõltub tema asukohast (positsioonist) arvus. Asukoha (positsiooni) kaaludeks on kümnenndsüsteemis kümne astmed.

Eelnenud näites tähendab vasakult esimene number 7 seitset sajalist ( $10^2$ ), paremalt esimene number 7 seitset sajandikku ( $10^{-2}$ ).

Arvutites kasutatakse arvude esitamiseks *kahendsüsteemi*, milles on ainult kaks erinevat numbrimärki (0,1). Ka kahendsüsteemis kehtib arvude kujutamisel positsiooniline esitusviis. Iga numbri väärtus sõltub sellest, kus number arvus asub. Asukoha kaaludeks on kahendsüsteemis kahe astmed. Kahendsüsteemi esimesi täisarve nulli ja ühte esitavad numbrid 0 ja 1. Arvu kaks tähistamiseks kasutatakse esimest liitsümbolit 10 ja kõik arvud

avaldatakse astendamise-, korrutamise- ja liitmistehete abil esimese kolme täisarvu kaudu.

Näiteks numbrijada

1011

tähendab kahendsüsteemi arvuna summat

$$1 \cdot 10^{11} + 0 \cdot 10^{10} + 1 \cdot 10^1 + 1 \cdot 10^0$$

Kahendsüsteemi kasutamine nõuab algandmete teisendamist kahendsüsteemi ja tulemuste teisendamist kümnendsüsteemi.

*Arvude teisendamine kümnendsüsteemist kahendsüsteemi.*

Teisendame näiteks kümnendsüsteemi arvu 27,4 kahendsüsteemi.

Täisosa teisendamisel jagatakse arvu ennast ja saadavaid jagatise korduvalt kahega, eraldades jäägid, mis annavadki otsitava kahendarvu.

27	:	2	=	13	jääk	1	↑
13	:	2	=	6	jääk	1	
6	:	2	=	3	jääk	0	
3	:	2	=	1	jääk	1	
1	:	2	=	0	jääk	1	

Alt üles lugedes moodustavad jäägid kahendarvu 11011.

Segamurru korral teisendatakse täisosa ja murdosa eraldi ning tulemused kirjutatakse kokku üheks arvuks.

Murdosa teisendamisel korrutatakse seda kahega, täisosa lahutatakse korrutisest, tekkinud murdu korrutatakse uuesti kahega jne., saadud täisosad moodustavadki kahendarvu.

Teisendame kümnendarvu 27,4 murdosa 0,4 kahendarvuks.

0,4	*	2	=	0	,8	↓	
0,8	*	2	=	1	,6		1,6 - 1 = 0,6
0,6	*	2	=	1	,2		1,2 - 1 = 0,2
0,2	*	2	=	0	,4		
0,4	*	2	=	0	,8		
0,8	*	2	=	1	,6		1,6 - 1 = 0,6
0,6	*	2	=	1	,2	1,2 - 1 = 0,2	

Kümnendarv 0,4 kahendarvuna on kujul 0,0110011.

Segamurru korral kirjutatakse täisosa ja murdosa pärast teisendamist üheks arvuks.

Kümnendarv 27,4 on kahendarvuna kujul 11011,0110011.

Täisarve teisendatakse samuti nagu segamurru täisosa.

Näiteks: kümnendarv 2 kahendsüsteemis:

$$2 : 2 = 1 \text{ jääk } 0$$

$$1 : 2 = 0 \text{ jääk } 1$$

kirjutame jäägid alt üles kokku ja saame kahendarvuks 10

Kümnendarv 3 kahendsüsteemis:

$$3 : 2 = 1 \text{ jääk } 1$$

$$1 : 2 = 0 \text{ jääk } 1$$

kümnendarv 3 võrdub kahendarvuga 11

Kümnendarv 4 kahendsüsteemis:

$$4 : 2 = 2 \text{ jääk } 0$$

$$2 : 2 = 1 \text{ jääk } 0$$

$$1 : 2 = 0 \text{ jääk } 1$$

kümnendarv 4 võrdub kahendarvuga 100

*Teisendamine kahendsüsteemist kümnendsüsteemi.*

Teisendame kahendarvu 11011,01101 kümnendarvuks.

Kahendarv 11011,01101 võrdub kümnendarvuga, mis on esitatav järgmise summana:

$$1 * 2^4 + 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 + 0 * 2^{-1} + 1 * 2^{-2} + 1 * 2^{-3} + 0 * 2^{-4} + 1 * 2^{-5} = \\ = 16 + 8 + 0 + 2 + 1 + 0 + 0,25 + 0,125 + 0 + 0,03 = 27,4$$

Toodud teisendusnäidetest on näha, et kahendsüsteemi arv on tunduvalt pikem (numbreid on arvus rohkem) kui kümnendsüsteemi arv.

Näiteks kümnendsüsteemis kümne numbriga esitatava arvu

1 365 790 587

esitamiseks kahendsüsteemis tuleb kasutada 31 numbrit

1010001011010000100111101111011

Kahendarv on sama väärtusega kümnendarvust keskmiselt  $\log(2)10 = 3,3$  korda pikem.

Kahendsüsteemi arvu võimaldab kompaktsemalt (lühemalt) kujutada kuueteistkümnendsüsteemi arv.

Kuueteistkümnendsüsteemis kasutatakse arvude kujutamiseks lisaks numbritele 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 ka tähti A,B,C,D,E,F.

*Teisendamine kahendsüsteemist kuueteistkümnendsüsteemi.*

Iga kahendarvu saab esitada kuueteistkümnendarvuna rühmitades kahendarvu numbrid neljakohalisteks numbrigruppideks, poolikud grupid täidetakse eest või tagant nullidega. Seejärel asendatakse neljakohalised numbrigrupid tabeli 1 alusel kuueteistkümnendnumbritega.

Arv kümnend- süsteemis	Arv kahend- süsteemis	Number kuueteistkümnend- süsteemis
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

*Tabel 1. Arvsüsteemid*

Näiteks teisendame kahendarvu  
1010001011010000100111101111011  
kuueteistkümnendarvuks. Alustame grupeerimist arvu lõpust.

```

101 0001 0110 1000 0100 1111 0111 1011
|   |   |   |   |   |   |   |
5   1   6   8   4   F   7   B

```

Saadud kuueteistkümnendarv on 51684F7B

*Teisendamine kuueteistkümnendsüsteemist kahendsüsteemi.*

Kuueteistkümnendsüsteemi iga number asendatakse nelja kahendarvuga.

```

Näiteks teisendame kuueteistkümnendarvu ABC kahendarvuks.
      A B C
      | | |
1010 1011 1100

```

Saadud kahendarv on 101010111100



### *Kümnendarvu teisendamine kuueteistkümnendarvuks*

Teisendamisel tuleb kümnendarv jagada kuueteistkümnega ja saadud jäägid kodeerida kuueteistkümnendarvuks vastavalt tabelile 1. Numbrite järjestuse arvus saab, kui kirjutada tabeli järgi kodeeritud jäägid alt üles.

Näiteks teisendame kümnendarvu 716 kuueteistkümnendarvuks.

$$\begin{array}{l} 716 : 16 = 44 \quad \text{jääk } 12 \text{ tabelist C} \\ 44 : 16 = 2 \quad \text{jääk } 12 \text{ tabelist C} \\ 2 : 16 = 0 \quad \text{jääk } 2 \text{ tabelist 2} \end{array}$$

Saadud arv kuueteistkümnendsüsteemis on 2CC

### *Kuueteistkümnendarvu teisendamine kümnendarvuks*

Teisendamine on analoogiline kahendarvu kümnendarvuks teisendamisega, kuid enne asendame kuueteistkümnendarvu numbrid kümnendarvu numbritega tabelist 1.

Näiteks teisendame kuueteistkümnendarvu 2CC kümnendarvuks.

$$2 \text{ C C} \quad \rightarrow \quad 2 \quad 12 \quad 12$$

Edasine teisendamine on analoogiline kahendarvu teisendamisega kümnendarvuks.

Kuueteistkümnendarv 2CC kümnendarvuna on võrdne summaga

$$2 * 16^2 + 12 * 16^1 + 12 * 16^0 = 512 + 192 + 12 = 716$$

### *Kokkuvõtteks.*

Arvud esitatakse arvutis kahendsüsteemis, positsioonilises esitusviisis. Arvud kujutavad endast seega jadasid nullidest ja ühtedest. Iga numbri väärtus sõltub tema asukohast arvus. Asukoha kaaluks on kahe astmed. Et kahendsüsteemis esitatud info on kirjapildis pikk ja ebaülevaatlik, kasutatakse info üleskirjutamiseks ka kuueteistkümnendsüsteemi. Kahendsüsteemi arvu igale neljale numbrile (alates lõpust) seatakse vastavusse üks kuueteistkümnendarv.

### 1.3. Andmete esitamine mäluseadmetel

Arvude esitamisel arvutis tuleb arvestada mäluruumi, mida arvu salvestamiseks saab kasutada. Sõltuvalt sellest tuleb suhteliselt pika kirjapildiga kahendsüsteemi arvule leida selline salvestamisviis, mis tema väärtust ei muuda.

Lihtsuse mõttes oletame, et põhimälu ühte pessa mahub 1 baidi asemel ainult 4 bitti. Iga kahendarv tuleb siis esitada nelja positsiooniga.

*Märgita täisarv* on lihtsaim viis esitada positiivseid täisarve. 4 bitiga on võimalik esitada 15 kahendnumbrit, kümnendsüsteemis vastaksid neile arvud 0 kuni 15 (vaata tabel 1). Kaheksa bitiga (1 baidiga) saab esitada 255 kahendarvu. Kuueteistkümne bitiga (2 järjestikust baiti) saab esitada 65 535 kahendsüsteemi arvu.

Märgita täisarvudega tehete sooritamisel on probleemiks ületäitumine. Ületäitumine on olukord, kus arvutuste vastust ei saa esitada vastusele eraldatud bittide arvuga.

Näiteks  $8 + 10 = 18$   
ehk kahendkujul  
 $1000 + 1010 = 10010$

Kui vastuse salvestamiseks on eraldatud ainult 4 bitti, ei saa viiebitilist vastust salvestada, tekib ületäitumine. Ületäitumise korral annab programm tavaliselt veateate.

Kahendkood	Märgita täisarv	Märk ja väärtus	Täiendkood
0000	0	0	0
0001	1	1	1
0010	2	2	2
0011	3	3	3
0100	4	4	4
0101	5	5	5
0110	6	6	6
0111	7	7	7
1000	8	- 0	- 8
1001	9	- 1	- 7
1010	10	- 2	- 6
1011	11	- 3	- 5
1100	12	- 4	- 4
1101	13	- 5	- 3
1110	14	- 6	- 2
1111	15	- 7	- 1

Tabel 2. Täisarvude esitusviisid

Negatiivsete arvude esitamiseks on lihtsaim moodus *märgi ja väärtusega* esitus, kus kõige vasakpoolsemat bitti tõlgendatakse märgina ("+" -> 0, "-" -> 1).

Sellise esitusviisi juures on artimeetikatehete realiseerimine keerulisem. Vastuolu on kahe erineva nulli (0 ja -0) vahel.

Üldiselt kasutatakse negatiivsete täisarvude esitamisel *täiendkoodesitust*. Arvu märki muudetakse nii, et kõik bitid pööratakse ümber (nullid asendatakse ühtedega ja vastupidi) ning tulemusele liidetakse 1. Teisendamisel tekkivat ületäitumist ei arvestata.

Näide:

$$\begin{array}{ccccccc} 6 & & -> & & -6 & & -> & & 6 \\ 0110 & -> & 1001 + 1 = & 1010 & -> & 0101 + 1 = & 0110 \end{array}$$

Ka selle esitusviisi puhul tõlgendatakse esimest bitti arvu märgina, s.t. kui vasakpoolsem bitt on üks, on arv negatiivne.

Täiendkoodesitusega saab N biti abil kujutada arve  $-2^{N-1} \dots 2^{N-1}-1$ .

Juhul N=4 saame -8...7.

16 bitiga saab esitada arvud -32 768...32 767.

Kuidas salvestada reaalarve ?

Iga reaalarvu saab avaldada kümne astmete abil.

$$5 = 0,5 * 10^1$$

$$0,5 = 0,5 * 10^0$$

$$0,05 = 0,5 * 10^{-1}$$

Selleks et arvule eraldatud mäluruumi optimaalselt ära kasutada, viiakse reaalarv normaliseeritud kujule. Arvu normaliseerimiseks nihutatakse koma paremale või vasakule seni, kuni jõutakse esimese nullist erineva kümnendkohani. Igal nihutusammul tuleb kümne astet ühe võrra vähendada (kümnendmurruga korral) või suurendada (täisarvu või segamurruga korral). Normaliseeritud kujul on reaalarvus pärast koma (kümnendike kohal) nullist erinev number.

Analoogiliselt normaliseeritud kujule esitatakse reaalarve ka arvuti ujukomaarvudes.

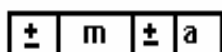
Ujukomaarvudes esitatakse kahendarv kujul

$$m * 2^a$$

kus m on mantiss,

a on järk.

Ujukomaarv salvestatakse kahe täisarvuna.



Näide kahendsüsteemi arvudega:

$0,00101001 * 10^{10010}$  normaliseeritult  $0,101001 * 10^{10000}$

**+1010001+100000**

Sellise salvestusviisi juures on probleemiks arvude täpsus.

Teisendame arvu 55 kahendkoodi ja normaliseerime saadud kahendarvu. Saame tulemuseks  $0,110111 * 10^{0110}$  Kui kasutada mantissi ja järgu kummagi jaoks nelja kahendnumbrit, siis salvestatakse see nii:

**+1101+0110**

Kui seda arvu nüüd uuesti mälust lugeda, siis ei ole see enam 55, vaid 52 (kaks kahendkohta läksid kaduma).

Lihttäpsusega ujukomaarvud salvestatakse 32 järjestikusse bitti (4 baiti), millest mantiss (m) salvestatakse 24 bitti ja järk (a) 8 bitti. Mantiss on siin normaliseeritud kujul ja järk täisarv ning neid võib salvestada näiteks täiendkoodkujul või kujul märk ja väärtus. Lihtsuse mõttes vaatame siin kuju märk ja väärtus.

Arvude ulatusele seab piirid see, kui palju mälu on neile eraldatud.

*32 bitti salvestatud ujukomaarvude salvestuspilt*

Arv 0 salvestatakse selliselt:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32  
**+000000000000000000000000+00000000**

Kõige väiksem positiivne arv, mida on võimalik nii salvestada:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32  
**+100000000000000000000000-11111111**

See on kümnendsüsteemi arv

mantissi osa

$$1 * 2^{-1} + 0 * 2^{-2} + 0 * 2^{-3} + \dots + 0 * 2^{-22} + 1 * 2^{-23} = 0,5$$

järju osa

$$1 * 2^0 + 1 * 2^1 + 1 * 2^2 + 1 * 2^3 + 1 * 2^4 + 1 * 2^5 + 1 * 2^6 = 127$$

kümnendarv

$$0,5 * 2^{(-127)} = 2,9387358 * 10^{-39}$$

Kõige suurem positiivne arv:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32  
**+111111111111111111111111+11111111**

kümnendarvuna

$$(2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + \dots + 2^{-22} + 2^{-23}) * 2^{127} = 1,70141183 * 10^{38}$$



algus- ja lõpppunktide koordinaadid. Sageli kasutatakse koordinaadistikku, kus kõik koordinaadid on täisarvud.

Pildid (joonistused) on parem salvestada rasterkujutistena. Mälus vastab igale ekraanipunktile mingi hulk bitte, mis salvestavad selle punkti asukoha ekraanil, värvi jms. Selline salvestusviis on küllalt mälumahukas.

#### *Kokkuvõtteks*

Kogu info, mida arvuti töötleb, on kahendkujul. Arvuti mälu ei erista, kas mingi bitijada tähendab tähte, numbrit või pilti. See, millist tähendust mällu salvestatu omab, tuleb määrata tarkvaraga (programmiga), mis mälus olevat infot töötleb. Arvude salvestamisel on oluline ka salvestusviis.

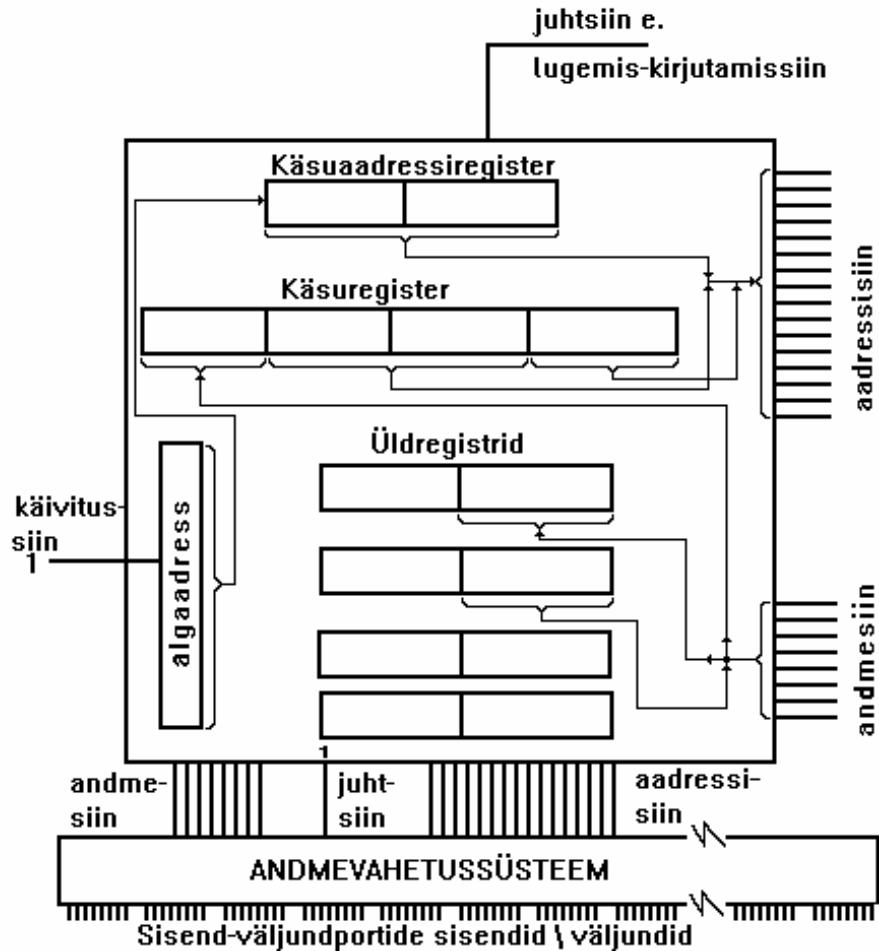
### **1.4. Arvuti protsessor ja tema tööpõhimõte. Registrid. Käsusüsteem**

*Protsessor* on arvuti see osa, mis täidab käskhaaval arvuti põhimälus olevat programmi.

Protsessori talitluse tagab ja annab sellele rütmi takt-generaator - teatava püsisagedusega (taktsagedusega) "tiksum" elektronlülitus. Protsessori taktsagedus näitab, mitu takti e. põhi-tsüklit teeb protsessor sekundis. Takt on vähim ajaüksus, mille jooksul protsessori sisemises olekus toimub muutusi. Protsessori realiseerimisviisist sõltub, mitu takti kulub ühe käsu täitmiseks. Tavaliselt nõuavad eri asju sooritavad käsud erineva arvu takte (ühelt kuni mõnekümneni). Personaalarvutite protsessorite taktsagedust mõõdetakse megahertsides (sagedus 1 megaherts, lühendina 1 MHz, tähendab miljon takti sekundis). Kaasajal on kasutusel uued protsessorid, mille taktsagedust mõõdeteks gigahertsides (1 GHz = 1000 MHz).

Joonisel 1.1 toodud mudelis (arvuti tööpõhimõtet kirjeldav mudel) koosneb protsessor juhtseadmest ja ALU-st. Juhtseade võtab põhimälust käske ja täidab need ALU ning protsessorisisese mälu abil.

Protsessori lähemaks tundmaõppimiseks lähtume detailsemast mudelist.



Joonis 1.4.1. Protsessori tööd kirjeldav mudel

Protsessori sisendiks-väljundiks on  
 käivitussiin,  
 põhimälu ja protsessorit ühendav siin,  
 põhimälu ja andmevahetussüsteemi ühendav siin.

Kahel viimasel siinil on alamsiinid:

- juhtsiin,
- andmesiin,
- aadressisiin.

#### *Protsessori tööpõhimõte*

Kui arvuti vooluvõrku lülitatakse, saab protsessori käivitussiin elektrisignaali väärtusega 5 V (s.t. juhtsignaal on 1). Selle tulemusena viiakse käsuaadressiregistrisse algaadress, mis on salvestatud protsessorisse.

Algaadress on selle mälupea aadress, kus asub käsk, mis täidetakse esimesena. Kui protsessor on käivitatud, hakkab ta täitma tsükli, milles on kaks sammu:

1) kasutades aadressi, mis asub käsuaadressiregistris, loeb protsessor püsimalust järgmise käsu ja salvestab selle käsuregistrisse;

2) pärast käsu analüüsimist täidetakse käsk ja minnakse tagasi esimesele sammule.

Esimesel sammul põhimälust loetavat infot käsitleb protsessor kui käsku.

Käsk sisaldab protsessorile vajalikku informatsiooni selle kohta, missugust operatsiooni tuleb täita, kust saada andmed ja kuhu salvestada tulemused. Käsk koosneb kolmest osast:

- tehtekood (näiteks liitmine, lahutamine, nihutamine),
- operandide aadressid,
- tulemuse aadress.

Tavaliselt on käskudel üks kuni kolm operandi. Käsu tehtekood (bitijada) näitab, millist operatsiooni tuleb täita. Operandide aadressid näitavad, millistes mälupeades asuvad algandmed (näiteks liidetavad). Tulemuse aadress näitab, missugusesse mälupeassa tuleb salvestada tulemus.

Põhimälus ei eristata erinevat tüüpi infot (kas käsk või mingid muud andmed). Kuidas on siis võimalik, et protsessor pöördub just käsku sisaldava mälupea poole? Selle määrab ära alg-aadress, milles on alati käsku sisaldava mälupea aadress. Esimese käsu järel tulevad järgmised käsud, mis on kindla struktuuriga. Programmeerija peab jälgima, et iga järgnev käsk oleks õige. Saades vale käsu, võib protsessor tsüklisse sattuda või väljastada suvalise teate. Sellisel juhul tuleb teha uus alglaadimine.

Teisel sammul täidab protsessor käsuregistrisse sisestatud käsu. Pärast käsu täitmist liidetakse käsu pikkus baitides käsuregistrisse oleva aadressiga. Selle tulemusena saadakse uus aadress, mille poole pöörduetakse, kui teisel sammul käsu täitmine lõpeb ja tsükkel algab esimeselt sammult. Käsu täitmise näitena vaatame, kuidas toimub info lugemine põhimälust.

#### *Info lugemine põhimälust*

Aadressisiinile väljastatakse kas käsuregistrist või käsuaadressiregistrist aadress ja lugemis\kirjutamisiinile antakse signaal 1. Kui mäluaadress ja juhtsignaal (lugemissignaal 1) jõuavad põhimäluni, väljastab põhimälu andmesiinile selle mälupea sisu, mille aadress edastati põhimälule. Andmesiini kaudu jõuab mälupea sisu protsessorini, siin pannakse saadud bitijada kas käsuregistrisse või ühte üldregistrisse.



*Info salvestamisel põhimällu* saadetakse käsuregistris mälupea aadress aadressisiinile, üldregistris olev info andmesiinile ja juhtisiinile väljastatakse kirjutamissignaali 0.

*Registrid* koosnevad analoogilistest mäluelementidest nagu põhimälugi. Erinevus on selles, et iga regisstrisse salvestatud bitti on võimalik eraldi töödelda ALU-is (skeemilt 1.4.1. selle lihtsusdamiseks välja jäetud). Põhimälu vähimaks infotöötuse ühikuks on üks bait.

*Üldregistrid* kasutatakse andmete salvestamiseks protsessori sees. Käsu täitmiseks vajalikud algandmed (näiteks liidetavad) loetakse põhimälust üldregisstritesse. Juhul kui andmesiin seda võimaldab, võib põhimälust protsessori üldregisstritesse lugeda mitme mälupesaku sisu korraga. Sel juhul on juba järgmine täitmisele tulev käsk protsessoris ootamas ja täiendav ajakulu põhimälu poole pöördumiseks jääb ära. Üldregistrid täidavad siis nagu kiire vahemälu rolli.

Ka *käsurregistrisse* loetakse andmed põhimälust, kuid tingimuseks on see, et tegemist on käsuga. Käsurregistri sisu uuendatakse seega ainult protsessori töötsükli esimesel sammul.

*Käsuaadressiregister* hoitakse selle mälupesaku aadressi, kus asub järgmine käsk. Käsuaadressiregistri sisu uuendatakse protsessori töötsükli teisel sammul, kui toimub käsurregistris asuva käsu täitmine.

Protsessori üheks põhiparameetriks on *järgulisus* ehk *sõnapikkus*. *Sõnapikkuseks* nimetatakse maksimaalset bittide arvu, mida protsessor suudab üheaegselt töödelda. Levinumad protsessorid on kas 16- või 32-bitise sõnapikkusega. Esimeste personaalarvutite protsessorite sõnapikkus oli 8 bitti.

Protsessori sõnapikkusest sõltub arvuti töökiirus. Käsk koosneb kolmest osast, millest kaks viimast võivad vahel puududa. Tavaliselt on käskudel üks kuni kolm operandi. Sellisel juhul võib käsu pikkus olla mitu protsessori sõnapikkust. See tähendab, et ühe käsu lugemiseks käsurregistrisse on vaja mitu korda põhimälust lugeda. Suurema sõnapikkusega protsessori korral töötab arvuti kiiremini, sest põhimälu poole pöördumiste arv on väiksem.

Protsessorit iseloomustab ka protsessori *käsustik*. Käsustiku moodustab protsessori poolt "arusaadavate" ja täidetavate käskude hulk. Erinevate protsessorite käsustikud on erinevad - mida uuemat tüüpi protsessorid, seda suurem käsustik.

Käsustiku ja protsessori sõnapikkuse poolest erinevatel arvutitel ei saa kasutada ühtesid ja samu programme.

### *Kokkuvõtteks*

Protsessor teeb arvutis operatsioone, mida võib jagada kolme klassi.

1. Juhtoperatsioonid, mille vahendusel toimub arvuti kui terviku funktsioneerimine (infovahetuse alustamine välisseadmega, põhimõluse oleva programmi täitmise alustamine jne.) Välisseade võib töötada ka sõltumata protsessorist, kuid üksnes protsessori vastava korralduse järel.

2. Aritmeetikaoperatsioonid põhimõluse loetud andmetega.

3. Võrdlemis- ja loogikaoperatsioonid põhimõluse loetud andmetega.

Vaadeldud lihtne protsessor saab korraga täita ainult üht operatsiooni. Operatsiooni täitmine algab pärast vastava käsu lugemist põhimõluse ja selle dekodeerimist.

#### *Protsessorit iseloomustavad põhiparameetrid:*

käsustik - käskude hulk, mida protsessor täita oskab;

sõnapikkus - maksimaalne bittide arv, mida protsessor suudab üheaegselt töödelda;

taktsagedus - näitab, mitu takti teeb protsessor sekundis;

takt - on vähim ajaühik, mille jooksul protsessori sisemises olekus toimub muutusi;

töökiirus - näitab mitu miljonit protsessori käsku täidab protsessor sekundis.

## **1.5. Siin. Sisend-väljundportide süsteem**

*Siin* on arvuti erinevaid osi siduv infoedastuskanal. Info väljastaja (näiteks protsessor) saadab teate siinile (vajaduse korral koos infoga selle kohta, kellele teade on määratud), kust teised siinile ühendatud seadmed (näiteks põhimõluse) võivad seda lugeda. Funktsionaalselt võib arvuti siini vaadelda kolme paralleelselt infot edastava kanalina (juhtmekimbuna):

aadressisiin (näiteks 24 juhet),

andmesiin (32 juhet)

juhtsiin (mõned juhtmed).

Sõltuvalt edastatava info iseloomust kasutatakse vastavat "alamsiini". Andmed edastatakse andmesiini, mäluaadressid aadressisiin ja juhtkorraldused juhtsiini kaudu.

Olenevalt konstruktsioonist võib arvutis olla mitmesuguseid siine. Meie protsessori mudelis (joonis 1.4.1) on toodud kolm siini: protsessori käivitussiin, põhimõluse ja protsessori vaheline siin ning protsessori ja andmevahetussüsteemi vaheline siin.

Protsessori käivitussiini ning põhimälu ja protsessori vahelise siini kasutamist vaatasime eelmistes punktides (punktid 1.1 ja 1.5).

Andmevahetussüsteemi ja protsessorit ühendava siini kaudu toimub arvuti side välisseadmetega.

Arvuti sidestamiseks väliskeskonnaga kasutatakse mitmesuguseid välisseadmeid e. sisend-väljundseadmeid (näiteks, kuvarit, klaviatuuri, hiirt, kettaseadet, disketiseadet, printerit, modemit jne.).

Välisseadmete töö põhineb väga erinevatel füüsikalistel printsiipidel ning seetõttu ei ole nad otseselt ühilduvad ei omavahel ega protsessoriga. Ühildamiseks kasutatakse spetsiaalset *andmevahetussüsteemi*, mis sisaldab mitmeid erinevaid seadmeid (näiteks sünkroniseerimiseadmeid, välisseadmete kontrollereid), vahemälu ja vastavat tarkvara. Andmevahetuse seisukohalt on igal välisseadmel parameetrid, mida peab arvestama. Olulisemad välisseadmete parameetrid on järgmised.

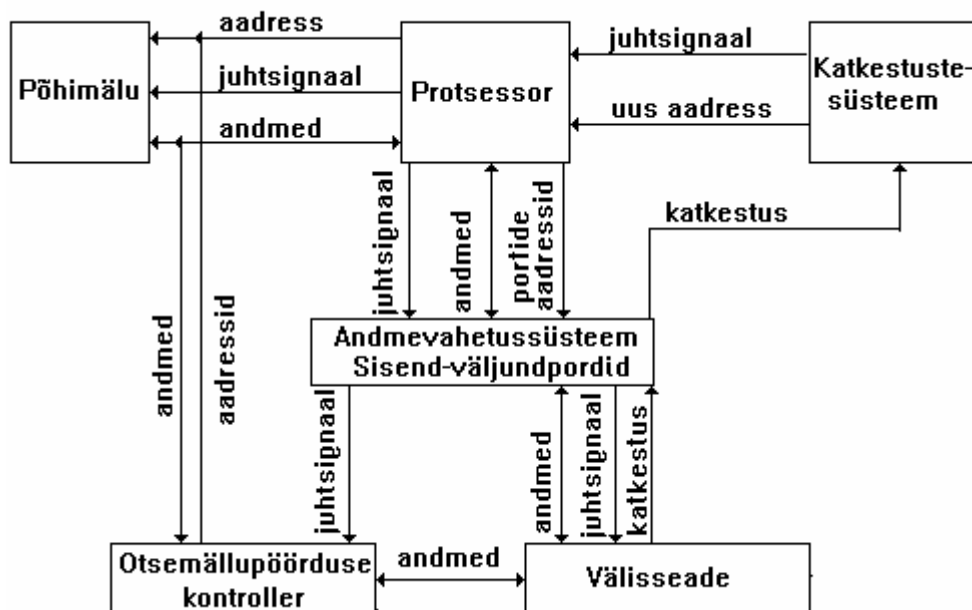
1. Läbilaskevõimet e. töökiirust väljendatakse bittides sekundi kohta. Kiired välisseadmed on välismäluseadmed (kövaketas, disketiseade), kuvar, võrguseadmed. Aeglaselt töötavad faks, printerid, klaviatuur, enamik automaatikasüsteemide andureid.

2. Andmete koodid ja juhtsignaalid. Koodid, samuti juhtsignaalid on enamikul seadmetest standardiseeritud ja seadmete tehnilistes passides kirjeldatud.

3. Andmete ja juhtsignaalide ülekandeks vajalik juhtmete ehk kanalite arv. Andmevahetus välisseadmega võib toimuda kas ja-damisi, ühe biti kaupa, või paralleelselt, mitmel kanalil korraga. Viimasel juhul võib edastatavaks andmeüksuseks olla bait või suurem andmehulk.

4. Välisseadme sünkroonsus ja asünkroonsus. Sünkroonseks võib nimetada välisseadet, mille kõik töösüklid on determineeritud (ajaliselt määratud) kestusega ja sünkroniseeritavad arvuti mõne töösükliga, näiteks taktsagedusega. Kõigil teistel juhtudel tuleb seadet lugeda asünkroonseks. Enamik välisseadmeid ongi asünkroonsed, näiteks printer.

5. Andmevahetust initsieeriv osapool. Initsieerivaks võib andmevahetuse järjekordse seansi alustamisel olla nii arvuti kui ka välisseade. Esimesel juhul on andmevahetuse korraldamine lihtsam ja võib toimuda jäiga programmi alusel. Kui andmevahetuse initsiaatoriks on välisseade, ei ole infovahetuse algthetk enamasti ette programmeeritav (näiteks inimese poolt klaviatuurilt sisestatav info). Niisiis sõltub andmevahetuse riist- ja tarkvara ka sellest, kumb pool on andmevahetuse alustamise initsiaatoriks.



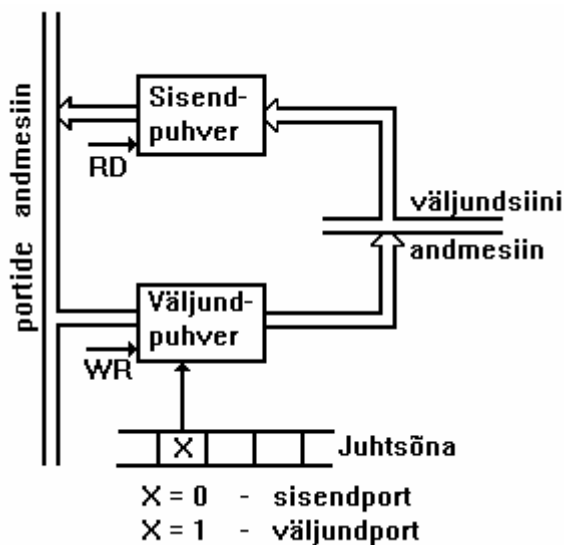
Joonis 1.5.1 Andmete liikumine põhimälu, protsessori ja välisseadme vahel

Andmevahetussüsteemi osaks, mille kaudu toimub välisseadme otsene ühendamine andmevahetussüsteemiga, on *sisend-väljundpordid*.

Selle, millise sisend-väljundpordi kaudu andmevahetus toimub, määrab protsessorist andmevahetussüsteemi saadetud pordi aadress.

Tüüpilisi sisend-väljundporte on kahte tüüpi:

- paralleelport - andmevahetuseks paralleelkoodis,
- järjestikport - andmevahetuseks järjestikkoodis.



Joonis 1.5.2 Paralleelport (häälestatud sisendpordiks)

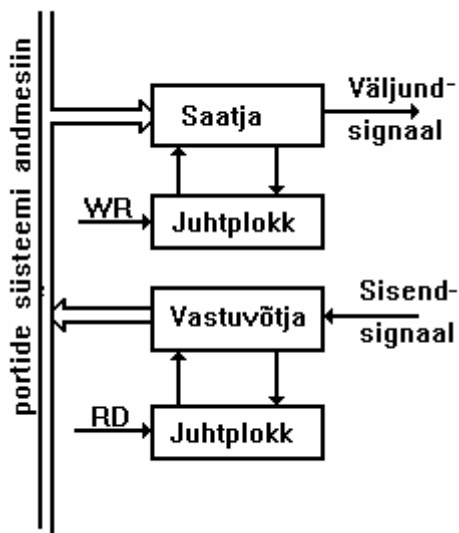
Paralleelpordi põhiosad on sisend- ja väljundpuhvid (registrid). Sisendpuhvri sisu võib suvalisel hetkel lugemissignaali *RD* lugeda arvutisse. Väljundregistri sisu võib uuendada arvutist saadavate uute andmetega kirjutussignaali *WR* toimel. Andmesiini ja juhtsiini kaudu on iga port ühenduses andmevahetussüsteemiga. Andmesiini kaudu toimub andmevahetus pordi puhvrite ja arvuti vahel, juhtsiini kaudu seadistatakse port kas sisend- või väljundpordiks ja antakse lugemis- või kirjutamissignaalid.

Välisseadmega ühendatakse port välissiini kaudu, milles liiguvad andmed, juht-, tagasiside- ja katkestussignaalid. Enne töö alustamist ja pärast toitevoolu igakordset sisselülitamist tuleb paralleelport defineerida kas sisend- või väljundpordiks - seda teeb juhtsõna, mis edastatakse sisend-väljundportide süsteemi juhtsiini kaudu. Iga juhtsõna kehtib, kuni laaditakse uus juhtsõna.

Kui paralleelport on defineeritud sisendseadmeks, siis sisendpuhvri sisend on pidevalt avatud ning lülitatud välissiinile, puhvri sisu kopeerib pidevalt välissiini andmesiini signaalide väärtusi. Sisendpuhvri sisu viimiseks arvutisse antakse puhvrile lugemissignaal *RD*. Kui port töötab sisendpordina, on väljundpuhver suletud ja vastupidi.

Kui port on defineeritud väljundseadmeks, siis väljundpuhvri sisu on pidevalt avatud välissiini andmesiinile. Väljundpuhvri sisu uuendatakse arvutist tulevate andmetega, kui puhvrile antakse kirjutussignaal *WR*.

Nii töötab paralleelport andmete lihtsal ülekandmisel. Üldjuhul on andmete ülekandmisega seotud aga mitmed tingimused, mis muudavad pordi töö keerulisemaks.



Joonis 1.5.3 Järjestikport

Järjestikport (joonis 1.5.3) koosneb kahest põhiosast: saatjast ja vastuvõtjast. Saatja ülesandeks on arvuti poolt paralleelkoodis väljastatavate andmete muundamine järjestikkoodi ja väljastamine sidekanalisse väljundsignaalina. Saatja töösükkel algab andmevahetussüsteemi andmesiinilt saadud paralleelkoodis andmete laadimisega saatjasse kirjutussignaali *WR* toimel. Pärast laadimise lõpu teisendab juhtplok paralleelkoodis signaali järjestikkoodi ja lisab sellele start-stoppsignaali (start-stoppsignaali näitab järjestikkoodi alguse ja määrab koodi pikkuse). Saatja väljundisse saadakse järjestikkoodis väljundsignaal.

Vastuvõtja hakkab tööle, kui juhtplok avastab sisendist start-signaali. Selle tulemusena loetakse vastuvõtjasse järjestikkoodis signaal. Kui ettenähtud arv impulsse on liinilt vastu võetud, teisendatakse need paralleelkoodi ja arvutile antakse vastuvõtu lõpu signaal. Pärast seda võib arvuti lugemissignaali *RD* toimel andmeid lugeda vastuvõtjast andmevahetussüsteemi andmesiinile. Üldjuhul on järjestikpordi töö keerulisem. Järjestikpordi häälestamine toimub mitme juhtsõna abil, mis võimaldab programmeerida mitmesuguseid ühendamisvõimalusi: sünkroonne, asünkroonne töömoodus, edastatava järjestikkoodi pikkus, edastusviis, sünkroniseerimismoodus, stoppsignaali kestus, veakontrolli moodus jms. Programmeeritavus tagab järjestikpordi kasutatavuse erinevates tingimustes.

Portide väljundid avanevad tavaliselt arvuti tagapaneelile. Osa neist on spetsialiseeritud: kuvari, klaviatuuri, ja hiire väljundid.

Ülejäänud on universaalsed, nendega saab ühendada erinevaid välisseadmeid vastavalt vajadusele.

Paralleelportide määramiseks operatsioonisüsteemi MS DOS tarkvara abil kasutatakse pordi aadresside (pordi numbrite) asemel loogilisi nimesid *LPT1*, *LPT2* ja *LPT3*. Üldjuhul on paralleelpordiga ühendatud printer.

Järjestikpordi loogilisteks nimedeks on *COM1*, *COM2*.

Järjestikporti kasutatakse enamasti hiire või modemi ühendamiseks. Reegel see siiski ei ole.

Uuematel arvutitel kasutatakse nii paralleel- kui ka järjestikpordi asemel universaalset järjestikporti USB, mis eeldab selle siini olemasolu ka välisseadmel (näiteks printeril).

Andmevahetus kiirete välisseadmetega korraldatakse kõige lühemat teed kaudu - *otse põhimällu pöördumisega (DMA - Direct Memory Access)*. Selle meetodi korral peatatakse protsessor teatud ajaks ja põhimälu ühendatakse andme- ning aadressisiinide ja otsemällupöörduse kontrolleri vahendusel otse välisseadmega (vt joonis 1.5.1.). Mäluaadressid moodustatakse siin ostemällupöörduse kontrolleriis.

Otsemällupöörduse kontrolleri on ette nähtud otseside loomiseks andmeallika ja tarbija vahel andmete plokiviisiliseks edastamiseks maksimaalse kiirusega. Kontrolleri tagab põhimälu ühenduse kiirete välisseadmetega ja andmete kiire transpordi mälu eri osade vahel. Vastavalt sellele on tal järgmised edastamisvõimalused: välisseadmest põhimällu, põhimälust välisseadmesse, ühelt välisseadmelt teisele. Sageli on vaja andmeid edastada sõltuvalt nende sisust, faili nimest või mingist koodist. Sellepärast on enamikus kontrolleritest kasutusel ka otsinguvõimalus, s.t. andmete ükshaaval läbivaatamine kuni mingi tunnuse leidmiseni. Andmete liikumissuund defineeritakse andmete algusaadresside andmisega, sest aadressidega on nii mäluosad kui ka välisseadmed üheselt määratud. Et otsemällupöörduse kontrollereid kasutatakse harilikult arvuti ühendamiseks kõvaketastega, siis on nad tihti kõvaketta kontrolleriiga kokkuehitatud .

Järgnevalt sellest, kuidas toimub andmevahetus arvuti ja välisseadme vahel, kui initsieerivaks pooleks on välisseade (näiteks klaviatuur). Sellisel juhul tekib järgmine probleem: ajahetk, mil välisseade protsessori poole pöördub, on määratu ning protsessor ei ole valmis andmete töötlemiseks. Normaalselt töötab protsessor põhimällu salvestatud programmi järgi, välisseadmelt tulevate andmete töötlemiseks peab jooksva programmi töö katkestama. Programmi töö katkestatakse protsessori spetsiaalse sisendsignaali, nn. katkestussignaali abil. Pärast iga käsu täitmist

kontrollitakse esmalt, kas katkestus on lubatud. Kui "ja", siis kontrollitakse, kas käsu täitmise jooksul on saabunud katkestussignaali. Kui "ei", siis alustatakse järgmise käsu täitmist. Kui katkestussignaali on saabunud, siis keelatakse edasine katkestussignaali läbipääs, millega välditakse mitmekordset reageerimist samale katkestussignaali. Järgnevalt jooksva programmi täitmine katkestatakse ja protsessor hakkab täitma teist programmi, mille algusaadressi saab protsessor katkestussüsteemilt. Katkestus võib olla määratud nii aparatuurselt (näiteks vajutus *RESET* või *PAUSE* nupule) kui ka programmiga. Pärast katkestava programmi täitmist jätkatakse katkestatud programmi täitmist.

Tegelik üleminek katkestavale programmile ja sellest tagasi-pöördumine on mõnevõrra keerukam. See on seotud sellega, et katkestus võib toimuda mistahes hetkel ja mistahes käsu täitmisel. Pärast katkestuse lõppu peab põhiprogrammi töö jätkuma häirimatult. Selle tagamiseks ei piisa ainult käsuloenduri sisu salvestamisest, "päästa" tuleb kõik andmed, mis määravad protsessi oleku. Katkestussignaali allikaid on tavaliselt rohkem kui üks. Peale harilike välisseadmete võivad katkestusi anda ka mitmesugused abiseadmed nagu toiteplokk, taimerid.

## 1.6. Algoritmilised keeled. Translaatorid ja interpretaatorid.

Protsessor täidab kahendkujul olevaid käsked, s.t. käsk on nullide ja ühtede jada. Protsessori käsustikul on järgnevad võimalused:

- andmete teisaldus;
- arvutustehted;
- konstantide käsitus;
- siirded, sisestus, väljastus.

Võib olla ka teisi operatsioone, mida protsessor teha võimaldab.

Käsk jaguneb

- tehtekoodiks - mida käsk peab tegema;
- aadressiosaks - määrab mäluaadressid, millele käsk on suunatud.



Näiteks käsk

00000010 00000001 00000010 00000011

Esimesed 8 bitti moodustavad käsu tehtekoodi. Selle põhjal teab protsessor, et tegemist on liitmisega, järgmised kolm on operandide aadressid. Analoogiliselt vastab kõigile muudelegi käskudele teatav 32-bitine rivi .

Selliste jadadega on piisavalt tülikas programme koostada. Töö lihtsustamiseks asendatakse kahendkujul olevad protsessori käsud võimalikult lihtsa inimesele arusaadava lausega.

Näited käskudest:

Andmete teisaldus

MOV DS, BX

Registri BX sisu kopeeritakse registrisse DS

Liitmine

ADD AH, AL

Registrites AH ja AL olevad arvud liidetakse ning tulem pannakse registrisse AL.

Näide sümbol-masinakeelsest programmist:

Mälupes	Kuueteistkümnendkuj	Käsk
000E		MAIN PROC
000E	BA 0000 R	MOV DX, OFFSET FCB
0011	B4 16	MOV AH, 16H
0013	CD 21	INT 21H
0015	3C 00	CMP AL,0
0017	75 03	JNE ERR1
0019	EB 08 90	JMP EXIT

Ka sümbol-masinakeelne programmeerimine on tülikas. Oleks lihtsam, kui saaks kasutada mõisteid, mis oleksid pisut lähemal kasutajale. Niisugusest arusaamast tingituna on arenenud kõrgkeeled, näiteks Pascal, Fortran, Basic jne. Kõrgkeelte edasiarendustena on välja töötatud integreeritud paketid, andmebaasisüsteemid jt. lõppkasutajale mõeldud tarbijapaketid.

Igal kõrgkeelel on oma *translaator*. See on programm, mis teisendab selles kõrgkeeles kirjutatud programmi masinakoodis objektfailiks. Kõrgkeele translaator on üsna keerukas ja pikk programm. Tavaliselt ei õnnestu programmi kohe esimese korraga veatult kirjutada, siis tuleb seda parandada - redigeerida.

Kirjavead e. süntaksivead tulevad ilmsiks harilikult juba transleerimisel, kus translaator püüab igale käsule või sümbolile leida masinakeelset vastet, vea korral annab veateate.

Tõelised programmeerimise vead tulevad ilmsiks alles programmi kasutamisel, kui programm ei tööta soovitud viisil. Loomu-

likult oleks ebameeldiv programmi uuesti kogu mahus sisestada. Sellest pääsemiseks salvestatakse programm tekstifailina ka kõrgkeelsel kujul. Seda tehakse redaktori abil.

*Redaktor* on programm, mille abil kasutaja saab moodustada tekstifaile ja muuta nende sisu.

Programm kirjutatakse ja salvestatakse redaktori abil välismällu tekstifailina (tekstifaili tunnusena võib kasutada laiendit TXT, DOC jne).

Translaator transleerib (tõlgib) programmi teise faili - objektifaili, mida saab käivitada (faili laiendiks on EXE ).

Niisiis, vajaduse korral võib tekstifaili teha redaktori abil soovitud parandused ja transleerida programm uuesti.

Programmidega juhtub tavaliselt nii, et nad kipuvad väga suureks minema. Tekib kohutavalt vigu. Iga väikese vea parandamisel tuleks kogu suur programm uuesti transleerida, see on aga piisavalt mahukas töö ja võtab palju aega.

Probleemi lahendamiseks jaotatakse programm osadeks (mooduliteks), mida saab eraldi transleerida.

*Linkur* on programm, millega eraldi transleeritud moodulid ühendatakse e. lingitakse käivituskõlblikuks masinakeelseks programmiks - laademooduliks.

Vigade parandamisel transleeritakse nüüd uuesti ainult need moodulid, mida mõjutavad tehtud muudatused. Seejärel ühendatakse eraldi transleeritud moodulid linkuri abil.

#### *Vealukorrad.*

1. Translaator väljastab iga leitud vea kohta veateate - need on süntaksivead.

2. Ka linkur võib anda veateateid, kui ühendatud moodulid mingil põhjusel ei sobi kokku.

3. Programmi käivitamisel võib tekkida vigu, nn. käivitusfaasi vealukord. Halvimal juhul näib programm töötavat laitmatult, kuid annab vääraid tulemusi. Sellised vead on näiteks nulli jagamine nulliga või osutamine olematule mäluaadressile, kui tehtekood on vale või arvutustehte tulemus väljub masina arvutustäpsuse piiridest. Nende vigade korral minnakse programmist automaatselt operatsioonisüsteemi ja antakse veateade.

*Interpreteerimine* - arvuti oskab täita ainult lihtsaid masinakäskke, kõigi täitmist vajavate programmide käsud tuleb transleerida nendeks masinakäskudeks.

Põhimõtteliselt oleks võimalik ehitada ka protsessori juhtseade, mis saaks aru mõnest kõrgkeelest näiteks Pascalist. Sellisel juhul ei olegi translaatorit tarvis. Niisugune ettevõtmine oleks piisavalt keerukas ja selles masinas saaks käivitada ainult

Pascalis kirjutatud programme. Teiste keelte jaoks oleks jälle vaja translaatorit. Kuna raudvara vahenditega on kõrgkeele protsessori valmistamine piisavalt tülikas, võib seda proovida teha tarkvara vahenditega. Tuleks kirjutada programm, mis "matkib" kõrgkeele protsessorit, interpretaatorprogramm.

Interpretaatorprogrammi keskseim osa on silmus, milles kõrgkeele protsessori käske võetakse mälust ükshaaval, sooritatakse võetud käsust tulenevad masinakäsud ja võetakse järgmine käsk. Interpretaatori kasutamisel ei tule niisiis käivitatavaid kõrgkeele programme transleerida, kuid programmi sooritamiskiirus on võrreldes protsessori masinkoodi transleeritud programmiga tunduvalt aeglasem.

Sellise interpretaatoriga töötamisel on võimalik programmi (ekraanile) sisestada ja täita ka käskhaaval - töötada dialoogrežiimis.

#### *Programmi arendus.*

Programmi arendus tähendab redaktori, translaatori ja linkuri kasutamist programmeerimistöös.

Programmi testimisel võidakse kasutada muidki abiprogramme, näiteks jälitusprogrammi, mille abil saab jälgida testitava programmi täitmist. Näiteks võidakse testitavat programmi täita käskhaaval, kontrollides kahe järjestikuse käsu vahel programmi muutujate väärtusi jne.

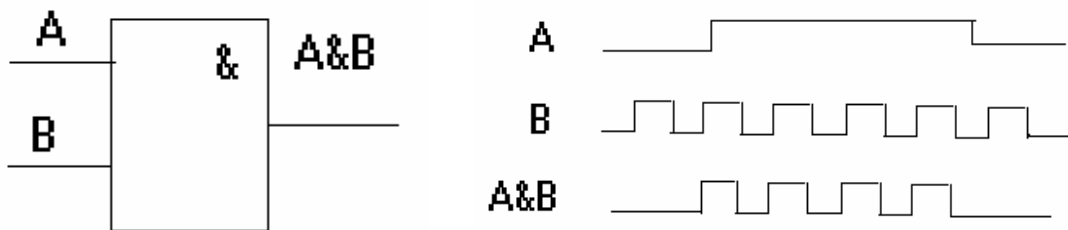
*Integreeritud programmeerimiskeskkondades* on translaator, linkur, redaktor ja sageli ka jälitusprogramm ühendatud kasutaja seisukohalt vaadates üheks programmiks. Kasutajale on see mugav, sest iga tööfaasi käivitamiseks ei tarvitse nüüd operatsioonisüsteemile anda eraldi korraldust. Kui translaator leiab programmist vigu, võib ta automaatselt käivitada redaktori. Redaktor näitab kasutajale vigaseid kohti ning pärast parandamist siirduetakse tagasi translaatorisse.

## 2. Arvutite elemendid ja sõlmed

### 2.1. Lihtelemendid

Vaatame esmalt skeeme, kus väljundsignaalid sõltuvad üheselt sisendsignaalist. Nende skeemide hulka kuuluvad lihtsad loogilised elemendid (näiteks JA, VÕI, EI) ja nende kombinatsioonid.

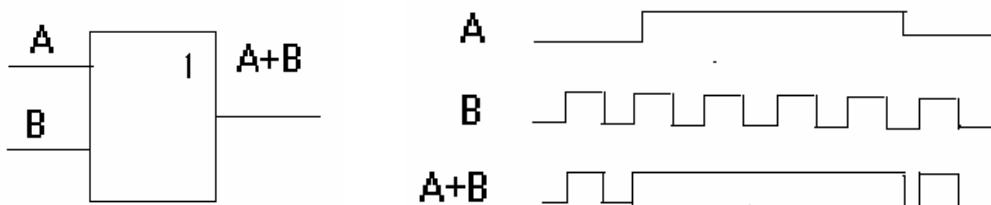
- 1) JA skeem: väljundis on signaal 1 ainult siis, kui kõigis sisendites on signaal 1



Elemendi JA tõeväärtuste tabel

A	B	A&B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- 2) VÕI skeem – väljundis on signaal 1 siis, kui vähemalt ühes sisendis on signaal 1



### Elemendi VÕI tõeväärtuste tabel

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

### 3) EI skeem – väljundis on pööratud sisendsignaal

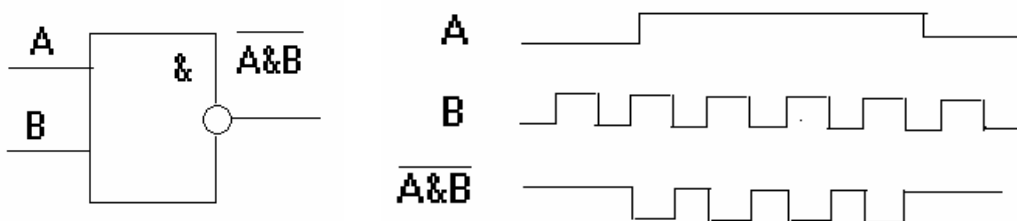


### Elemendi EI tõeväärtuste tabel

A	$\bar{A}$
1	0
0	1

Tegelikult kasutatakse nende elementide asemel JA-EI või VÕI-EI skeeme, sest selliseid on tehniliselt lihtsam realiseerida.

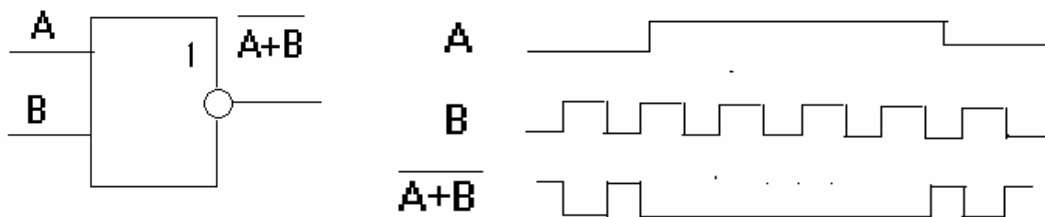
### 4) 2 sisendiga JA-EI element



### Elemendi JA-EI tõeväärtuste tabel

A	B	$\overline{A \& B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

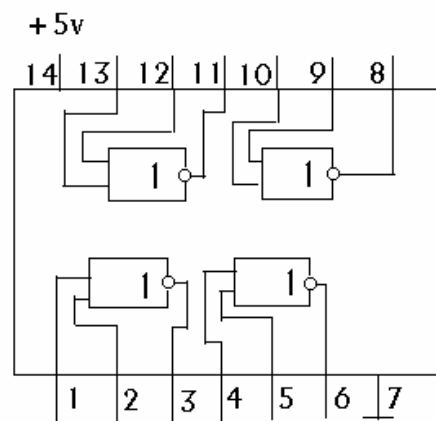
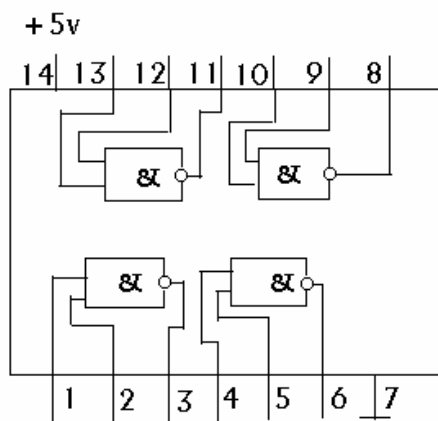
## 5) 2 sisendiga VÕI-EI element



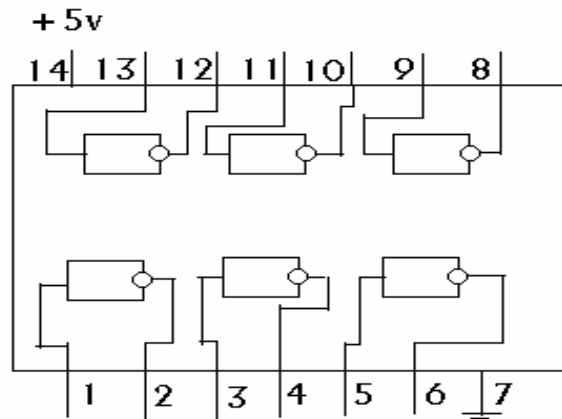
Elemendi VÕI-EI tõeväärtuste tabel

A	B	$\overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Ühesugused elemendid on paigutatud mitmekaupade ühte korpusesse. Näiteks mikroskeem 7400, mis sisaldab 4 2 sisendiga JA-EI elementi ja mikroskeem 7402, mis sisaldab 4 2 sisendiga VÕI-EI elementi.



Mikroskeemide 7400 ja 7402 abil on võimalik realiseerida kõik võimalikud 2 sisendiga loogilised lülitused. Signaali lihtsaks pööramiseks võib kasutada ka mikroskeemi 7404, mis sisaldab 6 EI elementi.



Nendes mikroskeemides kasutatakse TTL-tüüpi (transistor – transistor loogika) elemente toitepingega 5v. Mikroskeemide tootja garanteerib seadmete normaalse töö vastavalt järgmisele tabelile:

Signaal	Pinge sisendis	Pinge väljundis
Loogiline 0	0...0,8v	0...0,4v
Loogiline 1	2,0...5,1v	2,4...5,1v

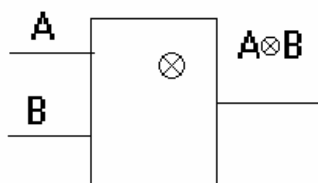
Juhul kui sisendsignaali langeb piirkonda 0,8v...2,0v, pole skeemi õige töö garanteeritud.

## 2.2. Summaator

Arvuti protsessor võimaldab teha erinevaid tehteid, kuid kõik need on kombinatsioonid kolmest elementaartehtest: liitmine, nihutamine ja võrdlemine.

Summaator on seade, mis tegeleb kahendarvude liitmisega. Järgnevalt vaatame, kuidas saab lihtsate loogiliste elementide abil ehitada summaatori.

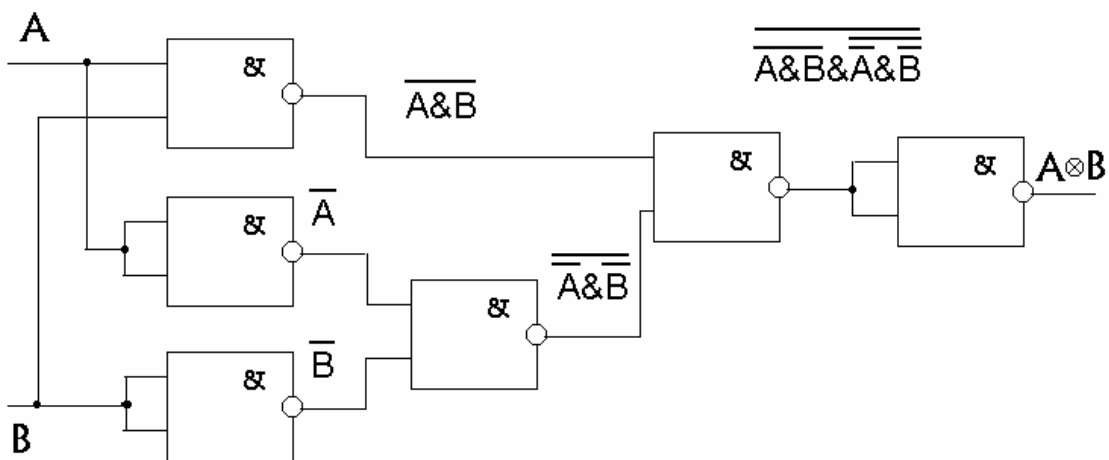
Element **välistav VÕI** on loogikaelement, mis annab väljundise signaali 1 ainult siis, kui ainult üks sisenditest on 1.



## Välistava VÕI tõeväärtuste tabel

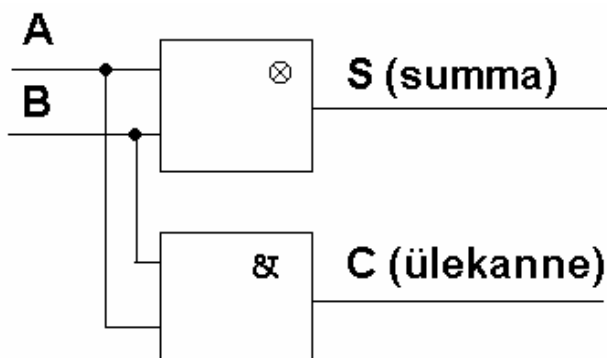
A	B	$A \otimes B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Selleks et kokku panna elementidest JA-EI elemendi VÄLISTAV VÕI, tuleb nad ühendada järgmiselt:



Tõestuseks kasutame tõeväärtuste tabelit.

Vaatame kõigepealt summaatorit, mis peab liitma 2 ühebitist arvu. Liitmise operatsiooni teeb ära skeem VÄLISTAV VÕI, kuid mitmebitiste arvude liitmisel tuleb üksikud bitid ka siduda, see tähendab tuleb arvestada sisendina ülekannet nooremast järgust ning lisada täiendav ülekande väljund, mis ühendatakse omakorda vanema järgu ülekande sisendisse. Skeemi lihtsusutamiseks on kasutusele võetud element, mida nimetatakse POOLSUMMAATORIKS.

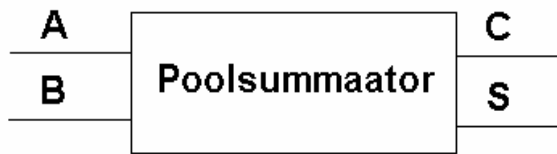


Tõeväärtuste tabel

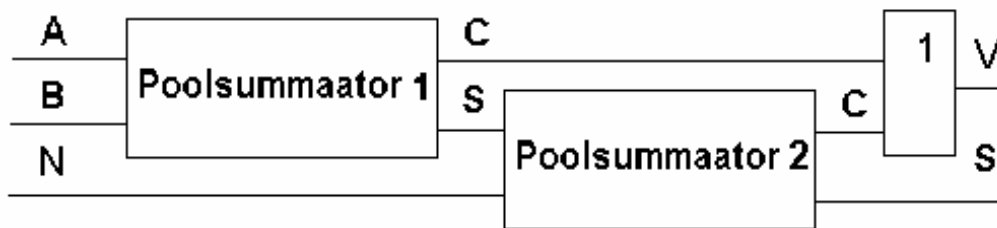
A	B	C	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0



Tähistame eespool toodud poolsummaatori tingmärgiga:



Poolsummaatori abil saab küll liita 2 ühebitist kahendarvu **A** ja **B** ning ta annab ka ülekande vanemasse järku **C**, kuid ta ei võimalda arvestada ülekannet nooremast järgust. Selleks et arvestada nii ülekannet nooremast järgust (**N**) kui ka ülekannet vanemasse järku (**V**), tuleb ühendada 2 poolsummaatorit ja **VÕI** element omavahel järgmise skeemi alusel:



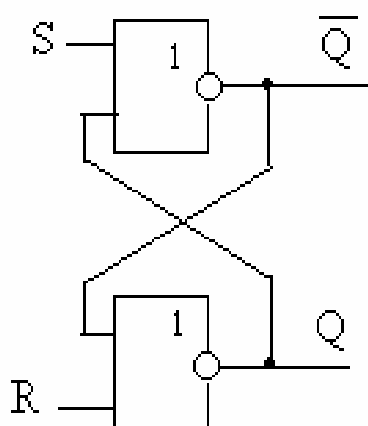
Joonisel toodud skeemi nimetatakse TÄISSUMMAATORIKS ja selle tõeväärtuste tabel on järgmine:

<b>N</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>S</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

## 2.3. Trigerid

### 2.3.1. RS - triger

Eespool vaatlesime lihtsaid loogilisi elemente ja summaatorit, kus väljundsignaal oli otseses sõltuvuses sisendsignaalist. Vaatleme nüüd elemente, mis võimaldavad informatsiooni salvestada. Kõige kiirem ja samas ka kõige kallim on info salvestamine pooljuhtmäluelementide abil, millel on 2 stabiilset seisundit. Juba vaadeldud loogikaelemendid üksikult võetuna ei suuda informatsiooni salvestada, küll aga on võimalik neid elemente niimoodi ühendada (kasutades tagasisidet), et tekib mäluelement. Kõige lihtsam mäluelement on *RS - triger*, mis saadakse kahe VÕI – EI või JA – EI loogikaelemendi ühendamisel.



Vaatame, kuidas töötab VÕI – EI elementidest skeem. Oletame, et väljundis Q on signaal “1” ja sisendis S signaal “0”. Vastavalt ülemise elemendi VÕI – EI tõeväärtuste tabelile peab siis väljundis  $\overline{Q}$  olema signaal “0”.

Anname nüüd sisendile R signaali “0”. See ei muuda väljundit Q, sest alumise elemendi VÕI – EI tõeväärtuste tabel annab tulemuseks  $Q=$ ”1”.

Muudame nüüd signaali sisendis  $R=$ ”1”. Vastavalt alumise elemendi VÕI – EI tõeväärtuste tabelile peab siis väljundis Q olema signaal “0”, mis omakorda põhjustab muutuse ülemise elemendi väljundis  $\overline{Q}=$ ”1”.

Muudame nüüd uuesti signaali sisendis  $R=$ ”0”. Seekord väljundi Q väärtus ei muutu, sest alumise elemendi VÕI – EI tõeväärtuste tabel annab tulemuseks  $Q=$ ”0”.

Järeldus: antud skeem on võimeline meelde jätma fakti, et sisendil R oli vahepeal väärtus “1”. See omadus näitab, et skeemi saab kasutada mäluelemendina. Paneme tähele, et antud juhul on skeemi väljundid erinevad, see tähendab, et kui  $Q=$ ”0”, siis  $Q=$ ”1” ja vastupidi.

Vaatame nüüd juhtumit, kus  $S=1$  ja  $Q=1$ . Tõeväärtuste tabel annab siin tulemuseks  $\overline{Q}=0$ .

Analoogiliselt eelnevale anname sisendile R signaali "0". Tõeväärtuste tabeli järgi väljundid Q ja  $\overline{Q}$  siin ei muutu.

Anname nüüd sisendile R signaali "1". Tõeväärtuste tabeli järgi väljund  $Q=0$ , kuid  $\overline{Q}$  siin ei muutu, seega ka  $\overline{Q}=0$ . Olukord, kus  $Q=\overline{Q}$ , on keelatud ja seepärast ei tohi ka lubada, et  $R=S=1$ .

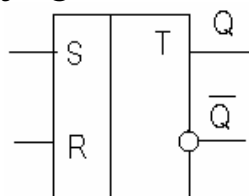
Antud skeemi tõeväärtuste tabel oleks järgmine:

R	S	Q	$\overline{Q}$
0	0	Ei muutu	
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Keelatud (määramata)	

Tabelist on näha, et kui  $S=1$  ja  $R=0$ , siis  $Q=1$ . See tähendab, et signaal "1" sisendis S tekitab väljundis Q signaali "1". Tähistus S on tulnud ing-

lisekeelsest sõnast *Set*, mis tähendab *seadma*.

Analoogiliselt saame, et signaal "1" sisendis R tekitab väljundis Q signaali "0". Tähistus R tuleneb sõnast *Reset*, mis tähendab *ümber seadma* või *nullima*. Vaadeldud trigerit nimetatakse *otsesisenditega RS – trigeriks* ja tähistatakse skeemides järgmiselt:



Eespool toodud tõeväärtuste tabel ei sobi hästi mälu elemendi olekute kirjeldamiseks, sest ta ei arvesta eelmist Q väärtust (elemendi eelnevat seisundit). Tähistame suvalise Q väärtuse  $Q_n$  ja sellele järgneva väärtuse pärast sisendite muutu-

mist  $Q_{n+1}$ . Võttes aluseks eespool toodud andmed, saame järgmise tabeli:

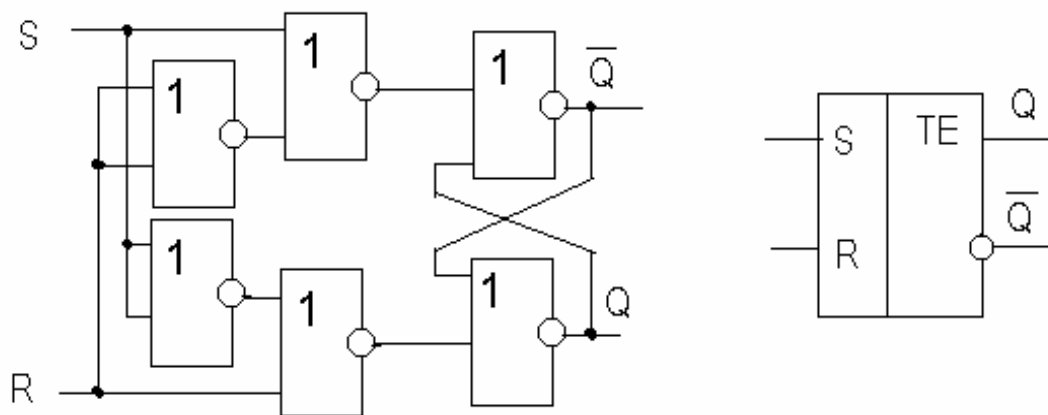
R	S	$Q_n$	$Q_{n+1}$
0	1	0	1
1	0	1	0
0	0	0	0
0	0	1	1

Tabelist on näha, et kui mõlemad sisendid lähevad korraka nulli, siis trigeri olek ei muutu. Signaali "1" ilmumine sisendisse S viib väljundi olekusse "1" ning signaali "1" ilmumine sisendisse R viib väljundi nulli. Tabelist puudub keelatud juhtum, kus mõle-

mad sisendid on korruga “1”, sest see põhjustab määramatu olukorra (puudub kindel vastavus sisendi muutumise ja sellele järgneva väljundi oleku vahel).

### 2.3.2. E - triger

Keelatud juhtumi (määramatuse) vältimiseks ühendatakse RS – trigeri sisendisse skeem, mis kindlustab sisendite vastavuse tingimusele  $S \& R = 0$ . Niisugust trigerit nimetatakse *E – trigeriks*. Allpool on toodud VÕI – EI elementidest ehitatud E – trigeri skeem ja tähistus.

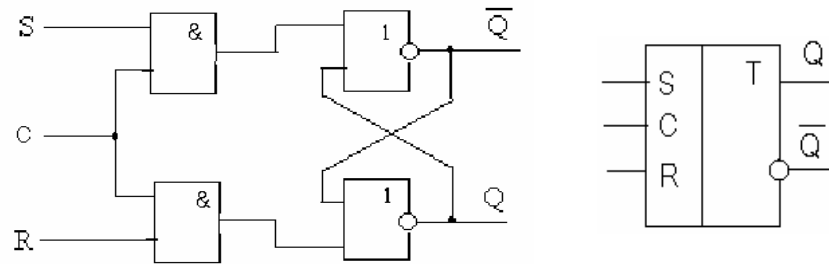


### 2.3.3. Sünkroonne RS - triger

Keerulistes skeemides läbivad signaalid enne trigeri sisendile jõudmist terve rea erinevaid loogilisi elemente, kusjuures iga loogiline element tekitab signaali muutusele (impulsile) ajalise nihke. Juhul kui sisendite ajalised nihked on erinevad, saab triger kokkuvõttes sisenditele valed signaalid, mis põhjustab ebaõige trigeri oleku muutuse.

Selleks et vältida ajalisest nihkest tingitud vigu, antakse trigeri sisendisse täiendav sünkrosignaali C (inglise keeles *clock*) ning lisatakse trigeri skeemi sisendiosale täiendavad loogilised elemendid, mis lasevad sisendsignaali läbi ainult samaaegselt sünkrosignaali. Sünkrosisendiga varustatud RS – trigerit nimetatakse *sünkroonseks RS – trigeriks*, ilma sünkrosisendita trigerit aga *asünkroonseks RS – trigeriks*.

Sünkroonse RS – trigeri põhimõtteskeem ja tähistus on toodud allpool:

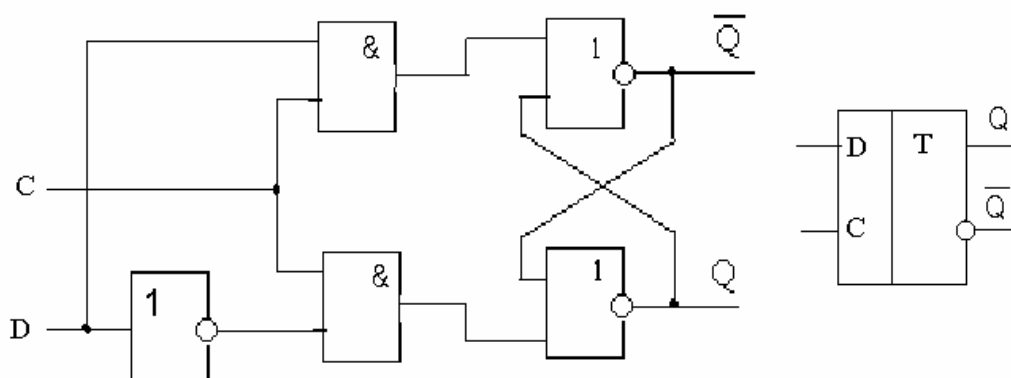


Jooniselt on näha, et sisendite S ja R ette on ühendatud kahe sisendiga JA skeemid, mille teisele sisendile antakse sünkro-signaal C.

### 2.3.4. D - triger

Lisades eespool toodud sünkroonse RS – trigeri R-sisendisse invertori ning ühendades invertori sisendi trigeri S-sisendiga, saame tulemuseks kahe sisendiga *D – trigeri*. Selline lülitus võimaldab asendada sisendid R ja S sisendiga D. Kui anda sisenditele D ja C üheaegselt signaal “1”, siis triger läheb olekusse “1”. Kui anda sisendile D signaal “0” ja sisendile C samaaegselt signaal “1”, siis triger läheb olekusse “0”.

Järgneval joonisel on D – trigeri põhimõtteskeem ja tähistus.



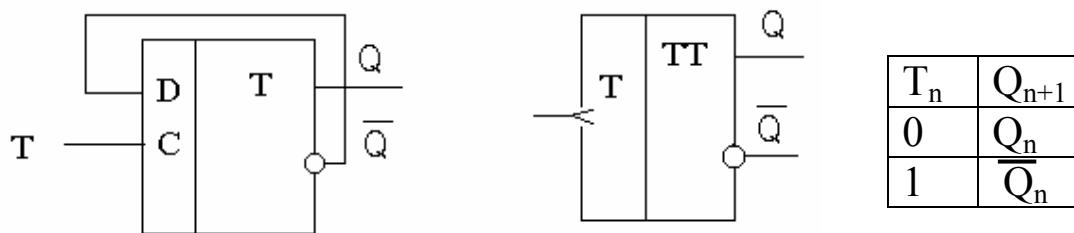
$D_n$	$Q_{n+1}$
0	0
1	1

Nimetus D – triger on tulnud ingliskeelsest sõnast *delay* – viide. D – trigeri väljund  $Q_{n+1}$  kopeerib sisendit  $D_n$  ja säilitab selle väärtuse pärast sünkroimpulsi C nulliminekut. Väljundi Q väärtus võib muutuda alles

järgmise sünkroimpulsi ajal, seega on tegemist ajalise viitega. Kaasajal nimetatakse D – trigerit ka *andmesisendiga trigeriks* (inglise keelest *data* – andmed), sest teda kasutatakse andmete lühiajaliseks säilitamiseks.

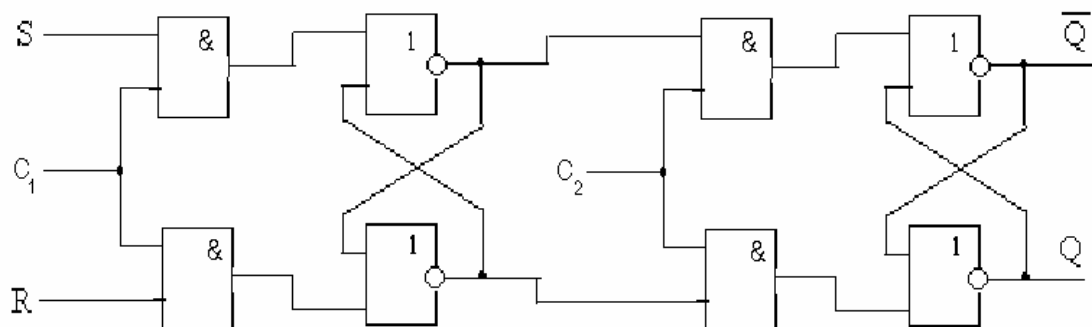
### 2.3.5. T - triger

Ühendades D – trigeri pööratud väljundi  $\overline{Q}$  sisendiga D saame *T – trigeri*. T – triger muudab oma oleku vastupidiseks iga järgmise sünkroimpulsi saabumisel. Täht T on tulnud inglisekeelsest sõnast *Toggle* – ümberlüüti. T – trigerit nimetatakse ka *loendussisendiga trigeriks*. Järgneval joonisel on toodud D – trigerist ehitatud T – trigeri skeem, tähistus ja tõeväärtuste tabel.



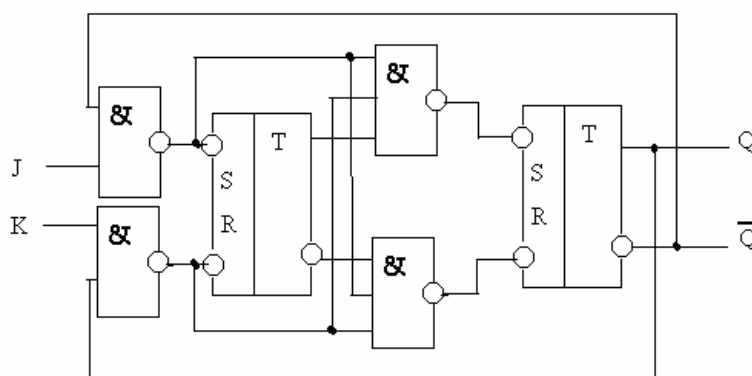
### 2.3.6. MS – triger

Ühendades järjestikku 2 sünkroonset RS – trigerit saame MS (*Master – Slave* ehk ülem – alluv) tüüpi trigeri. Selline lülitus võimaldab sünkroniseerida trigereid erinevate signaalidega  $C_1$  ja  $C_2$ , saavutades sellega trigeri väljundi sõltuvuse mõlemast signaalist (nn kaheastmeline triger).



## 2.3.7. JK – triger

JK – triger on universaalne triger, millel on vähemalt 2 sisendit J ja K (asünkroonne variant) ja mis sisaldab endas vähemalt kahte järjestikku ühendatud RS – trigerit, kusjuures skeem sisaldab täiendavaid tagasisidemeid väljundist sisendisse. Sisend J vastab RS – trigeri sisendile S ja sisend K vastab RS – trigeri sisendile R. Trigeri nimetus on tulnud inglisekeelsetest sõnadest *Jump* – hüppama ja *Key* – võti. JK – trigerit võib ehitada erine-



vate loogiliste elementide baasil. Vaatame näitena 4 elemendi JA – EI ning 2 inverteeritud sisenditega RS – trigeri baasil ehitatud JK – trigerit.

JK – trigeri tõeväärtuste tabel on järgmine:

$J_n$	$K_n$	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_n}$

See tabel sarnaneb RS – trigeri omaga, erinevus on ainult viimases reas. Nimelt erinevalt RS – trigerist on siin lubatud ka olek  $J=K=1$ . Tabelist on näha, et selle sisendite kombinatsiooni korral trigeri väljund omandab võrreldes eelmisega vastupidise (inverteeritud) väärtuse.

Samuti näeme, et kui ühendada sisendid J ja K omavahel, siis saame tulemuseks T – trigerit.

Siinkohal vaatlesime asünkroonset JK – trigerit, kuid on olemas ka erinevat tüüpi sünkroonseid JK – trigereid.

## 2.3.8. Kokkuvõte

*Triger* on mälulement, mis võimaldab salvestada 1 biti informatsiooni. Trigeril on 2 stabiilset olekut: 0 ja 1.

Kahe sisendiga (R ja S) trigerit nimetatakse *asünkroonseks RS – trigeriks* ehk *asünkroonseks seadesisenditega trigeriks*.

Sünkrosisendiga C varustatud RS – trigerit nimetatakse *sünkroonseks RS – trigeriks*.

Asünkroonset RS – trigerit, mille sisendisse on lisatud keelatud olekut  $R=S=1$  välistav skeem, nimetatakse *E – trigeriks*.

Trigerit, mille sisenditesse antakse otsesignaalid, nimetatakse *ostesisenditega trigeriks*.

Trigerit, mille sisenditesse antakse pööratud signaalid (loogilisele “1”-le vastab signaalinivoo 0V ja loogilisele “0”-le vastab signaalinivoo 5V), nimetatakse *inverteeritud sisenditega trigeriks*.

*D – trigeriks* ehk *andmesisendiga trigeriks* nimetatakse trigerit, millel on vähemalt 2 sisendit (D ja C) ning mis annab väljundisse viitega sisendsignaali.

*T – trigeriks* ehk *loendussisendiga trigeriks* nimetatakse trigerit, mille väljund muutub iga järgneva sisendsignaali “1” vastupidiseks.

MS – triger koosneb kahest järjestikusest eraldi sünkroniseeritavast RS – trigerist.

*JK – triger* on *universaalne triger*, mida võib tööle panna erinevates režiimides.

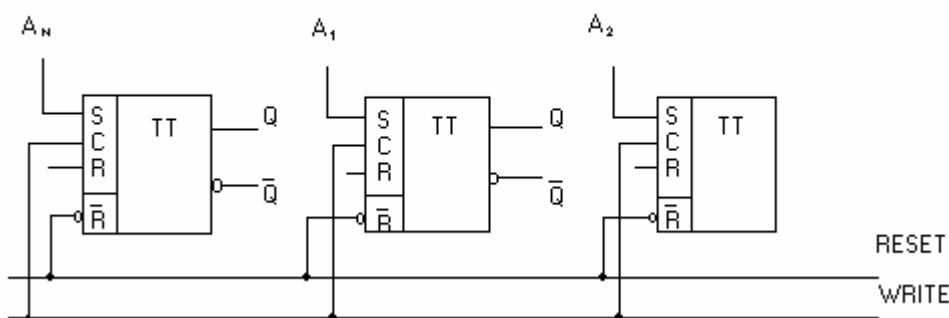


## 2.4. Registrid

Eespool vaatlesime trigereid. Triggerite baasil saab ehitada mitmesuguseid sõlmi, millest omakorda on kokku pandud niisugused arvutiseadmed nagu mikroprotsessor, operatiivmälu, seadmete kontrollid jne.

Sellisteks sõlmedeks on registrid, summaatorid, loendurid, dekodeerid, komparaatorid, multipleksorid jne.

Registri põhimõtteskeem.



**Registriks** nim. triggeritest koosnevat seadet, mis võimaldab salvestada, säilitada ning taasesitada infot ühe sõna kaupa. Sõna pikkus sõltub registri triggerite arvust ning võib olla väga erinev. Enam on levinud 8-, 16-, 24-, ja 32-bitised registrid, mis vastavad sõnapikkusele 1, 2, 3 ja 4 baiti. Registrit juhitakse signaalidega: vastuvõtt (*write*) ja nullimine (*reset*). Signaalidega *write* kirjut. sisendite  $A^0 \dots A^n$  informatsioon registrisse, signaaliga *reset* aga kustutatakse sealt. **Rööpregistrisse** salvestatakse info rööpkoodis, register koosneb n-kohalise kahendarvu jaoks n-trigerist.

Registreid, millesse info sisestamine ja väljastamine toimub järjestikku, nim. **nihkeregistriteks**. Nihkeregistri abil nihutatakse infosõna bitt vasakule või paremale. Nihkeregistri koostamiseks kasutatakse nii RS-, D- kui ka JK- trigereid. Nihkeregistris ühendatakse otsene ja inverteeritud väljund järgmise triggeri seadesisenditega S ja R. Seega toimub iga taktiga infosõna nihutamine ühe biti võrra. Sõltuvalt sellest kuidas triggerid omavahel ühendatakse, nihkub infosõna kas paremale või vasakule. Sõna nihutamise saad muundada rööpkoodis esitatud info jada-koodiks ning vastupidi.

**Reversiivne nihkeregister** – võimaldab nihutada nii vasakule kui ka paremale.

## 2.5. Summaatorite tüübid

Summaatoritest oli juttu juba varem. Vaatame siinkohal summaatorite erinevaid tüüpe.

- **Summaatoriks** nim. arvuti loogikalülitust, mis on ette nähtud arvkode aritmeetiliseks summeerimiseks. Mitmejärgulise kahendarvu summaator koosneb mitmest ühejärgulisest summaatorist. Arvude summeerimisel tuleb lisaks kahe summeeritava arvu vastavatele järkudele liita nendega ka nooremate järkude summeerimisel tekkinud ülekanne. Seega on ühejärgulisel summaatoril 3 sisendit ning 2 väljundit.
- **Poolsummaator**- ei arvesta liitmisel eelmisest järgust tulenevat ülekannet. Kahe poolsummaatori ühendamisel saadakse üks täissummaator.
- **Täissummaator**- arvestab liitmisel eelmisest järgust tulenevat ülekannet
- **Jadaülekandega e. järjestikülekandega** summaatoris moodustatakse väljundsignaal arvukohtade järjestikku summeerimisega, alates kõige nooremast (parempoolsest) kuni kõige vanema ehk vasakpoolsemani välja. Arvukoha summeerimiseks ja ülekande moodustamiseks kulub teatud aeg, mida ülekande seisukohalt võib vaadelda hilistumise-na. Kuna ülekanne toimub järjestikku, siis aeglustab see summaatori tööd. Suure kohtade arvu korral on koguhilistumine võrdne hilistumise summaga üksikutes kohtades.
- **Rööpülekandega e. paralleelülekandega** summaatorid töötavad palju kiiremini kui jadaülekandega summaatorid. Mitmekohalise kahendarvu summeerimisel moodustatakse ülekanne korraga kõigi kohtade jaoks. Seetõttu ei kulu ülekandeks lisaaega ning summaator töötab kiiremini kui jadaülekande korral.
- **Kiire ülekandega** summaatorid- nende puhul on rakendatud rööpülekande põhimõtet kombineeritult koos jadaüle-

kandegaga. Ülekanded on moodustatud kõigi kohtade jaoks korraga.

- **Lahuti** on summaator, mis võimaldab teostada ka lahutamist. Tegelikult teisendab lahuti lahutatava täiendkoodiks ja liidab selle teise arvuga.

## 2.6. Dekooderid

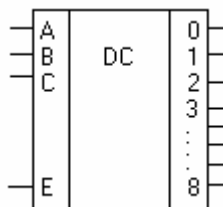
**Dekooder** on seade, mis teisendab kahendkoodi erinevateks juhtsignaalideks. Selline juhtsignaal võib näiteks:

- aktiveerida nõutava mälu pesa,
- juhtida number- või tähtindikaatorit,

Üldjuhul on dekodeeril nii mitu sisendit  $n$ , kui mitu kohta on sisendisse antaval kahendarvul. Maksimaalne väljundite arv võrdub kombinatsioonide arvuga  $2^n$ . Dekooderid koostatakse peamiselt JA- elementidest.

Dekooderit võib vaadelda elemendina, mis muudab rööpkoodi unitaarkoodiks, millel on ainult 1 bitt "1", ülejäänud bitid on nullid. Allpool on toodud tabel dekodeeri sisendite ja väljundite kohta ning tema skeemitähis.

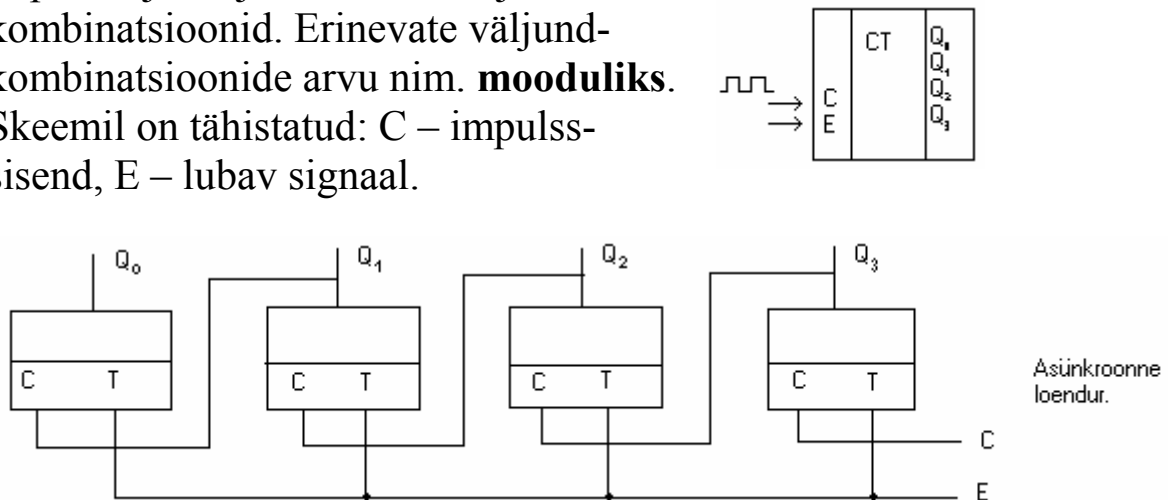
Sisendid			Väljundid							
A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



Sellel joonisel A, B ja C on koodisisendid ning E on sünkro-sisend.

## 2.7. Loendurid

**Loenduriks** nimetatakse impulsside loendamiseks ettenähtud loogikalülitust. Loendureid kasutatakse nii automaatika-seadmetes kui ka arvutustehnikas. Loenduri sisendisse antakse impulsid ja väljundiks on “0” ja “1” kombinatsioonid. Erinevate väljund-kombinatsioonide arvu nim. **mooduliks**. Skeemil on tähistatud: C – impulss-sisend, E – lubav signaal.



Loendur on register, millesse salvestatud arv sisendile antud signaali mõjul suureneb ühe võrra.

**Summeerivad** loendurid loendavad päripidi.

**Lahutavad ehk reversiivsed** loendurid loendavad tagurpidi.

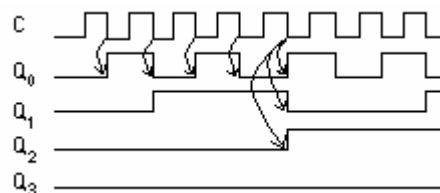
**Jadaülekandega** – väljund järjestik- ehk jadakoodis.

**Rööpülekandega** - väljund paralleelkoodis.

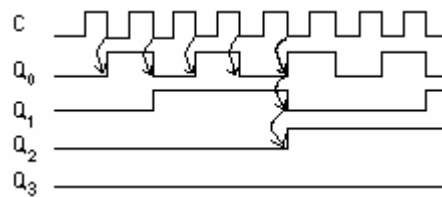
**Kahendloendur** - kahepositsiooniliste trigeritega. Lihtsaim loendustriger moodustab kahendloenduri järgu. Loendustegur on maksimaalne arv, mida loendur suudab lugeda. Loendustegur võrdub  $2^n$  kus n - loendurikohtade arv.

**Kümnendloendur** - loendab järjest 2nd koodi 0...9.

**Sünkroonne** - ehk rööpüle-kandega, toimub trigeritevahe-line signaali ülekandmine kõigi astmete jaoks üheaegselt, mistõttu ei teki hilistumist.



**Asünkroonne** - ehk jadaülekandega, loenduri puuduseks on signaalide ülekandmisel tekkiv hilistumine, mis suureneb koos loenduri astmete arvuga. Hilistumine võib ületada takti kestvuse.



## 2.8. Komparaatorid

Komparaator on võrdlusskeem, mis võrdleb omavahel kahte kahendarvu A ja B. Komparaatoril on 3 üksteist välistavat väljundit:

- a)  $A < B$
- b)  $A = B$
- c)  $A > B$

Oletame, et need kahendarvud on mõlemad 2 – bitised:

$$A = a^0 a^1 \text{ ja } B = b^0 b^1$$

Tähistame väljundsignaalid järgmiselt:

Kui  $A > B$ , siis olgu väljund  $G = 1$

Kui  $A < B$ , siis olgu väljund  $L = 1$

Kui  $A = B$ , siis olgu väljund  $E = 1$

$$E = \overline{L + G}$$

Komparaatori väärtuste tabel:

a1	a0	b1	b0	G	L	E
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0
1	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0	1

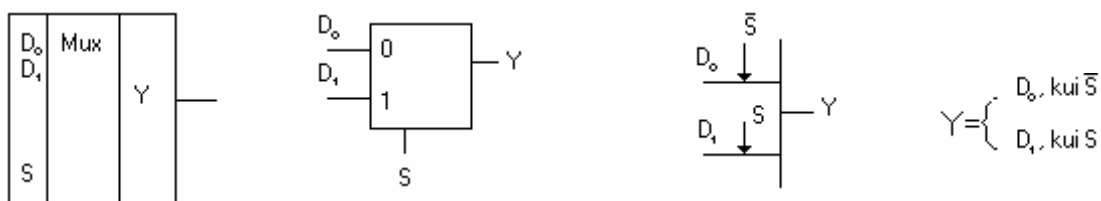
## 2.9. Multipleksorid

Multipleksor on seade, mis võimaldab ühendada omavahel valikuliselt 2 siini.

Multipleksoril on mitu sisendit ja üks väljund. Sisendid jagunevad infosisenditeks ja juhtsisenditeks, kusjuures infosisendite arv määrab ära juhtsisendite arvu ning vastupidi.

Vastavalt juhtsignaalile kommuteeritakse multipleksori väljundisse signaal ühest infosisendist. Kommuteeritavate infosisendite arv võrdub  $2^n$ , kus  $n$  on juhtsisendite arv. Järelikult saab kahe juhtsisendiga ehk kahebitise koodiga kommuteerida 4 sisendit, kolme juhtsisendiga 8 sisendit jne.

$D_0, D_1, D_2$  on infosisendid,  $S_1$  ja  $S_0$  on juhtsignaalid (e. sisendkood, sisendi aadress),  $Y$  on väljund.



## 3. Arvutiseadmed

### 3.1. Mäluseadmed

**Mäluseadmeteks** nim. informatsiooni salvestamiseks (kirjutamiseks), säilitamiseks ja lugemiseks ettenähtud seadmeid.

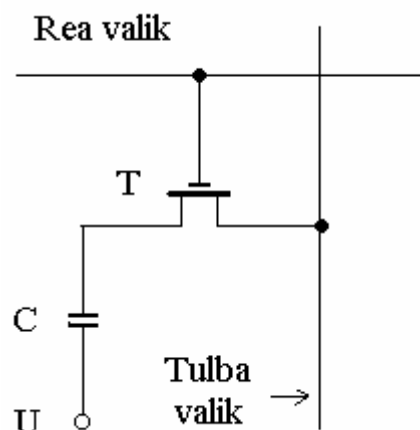
Vaatleme siin pooljuhtelementidest valmistatud mäluseadmeid, mille puhul aeg, mis kulub informatsiooni salvestamiseks mällu või lugemiseks mälust, ei sõltu informatsiooni asukohast mälus ja on oluliselt väiksem võrreldes ketasmäluga, kus pöördumisaeg sõltub informatsiooni asukohast kettal.

Pooljuhtmälu võib võrrelda ruudulise paberilehega, kus igasse ruutu võib kirjutada “0” või “1”. Mäluosa, mis võimaldab salvestada 1 biti informatsiooni, nimetatakse **mäluelemendiks**. **Mälupesaks** nimetatakse omavahel ühendatud mäluelemente (rida ruudulisel paberil). Mälupesa koosneb tavaliselt 8, 16, 32 või 64 mäluelemendist. Vaatleme siinkohal mälu, kus mälupesa koosneb 8 elemendist ja võimaldab seega salvestada 1 baidi informatsiooni. Mälupesa järjekorranumbrit (rea numbrit paberilehel) nimetatakse **mäluaadressiks**. Teades pesa mäluaadressi, on võimalik iga mälupesa poole eraldi pöörduda (see tähendab sealt informatsiooni lugeda või sinna kirjutada).

#### 3.1.1. Mäluelemendid

Vaatleme siinkohal ühe mäluelemendi ehitust pooljuhtmälus. Kaasaegne mäluskeem sisaldab miljoneid mäluelemente, kusjuures iga mäluelement sisaldab omakorda üht või mitut pooljuhttransistori.

Joonisel on toodud mäluelement, mis sisaldab ühte MOS (Metal Oxide Silicon) transistori. Skeem koosneb transistorist T ja kondensatorist C, mis on ühendatud alalisvooluallikaga U. Transistor töötab siin võtmerežiimis, mis tähendab, et tema



takistus on olenevalt juhtsignaalist *Rea valik* kas lõpmata suur või võrdne nulliga.

Informatsiooni salvestamiseks antakse siinile *Rea valik* lubav signaal, mille tulemusel transistor T avatakse ja kondensaator C ühendatakse läbi avatud (nullise takistusega) transistori T siiniga *Tulba valik*, mille tulemusel kondensaator laadub või tühjeneb olenevalt potentsiaalide vahest siini *Tulba valik* ja toiteallika U vahel. See tähendab, et salvestamisel omandab kondensaator C siiniga *Tulba valik* ühesuguse oleku. Salvestamise tsükli lõpus antakse siinile *Rea valik* keelav signaal, mille tulemusel transistor T suletakse ja kondensaator C ühendatakse lahti siinist *Tulba valik*.

Informatsiooni lugemiseks ühendatakse siin *Tulba valik* lugemisvõimendiga ja antakse siinile *Rea valik* lubav signaal. Selle tulemusel kandub potentsiaal läbi avatud transistori üle lugemisvõimendile.

Niisuguse skeemi juures tuleb arvestada järgmiste asjaoludega:

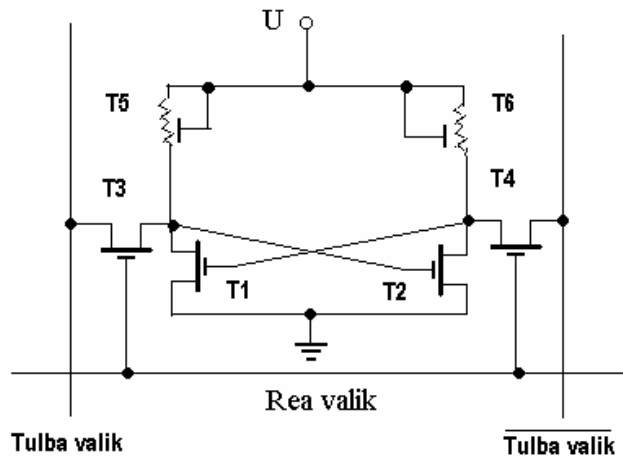
- 1) Informatsiooni lugemisel kondensaator tühjeneb, mistõttu tuleb teda pärast iga lugemist uuesti laadida,
- 2) Kondensaator tühjeneb ka suletud transistori korral lekkevoolu tagajärjel, mistõttu tuleb teda perioodiliselt uuesti laadida.

Kondensaatori perioodilist laadimist nimetatakse **regeneratsiooniks** ja selle teostamiseks peavad mälus olema vastavad elektriskeemid. Regeneratsiooniga mäluelemente nimetatakse **dünaamilisteks** ning mäluelemente, mis ei vaja regeneratsiooni, nimetatakse **staatilisteks**.

Vaadeldud dünaamilise mäluelemendi puuduseks on asjaolu, et lugemisvõimenditele vajaliku laengu saavutamiseks peab kondensaatori mahtuvus olema suur, mis omakorda suurendab mäluelemendi mõõtmeid. Praktilistes skeemides kasutatakse kas kuuest transistorist koosnevat staatilist või 4-transistorilist dünaamilist mäluelementi, kus mälufunktsioon on realiseeritud kahest MOS-transistorist koosneva trigeri abil.

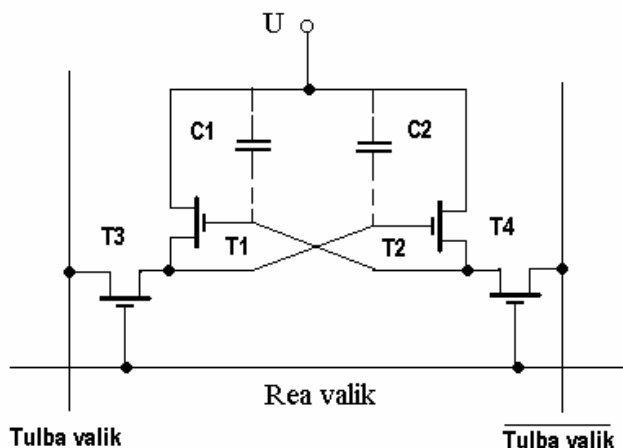


Kõrvaloleval joonisel on 6-transistoriline staatiline mälulement. Transistorid T1 ja T2 moodustavad trigeri, T5 ja T6 on koormuselemendid ning T3 ja T4 töötavad võtmerežiimis. Siin *Rea valik* annab loa kirjutamiseks või lugemiseks, siine *Tulba valik*



ja selle inversiooni *Tulba valik* kasutatakse andmete salvestamiseks või lugemiseks.

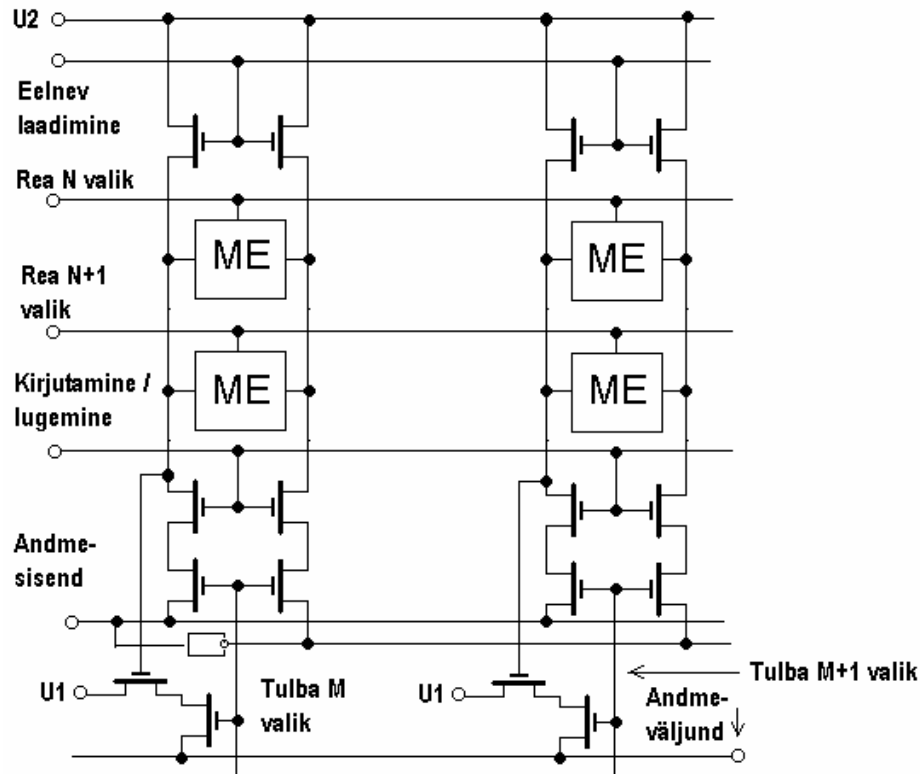
Vaadeldud skeemi võib lihtsustada, kasutades koormuselementide T5 ja T6 asemel transistoride T1 ja T2 parasiitmahtuvusi C1 ja C2 (vt järgnevalt jooniselt), kuid siis muutub



staatiline element dünaamiliseks, sest on vaja laadida lekkevoolu tõttu tühjenenud kondensaatoreid. Võrreldes esialgse ühetransistorilise dünaamilise mälulementiga on selle elemendi parasiitmahtuvused oluliselt väiksemad, kuid vajadus regeneratsiooni järgi jääb

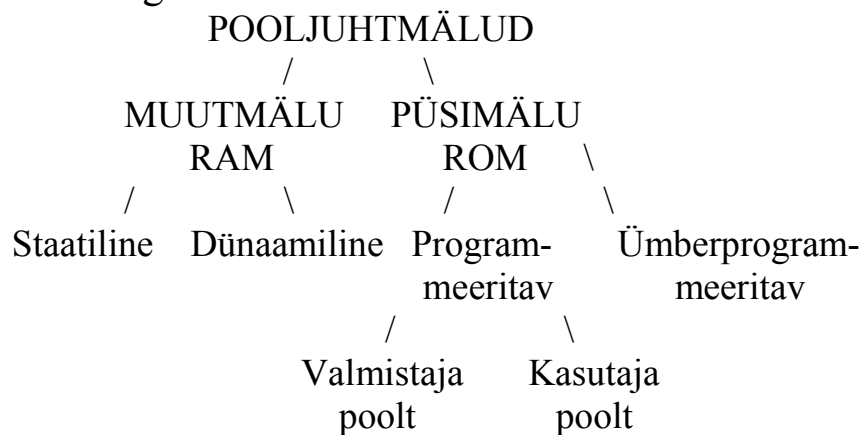
alles. Järgmisel leheküljel on toodud fragment mäluskeemist, mis kasutab eespool toodud 4-transistorilisi dünaamilisi mälulemente. See mäluskeem sisaldab M\*N mälulementi, millest igäüks võimaldab salvestada 1 biti informatsiooni ning valiku- ja juhtimisskeeme. Mäluskeemil on N+M sisendit vajaliku mälulementi valikuks, üks andmesisend ja juhtimiseks alglaadimise ning kirjutamise/lugemise sisendid. Skeemil on üks andmeväljund. Loomulikult tuleb skeemile anda ka toitepinged U1 ja U2 ning ühendada skeem maandusega (nulliga). Niisugune skeem ei ole veel valmis mälu seade, sest skeem ei sisalda

regeneratsioonielemente, samuti tuleb mäluskeemile lisada ka dekodeerid mäluaadressi teisendamiseks rea ja tulba valiku signaalideks. Järgneval joonisel ME – mäluelement eelnevalt jooniselt.



### 3.1.2. Mäluseadmete liigitus

Pooljuhtmälusid liigitatakse sõltuvalt tööpõhimõttest ning kasutusviisist. Pooljuhtmälude töökiirust iseloomustab pöördumisaeg mikrosekundites, mälu mahtu aga mõõdetakse kilobaitides või megabaitides.



- Muutmälu on seade informatsiooni lühiajaliseks salvestamiseks, säilitamiseks, otsinguks ning lugemiseks. Muutmälud jagunevad staatilisteks ja dünaamilisteks. Muutmälusid nimetatakse ka suvapöördusmäludeks (RAM- *Random Access Memory*). Muutmälud on toitepingest sõltuvad – toitepinge kadumisel kaob ka mälus olev info.

Muutmälude alaliigid on:

1) **Staatiline muutmälu**- selles kasut. iga infobiti salvestamiseks ühte trigerit, mis säilitab infot seni, kuni säilib toitepinge. Kuna staatilises mälus säilib salvestatud informatsioon ka pärast mälust lugemist, püsides seal toitepinge olemasolu korral kuitahes kaua, siis nim. niisugust mälu staatiliseks.

2) **Dünaamiline muutmälu** - on staatilise mälega võrreldes lihtsama ehitusega (ühe biti salvestamiseks läheb vaja umbes kaks korda vähem elemente) ning tarvitab tööks vähem energiat. Dünaamiliste muutmälude eeliseks on odavus, väikesed mõõtmed ja väiksem võimsustarve, puuduseks aga vajadus regeneratsiooniskeemi järele. Neid saab valmistada väga suure integratsiooniastmega, mis võimaldab toota suure mälumahuga kiipe. Seepärast ehitatakse arvutite ja mikroprotsessorsüsteemide suuremad mäluseadmed tavaliselt dünaamilistest mälukiipidest.

- **Püsimälu** kasut. programmide ning andmete pikaajaliseks säilitamiseks ja lugemiseks. Püsimälu on mõeldud korduvaks informatsiooni lugemiseks. Info on salvestatud püsimällu kas pooljuhtmälukiibi valmistaja või kasutaja poolt. Info salvestamist püsimällu nim. püsimälu programmeerimiseks Püsimälude tähtsamad alaliigid:

1) ühekordselt programmeeritav püsimälu (PROM- *programmable read only memory*). Ühekordselt programmeeritavaid mälusid liigitatakse sõltuvalt sellest, kas need programmeeritakse tehases mälukiibi valmistaja poolt või programmeerib neid kiibi kasutaja.

2) ümberprog. püsimälu (EPROM- *erasable programmable read only memory*) Ümberprogrammeeritavaid püsi-

mälusid saab kasutaja vajaduse korral kasutada ja uuesti programmeerida.

- 3) elektriliselt kustutatav ümberprogrammeeritav püsimälu (EEPROM - *electrically erasable programmable read only memory*).

Erinevad püsimälu tüübid on ka erineva ehitusega, näiteks ROM sisaldab diodmaatriksit, PROM aga ühendusi, mida saab tugeva vooluga läbi põletada.

EPROM sisaldab kahte transistoridest maatriksit, mille vahel asub õhuke oksiidikiht. Enne ülekirjutamist tuleb EPROM-is sisalduv info ultraviolettkiirguse abil kustutada. EPROM-i ülekirjutamine võtab kaua aega, sest korraga saab üle kirjutada ainult ühe baidi ja nõuab eriseadet (programmaatorit).

EEPROM-i ülekirjutamine on lihtsam, sest:

- a) ülekirjutamiseks pole vaja kivi skeemist välja võtta,
- b) tervet kivi pole vaja korraga üle kirjutada, seda saab teha plokkide kaupa,
- c) ülekirjutamiseks pole vaja eriseadmeid.

**Flash RAM** – väikese mahuga muutmälu, mis vajab info säilitamiseks nõrka voolu. Vooluallikaks võib olla emaplaadil asuv patarei, mõnikord aga sisaldab mälukivi ise vooluallikat.

Flash RAM kivide valmistamisel kasutatakse CMOS-tehnoloogiat. Seda tüüpi mälu kasutatakse SETUP-i parameetrite salvestamiseks (need peavad säilima ka arvuti väljalülitamisel).

CMOS – Complementary Metal Oxide Silicon

### 3.1.3. Dünaamilise muutmälu alaliigid

- **FPM DRAM** – *First Page Mode Dynamic Random Access Memory* ehk lihtsalt DRAM – järgmise biti töötlemist ei alustata enne eelmise mälutsükli lõppu.
- **EDO DRAM** – *Extended Data Out Dynamic Random Access Memory* – mälutsükli lõppu ei oodata ära, vaid alustatakse järgmise biti töötlemist kohe pärast eelmise biti aadressi seadmist. Keskmiselt 5% kiirem kui eelmine alaliik.
- **SDRAM** – *Synhronos Dynamic Random Access Memory* – keskmiselt 5% kiirem kui eelmine alaliik. Kiiruse suurenemine saavutatakse sellega, et mälumaatriksi ühelt realt loetakse kiiresti kõigis tulpades olev info ja saadetakse vahemällu L2 cache kiirusega kuni 528 megabaiti sekundis. Kaasajal laialt levinud muutmälu tüüp.
- **DDR DRAM** – *Double Data Rate DRAM* – eelmise edasiarendus. Võimaldab SDRAM mälu tööle panna kahekordse siinikiirusega. Kui SDRAM mälu sünkroniseeritakse sünkrosignaali ühe frondiga, siis DDR DRAM kasutab sünkroniseerimiseks signaali mõlemat fronti. Seda tüüpi mälu kasutati esmakordselt 1999 aastal firma *nVidia* mälukivides *Geforce 256 3D* videokaartidel. Alates 2000 aastast on see mälutüüp kasutatav operatiivmäluna, eriti populaarseks muutus ta 2002 aastal, kui ka firma *Intel* asus DDR-i toetama.
- **RDRAM** – *Rambus Dynamic Random Access Memory* – kiireks teeb eriline siin, mida nimetatakse **Rambus Channel**. Võimaldab andmeedastust sagedusega kuni 800 MHz (tavaline siini sagedus 100 – 266 MHz)
- **Direct RDRAM** – see mälutüüp töötati välja aastal 1999 firmade Intel ja Rambus koostööna, kuid ta ei õigustanud ennast oma kõrge hinna tõttu.
- **VRAM** – *Video Dynamic Random Access Memory*, ka **MP RAM** (*MultiPort*) – muutmälu, mida kasutatakse videokaartidel. Multiport tähendab, et mälu koosneb nii tava-

lisest muutmälust kui ka jadapöördusmälust (*serial access memory*).

Operatiivmälutüüpide töökiiruse võrdlustabel 2002 aasta lõpus

PC100 SDRAM	PC133 SDRAM	PC1600 DDR	PC2100 DDR	PC2700 DDR	PC3200 DDR
(8 Bytes x 100MHz) = 800 MBps	(8 Bytes x 133MHz) = 1.1 GBps	(8 Bytes x 200MHz) = 1.6 GBps	(8 Bytes x 266MHz) = 2.1 GBps	(8 Bytes x 333MHz) = 2.7 GBps	(8 Bytes x 400MHz) = 3.2 GBps

### 3.1.4. Mälumoodulid ja muutmälu lisamine

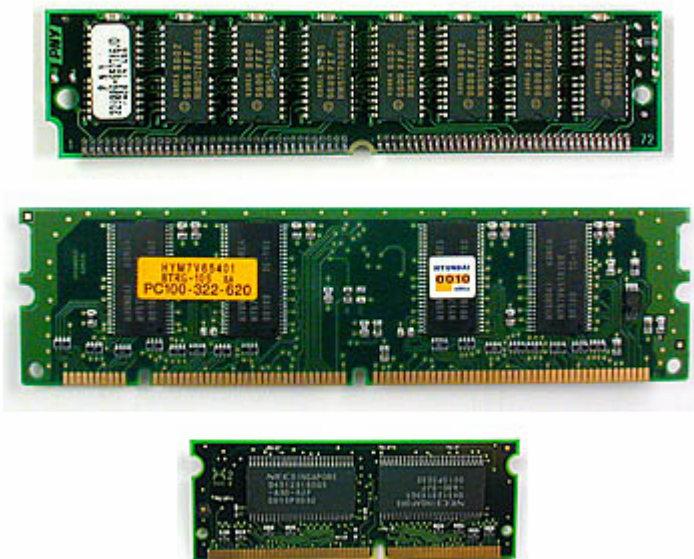
Lauaarvutite mälukivid olid esialgu ühendatud viisil, mida nimetatakse **DIP** (*Dual Inline Package*). See tähendab, et mälukivid asuvad otse emaplaadil (nad on sinna tinutatud või paigutatud erilistesse pesadesse).

Kaasajal ei asu mälukivid otse emaplaadil, vaid erilistel mäluplaatidel, mida nimetatakse **mälumooduliteks** (*memory module*). Mõõdulid ühendatakse emaplaadiga erilise pistikupesa abil. Mälumoodulite pesade hulka emaplaadil nimetatakse inglise keeles *memory bank*. Mälukivide ühendamiseks trükiplaadiga on 2 viisi:

- a) **SOJ** – *Small Outline J-lead*
- b) **TSOP** – *Thin Small Outline Package*

Erinevalt DIP-ühendusest on mälukivid trükiplaadiga ühendatud otse, ilma tinutamist kasutamata. Kivid pole vahetatavad, sest nad moodustavad plaadiga ühtse terviku. Mõõduleid tähistatakse kahe arvu korrutisega, millest esimene näitab kivide arvu plaadil ja teine ühe kivi mahtu megabittides. Näiteks 4\*32 tähendab, et moodulis on 4 kivi kogumahuga 128 megabitti ehk 16 Megabaiti.

Alguses puudus mälumoodulite standard (mõõdulite signaalid ja pistikupesa ehitus olid igal firmal omamoodi). Järgneval pildil on näha mõned kaasaegsed eritüüpi mõõdulid.



From the top: SIMM, DIMM and SODIMM memory modules

**SIMM** – *Single In-line Memory Module* oli esimene mälu-standard. Algul kasutati 30 kontaktiga pesa, mäluplaadi mõõtmed olid umbes 9\*2 cm. SIMM mooduleid tuli alati kasutada paarikaupa, sest tema andmesiin oli 8 bitti, arvuti andmesiin aga oli 16 bitti. Seega, kasutades kahte 8-megabaidist SIMM-i, saime arvuti operatiivmäluks 16 megabaiti. Hilisemad SIMM plaadid olid suuremad (umbes 11\*2,5 cm) ja kontaktide arv kasvas 72-ni. SIMM-ide abil saab ühendada arvutiga kuni 256 MB operatiivmälu, kusjuures ühel emaplaadil võib olla ka erinevat tüüpi (uuemaid ja vanemaid) pistikupesade mälumoodulite ühendamiseks.

**DIMM** – *Dual In-line Memory Module* on uuem moodulitüüp, mille mõõtmed on umbes 14\*2,5 cm ja kontaktide arv 168. Üksiku DIMM mooduli maht on 8 kuni 256 megabaiti, neid võib lisada erinevalt SIMM-ist ka ühekaupa. IBM PC tüüpi arvutite mälumoodulid tarbivad toitepinget 3,3 V. DIMM mooduleid kasutatakse kaasajal põhiliselt SDRAM tüüpi mäludes.

**RIMM** – *Rambus In-line Memory Module* on DIMM-iga sama suuruse ja kontaktide arvuga, kuid signaalide tähendused on erinevad ja töökiirus suurem.

**SODIMM** – *Small Outline Dual In-line Memory Module* on vähendatud mõõtmetega (2,5\*5 cm) mälumoodul, mida kasutatakse kaasaskantavates (*Laptop*) arvutites.

**DDR moodulid** – kasutatakse DDR DRAM tüüpi mäludes, kontaktide arv on 184.

**Paarsuse kontroll** – mälukivile võib lisada iga 8 biti kohta ühe lisabiti, mida saab kasutada informatsiooni õigsuse kontrolliks. Paarsuse kontrolliga mälumoduleid kasutatakse seadmetes, mis vajavad eriti suurt töökindlust, tavalistes arvutites neid ei kasutata. Tavalistes arvutites kontrollitakse mälu üle arvuti sisselülitamise ajal (alglaadimisel).

**Muutmälu saab arvutile lisada** 16 MB kordsete (16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024) kaupa, vanematel arvutitel kivide kaupa, uutel arvutitel ainult moodulite lisamisega. Mälu lisamisel tuleb teada:

- a) millist tüüpi (SDRAM, RDRAM, DDR DRAM) mälu võib antud emaplaadile lisada,
- b) mälumooduli tüüpi (SIMM, DIMM, RIMM, DDR),
- c) kas moodul sisaldab lisabitti paarsuse kontrolliks,
- d) mooduli töökiirust (töösagedust).

Eksida võib näiteks mooduli tüübiga (RIMM ja DIMM näevad ühesugused välja).

Samuti tuleb arvestada, et mäluelemendid kardavad staatilist elektrit ja seepärast tuleb mälu vahetamisel nii mäluplaat kui ka oma käsi maandada (kasutada maandamiseks erilist käevõru).



### 3.1.5. Vahemälu CACHE

Esimestel personaalarvutitel töötasid mikroprotsessorid madalal sagedusel (alla 20 MHz). Kuna dünaamilise muutmälu **DRAM** töötsükkel oli 60..80 ns, mis vastas sagedusele 17 MHz, siis puudus vajadus mikroprotsessori ja operatiivmälu vahelise **vahemälu** ehk **puhvri** järele.

Selline vajadus tekkis koos mikroprotsessori **Intel 80486** kasutuselevõttuga. Vahemäluna hakati kasutama staatilist muutmälu **SRAM**, mille töötsükkel on tunduvalt lühem (2..4 ns). Võrreldes **DRAM**'iga on **SRAM** mõõtmetelt palju suurem ja hinnalt palju kallim, mistõttu piirduiti esialgu suhteliselt väikese mälumahuga (8 kilobaiti **Level 1 vahemälu** mikroprotsessori **Intel 80486** sees). Kuna nii väike vahemälu ei ole efektiivne, otsustati lisada emaplaadile täiendav niinimetatud **L2 vahemälu** mahuga 64..256 KB.

**Vahemälu** töötab järgmiselt. Andmete või programmide lugemiseks pöördub mikroprotsessor kõigepealt **puhvri L1** poole. Kui soovivat sealt ei leita, siis otsitakse seda **L2 puhvrist**. Kui ka sealt ei leita, siis esitatakse päring operatiivmälule. Andmed kirjutatakse nüüd kõigepealt **L2 mällu**, seejärel **L1 mällu** ning alles sealt jõuavad andmed lõpuks protsessorisse. Kõik need operatsioonid võtavad aega ja teatud tingimustel kuulub sellisel juhul kokkuvõttes isegi rohkem aega kui töötamisel ilma puhvriteta, otse operatiivmälu kasutades. Arvutused näitavad, et kui 8-l korral 10-st õnnestub andmed leida vahemälust, siis pole puhvri mõtet, sest puhverdamisele kuluv aeg võrdub otse operatiivmälust lugemise ajaga.

Inteli uus mikroprotsessor **Pentium** sisaldas juba 32 KB **vahemälu L1**, mis oli jagatud kaheks: 16 KB käskudele ja 16 KB andmetele.

Vahemälu töötamise kiirus sõltub oluliselt tema töösagedusest. Kui mälu asub mikroprotsessoris, siis sagedus võrdub tavaliselt protsessori sisemise sagedusega, emaplaadil asuva **L2 mälu** sagedus aga võrdub emaplaadi töösagedusega, mis on oluliselt madalam. **Intel Pentium MMX** maksimaalne töösagedus oli 233 MHz, kuid emaplaadil asuva **puhvri L2** töösagedus oli ainult 66 MHz.

Mikroprotsessor **Pentium Pro** sisaldas juba ise **L2** puhvrit mahuga 256 KB, mille töösagedus võrdus protsessori taktsagedusega 200 MHz.

Mikroprotsessoris **Pentium II** oli **vahemälu L2** töösagedus poole väiksem protsessori taktsagedusest, seega oli astunud samm tagasi võrreldes **Pentium Pro**-ga. Nimelt paigutati **Pentium II vahemälu L2** protsessori tuumast eraldi kristallile, kusjuures mõlemad asusid ühel trükiplaadil niinimetatud **SEC pakendis**. Muudatus oli põhjustatud **Pentium Pro** kõrgest hinnast (uus tehnoloogia oli tunduvalt odavam).

Tänu tehnoloogia edasisele muutumisele (odavnemisele) oli hilisemates mikroprotsessorites (**Pentium III** ja **Pentium 4**) **L2 vahemälu** toodud uuesti tagasi protsessoriga ühele kristallile ja töötas protsessori taktsagedusega.

### 3.1.6. Baasvahetussüsteem BIOS

Baasvahetussüsteem BIOS – *Basic Input/Output System* – kujutab endast püsimalu rakendust arvutis.

Arvuti tarkvara võib tinglikult jagada 3 ossa:

- 1) operatsioonisüsteem ehk juhtprogramm,
- 2) rakendusprogrammid,
- 3) BIOS

BIOS-il on palju rakendusi, kuid kõige tähtsam ülesanne on käivitada operatsioonisüsteem. Arvuti sisselülitamisel peab mikroprotsessor saama kuskilt esimesed käsud. Neid käske pole operatiivmälu, sest operatiivmälu on sisselülitamise momendil tühi. Kõvakettal on küll operatsioonisüsteem, kuid protsessor ei suuda seda ilma juhtprogrammita kasutada – juhtprogramm tuleb eelnevalt operatiivmällu lugeda. BIOS sisaldab programmi, mis laeb kõvakettalt operatiivmällu operatsioonisüsteemi juhtprogrammi ning annab seejärel juhtimise üle operatsioonisüsteemile.

BIOS-i teised ülesanded:

- teostab käivitustesti POST – *Power on Self Test*. Käivitustesti ajal kontrollitakse arvutiseadmete töökorrasolekut.
- käivitab teised BIOS-i mikroskeemid, näiteks graafika-kaardi ja SCSI kaardi BIOS-id.
- sisaldab programme, mida operatsioonisüsteem kasutab andmevahetuseks erinevate arvutiseadmetega - siit on tulnudki nimetus BIOS. Siia alla kuuluvad põhiliselt klaviatuuri, kuvari, järjestik- ja paralleelpordi draiverid, mida kasutatakse eriti arvuti käivitamisel (siis kui operatsioonisüsteem veel ei tööta).
- sisaldab arvuti jaoks olulisi seadistusi, näiteks kõvaketta parameetreid, kellaega jne.

Teiste sõnadega, BIOS on eriline programm, mis seob arvuti põhilisi komponente operatsioonisüsteemiga. BIOS on salvestatud väikmällu (*Flash memory*), mis asub erilisel mikroskeemil emaplaadil.



BIOS-i poolt sooritatavate operatsioonide tavaline järjekord arvuti sisselülitamisel on selline:

- 1) ROM-ist loetakse välja **Setup**-i seadistused,
- 2) laetakse operatiivmõllu katkestuste ja seadmete draiverid,
- 3) seatakse algasendisse protsessori registrid ja käivitatakse toite juhtimissüsteem (*power managment*),
- 4) sooritatakse käivitustest POST,
- 5) tuuakse ekraanile süsteemi parameetrid,
- 6) kontrollitakse üle seadmed, millelt saab operatsioonisüsteemi käivitada,
- 7) käivitatakse alglaadur (Bootstrap).

Vaatame neid operatsioone lähemalt.

1) **Setup**-i parameetrid loetakse välja muudetavast püsimälust (tavaliselt 64 baiti infot). Need parameetrid kirjeldavad konkreetset arvutit ja neid muudetakse süsteemi muutmisel.

2) Katkestuste draiverid on programmijupid, mis seovad arvutiseadmeid operatsioonisüsteemiga.

Näiteks klaviatuuriklahvi vajutamisel saab signaali klaviatuuri draiver, mis teisendab signaali operatsioonisüsteemile arusaadavasse keelde. Seadmete draiverid on programmid, mis aitavad töötada põhiliste seadmetega, nagu klaviatuuriga, hiirega, kõvakettaga ja disketiseadmega.

Kuna BIOS töötab aeglasemalt kui põhimälu, siis salvestatakse BIOS-i programmid arvuti töötamise ajal põhimällu RAM. Seda nimetatakse *Shadow RAM*-iks ehk **varimäluks**. Arvuti töötamise ajal kasutab mikroprotsessor püsimälu asemel sellest kiiremat **varimälu**.

3) Pärast draiverite laadimist kontrollib BIOS videokaardi (graafikaadapteri) korrasolekut. Uuematel videokaartidel on oma BIOS, mis käivitab mälu ja graafika graafikaprotsessori graafikaadapteril. Osadel arvutitel on integreeritud videokaart, mis tähendab et videokaardi komponendid (püsimälu, muutmälu ja graafikaprotsessor) asuvad otse emaplaadil ja kuvar ühendatakse otse emaplaadiga. Viimasel juhul käivitab süsteemi BIOS kuvari BIOS-i emaplaadil.

4) BIOS kontrollib, kas on tegemist **külmbuutimisega** (*cold boot*) või **soebuutimisega** (*warm boot*). Soebuutimise korral sisaldab mälupesaga 0000 0472<sub>16</sub> väärtust 1234<sub>16</sub> ning järgnev osa käivitustestist jäetakse vahele. Juhul kui selles mälupesas on mingi teine väärtus, sooritab BIOS käivitustesti ka teistele seadmetele.

Külmbuutimise korral:

a) kontrollitakse üle terve operatiivmälu kirjutamise/lugemise testiga,

b) kontrollitakse üle klaviatuuri ja hiire pordid (uutel arvutitel PS/2 või USB tüüpi),

c) kontrollitakse üle PCI siin,

d) kontrollitakse üle kõik PCI siiniga ühendatud kaardid.

Juhul kui test leiab vea, hakkab arvuti piiksuma või tuleb ekraanile vastav teade. Viga selles staadiumis on eelkõige põhjustatud riistvara poolt.

5) Ekraanile tuuakse süsteemi parameetrid, nagu näiteks:

a) protsessori tüüp ja taktsagedus,

b) disketiseadme, kõvaketta ja CD-ROM-i parameetrid,

c) operatiivmälu maht,

d) BIOS-i versioon ja kuupäev,

e) kuvari ja videokaardi parameetrid.

Kui süsteemi on ühendatud erilised kaardid (näiteks SCSI – *Small Computer System Interface*), siis laetakse vastavad draiverid ja ekraanile tulevad vastavad teated.

6) BIOS kontrollib programmis **Setup** salvestatud järjekorras üle alglaadimisseadmed (tavaliselt kettad **A:**, **C:**, **D:**). Kui BIOS leiab järjekorras esimeselt seadmelt operatsioonisüsteemi, siis ta käivitab süsteemi sellelt seadmelt. Kui järjekorras esimene seade puudub, siis kontrollib BIOS teist seadet ja käivitab süsteemi sellelt. Kui ka teine seade puudub, siis üritab BIOS käivitada süsteemi järjekorras kolmandalt seadmelt.

Juhul kui esimeseks seadmeks on disketiseade **A:** ja seadmelt asub diskett, millel puuduvad operatsioonisüsteemi laadimisfailid, tuleb ekraanile teade:

Non – System disk or disk error. Replace and strike any key when ready.
--

Tavaliselt on tegemist juhtumiga, kus olete unustanud disketi arvutisse. Võtke diskett välja ja vajutage suvalisele klahvile ning operatsioonisüsteem laetakse kõvakettalt.

### 3.1.7. Programmi Setup parameetrite muutmine

**Setup**'i parameetrite muutmiseks tuleb alglaadimise ajal vajutada mingile klahvile (erinevatel arvutitel erinevad klahvid või klahvikombinatsioonid).

Avaneb **Setup**'i aken (erinevatel firmadel akna kuju erinev).

Tavaliselt järgmised valikud:

- *System Time/Date* – saab muuta arvuti aega/kuupäeva
- *Boot Sequence* – saab muuta alglaadimise järjekorda
- *Plug and Play* – kui *Yes*, siis süsteem tunneb ise ära lisatud riistvara, kui *No*, siis ei tunne. Kaasaegsetel arvutitel tuleb reeglina valida *Yes*.
- *Mouse/Keyboard* – hiire ja klaviatuuri algseadistused
- *Drive Configuration* – kõvaketta, CD-ROM'i ja disketi-seadmete parameetrid
- *Memory* – saab suunata BIOS'i varimälu kindlale mälu-aadressile
- *Security* – saab määrata parooli
- *Power Management* – saab määrata, kas kasutatakse toite automaatjuhtimist. Kui kasutatakse, siis saab määrata olekute *Standby* ja *Suspend* ajalised väärtused. Varem kasutati toite automaatjuhtimist ainult kaasaskantavatel arvutitel, nüüd on see võimalik ka lauaarvutitel.
- *Exit* – saab määrata, kas salvestada väljumisel muutused, mitte salvestada või taastada vaikimisi antud parameetrid.

Setup-is muutuste tegemisel tuleb olla ettevaatlik. Kui teha valesti, siis arvuti ei käivitu või töötab ebanormaalses režiimis.

## 3.2. Mikroprotsessorid

Mikroprotsessorit võib nimetada arvuti südameks, sest temast sõltub suures osas kogu arvuti. Nagu eespool öeldud, sooritab mikroprotsessor aritmeetilisi ja ka teisi operatsioone arvude ja muude andmetega (tekstiga, piltidega, helisalvestusega jne). Need operatsioonid on kirja pandud programmi kujul, mis omakorda koosneb käskudest. Programmi käsud täidetakse tavaliselt kirjutamise järjekorras, kuid teatud juhtudel on vaja kasutada ka hargnemist ning tsükleid.

Kõik protsessorid vajavad kahendkujul sisendsignaale ning väljastavad kahendkujul väljundsignaale. Kaasaegsete protsessorite toitepinge on vähenenud algul 5 voldilt 3,3 voldile ja seejärel 2,8 voldile. Esimesed mikroprotsessorid sisaldasid tuhandeid transistore, kaasaegsed aga juba miljoneid transistore.

Mikroprotsessorites kasutatakse metalloksiid-pooljuht-väljastore (MOSFET – *Metal-Oxide Field-Effect Transistor*), mis töötavad võtmerežiimis. Need ei ole üksikud omavahel juhtmetega elektriliselt ühendatud transistorid, vaid nad kõik asuvad ühel ränikristallil. Sellist paljudest transistoridest koosnevat skeemi nimetatakse integraallülituseks (IC – *Integral Circuit*). Kui esimesed IC-d koosnesid mõnedest transistoridest, siis hiljem ühendati need IC-d samal viisil omavahel ning saadi tulemusena suured integraallülitused (LSI – *Large-Scale Integration*). Ka suured IC-d ühendati omavahel ja saadi niiviisi väga suure integratsiooniastmega IC-d (VLSI – *Very Large-Scale Integration*).

Personaalarvutite mikroprotsessoreid tootvatest firmadest on tuntuimad *Intel* ja *Motorola*. Need firmad võistlevad juba aastakümneid omavahel esikoha pärast turul. Algul oli võistlus tasavägine, kuid pärast IBM PC-de turuletulekut 1980-ndate alguses on *Intel* kindlalt esikohal. *Intel* valis nn CISC (*Complex Instruction Set Computer*) protsessorid, *Motorola* aga RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) protsessorid. Kaasaja mikroprotsessorite turul on saavutanud tugeva positsiooni firmad AMD (lai valik mikroprotsessoreid) ja põhiliselt emaplaate ja



tugikiibistikke tootev firma VIA (odavad müravabad mikroprotsessorid).

Esimese mikroprotsessori **4004** valmistas firma *Intel* kalkulaatori jaoks 1971 aastal. See oli 4-bitine mikroprotsessor, sest ta töötles korraga 4 bitti andmeid, kuid tema käsud olid 8-bitised. Protsessor sisaldas 16 4-bitist üldregistrit, mida võis kasutada ka kui kaheksat 8-bitist registrit. Mikroprotsessor kasutas andmete ja programmide jaoks eraldi mälusid, vastavalt 4 KB ja 1 KB. Protsessoril oli 46 käsku, ta sisaldas 2300 transistori ja tema taktsagedus oli 740 KHz. Kuna protsessori töösükkel koosnes kaheksast taktist, siis tema tegelik töösagedus oli  $740/8=92,5$  KHz.

Edaspidi vaatlemegi põhiliselt *Intel*'i mikroprotsessoreid, mille arengust annab ülevaate järgnev tabel:

NIMETUS	VALMISTAMISE AASTA	TRANSISTORIDE ARV	TRANSISTORI SUURUS (MIKRONITES)	TAKTSAGEDUS	JÄRGULISUS/ANDMESIINI LAIUS	MIPS
8080	1974	6,000	6	2 MHz	8 bitti	0.64
8088	1979	29,000	3	5 MHz	16 bitti/ 8 bitti	0.33
80286	1982	134,000	1.5	6 MHz	16 bitti	1
80386	1985	275,000	1.5	16 MHz	32 bitti	5
80486	1989	1,200,000	1	25 MHz	32 bitti	20
Pentium	1993	3,100,000	0.8	60 MHz	32 bitti/ 64 bitti	100
Pentium II	1997	7,500,000	0.28	233 MHz	32 bitti/ 64 bitti	~300
Pentium III	1999	9,500,000	0.25	450 MHz	32 bitti/ 64 bitti	~510
Pentium 4	2000	42,000,000	0.18	1.5 GHz	32 bitti/ 64 bitti	~1,700

Compiled from [The Intel Microprocessor Quick Reference Guide](#) and [TSCP Benchmark Scores](#)

### 3.2.1. CISC ja RISC mikroprotsessorid

Erinevused CISC (nn täisprotsessor) ja RISC (nn kärbikprotsessor) vahel on järgmised:

1) CISC protsessori käskude arv (100 – 350) on oluliselt suurem kui RISC protsessoril,

2) CISC protsessori käskude pikkus võib olla erinev, RISC protsessori käsud on kõik ühepikkused (lühikesed),

3) CISC protsessor kasutab erinevaid adresseerimismeetodeid, RISC protsessor kasutab ainult otsest adresseerimist,

4) RISC protsessor kasutab ainult neid käske, mida saab täita ühe masinatakti või selle osa jooksul, CISC protsessori käskude ajaline pikkus pole piiratud.

RISC protsessori piirangud võimaldavad oluliselt tõsta töökiirust, vähendades sealjuures transistoride arvu ja seega ka võimsustarvet ning protsessori maksumust.

RISC protsessorite puuduseks on asjaolu, et nende jaoks on vaja luua programmid, mis kasutavad nende väheseid käske.

Ajalooliselt olid esialgu kasutusel CISC protsessorid, RISC protsessorid võeti kasutusele 1980-ndate aastate algul (firma *Motorola* PowerPC, firma *Deck* Alpha). RISC protsessorite kasutuselevõtu tingis probleem, mis seisnes selles, et operatsioonisüsteem MS-DOS ei suutnud kasutada 1MB suuremat operatiivmälu. Probleemi lahendamiseks mõeldi välja operatiivmälu draiver *Himem.sys*, kuid see oli poolik lahendus, sest juurdepääs nn kõrgmälule muutus väga aeglaseks.

Probleemi lahendus oli RISC protsessorite kasutuselevõtt, kuid selline lahendus ei meeldinud paljudele, sest RISC protsessorite peal ei töötanud vanad MS-DOS-i programmid.

Kaasajal on RISC ja CISC tehnoloogiad segunenud, näiteks tuline CISC protsessorite pooldaja *Intel* hakkas juba 80486-s kasutama RISC elemente ja kasutas neid veelgi rohkem **Pentium**'is.

### 3.2.2. Ajalooline ülevaade

Alustame *Inteli* mikroprotsessorite **kolmandast põlvkonnast** – 80386DX ja 80386SX. Need olid esimesed 32-bitised mikroprotsessorid personaalarvutitel. SX on DX-i odavam variant, mille andmesiini laius on 32 biti asemel 16 bitti.

**Neljas põlvkond** 80486DX ja 80486SX olid samuti 32-bitised, kuid oluliste täiendustega, mis suurendas nende töökiirust võrreldes kolmanda põlvkonnaga sama taktsageduse korral umbes 2 korda.

Odavam variant SX erines kallimast ainult selle poolest, et ta ei sisaldanud ujukomaplokki (FPU – *Floating Point Unit*). Ujukomaplokk oli vajalik selliste ülesannete lahendamiseks, mis sooritasid tehteid ujukomaarvudega (näiteks tabeltöötlus, joonestamisprogramm AUTOCAD, mitmesugused graafika- ja statistikaprogrammid). Tavaliste ülesannete (näiteks tekstitöötlus) lahendamiseks polnud ujukomaplokk vajalik.

Neljanda põlvkonna protsessoritel oli kõigil sisemine vahemälu *Level 1 Cache* suurusega vähemalt 8 kilobaiti, mis võimaldas vähendada 4 protsendini põhimälust lugemise/kirjutamise ooteaega, sest olulise osa andmetest sai protsessor otse vahemälust.

Töökiiruse suurendamises mängis olulist rolli ka konveiermeetodi (*pipelining*) esmakordne kasutuselevõtt.

*Inteli* protsessorite arengust annab ülevaate järgmine tabel:

Tüüp/ põlvkond	Valm. Aasta	Andmete/ aadressi- siini laius	L 1 vahe- mälu (KB)	Mälusiini sagedus (MHz)	Sisemine takt- sagedus (MHz)
8088/ Esimene	1979	8/20 bitti	Puudub	4,77-8	4,77-8
8086/ Esimene	1978	16/20 bitti	Puudub	4,77-8	4,77-8
80286/ Teine	1982	16/24 bitti	Puudub	6-20	6-20
80386DX/ Kolmas	1985	32/32 bitti	Puudub	16-33	16-33
80386SX/ Kolmas	1988	16/32 bitti	8	16-33	16-33
80486DX/ Neljas	1989	32/32 bitti	8	25-50	25-50
80486SX/ Neljas	1989	32/32 bitti	8	25-50	25-50
80486DX2/ Neljas	1992	32/32 bitti	8	25-40	50-80
80486DX4/ Neljas	1994	32/32 bitti	8+8	25-40	75-120
Pentium/ Viies	1993	64/32 bitti	8+8	60-66	60-200

MMX/ Viies	1997	64/32 bitti	16+16	66	166-233
Pentium Pro/ Kuues	1995	64/36 bitti	8+8	66	150-200
Pentium II/ Kuues	1997	64/36 bitti	16+16	66	233-300
Pentium II/ Kuues	1998	64/36 bitti	16+16	66/100	300-450
Pentium III/ Kuues	1999	64/36 bitti	16+16	100	450-1,2 GHz
AMD Athlon/ Seitsmes	1999	64/36 bitti	64+64	266	500-1,67 GHz
Pentium 4/ Seitsmes	2000	64/36 bitti	12+8	400	1,4 GHz-3,06 GHz

Uuemad mudelid DX2 ja DX4 erinesid selle poolest, et nende sisemine taktsagedus oli kahekordne (DX2) või kolmekordne (DX4) võrreldes välise siini (operatiivmälusiini) sagedusega. Lisaks sageduse kolmekordistamisele sisaldas DX4 kahekordse mahuga (8+8KB) *Level 1 Cache* vahemälu.

*Pentium* on esimene **viienda põlvkonna** mikroprotsessor. Töökiiruse oluline kasv (umbes 5 korda võrreldes 80486DX-ga) on saavutatud suurte muudatustega protsessori arhitektuuris. Olulisemad neist on andmesiini laiendamine 64 bitini, paralleeltöö kasutamine (üheaegselt töötavad 2 käskude ettevalmistamise ja täitmise konveierliini), uute multimeediakäskude lisamine ja sisemise vahemälu suurendamine 8+8 kilobaidini.

*Pentium Pro* on esimene **kuuenda põlvkonna** protsessor, mis on ette nähtud kasutamiseks põhivoolu arvutitel (*mainstream*). Siin on esmakordselt kasutusele võetud sisemine RISC-protsessori käsusüsteem. Protsessor töötab ka “vanade”, see tähendab 16-bitiste CISC-protsessori käskudega, kuid tunduvalt aeglasmalt, sest need käsud transleeritakse protsessori sees kõigepealt 32-bitisteks RISC käskudeks, mis põhjustab ajalise viite. Teiseks oluliseks erinevuseks võrreldes *Pentiumiga* on vahemälu *Level 2 cache* paigutamine mikroprotsessori sisse, mis võimaldas vahemälu tööle panna protsessori sisemise taktsagedusega.

*Pentium Pro* järglaseks on samuti kuuenda põlvkonna protsessor *Pentium II*, mida õnnestus toota oma eelkäijast tunduvalt odavamalt tänu *Level 2 cache* väljatoomisega mikroprotsessori kiibist. Protsessor ja L2 vahemälu on siin paigutatud erilisele trükiplaadile, mis meenutab mälumoodulit. Seda plaati nimetatakse SEC (*Single Edge Cartridge*) ja ta ühendatakse emaplaadile erilise SLOT1 pistikupesa abil.

*Pentium II* erineb oma eelkäijast ka selle poolest, et ta sisaldab suuremat L1 vahemälu (32KB) ning eripuhvreid, mis võimaldavad kiiremini töödelda “vanu” 16-bitiseid käske.

*Pentium III* erineb oma eelkäijast *Pentium II-st* põhiliselt selle poolest, et ta sisaldab 70 uut multimeediakäsku. Multimeediakäskude lisamisega võttis *Intel* oma rivaalilt AMD-lt võimaluse selles asjas endast ette jõuda.

Esimese **seitsmenda põlvkonna** mikroprotsessori *Athlon* ehitas firma AMD 1999.a. *Intel* vastas AMD väljakutsele aastal 2000 *Pentium IV* loomisega, mis sisaldas suurimaid arhitektuurilisi muudatusi pärast *Pentium Pro-d* (1995). Üheks olulisemaks muudatuseks oli konveiersüsteemi edasine täiustamine, mis võimaldas oluliselt tõsta töökiirust. Uut konveiersüsteemi hakati nimetama *Hyper Pipeline* ja see sisaldas 20 astet kuuenda põlvkonna 10 astme asemel.

### 3.2.3. Mikroprotsessori arhitektuur

Termini **protsessori arhitektuur** all mõeldakse protsessori sisemist ehitust, struktuuriüksuste ehk sõlmede omavahelisi seoseid ja tööpõhimõtet.

#### 3.2.3.1. Sünkroniseerimine

Protsessoris toimuvad operatsioonid teatud kindlatel ajamomentidel, mida nimetatakse **taktideks**. Taktide kordumise sagedust nimetatakse **taktsageduseks**. Esimese mikroprotsessori taktsagedus oli 100 KHz, esimesel Pentiumil 60 MHz, Pentium 4-l 1,4 GHz ja suurem. Taktsagedus 60 MHz tähendab, et prot-

sessori kell tiksud 60 miljonit korda sekundis. Iga takti ajal võib toimuda mingi tegevus protsessoris.

### 3.2.3.2. Protsessori registrid

**Käsuloendur PC** (*Program Counter*) on protsessori register, mis sisaldab järgmisena täidetava käsu aadressi operatiivmälus. Ettenähtud takti ajal loetakse sellelt aadressilt operatiivmälust järgmine käsk **käsuregistrisse IR** (*Instruction Register*). Samal ajal suurendatakse käsuloenduris olevat aadressi mälust loetud käsu pikkuse võrra, nii et järgmise ettenähtud takti ajal saab mälust lugeda järgmise käsu.

Käskkoodi lugemisele järgneva takti jooksul analüüsib (dešifreerib) **juhtseade** (*Control Unit*) käsuregistris asuvat koodi ja olenevalt koodist kas täidab käsu ise või saadab selle täitmiseks operatsiooniseadmele. Näiteks tingimusteta suunamise käsu korral kirjutab juhtseade käsus oleva aadressi käsuloendurisse, mille tulemusena loetakse järgmisena mälust sellel aadressil asuv käsk.

Suuremat osa käskudest täidab **aritmeetika-loogikaseade ALU** – (*Arithmetic and Logic Unit*), mis kasutab oma töös **üldregistreid** (*General Purpose Register*). Üldregistrite sisu saab kirjutada mällu ja mälupesade sisu üldregistritesse. Tüüpiline **ALU** käsk võimaldab liita üldregistri sisule mälupesade sisu.

Protsessor sisaldab ka **olekuregistrit SR** (*Status Register*). **ALU** muudab olekuregistri üksikuid bittide viimase operatsiooni tulemuse põhjal. Olekuregistri iga bitt näitab mingit kindlat tulemust, näiteks nulli tulemusena, ületäitumist, ülekannet vanemas järku jne. Neid bittide kasutab juhtseade järgnevate tingimuslike käskude täitmisel. Näiteks käsu “suunamine aadressile 7410 ületäitumisel” täitmisel kontrollib juhtseade olekuregistri ületäitumise bitti. Kui see on “1”, siis suunamine toimub, vastasel korral käsuloenduri sisu ei muudeta ja järgmine käsk loetakse järgmisest mälupesast.

### 3.2.3.3. Pentiumi arhitektuur

*Pentium* koosneb järgmistest sõlmedest:

1) **Tuum** ehk **operatsiooniseade** (*execution unit*), mis koosneb kahest paralleelsest konveierliinist (*pipelines*) ja registreeritud plokist. Kaks konveierliini võimaldavad üheaegselt mälust lugeda kaks käsku, need dešifreerida, sooritada operatsioonid ja salvestada tulemused mällu.

2) **Haru ennustaja** (*branch predictor*) püüab ära arvata, millises järjekorras tuleb sooritada operatsioonid pärast tingimusliku suunamist.

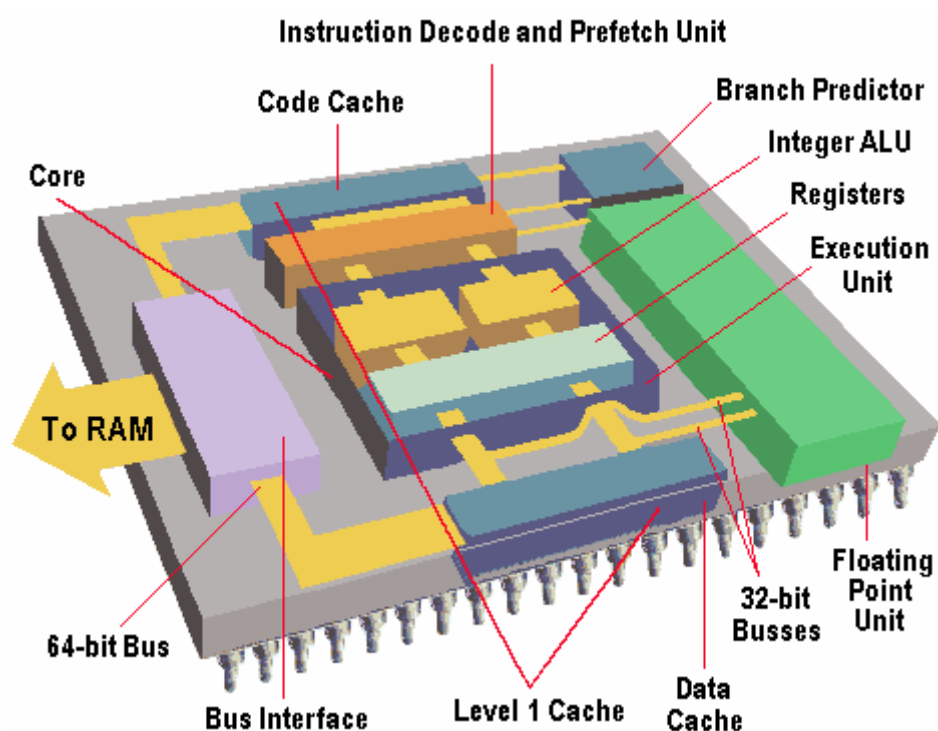
3) **Eelvaliku ja dešifreerimise seade** (*prefetch and decode unit*) saab informatsiooni haru ennustajalt ning valmistab käsud ette täitmiseks.

4) **Ujukomaplokk FPU** (*Floating Point Unit*) on operatsiooniseade, mis sooritab operatsioone ujukomaarvudega.

5) **Esimese taseme puhver** (*Level 1 Cache*) – Pentium sisaldab 2 kiibisisest 8KB puhvrit, millest üht kasutatakse programmi ja teist andmete puhverdamiseks ja mis on oluliselt kiiremad kui suuremamahuline emaplaadil asuv teise taseme puhver (*Level 2 Cache*).

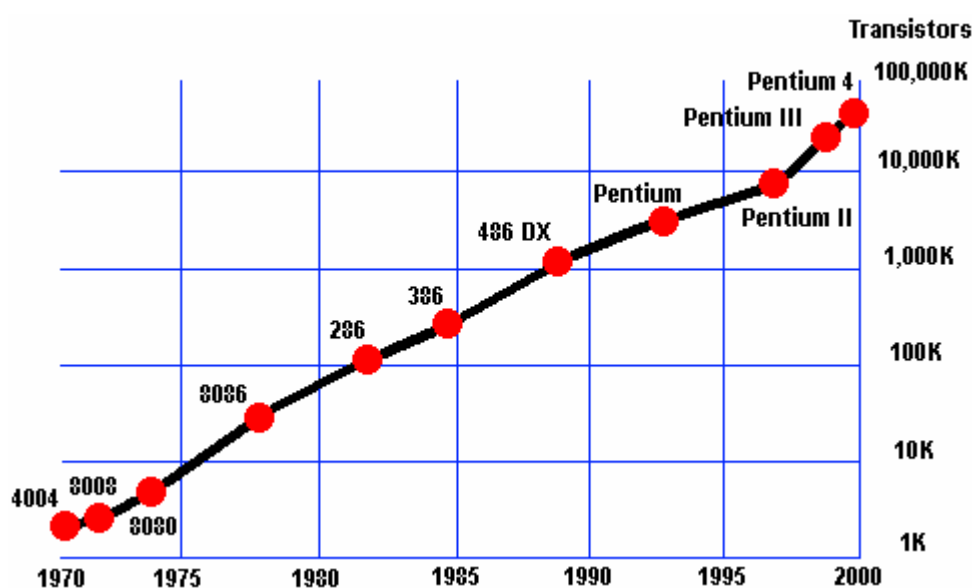
6) **Siini liides** (*Bus Interface*) – toob operatiivmälust protsessorisse nii programmi kui ka andmed, eraldab nad teineteisest ja saadab vastavatesse puhvritesse, võtab andmepuhvrist tulemused ja saadab operatiivmällu.

Mikroprotsessori *Pentium* struktuurskeem:



### 3.2.3.4. Arhitektuuri areng

Moore'i seadus ütleb, et integraalskeemis sisalduvate transistoride arv kahekordistub iga 18 kuu järel. (Gordon Moore oli üks *Intel*'i rajajaid, seadus on sõnastatud aastal 1965). Moore ennustus oli tehtud järgneva 10 aasta peale. Kui vaadata järgnevat Intel'i mikroprotsessorite arengu graafikut, siis näeme, et see seadus kehtib ka palju pikema aja kohta: 1982 aastal 132 000 transistori 80286-s ja 2000 aastal 42 000 000 transistori Pentium 4-s, seega kasv 420 korda 216 kuuga ehk keskmiselt 1,94 korda iga 18 kuuga.



Inseneride ülesandeks on tõsta arvutite töökiirust. Üheks võimaluseks on **taktsageduse** suurendamine. Teine võimalus on suurendada ühe takti jooksul sooritatavate operatsioonide arvu, selleks tuleb laiendada protsessori andmesiini ja registreid. Isegi esimene 4-bitise siiniga protsessor suutis liita omavahel kaks 32-bitist kahendarvu, kuid selleks pidi ta täitma palju käske. Kaasaegne 32-bitine mikroprotsessor teeb selle töö ära ühe käsuga.

Esimesed personaalarvutid oskasid sooritada tehteid ainult täisarvudega. Oli küll võimalik kirjutada programm, mis sooritas operatsioone murdarvudega, kuid see töötas väga aeglaselt. Kaasaegsed protsessorid oskavad kõik sooritada tehteid otse ujukomaarvudega ja seda väga kiiresti.



Esimestel protsessoritel kulus ühe käsu täitmiseks mitu masinatakti. Taktide arv sõltus ka käsust, kuid tavaliselt arvestati viie taktiga:

- 1) käsu laadimine mälust
- 2) käsu dešifreerimine
- 3) andmete lugemine mälust
- 4) käsu täitmine
- 5) tulemuse kirjutamine mällu

Antud juhul on selge, et 100MHz taktsagedusega protsessor suudab sooritada ainult 20 miljonit operatsiooni sekundis.

Enamus protsessoreid kasutab nüüd **konveiermeetodit** (*pipelining*), mis meenutab tootmisliini tööstuses. Tootmisliin koosneb töökohtadest ja toodang liigub ühelt töökohalt teisele konveierliini mööda. Ka uuemates protsessorites koosneb liin teatud kindlat operatsiooni sooritavatest sõlmedest. Täidetavad käsud liiguvad ühest sõlmest teise, igas sõlmes sooritatakse mingi operatsioon ja pärast operatsiooni sooritamist liigub käsk edasi järgmisse sõlme, eelmisse sõlme aga tuleb uus käsk. Selline meetod võimaldab üheaegselt sooritada mitut käsku. Näiteks sel ajal, kui esimeses sõlmes loetakse mälust käsku, dešifreeritakse teises sõlmes sellele eelnevat, kolmandas loetakse mälust teisele eelnevat, neljandas aga täidetakse kolmandale eelnevat ning viiendas saadetakse mällu neljandale käsule eelneva käsu tulemus. Konveiermeetod kiirendab tööd nii mitu korda, kui mitu sõlme (astet) on konveieril. Näiteks mikroprotsessor *Pentium Pro*, mille konveieril on viis astet, sooritab ühe takti jooksul viis käsku.

Veelgi enam, paljudel protsessoritel on nüüd **superskalaarne** arhitektuur. See tähendab, et kõik konveieri sõlmed on dubleeritud ja töötavad üheaegselt erinevate käskudega. Paralleelsed konveierid suurendavad veelgi enam töökiirust.

### 3.2.4. Tootmisprotsess

Erinevalt varasematest protsessoritest, mis olid ehitatud kas raadiolampidest, transistoridest või väikese integratsiooniastmega integraalskeemidest, on mikroprotsessor ehitatud ühele räni-kiibile.

Räni on põhiline materjal, millest kiibid on valmistatud. Räni on pooljuht, mida on võimalik lisandite abil muuta transistoriks, digitaalstruktuuri põhielemendiks. Tootmisprotsessi käigus söövitatakse transistorid, takistid ja ühendusjuhtmed ränikristalli pinnale.

Kõigepealt kasvatatakse ränikristall, mis peab olema puhta kristallilise struktuuriga, ilma defektideta. Viimase asjaolu tõttu on kristalli mõõtmed piiratud. Algul osati kasvatada kuni 5 cm diameetriga defektideta ränikristalle, kaasajal saadakse juba 20 cm läbimõõduga puhtaid kristalle. Järgnevalt lõigatakse kristall tükkideks, mida nimetatakse vahvliteks. Neid poleeritakse kuni saadakse defektivaba peegelpind. Nende vahvlite peale ehitatakse kiibid. Tavaliselt saadakse ühest vahvlist mitukümmend mikroprotsessorit.

Valmis mikroskeem koosneb erinevatest materjalidest valmistatud kihtidest. Näiteks ränidioksiid on isolaator, kuid voolu juhtivast materjalist, mida inglise keeles nimetatakse *polysilicon*, valmistatakse ühendusjuhtmed. Ränikristall kaetakse kaitsekihiga, mille sisse jäetakse augud. Kui nüüd pommitada kristalli ionidega, siis tekivad aukude kohale transistorid – neid nimetatakse siin **dopinguks**.

Vajalike elementide loomiseks kaetakse kogu vahvli pind valgustundliku kihiga, millele projekteeritakse elementide kujutised. Ilmutamise abil eemaldatakse valgustsaanud kiht ning allesjäänud kihist moodustub mask, mis kaitseb pinda järgneva söövitamise vastu. Pärast söövitamist jääb kristalli pinnale vajaliku struktuuriga kiht ning allesjäänud kaitsekiht eemaldatakse vasta-va lahuse abil.

Seda protseduuri korratakse mitu korda ning tulemusena saadakse kristalli pinnale kõik vajalikud kihid. On selge, et mikro- nites mõõdetavate elementide korral võib väikseimgi tolmu- kübe tekitada hävingu. Tolmukübemete läbimõõt on 1 – 100 mikronit, transistori läbimõõt kaasajal aga umbes 0,2 mikronit, seega võib tolmu- kübe olla transistorist umbes 500 korda suurem. Tolmu- vältimiseks toodetakse mikroprotsessoreid eriti puhastes ruumi- des, kus operaatorid kannavad kosmoseskafandreid meenutavaid kostüüme.

Alguses oli integraalskeemide tootmine õnneasi, sest õnnestus luua vaid vähem kui 50% töötavaid skeeme. Kaasajal on kasutegur tõusnud, kuid 100% pole ikkagi võimalik saavutada. Pärast kihtide loomist kontrollitakse kõik mikroprotsessorid ükshaaval üle ja ebaõnnestunud märgitakse ära. Nüüd eraldatakse toorikud, mida nüüd nimetatakse **vormideks** (inglise keeles *dies*). Viga-  
sed vormid hävitatakse ja kvaliteetsed pakitakse keraamilistesse ristkülikutesse, mille küljes on ühendusviigud (*pins*). Sellist pakendit nimetatakse *Pin Grid Array*.

Esimeses mikroprotsessoris 4004 oli ühe transistori läbimõõt 10 mikronit (0,01mm). Tänapäeva seisukohalt on see väga suur. Näiteks kui valmistada sellise vananenud tehnoloogia abil *Pentium Pro*, siis tema mõõtmed oleksid 5,5\*7,5 tolli (13,5\*18,4 cm) ning selline mikroprotsessor töötaks aeglaselt, sest kiired transistorid peavad olema mõõtmelalt väikesed. 1998 aastal toodeti mikroprotsessoreid 0,25 mikronilise tehnoloogiaga, 2002 aastal mikroprotsessoreid juba 0,13 mikronilise tehnoloogiaga.

### 3.2.5. Ühilduvus tarkvaraga

Arvutiajastu algaastatel oli kombeks ise programme kirjutada ja seepärast polnud probleemiks täpne protsessori käsustik. Tänapäeval on olukord vastupidine: kasutatakse valmis tarkvara ja seepärast on käsustik eriti oluline. Kuigi *Inteli* protsessorite **80x86** käsustik pole parim, on ta siiski muutunud tööstuslikuks standardiks.

Juhul kui mõni teine firma valmistab protsessori, mille käsustik ei vasta **80x86**-le, siis ta ei suuda oma kaupa müüa. Protsessorite 386 ja 486 ajastul (83-93) sellised kompaniid nagu *AMD* ja *Cyril* kloonisid *Inteli* protsessoreid, mistõttu nad olid kogu aeg *Intel*ist ühe põlvkonna võrra tagapool. *Cyril* **6x86** ja *AMD* **K5** võistlesid juba *Inteli* **Pentiumiga**, kuid nad ei olnud täpsed koopiad. **K5**-l oli oma käsustik, mis tõlkis **80x86** käsud oma käskudeks, mistõttu *AMD* ei pidanud ootama **Pentiumi** järele oma protsessori moderniseerimisel. Mõlemad firmad töötasid paralleelselt, kuid *AMD* pidi täiendavalt käske tõlkima ning jäi seepärast *Intelile* võistluses alla. Nimelt kui üheaegselt valmisid

ühesuguse taktsagedusega **Pentium** ja **K5**, siis **Pentium** töötas ikkagi kiiremini.

Teine viis erinevate arhitektuuridega protsessorite ühendamiseks on standartsete siinide kasutamine välisseadmete ühendamisel. **PCI** siin, mis ilmus 1994 aastal, on selles mõttes kaasajal kõige olulisem. **PCI** defineerib signaalide komplekti, mille kaudu protsessor suhtleb teiste arvutiseadmetega. Siia kuuluvad aadressi-, andmete- ja juhtsiinid (alamsiinid). Igal protsessoril on oma “sisemine” siin, mille signaalid muudetakse kiibikomplekti (*chipset*) abil “ametliku” **PCI** siini signaalideks.

### 3.2.6. Mikroprotsessor Pentium

Sõna *pentium* ei tähenda midagi, kuid ta sisaldab silpi *pent*, mis tähendab kreeka keeles *viis*. Intelil oli plaanis nimetada protsessor 80586-ks, kuid firma loobus sellest, sest ka konkurendid *AMD* ja *Cyrix* kasutasid sama nime, ning seepärast patenteeris *Intel* kaubamärgi nime **Pentium**.

**Pentiumi** esimene versioon tuli turule 1993 aastal 0,80 mikromeetrilise tehnoloogiaga, taktsagedusega 60/66 MHz ja toitepingega 5V. Selle protsessoriga oli *Intelil* probleeme, sest ta ei töötanud normaalsel toitepingel (seda oli vaja tõsta) ning ujukomaseade **FPU** arvutas teatud juhtudel vigadega. Järgnevatel aastatel (1994 – 1996) tulid välja **Pentiumi** uued versioonid, millel mainitud vead olid kõrvaldatud. Tehnoloogia täiustamine (0,50 ja 0,35 mikronilised variandid) võimaldas vähendada toitepinget 3,3 voldini. Kasutusel olid erinevad versioonid taktsagedustega 75 MHz (1994) kuni 200 MHz (1996).

**Pentiumi** sisemine siin oli 32-bitine, kuid välist andmesiini oli laiendatud 64 bitini. Viimane nõudis uue emaplaadi kiibistikku (*chipset*) valmistamist protsessori ühendamiseks välise 64-bitise L2 vahemälu ja **PCI** siiniga.

**Pentiumi** struktuurist oli juttu juba eespool. Erinevalt oma eelkäijast 80486-st oli **Pentiumil** 2 paralleelset konveierliini täisarvudega opereerimiseks ja täiustatud ujukomaseade **FPU** tehete sooritamiseks ujukomaarvudega.

**Pentiumil** kasutati 2 korda suuremat *L1 cache* mälu (8 KB andmete ja 8 KB programmi jaoks).

Uuendusena elektrienergia säästmiseks kasutusele võetud süsteemi juhtimise režiim *SMM (System Management Mode)* võimaldab programmiselt sisse ja välja lülitada erinevaid arvutiseadmeid.

### 3.2.7. Mikroprotsessor Pentium Pro

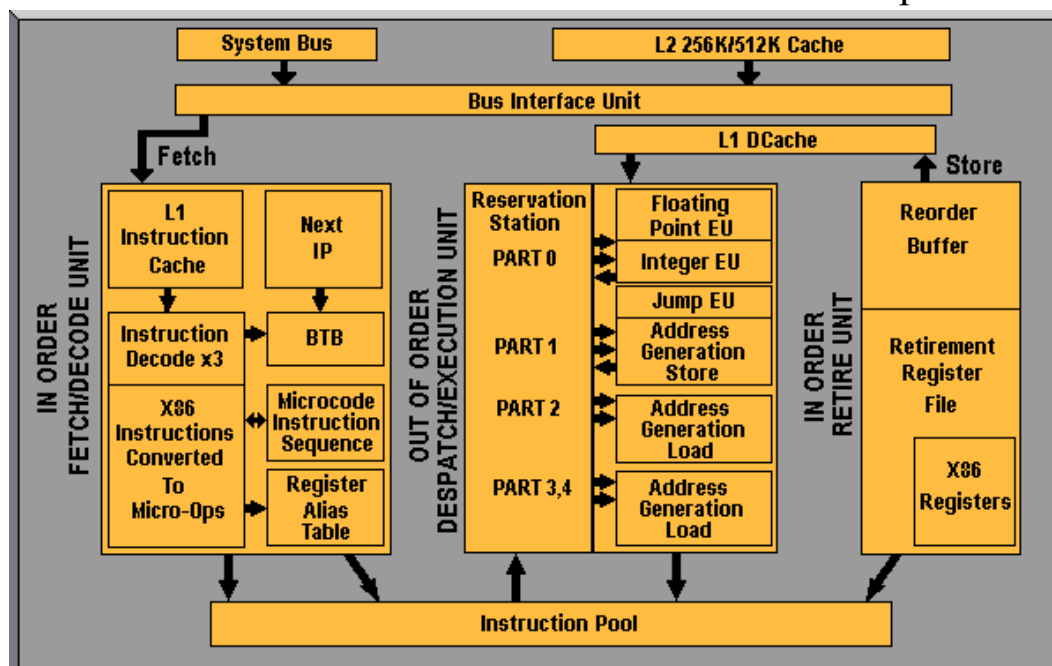
See mikroprotsessor võeti kasutusele 1995 a lõpus. Protsessori tuum sisaldas 5,5 miljonit transistori, millele lisandus veel 15,5 miljonit transistori protsessoriga koos ühele kiibile paigutatud *L2 cache* mälus. Erinevalt **Pentiumist** ühendati **Pentium Pro** emaplaadiga uue suurema 387 kontaktiga *Socket 8* interfeisi abil, mis omakorda nõudis ka emaplaadi kiibistiku uuendamist.

**Pentium Pro** oli ette nähtud kasutamiseks serverites ja võimsates tööjaamades. Tänu kiirele *L2* puhvrile ja sisemisele **RISC**-tehnoloogiale oli tema jõudlus palju suurem **Pentiumist**.

Mahuga 256 KB mälu puhvri *L2* paigutamine protsessori sisse võimaldas:

- panna puhvri tööle protsessori sisemise taktsagedusega,
- kasutada 64-bitist andmesiini 32-bitise asemel,
- tõsta kiirust tänu ühendusjuhtmete puudumisele (kiibisisese ühendused on palju kiiremad).

Kokkuvõttes võib öelda, et 256 KB kiibisisene vahemälu vastab töökiiruselt rohkem kui 2 MB vahemälule emaplaadil.



Kui **Pentiumi** konveiersüsteem täisarvudele koosnes kahest liinist kokku kümne astmega, siis **Pentium Pro** süsteem koosneb kolmest sektsioonist kokku 14 astmega.

Esimene sektsioon (*in order fetch/decode unit*), mis sisaldab 8 astet, tegeleb käskude ettevalmistamise ja dešifreerimisega. Sektsioon sisaldab *L1 cache*-i käskudele, käskude dešifreerimist ning “vanade” **80x86** käskude teisendamist **RISC**-protsessori mikrooperatsioonideks ja teisi astmeid.

Teine sektsioon (*out of order despatch/execution unit*) sisaldab 3 astet ja tegeleb käskude otsese täitmisega.

Kolmas sektsioon (*in order retire unit*) koosneb kolmest astmest ja tegeleb tulemuste salvestamisega mälli.

Uuendatud konveiersüsteem kandis nimetust “dünaamiline käskude täitmine” (*dynamic execution*), mis tähendas haru ennustamist, andmevoo analüüsi ja käskude ennetavat täitmist.

**Pentium Pro** oli esimene protsessor, mis töötas paremini 32-bitiste käskudega tänu sisemisele **RISC** tehnoloogiale, kuid tema töökiirus 16-bitiste käskudega jäi **Pentiumile** alla, sest **80x86** käskude teisendamine RISC mikrooperatsioonideks võttis aega, samuti tekkisid ajalised kaod mikrooperatsioonide täitmisel.

### 3.2.8. Mikroprotsessor Pentium MMX

Inteli **MMX** (*MultiMedia eXtensions*) protsessor lasti turule 1997 aasta algul. See protsessor oli ette nähtud multimeedia-programmidele ja sisaldas 3 põhilist uuendust:

- võrreldes tavalise **Pentiumiga** oli kahekordistatud *L1 cache* (16 KB asemel 32 KB),
- lisatud oli 57 uut käsku, mis võimaldasid efektiivsemalt töötada video-, audio- ja graafikaprogrammidega,
- võeti kasutusele uus **SIMD** (*Single Instruction Multiple Data*) protsess, mis võimaldas ühe käsuga sooritada ühesugust protseduuri üheaegselt erinevate andmetega.

Suurem vahemälu annab protsessorile korraga rohkem informatsiooni kätte. Uued käsud koos **SIMD** protsessiga ning protsessori uute laiendatud 64-bitiste registritega võimaldavad

kasutada paralleeltööd, mis seisneb selles, et ühe takti jooksul töödeldakse ühe baidi asemel üheaegselt kaheksat baiti infot. Uuendused annavad eelise sellistele multimeedia ja graafika rakendustele nagu audio ja video salvestamine/mahamängimine, kujutise mastaabi muutmine ja interpolatsioon. Selle asemel et liigutada eraldi käskudega kaheksat pikselit, tehakse seda ühe käsuga, mis töötab 64-bitise pakitud väärtusega. Intel väidab, et kui siin kasutada tavalist tarkvara, siis suureneb kiirus 10-20%, kuid spetsiaalse **MMX** tarkvara kasutamisel suureneb kiirus 60%.

Aastatel 1997-1998 on välja lastud erineva taktsagedusega (166 MHz kuni 266 MHz) **MMX** protsessoreid.

### 3.2.9. Mikroprotsessor Pentium II

Pentium II ilmus turule 1997 aasta keskel ja teda iseloomustasid järgmised uuendused:

- Mikroprotsessor ise ja süsteemi **L2 vahemälu** on ühendatud erilise siini abil, mis töötab üheaegselt protsessori ja süsteemi vahelise siiniga,
- Mikroprotsessor, **L2 vahemälu** ja jahutussüsteem on paigutatud väikesele kaardile emaplaadil, mis meenutab rohkem mäluplaati kui traditsioonilist mikroprotsessorit ja mida kutsutakse **SEC** (*Single Edge Contact*) kaardiks,
- **Pentium II** kujutab endast uut kvaliteeti, mis on saavutatud **Pentium Pro** ja **MMX** uuenduste ühendamise ja ühes mikroprotsessoris.

Erinevalt protsessorist **Pentium Pro**, mis töötab pingel 3,3 V, kasutab **Pentium II** toitepinget 2,8 V. Madalam toitepinge võimaldab kõrgetel sagedustel vähendada võimsust. Kui taktsagedusega 200 MHz **Pentium Pro** koos 512 KB vahemäluga tarbib võimsust 37,9 W, siis 266 MHz taktsagedusega **Pentium II** koos 512 KB vahemäluga võimsustarve on 37,0 W.

Samuti nagu **Pentium Pro** kasutab ka **Pentium II** dünaamilist käskude täitmist. Pärast käskude lugemist mälust ja dešifreerimist liiguvad nad täitmise sektsiooni. **Dünaamiline käskude täitmine** kasutab optimeerimiseks kolme põhilist viisi:

- a) **mitmeharuline ennustamine** (*Multiple Branch Prediction*) uurib programmi liikumist erinevates harudes ja ennustab ette mäluaadressi, millelt tuleks lugeda mälust järgmist käsku,
- b) protsessor loeb mälust korraga välja mitu järgnevat käsku, mis saadetakse konveierile järjestikuseks täitmiseks. **Andmevoo analüsaator** (*Data Flow Analysis*) optimeerib käskude täitmise järjekorda, uurides neid ja määrates ära, kas need käsud on valmis täitmiseks või sõltuvad nad eelmistest käskudest,
- c) **ennetav täitmine** (*Speculative Execution*) on täiendav kiiruse suurendamise meetod, mille puhul täidetakse andmevoo analüsaatori poolt määratud jooksvale käsule järgnevad käsud, kusjuures käskude täitmise tulemused salvestatakse ennetavate tulemustena. Pärast seda kui selgub, millist haru mööda prog-



ramm tegelikult liikuma peab, muudetakse vastava haru enneta-  
vad tulemused tegelikeks ja lisatakse programmi täitmise nor-  
maalsesse voogu.

**Pentium II** on varustatud siiniga, mis võimaldab teda kasuta-  
da suure võimsusega mitmeprotsessorilistes arvutites.

**Intel** lahendas **Pentium II** juures **Pentium Pro** puhul ilmne-  
nud 16-bitiste käskude probleemi, lisades protsessorile segmenti  
kirjeldava vahemälu, mille tulemusena uus protsessor töötab kii-  
remini suurt hulka 16-bitiseid käske sisaldava Windows 95-ga.

Ujukomatehete sooritamise suur kiirus ja uue graafikakaardi  
pordi **AGP** (*Accelerated Graphics Port*) kasutuselevõtt muuda-  
vad **Pentium II** väga edukaks kolmemõõtmeliste graafikaprog-  
rammide kasutamisel.

### 3.2.9.1. SEC

**Pentium II** poolt esmakordselt kasutatav **SEC** (*Single Edge Contact*) pakend koosneb plastmassist karbikesest, mis sisaldab  
trükiplaadile paigutatud ja pindmontaaži abil elektriliselt ühen-  
datud protsessorist ja *L2 cache* vahemälust. Plaadil on kokku 6  
kiipi: protsessor ise, 4 andmemälu **SRAM** ja üks aadressimälu  
**tag RAM**. **SEC** pakend ühendatakse emaplaadile pistikupesa  
**Slot 1** abil, millel on 242 kontakti. Kontaktide arvu vähenemine  
võrreldes **Pentium Pro 387-ga** (**Socket 8**) on tingitud sellest, et  
**SEC** sisaldab lisaks kiipidele ka üksikelemente (takisteid ja kon-  
densaatoreid), mis võimaldavad signaalide lahtisidestust.

### 3.2.9.2. DIB

**Pentium Pro-s** esmakordselt kasutatud **DIB** (*Dual Independent Bus*) kujutab endast kahe siini komplekti. Esimene nendest  
on **esisiin FSB** (*Front Side Bus*), mis kujutab endast protsessori  
ja operatiivmälu vahelist siini. **DIB** teiseks komponendiks on  
tagasiin **BSB** (*Back Side Bus*), mis asub protsessori ja *L2 cache*  
vahel. **DIB** võimaldab protsessoril üheaegset pöördumist opera-  
tiivmälu ja vahemälu poole, mis oluliselt kiirendab infovahetust.

Erinevalt **Pentium Pro**-st, kus *L2 cache* asub protsessoriga ühel kiibil ja vahemälu töötab protsessori taktsagedusel, töötab **Pentium II** vahemälu 2 korda madalamal sagedusel kui protsessor. Madalam tagasiini taktsagedus küll vähendab üldist töökiirust, kuid arvestades **Pentium II** enda kõrgemat taktsagedust jääb tegelik tagasiini töökiirus praktiliselt samaks.

**DIB** rakendamine võimaldas parandada tootlikkust kuni kolmekordseks võrreldes ainult ühe siini kasutamisega Pentiumis ning aitas kaasa üleminekule 100 MHz operatiivmälusiinile.

### 3.2.9.3. Deschutes

1997 a toodetud **Pentium II** kandis koodnimetust *Klamath*. Siin kasutati 0,28 mikronilist tehnoloogiat ja taktsagedus tõusis kuni 300 MHz-ni. Edasine taktsageduse tõus polnud mõeldav mälusiini sageduse 66 MHz juures.

1998 a algul lasti välja 0,25 mikronilise tehnoloogiaga **Pentium II** koodnimetusega *Deschutes*, mille taktsagedus oli esialgu 333 MHz, kusjuures teised parameetrid jäid samaks. Seoses 100 MHz siinisagedusega uue kiibistiku 440BX tootmise alustamisega osutus võimalikuks 350, 400 ja 450 MHz taktsagedusega **Pentium II** tootmine aastatel 1998 – 1999.

1998 a keskel alustati uue *Deschutes*'i versiooni tootmist. See protsessor oli ette nähtud võimsatele arvutitele, mille puhul hind ei olnud enam oluline. Uut versiooni hakati nimetama **Pentium II Xeon**.

### 3.2.9.4. Celeron

Odavamate arvutite varustamiseks protsessoritega alustas **Intel** 1998 a aprillis **Celeron** tüüpi protsessorite tootmist.

**Celeroni** esimesed versioonid *Covington* taktsagedustega 266 MHz ja 300 MHz olid üldjoontes samad mis Pentium II, kuid neil puudus täielikult *Level 2 Cache* ja seetõttu ei läinud nad kaubaks.

**Celeroni** järgmine versioon *Mendocino* ilmus müügile 1998 aasta augustis ja sisaldas juba 128 KB *Level 2 cache*'i. Viimane

asjaolu muutis protsessori konkureerivaks **AMD** ja **Cyrix**'i odavate protsessoritega.

Kui jätta arvestamata vahemälu puudumine, siis **Celeronil** olid kõik **Pentium II** omadused: samasugune arhitektuur, 0,25 mikroniline tehnoloogia, 66 MHz siini toetus koos **SDRAM** operatiivmälu, **AGP** graafikakaartide, **IDE (ATA-33)** kõvake-taste ja uue toite juhtimissüsteem **ACPI** (*Advanced Configuration and Power Interface*) kasutamise võimalustega.

**Celerone** on toodetud erinevates korpustes. Esimene **Celeron** lasti välja **SEPP** (*Single Edge Processor Package*) korpuses, millel erinevalt **SEC**-ist puudus plastmassist kaitsekiht, kuid mida sai endiselt ühendada **Slot 1** pessa.

Alates versioonist 300A kuni 466 MHz toodeti **Celerone** ka-hes erinevas korpuses: **SEPP** pakendis ühendamise **Slot 1** pessa ja **PPGA** (*Plastic Pin Grid Array*) korpuses ühendamise-ga uut tüüpi **Pin 370** pessa. Uue pesa eeliseks olid tema alla jääva pinna väiksus ja võimalus paremini ehitada jahutussüsteemi. 500 MHz protsessor oli saadaval ainult **PPGA** korpuses.

Järgnevas tabelis on toodud Celeronide erivariandid kuni nende tuuma muutumiseni Pentium III tuumaks 2000 aastal:

Aasta	Koodnimetus	Transistore	Tehnoloogia (µm)	Taktsagedus (MHz)
1998	Covington	7,500,000	0,25	266/300
1998	Mendocino	19,000,000	0,25	300A/333
1999	Mendocino	19,000,000	0,25	366 to 500
2000	Mendocino	19,000,000	0,25	533

### 3.2.9.5. Pentium II Xeon

Samaaegselt odavamate protsessorite tootmisega arendas **Intel** edasi ka kallimaid protsessoreid serveritele ja tööjaamadele.

1998 aasta juunis alustati taktsagedusega 400 MHz **Pentium II Xeon** tootmist, mis oli ette nähtud **Pentium Pro** asendamiseks rohkem kui 2 protsessoriga süsteemides.

**Pentium II Xeon** kujutas endast **Pentium Pro** ja **Pentium II** kombinatsiooni: **Level 2 cache** oli suurendatud 512 KB-ni ja tööle pandud protsessori sagedusega. Hiljem ilmusid ka 1 MB ja 2 MB vahemäluga variandid.

Uus protsessor oli tänu suurendatud vahemälule ka mõõtetelt **Pentium II**-st ligi 2 korda suurem, mis omakorda tingis uue **Slot 2** (330 kontakti, **Slot 1**-l oli 242 kontakti) interfeisi kasutuselevõtu. Erinevalt **Slot 1**-st võis **Slot 2** abil ühendada omavahel ühte süsteemi rohkem kui 2 protsessorit.

Töökindluse suurendamiseks kasutatakse kõigis **Xeon**-ides veakontrolliga ja ühekordse vea parandusega **ECC** (*Error Correction Code*) **SRAM** mälu.

### 3.2.10. Mikroprotsessor Pentium III

1999 a kevadel alustas **Intel Pentium II** järglase **Pentium III** (koodnimetusega *Katmai*) tootmist. Uue protsessori põhiliseks erinevuseks oli 70 uue multimeediakäsu (*Streaming SIMD Extensions*) lisamine. Kõik ülejäänud omadused (ühendamine **Slot 1** abil, vahemälu suurus jne) jäid esialgu samaks.

70-st uuest käsust 50 pidid kiirendama ujukomaoperatsioone. Nende käskude jaoks lisati protsessorile 8 uut 128-bitist registrit. Uuenduste tulemusena suudab protsessor sooritada igas taktil kuni 4 operatsiooni.

Täisarvudega töötavate 57 olemasoleva **MMX** käsu täiendamiseks lisati veel 12 uut käsku.

Viimased 8 lisakäsku parandavad **Level 1** puhverdamist.

Kohe pärast väljalaskmist alustati ka **Pentium III Xeon**-i (koodnimetusega *Tanner*) tootmist, mille taktsagedus oli esialgu 500 MHz.

#### 3.2.10.1. Coppermine

1999 a oktoobris alustas **Intel** uue 0,18-mikronilise tehnoloogiaga (koodnimetus *Coppermine*) **Pentium III** tootmist.

Siin on kasutusel struktuurid, mis on väiksemad kui 1/500 inimese juuksekarva läbimõõt, väiksemad kui bakter ja väikse-

mad kui inimese silma poolt nähtava valguse lainepikkus. Selle tehnoloogia eelisteks on väiksemad kristalli mõõtmed ja madalam toitepinge, mis omakorda võimaldavad kompaktsemaid ja energiasäästlikemaid lahendusi ning taktsagedust 1 GHz ja rohkem. Lauaarvuti protsessorite taktsagedus oli algul 100 MHz mälusiini korral 500 kuni 700 MHz ja 133 MHz mälusiini korral 733 MHz. 0,18 tehnoloogiaga Pentium III eristamiseks 0,25 tehnoloogiaga protsessorist sama taktsageduse juures lisati esimese tüübitähisele täht E (siinisagedus 100 MHz) või täht B (siinisagedus 133 MHz).

Kuigi uue protsessori **Level 2** mälu vähendati 2 korda 256 KB-ni, ei toonud see kaasa töökiiruse vähenemist, sest samal ajal paigutati vahemälu protsessoriga ühele kiibile ning suurendati tema taktsagedust 2 korda kuni protsessori sageduseni. **Intel** nimetab uut vahemälu "Täiustatud ülekandega vahemälu" (*Advanced Transfer Cache*) ehk **ATC**. See tähendab, et tegelikult on vahemälu ühendatud protsessoriga 256-bitise ühenduse abil, mis on 4 korda laiem kui eelmisel. Süsteemi üldist töökiirust on tõstetud **Intel**'i *Advanced System Buffering technology* abil, mis tähendab, et on suurendatud puhvrite arvu protsessori ja süsteemi siini vahel.

2000 a kevadel kuulutas Intel välja uued 850 ja 866 MHz Pentium III-d, mida pakuti välja kahes erinevas korpuses: varasemas **SECC2**-s ja uues **FC-PGA**-s (*Flip-Chip Pin Grid Array*). Kuna uusi **FC-PGA** emaplaate polnud esialgu saada, siis kasutati 2000 a esimesel poolel vahelülisid **SSA** (*Slot to Socket Adapter*). Selle adapteri kasutamine polnud siiski õige kõigi protsessorite/emaplaatide kombinatsioonide korral ja võis põhjustada protsessori või emaplaadi rikkeid.

31 juulil 2000 kuulutas **Intel** välja uue 1,13 GHz *Coppermine* protsessori, mis ebaõnnestus ja **Intel** oli sunnitud selle välja vahetama. Siin on näha liigse kiirustamise jälgi, mis on põhjustatud võistlusest **Inteli** ja **AMD** vahel. Nimelt ületas **AMD** esimesena 1GHz piiri ja **Intel** püüdis esikohta taastada.

Teine juhus, kus **Intel** pidi oma plaane muutma ja toodangu ennetähtaegselt välja laskma, oli uus **Pentium III Tualatin**.

### 3.2.10.2. Tualatin

**Tualatin**, mis ilmus turule 2001 a keskel, oli **Inteli** uus protsessori tuum, mis erines **Coppermine**'ist põhiliselt 0,13 mikronilise tehnoloogia poolest.

**Tualatinil** oli ka üks arhitektuuriline erinevus: võeti kasutusele andmete eelvaliku loogika **DPL** (*Data Prefetch Logic*). **DPL** analüüsib andmete valikut ja kasutab esisiini andmete lugemiseks protsessori **L2** vahemällu.

**Tualatin** kasutab analoogiliselt **Coppermine**'iga **Socket 370** ühenduspesa, kuid kuna taktsagedus, toitepinge ja signaalitase on erinevad, siis tuli tema jaoks teha uus emaplaat.

Erinevalt eelnevatest protsessoritest, kus kasutati esisiinil 1,5 V signaale, kasutab **Tualatin** 1,25 V signaalitaset, mis võimaldab maksimaalset teoreetilist läbilaskevõimet 1,06 GB sekundis.

Kõrgematel sagedustel tekkiva elektromagnetilise interferentsi vähendamiseks on siin kasutusel uus sünkroniseerimiskeem.

Tänu peenemale struktuurile tarbib **Tualatin** vähem energiat kui **Coppermine**. **Tualatini** toitepingeallikas peab vastama standardile **VRM 8.8**, mis nõuab 0,025 V täpsust.

Ka **Tualatini** välimus (pakend **FC-PGA2**) erineb **Coppermine**'ist. Uus pakend sisaldab integreeritud soojuste eemaldajat **IHS** (*Integrated Heat Spreader*), millel on 2 uuendust võrreldes varemkasutatuga:

1) Soojuseralduse suurendamiseks on suurendatud radiaatoriga kontaktis olevat pinda,

2) protsessor on valmistatud mehaaniliselt tugevamana eelkäijast.

Kasutusel on 3 erinevat Socket 370 versiooni:

a) Pentium III-A lauaarvutitele,

b) Pentium III-S serveritele,

c) Pentium III-M kaasaskantavatele arvutitele.

Lauaarvuti versioon sisaldab 256 KB L2 cache'i analoogiliselt **Coppermine**'iga, teistes versioonides on aga suurem (512 KB) vahemälu.

Pentium III erinevad versioonid on toodud järgnevas tabelis:

Aasta	Koodnimetus	Transistore	L2 Cache	Tehnoloogia (μm)	Taktsagedus (MHz)
1999	Katmai	9 500 000	512 KB	0,25	450/500/550
1999	Coppermine	28 100 000	256 KB (kiibil)	0,18	533 kuni 733 MHz
2000	Coppermine	28 100 000	256 KB (kiibil)	0,18	850 MHz kuni 1 GHz
2001	Tualatin	44 000 000	256 KB (kiibil)	0,13	1,2 GHz

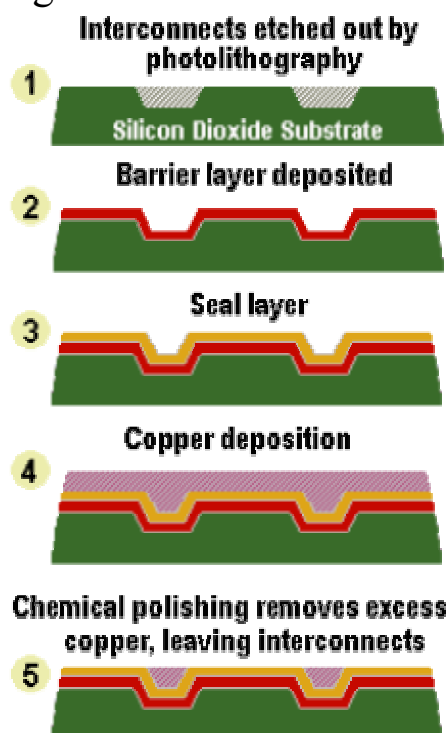
### 3.2.10.3. Vaskühendused mikroskeemis

**Tualatin** oli esimene mikroprotsessor, mis kasutas kiibisiseseid vaskühendusi. Selgituseks pöördume siinjuures tagasi mikroprotsessorite tootmistehnoloogia juurde.

Igas kiibis on kõige tähtsam transistoride kiht. Transistoride ehitamiseks on kasutatud erinevaid materjale: räni, metalle ja mitmesuguseid lisandeid. Tehnoloogia uuendamisel on olulise tähtsusega transistoride valmistamine, kuid 1GHz sageduspiiri ületamisel tekkis ka transistoride omavahelise ühendamise probleem.

Pikka aega kasutati kiibisisesteks elektrilisteks ühendusteks alumiiniumi, kuid 1990-ndate keskel selgus, et taktsageduse edasiseks tõstmiseks tuleb alumiinium välja vahetada ühega kolmest metallist (vask, hõbe, kuld), mis juhivad alumiiniumist paremini elektrit.

Esialgssed katsed kasutada kiibisisesteks ühendusteks vaske ebaõnnestusid. Alles 1998 a septembris õnnestus firma IBM teadlastel kasutusele võtta vaskühendused.

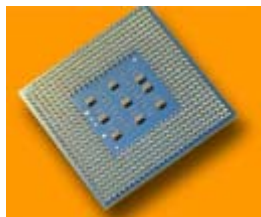


Üks põhjustest, miks ei õnnestunud vaske kasutusele võtta, oli asjaolu, et vask tungis läbi dielektrikuna kasutatavast räni-dioksiidist. IBM tehnoloogia saladus seisnes raskestisulava titaani või volframnitiidi kasutamisel vahekihina vase ja räni-dioksiidi vahel. Vahekiht paigaldatakse pärast fotolitograafilist kanalite söövitamist. Pärast vahekihi paigaldamist sadestatakse elektrokeemiliselt selle peale mikroskoopiline vasekiht. Lõpuks eemaldatakse keemilise poleerimisega ülearune vask.

### 3.2.11. Mikroprotsessor Pentium 4

#### 3.2.11.1. Willamette

**Pentium 4** kuulutati **Inteli** poolt pidulikult välja 2000 aasta algul, mõned kuud hiljem **AMD Athlonist**, mida loeti esimeseks seitsmenda põlvkonna mikroprotsessoriks.



Koodnimetusega *Willamette Pentium 4* sisaldas kõige suuremat 32-bitise tuuma muutust pärast **Pentium Pro-d** ja oli ette nähtud rohkem võimsatele lauarvutitele kui serveritele.

Arhitektuurilised muudatused on tehtud eesmärgiga tõsta taktsagedust ja samal ajal ka suurendada ühe takti jooksul sooritatavate operatsioonide arvu.

Kõige tähtsamaks muudatuseks on uue sisemise konveierliini **Hyper Pipeline** kasutuselevõtt. Uus konveierliin töötab 20 astmega.

Tüüpiline konveierliin teeb kindla hulga tööd käskude dešifreerimisel ja täitmisel. Iga operatsiooni sooritab mingi loogikalülitus, mis omakorda koosneb suuremast või väiksemast arvust transistoridest. Suurendades konveieri astmete arvu, jääb ühele astmele vähem loogikalülitusi. Kuna iga loogiline operatsioon kestab mingi aja (seda aega nimetatakse lülituse viiteks), siis saab tõsta taktsagedust lülituste arvu vähendamisega igal astmel. Kuigi ka täiendavate astmete juhtimiseks on vaja loogikalülitusi, saavutatakse ikkagi suurema astmete arvu juures suurem töökiirus. Siit tuleneb valem maksimaalse taktsageduse arvutamiseks:

$$f=1/(t/n)*1000,$$



kus  $f$  – taktsagedus megahertsides  
 $t$  – operatsioonide sooritamise maksimaalne aeg ühel  
astmel ns,  
 $n$  – astmete arv

Pannes valemisse väärtused  $t=10$  ns,  $n=5$ , saame tulemuseks 500 MHz.

Juhul kui  $t=12$  ns ja  $n=15$ , saame tulemuseks 1,25 GHz.

Pentium 4 arhitektuuriuuendused on järgmised:

- **L1 8 KB** andmete puhvrile on lisatud **12 KB lisapuhver**, mida nimetatakse **ETC** (*Execution Trace Cache*) ja mille ülesandeks on salvestada 32-bitiseid dešifreeritud käske. See võimaldab vähendada käsudešifraatori ooteaega põhioperatsiooniseadmes (*Execution Unit*).
- **Kiire täitevasin** (*Rapid Execution Engine*) – protsessori **ALU**-d pannakse tööle kahekordse taktsagedusega. **Pentium 4**-l on seega 3 erinevat sagedust: tuumasagedus ehk põhisagedus, sellest 2 korda kõrgem **ALU** sagedus ja tuumasagedusest madalam siinisagedus.
- Väga sügav, väljaspool põhivoogu töötav **ennetava täitmise masin** (*Advanced Dynamic Speculative Execution Engine*), mis vähendab tingimuslike käskude täitmisel tekkivat ooteaega.
- Samuti nagu Pentium III sisaldab Pentium 4 **täiustatud ülekandega vahemälu** (*Advanced Transfer Cache*) suurusega 256 KB ja siinilaiusega 256 bitti (32 baiti), mis võimaldab 1,4 GHz Pentium 4 korral ülekandekiirust  $32 \cdot 1,4 = 44,8$  GBps (gigabaiti sekundis).
- Täiendavalt Pentium III käskudele veel **76 uut multimeedia käsku**, mida nimetatakse **SSE2** (*SIMD Extensions 2*) ja **parandused 68-le täisarvudega töötavale käsule**, mis võimaldavad üheaegselt täita 128-bitiseid ujukoma- ja täisarvudega käske.
- Võeti esmakordselt kasutusele **400 MHz süsteemisiin**, mis võimaldas tõsta töökiirust 3-kordseks võrreldes eelneva 133 MHz siiniga.

Koodnimetusega *Willamette Pentium 4* valmis 0,18-mikronilise tehnoloogiaga ja sisaldas 42 miljonit transistori. See oli

küll suur samm edasi, kuid **Intel** soovis enamat: plaanis oli 0,13-mikronilise tehnoloogiaga protsessor, millel pidi olema 16 KB **Level 1 cache**, kaks sõltumatut ujukomaseadet **FPU** ja väline 1 MB **Level 3 cache**.

**Pentium 4** esimesed katsetused 2000 aasta novembris sagedustel 1,4 ja 1,5 GHz näitasid, et uus protsessor oli eelmisest parem just multimeediarakendustes, kuid töötamisel tavaliste kontoripakettidega ei andnud ta loodetud efekti.

**Intel** pakkus **Pentium 4** jaoks välja kiibistiku, mis toetas ainult kallist operatiivmälu **DRDRAM** (*Direct Rambus DRAM*), samal ajal kui firma **AMD** protsessor **Athlon** toetas oma kiibistiku abil odavamalt ja samuti kiiret **DDR SDRAM** mälu.

**Pentium 4** saavutas edu alles 2002 aasta algul tänu täiustatud **Inteli** kiibistikule **i845**, mis toetas nii **PC133 SDRAM** kui ka **DDR SDRAM** mälutüüpe.

Aastal 2001 lasti välja 0,18 mikronilise tehnoloogiaga sagedustel 1,9 ja 2,0 GHz töötavad **Pentium 4**-d. Mõlemad protsessorid olid saadaval nii vanas 423 kontaktiga **PGA** (*Pin Grid Array*) pakendis kui ka uues **Socket 478  $\mu$ PGA** (*micro Pin Grid Array*) pakendis. Uues pakendis oli kontaktide vahekaugus väiksem, mis võimaldas vähendada protsessori ja selle alla jääva emaplaadi osa mõõtmeid.

### 3.2.11.2. Northwood

Aastal 2001 saavutas firma **AMD** oma **Athlon** protsessoritega selge edumaa **Intel**'i **Pentium 4** ees. **Intel** vastas sellele 0,13 mikronilise tehnoloogiaga **Pentium 4 Northwood** tootmise alustamisega 2002 aasta algul.

Tehnoloogia täiustamine võimaldas sama sisuga protsessori ehitada väiksemale pinnale, samuti sai vähendada protsessori sisemist toitepinget 1,75 voldilt 1,5 voldile, mis omakorda vähendas tarbitavat võimsust 69 vatilt 41-le vatile.

Protsessori arhitektuur jäi samaks, ainult sisemist **Level 2** vahemälu suurendati 256 KB-lt 512 KB-le. Vahemälu suurendamine põhjustas ka transistoride arvu suurenemise 42-lt miljonilt 55-le miljonile.

Protsessorid taktsagedustega 2,0 ja 2,2 GHz ilmusid müügile 2002 aasta algul. Kõik *Northwood* protsessorid on saadaval ainult **Socket 478** pakendis.

2002 aasta novembri alguseks olid müügil **Pentium 4** mikroprotsessorid taktsagedusega kuni 2,8 GHz, novembri keskel lasti müügile juba 3,06 GHz mikroprotsessorid.

Alates taktsagedusest 2,26 GHz töötavad **Pentium 4** mikroprotsessorid siinisagedusel 533 MHz, seda siini kutsutakse *Quad Pumped Bus*. Firma **Intel** pakub siinisagedusega 533 MHz protsessorite ühendamiseks kiibistikku i850, mis võimaldab ühendada DRDRAM mälu ja kiibistikku i845 DDR SDRAM ühendamiseks. Ka firmadel SiS ja VIA on kiibistikud DDR SDRAM ühendamiseks.

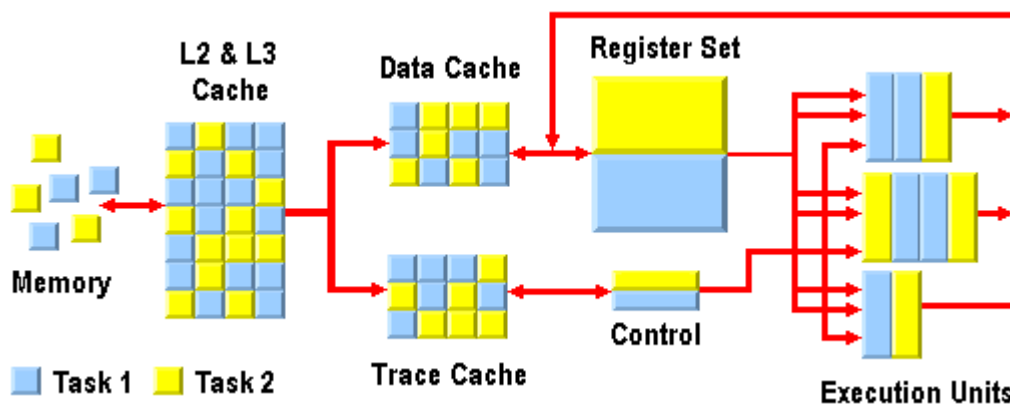
2002 a novembris müügile tulnud 3,06 GHz **Pentium 4** protsessor erines eelnevatest veel selle poolest, et ta võimaldas kasutada uut *Hyper-Threading (HT)* tehnoloogiat lauaarvutitel. Kuigi selle tehnoloogia toetus oli **Pentium 4** kiibis peidetud kujul olemas juba varasematel mudelitel, ei saanud seda kasutada, sest **HT** tehnoloogia nõudis muudatusi ka kiibistikus, emaplaadidel (toitepinge ja soojuseralduse probleemid) ning BIOS-i, draiverite ja operatsioonisüsteemi toetust.

### 3.2.11.3. HT tehnoloogia

Kõik kaasaegsed operatsioonisüsteemid jaotavad oma töö põhioperatsioonideks ja programmiharudeks *threads*, kusjuures viimased planeeritakse sõltumatult ja saadetakse lahendamiseks protsessorile. Analoogilist tööjaotust võib leida paljudes kaasaegsetes rakendusprogrammides, nagu andmebaasisüsteemides, teadusliku uurimistöo programmides, multimeedia- ja inseneriprogrammides. Suurema töökiiruse saavutamiseks on enamus kaasaegseid operatsioonisüsteeme ja rakendusprogramme ette nähtud töötamiseks kahe- või mitmeprotsessoriarvutites, kus põhiprogrammid ja programmiharud saadetakse lahendamiseks erinevatele protsessoritele.

HT tehnoloogia jaotab selle toetuse põhiprogrammi- ja programmiharu paralleelismideks, kasutades kaht loogilist

protsessorit ühel kiibil, mis võimaldab käivitada üheaegselt kaks programmiharu. Mõlema haru käsud saadetakse protsessori tuumale üheaegsele täitmisele. Üheaegne täitmine on võimalik, kasutades käskude väljaspool järjekorda täitmist, mis omakorda võimaldab iga takti ajal hoida töös maksimaalse arvu täitevseadmeid.



Arhitektuuriliselt koosneb HT protsessor kahest loogilisest protsessorist, millest kumbki omab 32-bitist ehitust. Pärast sisselülitamist ja käivitamist saab mõlemat loogilist protsessorit eraldi peatada, katkestada või suunata kindla programmiharu täitmisele, mis toimub sõltumatult teisest loogilisest protsessorist. Loogilised protsessorid jagavad protsessori tuuma täitevressursse: täitevmehhanismi, vahemälusid, süsteemisiini liidest ja püsivara (mikroprogramme püsivara).

Tavaline tarkvara töötab normaalselt HT-protsessoril, kuid erilist tootlikkuse tõusu võrreldes tavalise protsessoriga pole märgata. Firma **Intel** väidab, et HT operatsioonisüsteemi ja vastava rakendusprogrammi kasutamisel on HT-protsessoriga võimalik suurendada töökiirust kuni 30 %.

Tabelis näete andmeid Pentium 4 kohta 2002 aasta lõpu seisuga.

Aasta	Koodnimetus	Transistore	L2 Cache	Tehnoloogia (µm)	Siinisagedus (MHz)	Taktsagedus (GHz)
2000	Willamette	42 000 000	256KB	0,18	400	1,4/1,5
2001	Willamette	42 000 000	256KB	0,18	400	1,7 kuni 2,0
2002	Northwood	55 000 000	512KB	0,13	400	2,0A kuni 2,2
2002	Northwood	55 000 000	512KB	0,13	533	2,26 kuni 3,06

### 3.2.12. Mikroprotsessorid Celeron Pentium III ja Pentium 4 baasil

2000 aasta kevadel alustati **Pentium III** tuumaga *Coppermine* 0,18 mikronilise tehnoloogiaga Celeronide tootmist. Erinevalt eelnevatest võeti siin kasutusele uus **FC-PGA** (*Flip-Chip Pin Grid Array*) pakend koos uue **Socket 370** emaplaadi pistikuga.



**Pentium III** tuumaga siinisagedusega 66 MHz **Celeronide** taktsagedused olid 566 kuni 766 MHz.

2001 aasta algul alustati taktsagedusega 800 MHz **Celeronide** tootmist. Nende protsessorite siinisagedus oli juba 100 MHz. Uus pakend **FC-PGA2** võeti kasutusele paralleelselt FC-PGA-ga taktsagedusega 900 MHz ja 950 MHz **Celeronidel**. Viimasteks 0,18 mikronilise tehnoloogiaga **Celeronideks** jäid protsessorid taktsagedusega 1,1 GHz, mille tootmist alustati 2001 aasta sügisel.

Esimene 0,13 mikronilise tehnoloogiaga *Tualatin* tuumaga **Celeron** läks tootmisse 2002 aasta algul ja selle taktsagedus oli 1,1 GHz (1,1A) ja *L2 cache* mälu oli suurendatud 256 KB-ni. Selle tehnoloogiaga toodeti **Celerone** kuni taktsageduseni 1,4 GHz, edasine sageduse tõstmine polnud mõeldav ikka veel kehtiva siinisageduse 100 MHz juures.

2002 aasta sügisel on saadaval 400 MHz siinisagedusega **Celeronid** taktsagedustega 1,7 GHz, 1,8 GHz ja septembris turule jõudnud 2,0 GHz. 2002 aasta novembris saadeti müügile juba 2,1 ja 2,2 GHz taktsagedusega **Celeronid**.

1,7 ja 1,8 GHz on valmistatud **Pentium 4** 0,18 mikronilise *Willamette* tehnoloogiaga ja alates 2,0 GHz **Pentium 4** 0,13 mikronilise *Northwood* tehnoloogiaga. Kõik need **Celeronid** on **FC-PGA2** pakendis ning sisaldavad 128 KB *Level 2 cache* mälu.

Järgnevas tabelis on kirjas **Pentium III** ja **Pentium 4** tuumadega **Celeron** mikroprotsessorite andmed.

Aasta	Koodnimetus	L2 Cache	Tehnoloogia (µm)	Siinisagedus (MHz)	Taktsagedus (MHz/GHz)
2000	<i>Coppermine</i>	128 KB	0,18	66	566 kuni 766
2001	<i>Coppermine</i>	128 KB	0,18	100	800 kuni 1,1
2001	<i>Tualatin</i>	256 KB	0,13	100	1,1A, 1,2, 1,3 ja 1,4
2002	<i>Willamette</i>	128 KB	0,18	400	1,7 ja 1,8
2002	<i>Northwood</i>	128 KB	0,13	400	2,0, 2,1 ja 2,2

### 3.3. Personaalarvuti siinid

PC kohanemisvõime – see on võime arendada erinevaid liideseid, mis lubavad ühendada erinevat tüüpi lisakomponente ja välisseadmeid – on olnud üks peamisi edu põhjusi. Oma olemuselt erineb kaasaegne PC vähe IBM-i originaalkujust, milleks oli elektriliste andmekiirteede abil ühendatud sisemiste ja väliste komponentide kollektsioon. Need kiirteed ehk **siinid** ühendavad arvuti sisemised komponendid ja välisseadmed mikroprotsessori ja põhimäluga, kusjuures siini läbinud signaal muudab kuju (muutub sisendsignaalist väljundsignaaliks).

Kõige kiirem siin asub protsessori ja **L1 vahemälu** vahel ning see asub protsessori kiibi sees. Kiiruselt järgmine on **süsteemisiin**, mis ühendab protsessori **L2 vahemäluga** (SRAM mälu) ja sellest palju suurema **põhimäluga** (DRAM-tüüpi mälu). Süsteemisiini laius on 64 bitti ja tema maksimaalne sagedus 1998 aasta algul oli 66 MHz, sellele järgneva **Pentium II** siini sagedus aga 100 MHz. Protsessor on mälu ühendatud süsteemi juhtkiibi abil, mis juhib süsteemisiini ja sildu ühendamiseks **PCI** siiniga.

**Pentium II** ja sellest uuemad arvutid kasutavad **DIB** (*Dual Independent Bus*) arhitektuuri, mis tähendab, et süsteemisiin on asendatud kahe teineteisest sõltumatu siiniga, millest üks ühendab protsessorit põhimäluga ja teine **L2 vahemäluga**.

**Avatud arhitektuur** põhineb lihtsal laiendussiinil, mis võimaldab kergelt ühendada lisakomponente ja seadmeid. Pääaegu kakskümmend aastat pärast laiendussiini kasutuselevõttu on ikka veel võimalik paigutada arvutisse laiendussiini kaarte – see on austusavaldus esialgsele kujundusele.

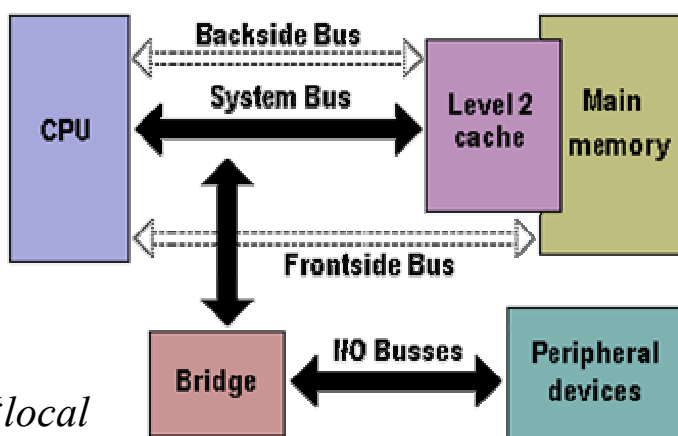
#### 3.3.1. Põhimõisted

Kaasaegne arvutisüsteem sisaldab kaht siiniklassi: **süsteemisiini**, mis ühendab protsessorit põhimälu ja **L2 vahemäluga** ja **sisend-väljundsiine**, mis ühendavad erinevaid välisseadmeid protsessoriga. Sisend-väljundsiinid on protsessoriga ühendatud

niinimetatud **silla** (*bridge*) abil, mille funktsioone täidab kiibistik emaplaadil.

**DIB** arhitektuuriga süsteemide korral on **süsteemisiin** asendatud esisiiniga (*Front Side Bus*), mille kaudu liiguvad andmed protsessori ja põhimälu vahel ning **tagasiiniga** (*Backside Bus*), mis ühendab protsessorit **L2 vahemäluga**. **DIB** kasutamine suurendab töökiirust, võimaldades protsessorile ligipääsu andmetele läbi esi- ja tagasiinide üheaegselt ja paralleelselt.

Personaalarvutite siinide areng enam kui kümne aasta jooksul on tekitanud palju erinevaid termineid, mis kohati on iganenud, ülearused või isegi segadustekitavad. Näiteks süsteemisiinini kohta öeldakse “*main bus*”, “*processor bus*” või “*local bus*”. Samas tähistatakse sisend-väljundsiini terminitega “*expansion bus*”, “*external bus*”, “*host bus*” või isegi “*local bus*” (sama termin kasutusel ka süsteemisiinini kohta).



Konkreetne süsteem võib üheaegselt kasutada järgnevaid sisend-väljundsiine:

- ISA siin – vanim, aeglaseim ja varsti kasutuselt kõrvaldatav
- PCI siin – kasutusel Pentiumiga arvutites alates 1990-ndate aastate keskpaigast
- USB siin – asendab põhiliselt endist järjestikporti, võimaldades üheaegselt ühendada kuni 127 seadet läbi kontsentraatori või järjestikku ühendades.

### 3.3.2. ISA siin

Esimesel PC-l, kus võeti kasutusele ISA siin, töötas ta protsessoriga samal 4,77 MHz sagedusel. Siini täiustati ning 1982 aastal koos IBM PC/AT tulekuga muutus siin 16-bitiseks ning ta



sai nimetuse **ISA** (*Industry Standard Architecture*). Koos protsessori sageduse kasvamisega kasvas ka siini sagedus: algul 6 MHz-ni ja seejärel 8 MHz-ni.

ISA siin võimaldab 16-bitist ühendust 8 MHz sageduse korral, mis tundub olevat vilets võrreldes kaasaegsete protsessorite sagedustega. Siin võimaldab teoreetilist andmete ülekandekiirust kuni 16 MB sekundis, kuid kuna aadressi ja andmeid edastatakse samu juhtmeid mööda, siis kulub üks siini takt aadressile ja järgmine andmetele ning seetõttu vähenebki tegelik töökiirus 2 korda. Kuna enamused kasutas kiirust 5 MB sekundis või alla selle, siis kasutati ISA standardit laialdaselt kuni 1990-ndate lõpuni.

Seoses protsessorite taktsageduse tõusuga ja andmesiini laienemisega jäi ISA siin aeglaseks. Isegi 1990-ndate lõpus oli veel kasutusel palju 8-bitiseid ISA kaarte. 16-bitised kaardid, mida kasutati kõvaketaste, kuvarite ja võrguühenduste jaoks, jäid ikkagi aeglaseks ja nad asendati teist tüüpi kaartidega.

Võimsate arvutifirmade **Microsoft** ja **Intel** poolt kirjutatud ühine dokument – *PC System Design Guide* – nõuab kategooriliselt **ISA** pesade eemaldamist 21 sajandi arvutitest, mistõttu on oodata **ISA** kaartide kiiret kadumist.

### 3.3.3. MCA ja EISA siinid

Vajadus kiirema ühenduse järele, eriti kettaseadmete ja kuvarite ühendamisel, nõudis uusi kiiremaid standardeid.

Esimene katse luua uut standardit oli firma IBM poolt väljatöötatud **MCA** (*Micro Channel Architecture*). Sellele järgnes **EISA** (*Extended ISA*), mille töötasid välja IBM-iga võistlevad firmad. **MCA** töötas sagedusel 10 MHz ja **EISA** sagedusel 8 MHz, kuid tänu 32-bitisele siinile võimaldasid nad mõlemad andmete ülekannet kiirusega 20 MB sekundis. Nagu nimest võib arvata, võimaldas **EISA** pesa kasutada ka **ISA** kaarte, kuid **MCA** ei olnud üldse ühilduv **ISA**-ga.

Mitte kumbki süsteem ei edenenud, põhiliselt sellepärast et nad olid liiga kallid. Siiski kasutati neid võimsates serverarvutites, kus hind polnud nii tähtis.

### 3.3.4. Kohtsiin Local bus

**Intel 80286** emaplaatidel võisid süsteemisiiniga ühendatud protsessor ja laienduspesad töötada erinevatel sagedustel. Alates mikroprotsessori **80386** kasutuselevõtust 1987 aastal olid emaplaadid varustatud kahe siinisüsteemiga. Lisaks “ametlikule” siinile, milleks oli kas **ISA**, **EISA** või **MCA**, kasutati 32-bitist süsteemisiini, mis ühendas protsessorit operatiivmäluga. Sel ajal kogus populaarsust graafiline kasutajaliides (selle näiteks on **Microsoft Windows**), mis nõudis kiiremat graafikat ja seega ka kiiremaid siine kuvari ja kõvaketta ühendamiseks.

Esialgused katsed kiirust tõsta olid mittestandardised – tootjad ühendasid kuvari adapteri ja kõvaketta kontrolleri otse süsteemisiinile. See võimaldas oluliselt parandada süsteemi tootlikkust, kuid piiras laiendamise võimalusi.

1990-ndate algul leppisid kiibistiku ja graafikaadapterite tootjad omavahel kokku ja moodustasid **VESA** (*Video Electronics Standards Association*), mis töötas välja uue kiire siini standardi, mida hakati nimetama *VESA Local Bus* (**VL-Bus**). Uus standard lubas lisada 486 emaplaadile 2 või 3 laienduspesa, mida kasutati põhiliselt graafikakaartide ja **IDE** kontrolleri ühendamiseks.

**VL-Bus**'i põhiprobleemiks oli tihe seotus protsessoriga. Liiga paljude seadmete ühendamine võis põhjustada protsessori töö segamist, eriti nende signaalide poolt, mis tulid läbi ühenduspessa. **VESA** soovitas mitte ühendada rohkem kui 2 pesa sagedusel kuni 33 MHz. 50 MHz kõrgemal sagedusel töötavad 2 seadet soovitati ehitada emaplaadile.

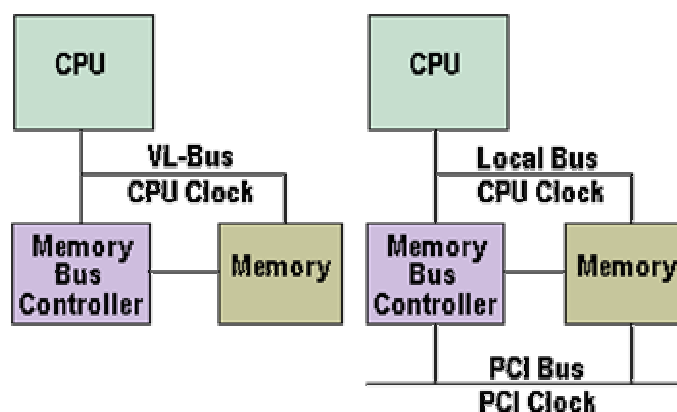
Asjaolu, et **VL-Bus** töötab protsessoriga ühel sagedusel, tekitas probleeme protsessori sageduse edasisel tõstmisel. Mida kiiremini kontroller peab töötama, seda kallim ta on ning tekivad probleemid kõrgsageduslike komponentide tootmisel.

Probleemide olemasolu kiirendas uue standardi **PCI** (*Peripheral Component Interconnect*) loomist.

### 3.3.5. PCI siin

Intel'i esialgne PCI standard avaldati versioonina 1.0 ja anti üle eriorganisatsioonile PCI SIG (*Special Interest Group*). SIG andis välja dokumendi PCI Local Bus Revision 2.0 1993 aasta mais. Dokumendis olid arvesse võetud inseneriteaduse nõuded, mis olid esitatud SIG-i liikmete poolt. Dokument sisaldas täieliku komponentide ja laienduspesa definitsiooni, mille alusel oli võimalik alustada 5-voldise tehnoloogiaga kontrollerite tootmist. Lisaks tootlikkuse kasvule võimaldas PCI kasutusele võtta PnP (*Plug and Play*) tüüpi riistvara – süsteemi, mis võimaldas arvutil automaatselt kasutusele võtta uue riistvara, ilma et oleks vaja käsitsi muuta kiiplülitite seadistusi ja katkestuste tasemeid. Windows 95, mis ilmus turule 1995 aasta suvel, oli operatsioonisüsteem, mis toetas PnP-d ja ka kõik sellel ajal väljalastud emaplaatide BIOS-id toetasid PnP-d. Aastaks 1994 oli PCI muutunud peamiseks Local Bus'i standardiks.

Erinevalt VL-Bus siinist, mis oli tegelikult protsessori ja operatiivmälu vahelise siini laiendus, kujutab PCI endast protsessorist eraldatud omaette siini, millel on samuti nagu protsessoril ühendus operatiivmälega.



Erinevalt VL-bus siinist on PCI siinil oma taktsagedus, mis ei ole seotud protsessori sagedusega. PCI siin on mälushiiniga ühendatud erilise silla abil. Tänu erinevustele on PCI jõudlus suurem kui VL-Bus-il ning tema kaudu ühendatud kontrollid ei pea töötama väga kõrgel protsessori sagedusel.

Ühe sillaga ei saa ühendada rohkem kui 5 PCI pesa, kuid iga pesa võib asendada 2 emaplaadile ehitatud (integreeritud) seadmega. Ühe protsessoriga võib ühendada mitu silda, seega võib emaplaadil olla ka rohkem kui 5 PCI pesa. Uus standard on põhjalikumalt kirjeldatud ja pakub terve rea lisavõimalusi. Näi-

teks toetab **PCI** nii 5-voldiseid kui ka 3,3-voldiseid seadmeid. Erineva toitepingega pesad on varustatud erinevate “võtmetega”, mis väldivad laienduskaardi paigutamist vale pingega pesa.

**PCI** esialgne rakendus (versioon 2.0) töötas sagedusel 33 MHz. Versioonis 2.1 tõsteti sagedust 66 MHz-ni, mis võimaldas andmevahetust kiirusega 266 MB sekundis, mis on 33 korda kiirem kui **ISA** siin. **PCI** võimaldab kasutada nii 32-bitise kui ka 64-bitise andmesiiniga laienduskaarte. Aastaks 1999 õnnestus tõsta sagedusega 66 MHz töötava 64-bitise kaardi andmevahetuskiirus teoreetilise maksimumini – 524 MB-ni sekundis. **PCI** on ka oma eelkäijast “kavalam”, sest ta võimaldab jagada (jaotada) katkestusi (**IRQ**-sid). See on vajalik võimsate arvutite juures, kus ei jätku **IRQ**-sid. Ühtlasi vähendab **PCI** juhtskeem ooteaegu ja suurendab sellega töökiirust.

Kuni 1995 aasta keskpaigani ühendati kiired seadmed mälu- ja **PCI** siini abil. Kõige kiiremad seadmed olid kõvaketta ja kuvari kontrollerid, mis asusid kas otse emaplaadil või olid sellega ühendatud **PCI** laienduspesa abil.

### 3.3.6. **PCI-X** siin

1999 aasta sügisel kiitis **PCI SIG** heaks servereid valmistavate firmade **IBM**, **Hewlett-Packard** ja **Compaq** ühise ettepaneku võtta kasutusele **PCI** standardi lisa **PCI-X ver 1.0**, mis oli täielikult ühilduv **PCI**-ga, kuid pakkus lisavõimalusi selliste laienduskenduste jaoks nagu **Gigabit Ethernet**, **Fibre Channel**, **Ultra3 SCSI** ja suure tootlikkusega graafika.

Uus standard võimaldas nii kõrgemat sagedust kui ka suuremat laienduspesade arvu. Kui **PCI** lubas ainult üht 66 MHz laienduspesa (ülejäanud pidid töötama sagedusega 33 MHz), siis **PCI-X** võimaldas üht 133 MHz sagedusega pesa ülekandekiirusega 1 GB sekundis. Uues protokollis olid muudetud lihtsamaks nõuded elektrisignaalide ajalisele järgnevusele, mis oli hädavajalik tööks kõrgemal sagedusel.

**PCI-X** kujutas endast siiski vaid vahevarianti serveritehnikas, sest samal ajal töötati 3 suure kompanii poolt välja hoopis uut suure tootlikkusega liidest **Future I/O**.

Nagu näha, on siin tegemist jälle firmadevahelise võistlusega, sest **Future I/O** töötati välja ilma **Intel** osavõtuta. Selleks et mitte maha jääda, asus **Intel** välja töötama alternatiivset tehnoloogiat, mille nimeks sai **Next Generation I/O**.

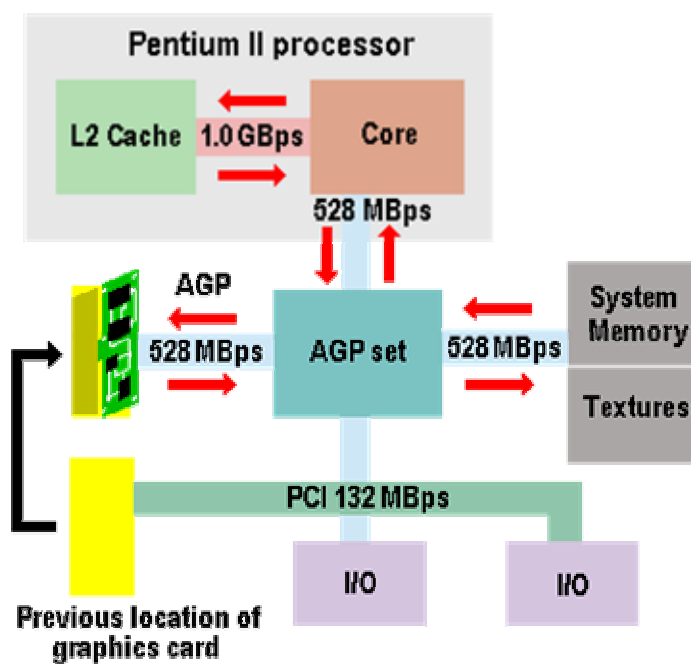
### 3.3.7. AGP siin

Kuigi **PCI** oli kiire ja laia ribaga, jäi ta ikkagi aeglaseks graafikakaartidele. **ISA** kaartide ajastul kasutati mustvalgeid kuvari adaptereid (**MDA**) ja värvilisi **CGA** (*Color Graphics Array*). Viimane suutis näidata 4 erinevat värvi (2 andmebitti) punktide arvuga ekraanil 320\*200, seega ekraani kohta kokku 128000 bitti, mis kaadrisageduse 60 Hz juures nõudis andmevahetuskiirust  $128000 \cdot 60 / 8 = 960000$  baiti sekundis ehk 960 KB sekundis. 16 värviga ja punktide arvuga 1024\*768 **XGA** standard nõudis juba 1,5 MB ekraanimälu, mida tuli uuendada 75 korda sekundis. Tänu graafikaadapterite ehitusele õnnestus läbi laienduspesa liikuvat andmevoogu vähendada, kuid probleemid tekkisid uuesti **3D** kujutiste ülekandmisega.

**3D** graafika võimaldas modelleerida nii fantaasia- kui ka reaalselt maailma väga detailselt. Struktuuri kaardistamine ja objektide peitmine nõudis tohutuid andmehulki ja graafikaadapter nõudis kiiret juurdepääsu nendele andmetele, sest vastasel korral vähenes pildi muutumiskiirus ja pilt muutus hüppavaks (katkendlikuks). Selgus, et **PCI** siini maksimaalne kiirus 132 MB sekundis jäi nende ülesannete täitmisel aeglaseks.

**Intel** lahendus graafikaprobleemile oli luua uus port **AGP** (*Accelerated Graphics Port*), mis kasutas eraldi pistikupesa emaplaadil ja mis töötas väljaspool protsessori siini. **AGP** kiibistik on otse ühendatud protsessori siinile **FSB** ning tema kaudu on protsessor ühendatud ka operatiivmälega ja **PCI** siiniga (vt. jooniselt järgmisel leheküljel). Seda ühendust nimetati *Quad Port Acceleration*.

**AGP** kasutab **FSB** sagedust. Vanematel arvutitel kasutati **FSB** sagedust 66 MHz, mis on 2-kordne **PCI** siini sagedus (33 MHz). 32-bitise siiniga **PCI** võimaldab sagedusel 33 MHz andmevahetuskiirust  $33 \cdot 4 = 132$  MB sekundis, samal ajal kui **AGP**, mis kahekordistab **FSB**



sageduse 133 MHz-ni, võimaldab andmevahetuskiirust kuni 528 MB sekundis.

Sageduse kahekordistamine saavutatakse tänu sellele, et andmevahetus toimub nii sünkrosignaali tõusva kui ka langeva fronti korral. Tänu sageduse kahekordistamisele nimetatakse seda **AGP X2**. Lisaks sageduse kahekordistamisele kasutatakse **X2** graafikakaartidel veel konveiertööd ning kuni 32 käsu paigutamist järjekorda – viimast nimetatakse **SBA** (*Side Band Addressing*). Tippkiirus 528 MB sekundis on saavutatav ainult kõigi 3 mainitud meetodi üheaegsel kasutamisel.

**AGP** 4-kordne ribalaiuse parandamine ja tema omadus töötada ainult spetsiaalsete graafikakaartidega kindlustavad, et ka 3D graafika korral ei jää need kaardid aeglaseks, samuti ei katkesta teised PCI siinile ühendatud seadmed graafikakaardi tööd.

Tänu suurendatud kiirusele võrreldes teiste PCI siini seadmetega suudab **AGP** kasutada operatiivmälu just nii kiiresti nagu see asuks otse graafikakaardil. Seda efekti nimetatakse **DIME** (*Direct Memory Execute*). Seade, mida kutsutakse **GART** (*Graphics Aperture Remapping Table*) käsitleb **RAM**-i aadresse niiviisi, et terve suure sektsiooni asemel saab kasutada terves mälus asuvaid väikesi tükke ning esitab need **DIME**-tüüpi kaardile justnagu asuksid need aadressid otse kaardil. **DIME** võimal-

dab kasutada palju suuremaid struktuure, mis kasutavad palju rohkem mälu kui punktidest moodustatud kujutised (*bitmaps*).

**AGP** oli esialgu kasutusel ainult protsessoriga **Pentium II** arvutites, mis kasutasid **Intel**'i kiibistikku 440LX. Tänu selliste kiibistikufirmade nagu **VIA** jõupingutustele jõudis 1998 aasta alguseks **AGP** enamusele **Pentium**-tüüpi emaplaatidele.

**Intel** töötas välja uue standardi **AGP versioon 2.0**, mis võimaldas tungida **3D** graafikatööjaamade turule. **AGP 2.0** defineeris uue **4X** ülekandeviisi, mis võimaldas ühe takti ajal 4 ülekannet 66 MHz **AGP** liidese korral. See pakkus maksimaalset teoreetilist ribalaiust 1,0 GB sekundis. Uus **4X** ülekandeviis oli kiirem kui seda võimaldas 100 MHz **SDRAM** (800 MB sekundis), nii et täieliku rakenduse leidis **4X** alles 1999 aasta II poolel seoses 133 MHz **SDRAM**-i ja **Direct Rambus DRAM**-i kasutuselevõtuga. **AGP 2.0** toetasid kiibistikud, mis olid ette nähtud esimestele **Pentium III Katmai** protsessoritele.

**AGP Pro** on standard, mis võimaldab emaplaadiga ühendada kuni 100W võimsusega **AGP** kaarte (tavaline **AGP** võimaldab kasutada kuni 25W võimsusega kaarte). **AGP Pro** pistikupesad on pisut pikemad ja võimaldavad kasutada ka tavalisi **AGP** kaarte.

Vaadeldud liidestest annab ülevaate järgmine tabel (1998 aasta seisuga)

Nimetus	Kasutusala	Maks. kiirus (MB/s)	Kasutamine tulevikus
ISA	Helikaardid, modemid	2 kuni 8,33	Uutes arvutites ei kasutata
EISA	Võrgu- ja SCSI adapterid	33	Kaasajal ei kasutata (selle asemele tuli PCI)
PCI	Graafikakaardid, SCSI adapterid, uued helikaardid	266	Standardne laiendussiin kaasajal
AGP	Graafikakaardid	528	Standardne kõigis arvutites alates Pentium II; kasutatakse koos PCI-ga

### 3.3.8. Uued standardid välisseadmete ühendamiseks

Juba esimeses PC arvutis aastal 1981 võeti kasutusele jada- ja paralleelpordid, mis tegid küll läbi teatud muudatused, nagu näiteks **Plug-and-Play** kasutuselevõtt 1995 aastal, kuid on oma põhiolemuselt jäänud samaks.

Need pordid on arvutites olnud juba 20 aastat ja nüüd on aeg nad välja vahetada järgmistel põhjustel:

- Jadaportide maksimaalne läbilaskevõime on 115,2 kilobitti sekundis ja paralleelportidel umbes 500 kilobitti sekundis, mis jääb tugevasti alla kaasaegsete seadmete (näiteks videokaamera) nõuetele.
- Seadmete ühendamine traditsiooniliste portidega on ebamugav, sest nad asuvad reeglina arvuti taga ning ühendamise ajaks tuleb arvuti välja lülitada.
- Iga pordi jaoks peab süsteemil olema kindel **katkestusnõude IRQ** (*Interrupt ReQuest*) number. Arvutil on kokku 16 **IRQ** numbrit (0 kuni 15), millest osa on kasutusel süsteemi enda poolt. Mõnel arvutil on enamus **IRQ** numbreid süsteemi poolt hõivatud, nii et portidele jääb kokku ainult 5 numbrit.
- Portide koguarv arvutis on piiratud. Enamusel arvutitest on 2 jadaporti (näiteks hiire või modemi ühendamiseks) ja üks paralleelport (näiteks printeri ühendamiseks). On võimalik lisada nii jada- kui ka paralleelporte, kuid nende koguarv ei tohi ületada vabade **IRQ** numbrite arvu. See tähendab, et kui süsteem kasutab ise 11 numbrit, siis saab kasutada kokku ainult 5 porti.

Viimastel aastatel on tänu **Plug-and-Play** meetodile sisendväljundtehnoloogia kiiresti arenenud ja kaks uut jadasiini standardit on kasutusele võetud. Uued standardid võimaldavad kõrvaldada seadmete ühendamisel tekkivad probleemid, samuti saab ühe arvutiga ühendada palju seadmeid tehnilisi teadmisi omamata.

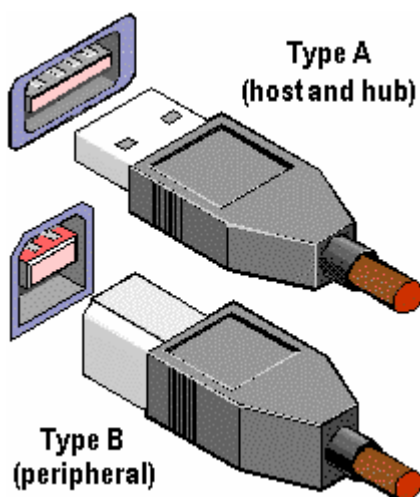


### 3.3.9. USB siin

Standard *Universal Serial Bus* (**USB**), mis töötati välja firmade **Compaq, Digital, IBM, Intel, Microsoft, NEC** ja **Northern Telecom** ühistööna, pakkus välja ühte porti ühendatud uue ühtse pistikühenduse kõigile tavalistele sisend-väljundseadmetele, mis oluliselt lihtsustas kaasaegset portide ja pistikute mitmekesisust.

**USB** standardi väljakuulutamisele 1995 aasta septembris eelnes üleskutse firmadele luua avatud kontrolleri liides **USB** jaoks. Üleskutset toetasid 25 firmat, kelle hulgas olid arvutite, komponentide ja lisaseadmete valmistajad, ja selle sisuks oli muuta firmadele lihtsamaks arendada **USB**-ga ühilduvate toodete valmistamine. **USB** uudsus seisnes selles, et määratud olid pistikühenduse parameetrid, kuid määratlemata oli **USB** abil ühendatud seadme kontrolleri tööpõhimõte.

**USB** võimaldab üheaegselt ühendada kuni 127 erinevat seadet. Seadmeid võib ühendada kas järjestikku või **USB jaoturi** (*hub*) abil. **Jaoturil** on mitu pesa ja pistikut ühendamiseks arvuti või mõne teise seadmega. Iga **jaoturi** abil saab ühendada kuni 7 seadet, kusjuures nendeks seadmeteks võivad olla omakorda



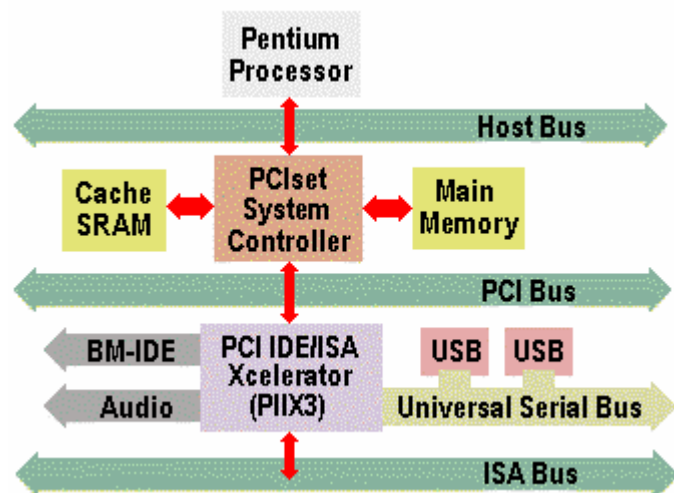
**jaoturid**. **USB** liides sisaldab ka 5V toitepinget sellistele väikestele seadmetele nagu käsiskannerid või valjuhääldid.

Seadmete ühendamiseks on arvutitel või jaoturitel ristkülikukujulised 4 kontaktiga **Type A** pistikühendused. Ühendamiseks välisseadmega kasutatakse ühenduskaabli teises otsas **Type B** ruudukujulisi pistikühendusi.

**USB** on oluliselt kiirem kui seda oli jadaport **COM** (maksimaalsed kiirused vastavalt 12 megabitti sekundis ja 111,5 kilobitti sekundis). **USB** kiirus on võrreldav arvutivõrkude **Ethernet** ja **Token Ring** kiirusega (see oli 10 megabitti sekundis) ning pakub küllaldase ribalaiuse nii kaasaegsetele kui ka tulevastele seadmetele. Näiteks võimaldab **USB**

kiirus ühendada välise **CD-ROM** seadme, magnetlindiseadme või **ISDN** sideseadme. **USB** kiirus on küllaldane selleks et juhtida digitaalne audiosignaali otse digitaal-analoogmuunduritega varustatud valjuhäälditeni. Kuid **USB** ei ole ette nähtud arvuti võrkude asendamiseks. Madala hinnataseme saavutamiseks on seadmetevahelise kaabli pikkus piiratud 5 meetriga. Aeglastele seadmetele nagu hiir ja klaviatuur on ette nähtud maksimaalne andmeedastuskiirus 1,5 megabitti sekundis, mis võimaldab teistel seadmetel kiiremini töötada.

**USB** on kasutajasõbralik ning tõeliselt **Plug-and-Play** süsteem. Ta ei nõua laienduskaartide paigutamist arvuti sisse ja sellele järgnevat süsteemi ümberkonfigureerimist. Selle asemel lubab ta välisseadmeid ühendada, konfigureerida, kasutada ja lahti ühendada arvuti tööta-



mise ajal teiste seadmetega. Pole vaja installeerida draivereid, valida jada- või paralleelporti ning muretseda **IRQ** seadistuste, **DMA** kanalite ja sisend-väljundaadresside pärast. **USB** teeb kõik selle ise, juhtides ühendatud seadmeid kontrolleri abil, mis asub emaplaadil või **PCI** kaardil. Arvutis asuv kontrolleri koos täiendavate kontrolleritega jaoturites juhib **USB** seadmeid, võimaldades vähendada protsessori koormust ja parandada süsteemi üldist jõudlust. Operatsioonisüsteemi installitud spetsiaalne tarkvara juhib **USB** kontrolleri tööd.

Andmed **USB** siinil liiguvad mööda kahe-suunalist toru arvutis asuva kontrolleri ja jaoturites asuvate lisakontrollerite juhtimisel. Siini juhtimise parandatud versioon võimaldab teatud osad kogu siini ribalaiusest otseselt reserveerida kindlatele seadmetele, seda nimetatakse *isochronous data transfer*. **USB** liides koosneb kahest põhimoodulist: **SIE** - *Serial Interface Engine*, mis tegeleb siini-protokolliga ja peamine jaotur *Root Hub*, mille

ülesandeks on suurendada **USB** portide arvu. **USB** siin võimaldab igal pordil kasutada 0,5 A voolu, mis võimaldab väikese voolutarbega seadmetel saada voolu arvuti toiteplohist. Jaoturid võivad saada kogu voolu läbi siini või kasutada selleks oma adapterit. Porte ühendavad jaoturid isoleerivad kõik pordid üksteisest, nii et üks lühisesse sattunud seade ei mõjuta kuidagi teisi.

**USB** lubadus oli arvuti, millel on üks **USB** port nelja või viie erineva pistikupesa asemel. Selle ühe külge tuleks ühendada üks suur, eraldi toitega seade, näiteks kuvar või printer, mis hakkaks tööle nagu jaotur, mille külge saaks ühendada kõik väiksemad seadmed nagu hiire, klaviatuuri, modemi, skanneri, digitaalse kaamera jne. See lubadus ei täitunud, sest paljud **USB** draiverid ei saanud valmis enne **Windows 98** ilmumist. Kuid ka pärast seda tuli pettuda. Põhjusi oli mitu. Ühed arvasid, et **USB** arhitektuur on liiga keeruline ja järelikult nii paljude erinevate seadmete toetus on kohmakas protokollide kuhi. Teised väitsid, et jaoturi põhimõtte ainult nihutab kulu ja keerukuse põhiseadmelt klaviatuurile või kuvarile. Siiski, suurim takistus **USB** edule on arvatavasti **IEEE 1394 FireWire** standard.

See on veel üks suure kiirusega välisseadmete siini standard, mille töötasid välja firmad **Apple Computer**, **Texas Instruments** ja **Sony** ning mida toetasid **Microsoft**, **SCSI** spetsialist **Adaptec** ja teised firmad. Algul arvati, et **IEEE 1394** ja **USB** hakkavad ühes arvutis koos eksisteerima samuti nagu siiani järjestik- ja paralleelpordid. Siiski on kuulda, et näiteks peamised printerite tootjad on enam huvitatud 1394-st kui USB-st sel lihtsal põhjusel, et digitaalkaamerad toetavad rohkem IEEE-d kui USB-d.

### 3.3.10. IEEE 1394 siin

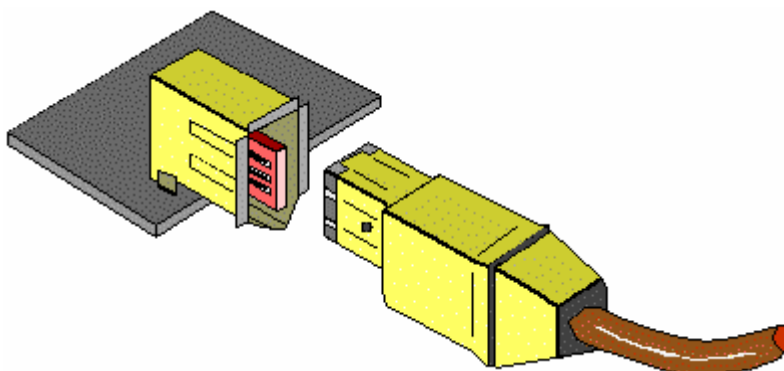
Standard **IEEE 1394** ehk teise nimega **FireWire** kiideti heaks **IEEE** (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) poolt 1995 aastal. See standard mõeldi välja firmas Apple, kes siiani saab iga pordi pealt \$1 autoritasu. Uue standardiga ühinesid juhtivad firmad **Microsoft**, **Philips**, **National Semicon-**

**ductor** ja **Texas Instruments**, kes moodustasid ühingu “1394 Trade Association”.

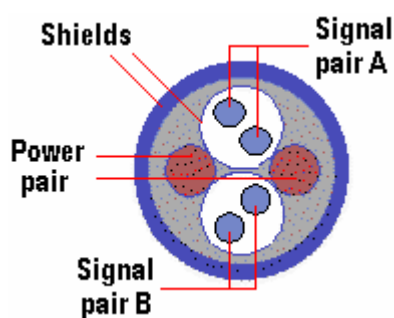
**IEEE 1394** sarnaneb paljuski **USB**-ga, kuid on palju kiirem. Mõlemad on järjestikliidesed, mida saab ühendada töötava arvutiga, kuid **IEEE 1394** pakub laiemat riba ja suuremaid kiirusi. **IEEE 1394** liidesel on 2 taset: üks neist arvuti sees asuv tagasiin ja teine arvutit ning seadet ühendav järjestikkaabel. Neid ühendab omavahel lihtne sild. Tagasiini kiirused on 12,5; 25 või 50 megabitti sekundis, kaabelliides võimaldab aga kiirusi 100, 200 ja 400 megabitti sekundis. Viimane on 4 korda kiirem kui **100BaseT Ethernet**'i võrguühendus ja palju kiirem **USB** kiirustest 1,5 ja 12 megabitti sekundis. Uus **1394b** versioon pakub ülekandeid kiirustel 800 megabitti sekundis, 1,6 gigabitti sekundis ja rohkem. Suur kiirus võimaldab **IEEE 1394** kasutada digitaalkaamerate, printerite, televisiooniseadmete, võrgukaartide ja kettaseadmete ühendamiseks arvutiga.

### **IEEE 1394**

kaablipistikud on ehitatud niiviisi, et elektrilised kontaktid asuvad struktuuri sise- muses. See välis- tab elektrilöögi, mis võib tekkida



kokkupuutel kasutaja kätega. Need pistikud pärinevad *Nintedo GameBoy* pistikust, mis on kontrollitud igas vanuses laste peal ja on väikesed, painduvad ja vastupidavad. Pistikut on mugav kasutada isegi juhul kui seda tuleb käsikaudu ühendada arvuti tagaküljele.



**IEEE 1394** kasutab kuni 4,5 m pik- kust kuuejuhtmelist kaablit, mis sisal- dab 2 juhtmepaari andmete ülekandeks ja ühe paari toitepingeks. Mõlemad andmepaarid on varjestatud ja kogu kaabel on omakorda varjestatud. Toite- pinget võib olla 8V kuni 40V (alalis-

pinge) vooluga kuni 1,5 amprit. Seda toitepinget kasutatakse avariiolekorras: siis kui tavaline toitepinge kaob või seadme toiteploki rikke korral. Standardi arenedes on oodata uusi kaablitüüpe, mis lubavad 4,5 m pikemaid kaableid ilma vahevõimendita ning suuremat ribalaiust.

**IEEE 1394** põhiliseks osaks on füüsilise ja ühendustaseme pooljuhtkiibid, kusjuures iga seadme jaoks on ette nähtud 2 kiipi.

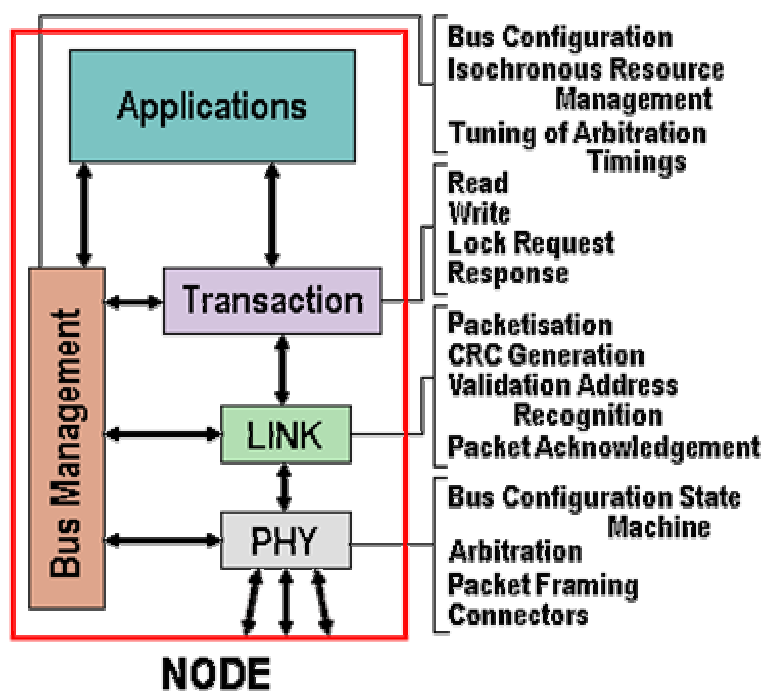
Füüsiline liides (**PHY**) on segasignaalseade (*mixed signal device*), mis ühendab teda teise seadme **PHY**-ga. Ta sisaldab loogikat, mis on vajalik siini käivitamiseks ja signaalide juhtimisel.

**Ühendustaseme liides** (*link interface*) ühendab **PHY** seadme sisemusega. Ta saadab välja ja võtab

vastu **1394** formaadis andmepakette ning toetab asünkroonset või **isochronous** andmeülekannet. Nende ülekandetüüpide üheaegne kasutamine ühes liideses lubab nii ajaliselt mittekriitiliste rakenduste nagu printerid ja skannerid ning ajaliselt kriitiliste nagu video-audioseadmed üheaegset kasutamist samal siinil.

Kõik **PHY** kiibid on ühesuguse ehitusega, kuid **Link** kiibid on erinevatel seadmetel erinevad. Selline ehitus võimaldab kasutada **IEEE 1394** võrdõiguslike seadmete ühendamiseks, samal ajal kui **USB** on ette nähtud töötamiseks klient-server režiimis.

Siin **IEEE 1394** kasutab traditsioonilist asünkroonülekannet, mille puhul andmete saatmisele ühes suunas järgneb andmete kättesaamist kinnitav signaal teises suunas. Asünkroonülekande puhul on moonutusteta ülekanne tähtsam kui ülekandekiirus. Võimalike moonutuste korral kasutatakse kordusi. Ka siin kasu-

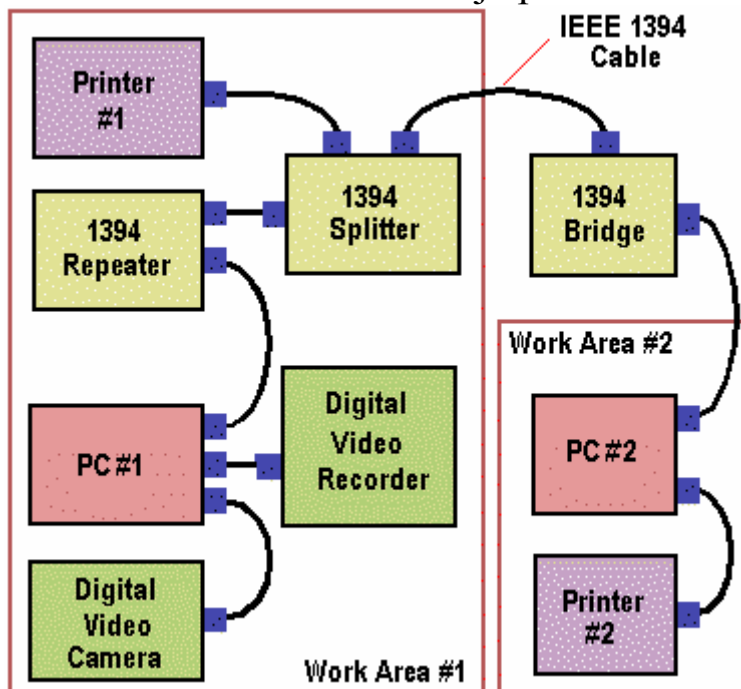


tatakse meetodit *isochronous data transfer*, mis kindlustab andmevoo etteantud kiirusega. See on eriti tähtis multimeediaseadmetes, kus andmete õigeaegne saabumine võimaldab loobuda kallist vahemälust. *Isochronous data transfer* töötab ülekandemeetodil, mille puhul üks või mitu seadet “kuulavad” saadeta-vaid andmeid. 1394 võimaldab kasutada üheaegselt kuni 63 kanalit. Kuna *isochronous data transfer* kasutab maksimaalselt 80 protsenti ribalaiusest, siis ülejäänud 20 protsenti jääb asünkroon-ülekandele.

**IEEE 1394** arhitektuur ja paindlik seadmete ühendusviis on ideaalsed kiirete seadmete ühendamiseks. Selle abil saab ühendada nii arvuteid omavahel kui ka arvutit kõvakettaga, digitaalse audio- või videoseadmega. Seadmeid saab ühendada kas järjes- tikku või puukujuliselt. Joonisel on kujutatud 2 erinevat tööpiir- konda, mis on ühendatud **1394** silla abil. Piirkond #1 sisaldab videokaamerat, arvutit ja videosalvestit, mis on omavahel ühen- datud **IEEE 1394** abil. Arvuti on omakorda läbi signaalivõimen- di (*repeater*) ühendatud kaugelasuva printeriga. 2 seadme vahel võib olla kuni 16 vahelüli **1394** siinil. **1394** silla ja printeri vahe- le on paigutatud

**1394** jaotur, mis võimaldab piirkon- na #1 pordil saada ühendust **1394** sii- ni sillaga. Tööpiir- kond #2 sisaldab ainult arvutit ja printerit ühel siini segmendil ning lisaks ühendust sil- laga. **1394** siini sild lubab andmete liikumist ainult tööpiirkonna sees,

kuid võimaldab siiski valitud andmetel liikuda ühest piirkonnast teise. Seega võib arvuti #2 tellida kujutisi videosalvestilt, mis asub piirkonnas #1. Juhul kui **1394** kaabel on pingestatud, on ka



**PHY** signaaliliides pinges all ja videoandmed edastatakse isegi siis, kui arvuti #1 on väljalülitatud. Üks **IEEE 1394** siini segment võib sisaldada kuni 63 seadet, kusjuures 2 seadme vaheline kaugus ei tohi ületada 4,5 meetrit. Süsteem võimaldab omavahel sildadega ühendada rohkem kui 1000 elementi. Täiendavalt on võimalik kanda andmeid üle erinevate seadmete poolt erineva kiirusega. Näiteks töötab üks seade kiirusega 100 megabitti sekundis, teine 200 megabitti sekundis ja kolmas 400 megabitti sekundis. **IEEE** seadmeid võib ühendada ja lahti ühendada ilma seadmeid välja lülitamata ja isegi siini töötamise ajal. Topoloogia muudatused tuntakse automaatselt ära ja registreeritakse siini poolt. Selle **Plug-and-Play** omaduse tõttu puudub vajadus aadressilülitite või mõne teise kasutajapoolse vahelesegamise järele siini ümberkonfigureerimiseks.

**1394** saab tööle panna viisil, et jääb mulje, justnagu oleks mälu seadmete vahel ümber jaotatud või nagu oleks seadmed asunud emaplaadi pesades. Seade kasutab adresseerimiseks 64-bitist välja, millest 10 bitti on võrguaadress, 6 bitti võrgusõlme (*node*) aadress ja 48 bitti mäluaadress. Selline adresseerimisviis võimaldab adresseerida 1023 võrku 63 sõlmega, jättes igähele 281 terabaiti mälu. Mälupõhine adresseerimine võimaldab erinevalt kanalite adresseerimisest näidata ressursse registre või mäluna, millele pääseb ligi samuti nagu protsessor mälule.

Kõik eelnev võimaldab lihtsat võrgutööd. Näiteks digitaalkaamera saab lihtsalt saata pilte digitaalprinterile otse, ilma arvutit ennast läbimata. Sellega loob **IEEE 1394** võimaluse töötada välisseadmetel ilma arvuti osavõtuta, mis siiani ei olnud võimalik.

Kuna **IEEE 1394** nõuab 2 kiipi igas seadmes, siis on ta kallim kui üht kiipi vajavad liidesed **SCSI**, **IDE** või **USB**. Järelikult ei sobi ta kasutamiseks aeglastes seadmetes. Siiski on see liides hädavajalik kasutamiseks peamistes videoelektroonikaseadmetes, nagu käsikaamerates, videomagnetofonides ja televisiooni-seadmetes, kus teda kutsutakse **iLink**.

Aastal 1997 pakkusid firmad **Compaq**, **Intel** ja **Microsoft** välja uue standardi, mida nad nimetasid **Device Bay**. See standard kujutas endast liideste **IEEE 1394** ja **USB** kombinatsiooni mis oli ette nähtud spetsiaalselt kõvaketastele ja **DVD-ROM** seadmetele.

Kuigi **IEEE 1394** oli aeglasem kui **ULTRA160 SCSI**, (maksimaalsed kiirused vastavalt 50 MB sekundis ja 160 MB sekundis), oli tal ka rida eeliseid. Näiteks nõuab **SCSI** eelnevalt omistatud aadressi ja terminaatoreid mõlemas siini otsas, **IEEE 1394** aga omistab seadmele aadressi dünaamiliselt ja ei nõua terminaatoreid, samuti pole vaja ühendamise ajaks arvutit välja lülitada ning määrata eraldi **IRQ**-sid või **DMA**-sid.

Kuigi **IEEE 1394** edu oli suur, vähendas seda oluliselt standardi **USB 2.0** väljakuulutamine 1999 aasta veebruaris.

### 3.3.11. USB 2.0 siin

Uus standard võeti vastu üritusel, mida nimetati **Intel Developer Forum** (IDF) ja millest võtsid osa firmad **Compaq**, **Hewlett-Packard**, **Intel**, **Lucent**, **Microsoft**, **NEC** ja **Philips**.

**USB 2.0** ületas **USB 1.1** kiirust (12 megabitti sekundis) 30 kuni 40 korda (360-480 megabitti sekundis) ja muutus seega **IEEE 1394**-le tõsiseks konkurendiks. Siiski leppisid firmad omavahel kokku, et **USB 2.0** hakkab olema peamiselt liides arvutiseadmete ühendamiseks, samal ajal kui **IEEE 1394** kasutuselaks jääb videotehnika (digitaalsed videokaamerad-salvestid, digitaalsed videomagnetofonid, **DVD**-seadmed ja digitaalne **TV**).

Uus standard **USB 2.0** on täielikult ühilduv vana **USB 1.1**-ga aeglasemate seadmete jaoks. Selliste seadmete, nagu videokonverentsikaamerad, uue põlvkonna skannerid ja printerid ning kiired mäluseadmed jaoks on tingimata vajalik uus standard, kusjuures aeglasemad seadmed töötavad suurepäraselt ühel siinil koos kiirete seadmetega.



## 3.4. Personaalarvuti emaplaat

**Emaplaat** on arvutis peamine trükiplaat, mille peal asuvad **mikroprotsessor**, **operatiivmälu** ja **laienduspesad** ning mille abil on otseselt või kaudselt ühendatud kõik arvuti osad. Emaplaadil on suured mikroskeemid, mida nimetatakse **kiibistikuks** ja mille ülesandeks on ühendada emaplaadil olevad osad omavahel. Emaplaadi osana võib vaadelda ka programmi **BIOS** sisaldavat **püsimälu** ning erinevat tüüpi **siine** realiseerivaid mikroskeeme. Suure kiirusega siinide tootmine on kulukas ja keeruline, sest sadadesse megahertsidesse ulatuva sageduse korral põhjustavad isegi mõne sentimeetri pikkused metallist rajad emaplaadil ajalisi probleeme, sest nad töötavad miniatuursete raadioantennidena, mis kiirgavad teisi elemente mõjustavat elektromagnetilist kiirgust. Segava mõju vähendamiseks püüavad arvutit kujundavad insenerid paigutada kiired siinid emaplaadil võimalikult väiksele pinnale ning aeglasemad siinid protsessorist ja operatiivmälust kaugemale.

### 3.4.1. Emaplaadi areng

Esimestel personaalarvutitel olid emaplaadile **integreeritud** pordid klaviatuuri ja välismälu (magnetlindiseadme) ühendamiseks. Kõik ülejäänud seadmed (ka kuvari adapter ja kettakontrollerid) tuli ühendada **laienduspesade** abil.

Aja jooksul **integreeriti**, see tähendab paigutati otse emaplaadile järjest rohkem seadmete kontrollereid (adaptoreid). See oli siiski aeglane muutus, sest isegi veel 1995 aastal võis leida emaplaate, millele pidi **COM** ja **LPT** pordid ning kettakontrollerid ühendama laienduspesadesse. Kaasajal on **COM** ja **LPT** pordid (kui neid üldse kasutatakse) ja kettakontrollerid reeglina emaplaadil. Ülejäänud komponendid, nagu näiteks graafika- või videokaart, võrgukaart, SCSI kaart ja helikaart tuleb reeglina ühendada laienduspesadesse. Paljud firmad on teinud eksperimente, integreerides enamuse või ka kõik kontrollerid emaplaadile. Siiski selline integreerimine tavaliselt ei õigusta ennast.

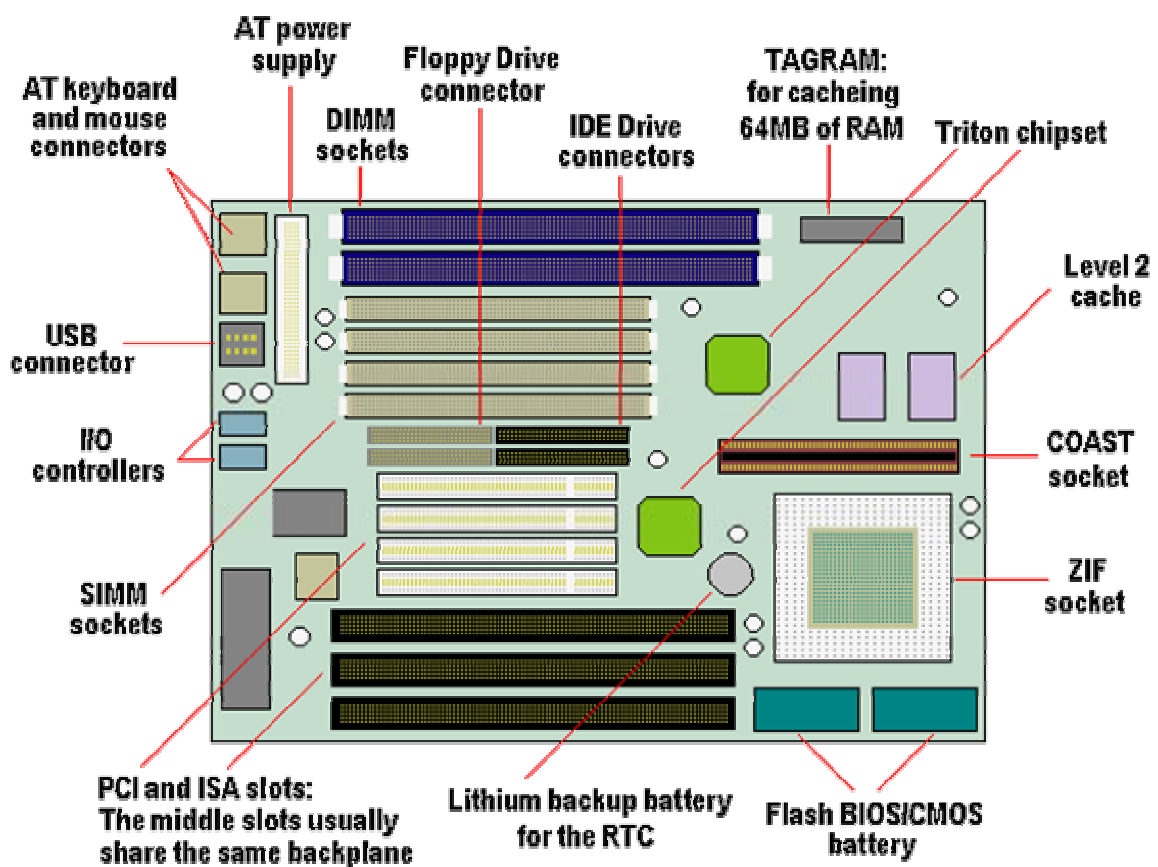
Põhjusi on mitu:

Esiteks on keeruline uuendada integreeritud arvutit.

Teiseks nõuavad kõrgeltintegreeritud emaplaadid mittestandardseid lahendusi.

Kolmandaks nõuab ühe rikkis integreeritud komponendi asendamine terve emaplaadi väljavahetamist.

Järelikult peavad need süsteemi osad, mis vajavad sagedast väljavahetamist, nagu protsessor, operatiivmälu ja graafikakaart, olema ühendatud erinevate pesade abil. Samuti peavad asuma pesades SCSI ja võrgukaardid, sest neid ei lähe tavalises arvutis üldse tarvis ja nende pealt saab niiviisi kokku hoida.



Põhilised muutused emaplaatide välimuses toimusid 20. saj. viimastel aastatel koos üleminekuga **Socket 7** pesaga **Pentium MMX** protsessorilt **Slot1** pesaga **Pentium II** protsessorile. Emaplaadi areng seisnes põhiliselt kiirete komponentide eraldamises aeglastest. Kiired seadmed ühendati kiirete siinidega ja aeglasemad siinid muudeti teisejärgulisteks abisiinideks. 90-ndate lõpus hakati paigutama välisseadmeid otse emaplaadile.

Algul tehti seda ainult video- ja helikaartidega, kuid hiljem integreeriti ka SCSI, võrgu- ja isegi RAID kontrollereid.

### 3.4.2. BIOS-i areng

BIOS-i funktsioonidest oli juttu juba eespool. BIOS-i uuendamiseks kasutati algul disketti, kaasajal saab seda teha ka Interneti abil. Uuendamine võimaldab kasutusele võtta uusi kiipe või laienduskaarte.

Vanematel arvutitel oli alglaadimise esimeseks seadmeks alati **diskett A:** ja alles selle puudumisel toimus alglaadimine kõvakettalt. Uuemad **BIOS**-id võimaldavad muuta alglaadimise järjekorda, paigutades esimeseks seadmeks kõvaketta **C:**, mis omakorda kiirendab alglaadimise protseduuri ja suurendab ühtlasi turvalisust, sest siis ei pääse arvutile ligi disketilt laetava operatsioonisüsteemi abil.

Lisaks järjekorra muutmisele on võimalik sooritada alglaadimist ka CD-ROM seadmelt või täiendavalt kõvakettalt (*secondary IDE*). Viimane variant võimaldab varustada arvuti 2 erineva operatsioonisüsteemiga, mis asuvad erinevatel kõvaketas- tel. Sellisel juhul ilmub alglaadimise ajal ekraanile küsimus, millele vastamine määrab ära alglaadimisseadme.

Alates **Windows 98**-st on võimalik mitme kuvari üheaegne kasutamine ühel arvutil. Tavaliselt on arvutil ainult üks **AGP** port kuvari ühendamiseks. Täiendava kuvari ühendamiseks tuleb siis lisada kuvari adapter **PCI** pessa ning tavaliselt valib **BIOS** sellisel juhul põhikuvariksi **PCI** adapteriga ühendatud kuvari. Siiski võimaldavad mõned **BIOS**-id valida põhikuvariksi ka **AGP** pordi kaudu ühendatud kuvari.

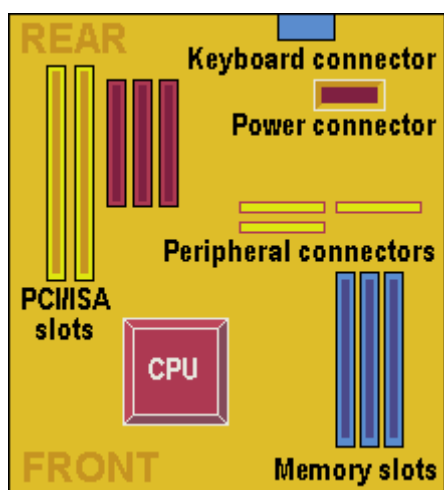
Vanadel arvutitel sai katkestusenõude **IRQ** numbreid määrata ainult programmi **Setup** abil. Seos **PnP** süsteemi kasutuselevõtuga määratakse need numbrid ja ka seadme poolt kasutatavad mäluaadressid automaatselt. Siiski ei suurendanud **PnP IRQ** numbrite koguarvu. Selleks et suurendada vabade numbrite arvu, võimaldavad mõned **BIOS**-id ajutiselt välja lülitada kasutusel mitteolevad pordid ja anda vabanenud **IRQ** numbrid teistele seadmetele. Näiteks võib anda kasutusel mitteolevate jada- ja

paralleelportide numbrid **USB** seadmetele või **Internet**'i ühendusele läbi **ADSL**-i või kaabelmodemi.

Paljudel arvutitel kasutatakse programmi **Setup** salvestamiseks emaplaadil asuvat eraldi **CMOS** (*Complementary Metal Oxide Silicon*) **RAM** kiipi. See kiip sisaldab ka reaaliajaksella **RTC** (*Real Time Clock*) ning miniatuurset patareid, mis varustab kiipi vooluga sel ajal kui arvuti on välja lülitatud. Algladimise ajal salvestab protsessor ajanäidu **RTC**-st ja muudab ning kasutab seda töötamise ajal ise.

### 3.4.3. Emaplaadi väliskuju

Esimeste PC-de emaplaati kutsuti **AT**-ks ja selle laius oli 12 tolli. 1989 aastal alustati väiksemate **Baby AT**-de tootmist. Need plaadid muutusid tavalisteks, kusjuures elementide paigutus plaadil oli vaba. **BAT**-i mõõtmed olid 9\*10 tolli. **BAT** kasutab “vana” **AT**-tüüpi klaviatuuripesa, mis asus otse emaplaadil ning järjes-



ting- ning paralleelportide ühendamiseks pistikuid, mille külge ühendati kaabli abil arvuti tagaküljele väljatoodud pistikupesad.

**BAT** plaatidel asus protsessor eespool ning täispikkusega laiendusplaadid ulatusid temast üle. See tähendas, et protsessori eemaldamiseks oli vaja esmalt välja võtta seda

segavad plaadid. Probleemid teravnesid seoses **Pentium** protsessorite kasutuselevõttuga. Toiteplokkis asuv ventilaator ei suutnud enam piisavalt protsessorit jahutada ja tuli lisada kas täiendav ventilaator korpusesse või protsessori jaoks eraldi jahutussüsteem koos ventilaatoriga.

Eelnevalt kasutuselolev **AT** tüüpi toiteplokk varustas emaplaati ainult 5V ja 12V pingetega ning protsessorile ja **PCI** kaartidele vajaliku toitepinge 3,3 V saamiseks tuli emaplaadile paigutada pinget muundav pingeregulaator. Mõnikord nõudis ka pingeregulaator eraldi ventilaatoriga jahutussüsteemi. Suhteliselt

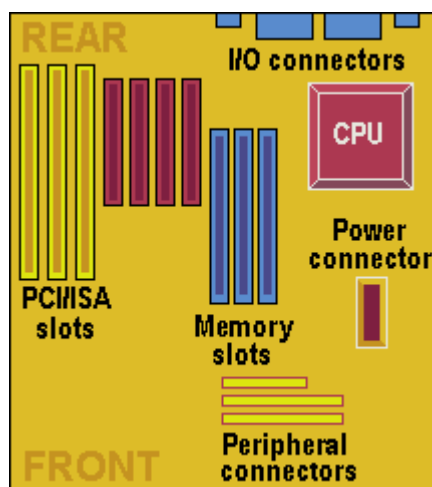
suured jahutussüsteemid jäid ette laienduskaartidele, mistõttu tekkis vajadus muuta komponentide paigutust emaplaadil.

ATX on Intel'i uus emaplaat, mis võeti tootmisesse 1996 aastal. See plaat pidi kaotama BAT-i puudused ning temaga algas uus ajajärk emaplaatide ajaloos.

### 3.4.3.1. ATX emaplaat

Tüüpilise ATX plaadi laius oli 12 tolli ja pikkus 9,6 tolli, minivariandi mõõtmed olid 11,2\*8,2 tolli.

Sellel plaadil on protsessori pesa ja pingeregulaator paigutatud laienduspesadest paremale. Vaba ruum tekkis tänu plaadi laiendamisele ja selliste komponentide nagu BIOS-i, portide ja klaviatuuri kontrolleri mõõtmete vähendamisele ja ühte kiipi paigutamisele. Protsessor ja mälu on paremini kättesaadavad ning kettaseadmete kaablid on lähemad tänu pistikupesade paremale paigutusele emaplaadil, mis omakorda vähendab segava elektromagnetkiirguse (müra) teket.



**ATX toiteplokk** võimaldab toidet sisse ja välja lülitada emaplaadilt saadud signaali abil. Seega saab nüüd ka lauarvuti toidet lülitada samuti nagu kaasaskantava arvuti toidet. Uuel toiteplokil on ka täiendav toitepinge 3,3V protsessori ja PCI liidese jaoks. Toiteplokil on lisaventilaator, mis puhub õhku otse protsessorile ja mälumoodulitele, mis võimaldab kasutada protsessoritel ilma ventilaatorita jahutussüsteemi ja vähendada sellega müra.

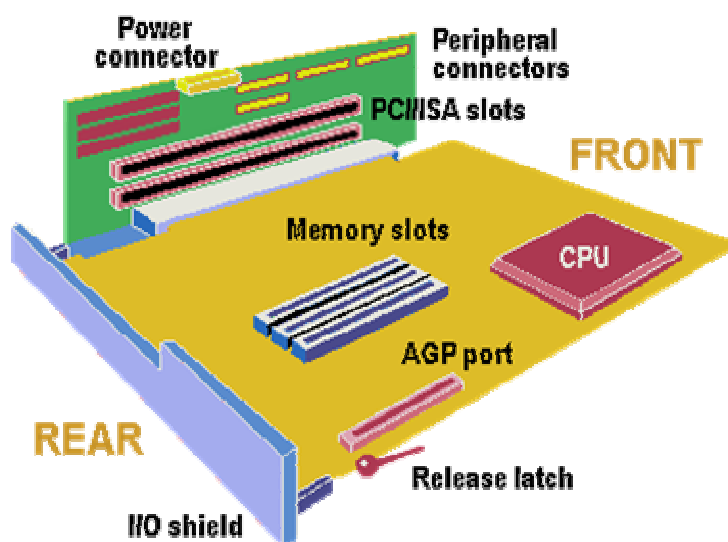
**Mini ATX** on tavalise ATX väiksem versioon. Mõlema versiooni korral välisühenduse pistikupesad (spetsiaalsed PS/2 pesad klaviatuurile ja hiirele, COM ja LPT pesad ning USB pesad) paigutatud kahte ritta üksteise peale emaplaadi tagaküljele. Selline paigutusviis võimaldab mitte kasutada tülikaid kaableid

arvuti sees. Samas tuleb nüüd muidugi kasutada uute mõõtmetega korpust, mille sisse tuleb lõigata augud ühenduspesadele.

### 3.4.3.2. NLX emaplaat

Lisaks tavalisele tornkorpusele valmistatakse arvuteid ka õhukestes lauapealsetes korpustes, mille jaoks mõeldakse välja erinevaid emaplaadi lahendusi. Üheks selliseks on Intel'i

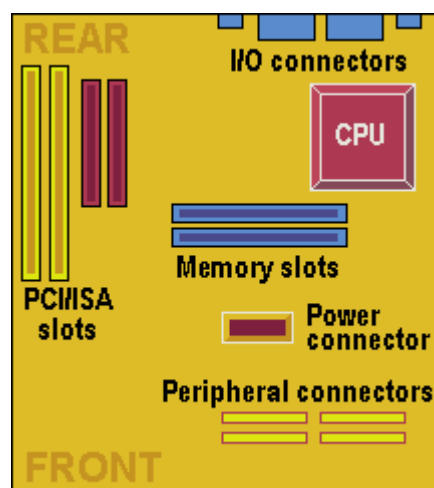
NLX emaplaat, mis võeti kasutusele 1997 aastal. Selle mõõdud on 8,8\*13 tolli. Siin on kasutatud erilist emaplaadi küljele ühendatud tõstekaarti, mille küljes omakorda



asuvad pesad PCI/ISA kaartide, kettaseadmete kaablite ja toitekaabli ühendamiseks. Emaplaadile jäävad protsessor, kiibistik, mälupesad ja AGP pordi pesa. Viimast ei saa tõstekaardile paigutada, sest siis lähevad juhtmed liiga pikaks ja tekivad kõrgsageduslikud mürad.

### 3.4.3.3. MicroATX emaplaat

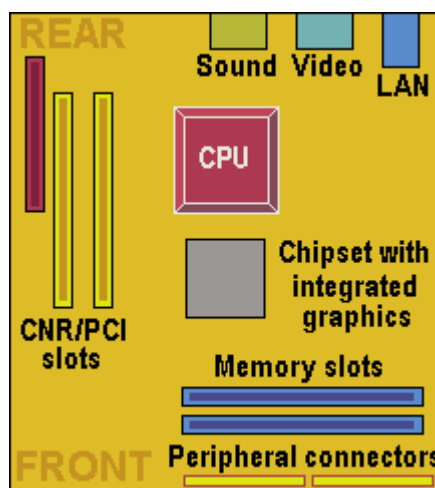
MicroATX on emaplaat, mis võeti kasutusele 1990-ndate lõpus. See on ATX-i vähendatud variant, mida kasutatakse odavamates arvutites, mis ei vaja suurt arvu laienduspesi. Selle plaadi maksimaalmõõtmed on 9,6\*9,6 tolli ja ta peab mahtuma kas tavalisse ATX korpusesse või uude mikrotornkorpusesse. Välisseadmete ühendused on kahes reas nagu ATX-il, kuid laiend-



dupesade arv on piiratud neljaga (**ATX**-il on 7 pesa). **MikroATX** võimaldab kasutada ka vähendatud mõõtmetega ja väiksema võimsusega **SFX** toiteplokki.

### 3.4.3.4. FlexATX emaplaat

FlexATX võeti kasutusele 1999 aasta lõpus. See oli Micro-ATX-i järglane, mis lubas disaineriitele erinevaid lahendusi ja mille põhierinevuseks oli mõõtmete vähendamine 9\*7,5 tollini. Selline vähendamine ei tulnud kõne alla **Slot 1** pesaga protsessorite korral, oli aga võimalik **Socket** tüüpi pesade korral. Uus emaplaat sobis ka eelnevate (**ATX** ja **MicroATX**) korpustesse, sest plaadi kinnituskohad jäid samaks.



**Intel**'iga võistlev firma **VIA Technologies** oskas aga 2000 aasta kevadel ehitada veelgi väiksema emaplaadi **ITX** mõõtmetega 8,5\*7,5 tolli, mis oli ette nähtud õhukesse lauapealsesse korpusesse paigutamiseks. Eriti väiksed mõõtmed (174\*73\*55 mm) olid ka toiteplokil, kus kasutati sisseehitatud ventilaatorit. Võrdluseks on **ATX** toiteploki mõõtmed 140\*150\*86 mm.

Järgnevas tabelis on 3 viimatimainitud emaplaadi mõõtmed:

Nimetus	Maks. laius (mm)	Maks. sügavus (mm)
microATX	244	244
FlexATX	229	191
ITX	215	191

Kui emaplaadil **FlexATX** kasutati tõstekaarti **CNR**, siis konkureerival plaadil **ITX** kasutati tõstekaarti **ACR**. Tõstekaartidest tuleb juttu järgmises paragrahvis.

### 3.4.4. Erinevad tõstekaardid

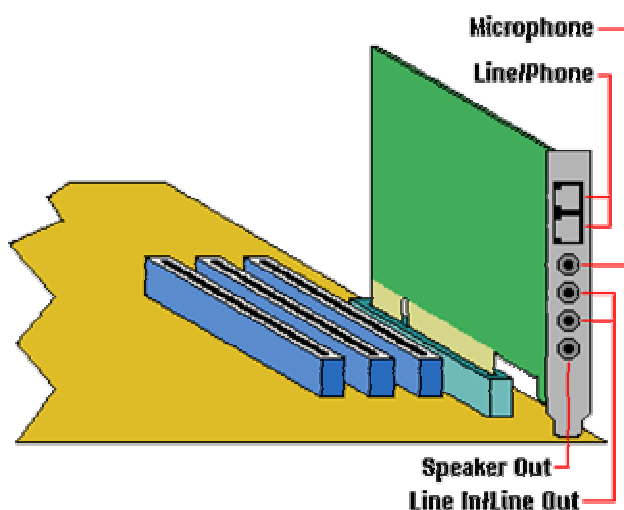
Tõstekaardid tulid kasutusele 1990-ndate lõpus, sest nad võimaldasid muuta süsteemi paindlikumaks ja vähendada tootmiskulusid.

Esimeseks tõstekaardiks oli **AMR** (*Audio/Modem Riser*), mis võeti kasutusele 1998 aastal. See kaart täitis nii audio kui ka modemi ülesandeid. Tema puudusteks olid ühendamise **PCI** pesa ja **PnP** toetuse puudumine. Järgnevad tõstekaardid ühendasid endas rohkem kui 2 funktsiooni, näiteks lisaks veel võrgukaardi funktsiooni. Tõstekaardid võimaldasid firmadel luua ühe emaplaadi, mis suutis rahuldada erinevate klientide vajadused.

**Intel**'i **CNR** (*Communication and Networking Riser*) standard defineeris tõstekaardi ja selle liidese (ühenduspesa). Standard võimaldab sooritada modemi, helikaardi ja võrgukaardi funktsioone, kusjuures vastavad kiibid on integreeritud tõstekaardile. Standardi mõte oli vähendada selliste operatsioonide teostamise maksumust,

mida laialdaselt kasutatakse "Ühendatud arvutis". Tarbijad nõuavad järjest uusi operatsioone ja see läheb neile järjest kallimaks maksma. Lahenduseks on kõrgetasemeline integratsioon arvutis kõigil tasanditel. Emaplaadi integreerimine kommunikatsioonitehnoloogiatega on muutunud probleemiks. Sellel on mitu põhjust, näiteks raadiosageduste regulatsiooninormid, rahvusvaheline kaugside standardiseerimine, emaplaadi suurus jne.

**CNR** eraldab müratundlikud süsteemid emaplaadi üldisest mürarikkast keskkonnast, paigutades need tõstekaardile.





CNR toetab viit liidest:

- AC97 liides – toetab audio ja video funktsioone CNR kaardil,
- LAN Connect Interface (LCI) – toetab 10/100 LAN või Home Phonenumber Networking võimalusi, mis on realiseeritud Inteli kiibistikul,
- Media Independent Interface (MII) – toetab 10/100 LAN või Home Phonenumber Networking võimalusi, mis kasutavad MII liidest,
- Universal Serial Bus – toetab uusi või loodavaid tehnoloogiaid, selliseid nagu xDSL või raadioside,
- System Management Bus – muudab CNR kaardi ühilduvaks **Plug and Play** süsteemiga.

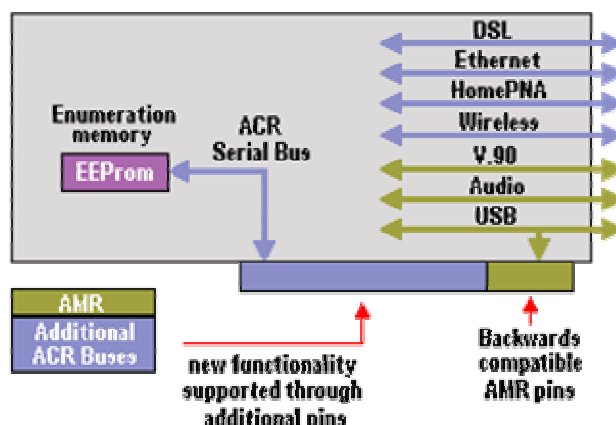
Iga CNR kaart kasutab korraga maksimaalselt nelja liidest (2-st võimalikust võrguliidestest valitakse üks).

Võistlevat ACR standardit toetavad firmad **3COM**, **AMD**, **VIA Technologies** ja **Lucent Technologies**. Samuti nagu CNR,

määrab ACR kaardi kuju ja liidestid mitmele audio ja kommunikatsioonisüsteemile lauarvutites. ACR kujutab endast AMR-i edasiarendust, kusjuures AMR-i funktsioonid töötavad ka ACR-il. ACR toetab

modemit, audiot, võrku ja xDSL-i. Reserveeritud on ka kontaktid tulevasele raadiosidele. Lisaks juba mainitud funktsioonidele võimaldab ACR lairibaühendust, võrgus töötavaid välisseadmete ja audiosüsteemide lahendusi. Viimased on ACR-is teostatud avatud standardidena.

Samuti nagu AMR, kasutab ACR emaplaadil olevat PCI pesa, kusjuures ACR-ile reserveeritud pesa ei saa enam PCI kaardi poolt kasutada. Suurtel emaplaatidel nagu ATX ei ole kasutatavate PCI pesade arvu vähenemine ühe võrra probleemiks, küll aga tekib probleeme väikestel emaplaatidel nagu **microATX** või **FlexAtx**.



CNR tõstekaart, mis paigutatakse samuti PCI pesa, kasutab jaotatud kaardi põhimõtet. See tähendab, et CNR-i poolt reserveeritud pesas töötab endiselt ka PCI kaart.

ACR ja CNR kaartide erinevused on järgmised:

- ACR pesas töötab ka AMR kaart, CNR pesas AMR ei tööta,
- ACR võimaldab xDSL toetust IBP (*Integrated Packet Bus*) tehnoloogia abil, CNR kasutab xDSL toetamisel USB tehnoloogiat,
- ACR võimaldab üheaegset LCI ja MII liideste kasutamist võrguühenduse loomisel, CNR toetab samu liideseid, kuid mitte üheaegselt,
- ACR standardis on juba reserveeritud kontaktid tulevasele raadioside liidestele, ka CNR-is on vabu kontakte, kuid nad pole reserveeritud raadiosidele.

Seega peavad emaplaatide valmistajad otsustama, kas ACR poolt pakutavad lisavõimalused on väärt tema kõrgemat hinda.

### 3.4.5. Protsessori ühendamise emaplaadile

Personaalarvutite edukuse üheks peamiseks põhjuseks on olnud mitmesuguste liideste (interfeiside) paljusus, mis on võimaldanud nendega ühendada palju erinevaid lisakomponente ja välisseadmeid. Liideste kasutamisel on omakorda võtmeküsimuseks standardiseerimine, mis viib edasi võistlust firmade vahel ja sellega kiirendab tehnika arengut.

Eelnev jutt kehtib täiel määral ka arvutisüsteemi põhiosa mikroprotsessori kohta. Intel'i poliitika 1990-ndate algul oli toota niinimetatud *OverDrive* protsessoreid. See tähendas, et protsessorit emaplaadiga ühendavad liidesed olid standardiseeritud ja võimaldasid vananenud protsessori kõrvale lisada uue ja kiirema. Järelikult anti sellega võimalus teistele firmadele kujundada ja arendada protsessoreid, mis töötavad samas süsteemis.

Protsessor ise on räniplaadike, mille pinnale on söövitatud elektriskeemid. Kiip on ühendatud kontaktidega ja paigutatud keraamilisse või plastikpakendisse, kusjuures ühendusjuhtmed

võivad asuda kas kiibi all või ühel küljel. Pakend on ühendatud emaplaadiga protsessori liidese abil, mis võib olla kas piklik (*Slot*) või laiem ristkülikukujuline (*Socket*).

Algul kasutati ainult *Socket* tüüpi, seejärel läksid nii **Intel** kui ka **AMD** üle *Slot*-tüüpi pesadele. Piklik pesa oli kasutusel lühikest aega (1997-2000). Alates aastast 2001 on kasutusel jälle ainult *Socket* tüüpi pesad.

Vanad **386**, **486** ja esimesed **Pentiumid** olid lapikus ruudukujulises pakendis, kus kontaktid asusid pakendi all – seda nimetati **PGA** (*Pin Grid Array*) ja mis ühendati emaplaadiga *Socket* tüüpi pesa abil. Enamlevinud pesaks oli **Socket 7**, mis toetas süsteemiini 66 MHz ja millega olid varustatud **Pentiumid** taktsagedusega alates 75 MHz.

**Socket 8** töötati välja Inteli poolt 1995 aastal spetsiaalselt **Pentium Pro** jaoks. Sellel protsessoril oli kahe õõnsusega ristkülikukujuline pakend. Eriline kuju oli tingitud sellest, et ühte pakendisse oli paigutatud lisaks protsessori tuumale ka kaks L2 cache mälu sisaldavat räniplaati, mis olid omavahel ühendatud väikese trükiplaadi abil. Sellise keerulise seadme tootmine oli eriti kallis, mistõttu see ka kiiresti lõpetati.

**Pentium II** jaoks kasutas **Intel** uut **SECC** pakendit. Nimetus tuleb sellest, et ühendusjuhtmed on asetatud pakendi ühele küljele. Pakend sisaldab mitut räniplaati, mis on ühendatud trükiplaadi abil. Üks nendest on protsessor ja ülejäänud **L2 cache** räniplaadid. Uus paigutusviis on palju odavam eelmisest, kuid nõuab uut tüüpi piklikku **Slot 1** pesa. **Pentium II L2 cache** töötas protsessorist 2 korda madalama taktsagedusega.

**Pentium III Coppermine** korral paigutas **Intel** uuesti **L2 cache** mälu protsessoriga ühele plaadile, kuid esialgu kasutati edasi **Slot 1** pesa, sest teistsuguse pesaga emaplaate polnud saada.

Erinevalt lauaarvutis töötavast **Pentium II**-st töötas serverite protsessori **Pentium II Xeon**'i **L2 cache** protsessoriga samal sagedusel, mille tõttu oli vaja kasutada suuremat jahutussüsteemi ja ka suuremat pakendit. Mitmeprotsessorilist süsteemi toetav **Pentium II Xeon** vajab pesas suuremat arvu kontakte kui **Pentium II**, mistõttu loodigi uus ühenduspesa **Slot 2**.

Pärast seda kui **Intel** 1998 aastal lõpetas **Pentium MMX**-ide tootmise, jäi **Socket 7** **Inteli** konkurentide **AMD** ja **Cyrix**'i käsutusse. Nende firmade plaan pikendada mainitud pesa eluaega õnnestus hästi tänu heale koostööle emaplaadi- ja kiibistikufirmadega. Heaks näiteks selle kohta on **AMD** protsessor **K6-2**, mis tuli välja 1998 aasta mais. **AMD** nimetas seda **Super7** initsiatiiviks ning see oli edukas ka 1999 ja 2000 aastatel. **AMD** ja tema partnerid hoidsid **Socket 7** tasemel tänu 100 MHz ja 95 MHz süsteemisiinide, **AGP** pordi ning teiste uute funktsioonide, nagu 100 MHz **SDRAM**-i, **USB**, **Ultra DMA** ja **ACPI** lisamisele.

1999 aastal alustas **AMD Athlon** protsessorite tootmist. **Athlon** kasutas **Slot A** tüüpi liidest, mis oli kontaktide paigutuse poolest identne **Slot 1**-ga, kuid kasutas teist ühendusprotokollit, mida nimetati **EV6** ning mis võimaldas ühendada protsessori mäluga 200 MHz siini abil. Minnes üle **Slot** tüüpi pesale, pani **AMD** põhirõhu protsessori pingeregulaatorile **VRM** (*Voltage Regulator Module*). **Slot A** protsessorite pingeregulaator võimaldas pingeid vahemikus 1,3 V kuni 2,06 V.

1999 aasta algul asendas **Intel Slot** tüüpi pesad **Socket 370** pesadega **Celeron** protsessoritele, kus **L2 cache** ja protsessor asusid ühel räniplaadil ruudukujulises pakendis **PPGA 370**. See muudatus tähistas **Inteli** strateegia muudatust, mis seisnes üldises üleminekus **Socket** pesadele. **Socket 370** pidas kaua vastu. Seda pesa kasutasid ka teised firmad oma protsessorite ühendamiseks, nagu näiteks **Cyrix MIII** (**VIA C3**).

Kiire üleminek uutele pesadele tekitas vajaduse kasutada adaptoreid **PPGA** pakendis protsessorite ühendamiseks **Slot 1** emaplaatidega. Esimeseks selliseks adapteriks oli firma **Abit** adapter **SlotKET**. Neid adaptoreid valmistati erinevate firmade poolt.

Veidi hiljem läks **Intel** üle uuematele **FC-PGA** ja **FC-PGA2** pakenditele, mis kasutasid samuti **Socket 370** liidest. Need pakendid olid ette nähtud vastavalt **Pentium III Coppermine** ja **Tualatin** protsessoritele. **FC-PGA2** uuenduseks võrreldes **FC-PGA**-ga oli parem jahutussüsteem *Integral Heat Spreader*. Kuigi nii **FC-PGA** kui ka **FC-PGA2** on mehaaniliselt ühilduvad

**Socket 370**-ga, ei ole nad seda elektriliselt ja nõuavad seetõttu erinevaid emaplaate. Täpsemalt nõuab **FC-PGA** standardile **VRM 8.4** vastavat emaplaati, **FC-PGA2** aga **VRM 8.8** vastavat emaplaati.

Ka **AMD** vahetab oma **Slot A** välja **Socket A** vastu. Uued **Athlon** ja **Duron** protsessorid kasutavad juba **PPGA** pakendit. koos **Socket A** liidesega, millel on kokku 462 kontakti, millest 453 on kasutusel protsessori juhtimiseks. **Socket A** toetab nii 200 MHz **EV6** siini kui ka 266 MHz **EV6** siini.

Esimene **Pentium 4**, mis tuli välja 2000 aasta lõpus, kasutas juba uut **Socket 423** tüüpi pesa. **Pentium 4 PGA** – tüüpi pakend nõuab pingeregulaatorit, mis võimaldab pingeid 1,0 kuni 1.85 V.

**Socket 423** oli kasutusel kõigest mõned kuud, kui **Intel** teatas uue **Socket 478** kasutuselevõttust. Lisaks suuremale kontaktide arvule olid kontaktid ka tihedamalt kokku pakitud. Uut pakendit nimetati *micro Pin Grid Array* (**µPGA**) ja see võimaldas vähendada nii protsessori enda kui ka selle alla jääva pinna suurust. **Socket 478** oli ette nähtud 0,13 mikronilise tehnoloogiaga **Pentium 4 Northwood** mikroprotsessorile, mis ilmus turule 2002 aasta algul.

Järgnev tabel sisaldab põhilisi protsessorite liideseid alates 1990-ndate algusest:

Nimetus	Kontaktide arv	Kirjeldus
Socket 1	169	Loodud <b>486</b> emaplaatidele, toitepingega 5 volti ja toetab <b>486</b> kiipe, lisaks <b>DX2</b> , <b>DX4</b> .
Socket 2	238	Väike uuendus eelmisele, toetab kõiki mainitud kiipe. Täiendavalt toetab <b>Pentiumi</b> .
Socket 3	237	Töötab 5 voldiga, kuid võimaldab ka toitepinget 3,3 volti, mida saab ümber lülitada emaplaadilt. Toetab kõiki <b>Socket 2</b> kiipe ja täiendavalt <b>5x86</b> . Peetakse viimaseks <b>486</b> pesaks.
Socket 4	273	Esimene Pentiumi pesa. Töötab 5 voldiga, toetab ainult esimest Pentium-60/66. Alates <b>Pentium-75</b> , kasutab Intel 3,3 voldist toitepinget.

Socket 5	320	Töötab 3,3 voldiga ja toetab Pentium-eid alates 75 MHz kuni 133 MHz. Ei sobi uuematele kiipidele, mis nõuavad lisa-kontakte.
Socket 6	235	<b>Socket 3</b> uuendatud variant, mis on ette nähtud <b>486</b> protsessoritele mis töötavad 3,3 voldiga. Vähekasutatav, sest võeti kasutusele ajal, kui enamus 486-test on asendatud <b>Pentium</b> -iga.
Socket 7	321	Ette nähtud <b>Pentium MMX</b> -le, pakub erinevaid toitepingeid tuumale ja sisendile-väljundile nii sellele kui ka järgnevatele kiipidele. Kasutatav kõigi <b>Pentiumi</b> analoogide poolt, mis töötavad 66 MHz siiniga.
Socket 8	387	Kasutas ainult <b>Intel Pentium Pro</b> , tema tootmine oli eriti kallis ja lõpetati kohe pärast asendajate ilmumist.
Slot 1	242	Pakendis asuv trükiplaat sisaldab kuni 512 KB <b>L2 cache</b> , mis koosneb 2-st 256 KB kiibist, mis töötavad protsessori sagedusest 2 korda madalamal sagedusel. Kasutatakse <b>Intel Pentium II, Pentium III</b> ja <b>Celeron</b> protsessorites.
Slot 2	330	Sarnaneb <b>Slot 1</b> -le, kuid võib sisaldada kuni 2 MB <b>L2 cache</b> -i, mis töötab protsessori sagedusel. Kasutatakse <b>Pentium II/III Xeon</b> protsessorites.
Slot A	242	<b>AMD</b> liides, mis on mehaaniliselt ühilduv <b>Slot 1</b> -ga, kuid kasutab täiesti erinevat elektrilist liidest. Kasutusele võetud originaalse <b>Athlon</b> protsessori jaoks.
Socket 370	370	Alates 1999 asendab <b>Slot 1</b> liidest <b>Celeron</b> protsessoritel. Kasutatakse ka <b>Pentium III Coppermine</b> ja <b>Tualatin</b> protsessoritel vastavalt <b>FC-PGA</b> ja <b>FC-PGA2</b> pakendites.
Socket A	462	<b>AMD</b> liides, mis võeti kasutusele Athlon-i <b>Thunderbird</b> protsessorites, mis sisaldavad kiibil asuvat <b>L2 cache</b> . Kasutatav ka järgnevates <b>AMD</b> protsessorites.

Socket 423	423	Kasutusele võetud lisakontaktid <b>Pentium 4</b> täiesti uue <b>FSB</b> toetuseks. Sisaldab <i>Integral Heat Spreader</i> -it, mis kaitseb kiipi ja juhib suurema radiaatori abil paremini eemale soojust.
Socket 603	603	Kasutatakse <b>Pentium 4 Xeon</b> protsessorites. Lisakontaktid varustavad paremini elektriga tulevase protsessoreid, mis sisaldavad suuri protsessoriga samal räniplaadil asuvaid <b>L3 cache</b> -e ja protsessoritevaheliste ühendussignaali jaoks.
Socket 478	478	Kasutusele võetud 0,13-mikronilise <b>Pentium 4 Northwood</b> protsessori jaoks 2002 aasta algul. Tema <i>micro Pin Grid Array</i> ( <b>µPGA</b> ) liides võimaldab vähendada nii protsessori enda kui ka selle alla jääva emaplaadi pinna suurust.

### 3.5. Vahetatavad kettaseadmed

Kui minna tagasi 1980-ndate aastate keskpaika, siis sel ajal kasutati personaalarvutitel kõvaketast mahuga 20 MB ja disketi-seadet mahuga 1,2 MB. Viimane oli küllalt mahukas selleks, et salvestada diskettidele kogu kõvaketta sisu: see mahtus ära 17-le disketile.

1999 aasta algul oli normaalseks personaalarvuti kõvaketta-mahuks 3-4 GB, seega maht oli 15 aasta jooksul suurenenud umbes 200 korda, samal ajal kui disketi maht suurenes ainult 20% (1,2 megabaidilt 1,44 megabaidini). Seega ei sobinud disketiseade enam koopiade tegemiseks kõvakettalt.

Siiski ei olnud disketiseadme väike mahutavus võrreldes kõvakettaga algul probleemiks enamusele arvutikasutajatest, sest tavakasutaja andmefailid (paljas tekst ja tabelid) olid tol ajal nii väikesed, et mahtusid hästi ära disketile. Nende kasutajate jaoks, kelle failid disketile ära ei mahtunud (näiteks graafika-failid kirjastustes), olid juba 1980-ndate lõpus olemas vaheta-tavad kõvakettad mahuga 44 ja 88 MB.

Ajad muutusid ning 1990-ndate keskel tekkis juba paljudel arvutikasutajatel vajadus suuremahulise vahetatava mälu järele. Ka rakendusprogramme, mida varem müüdi diskettidel, võib alates sellest ajast osta ainult **CD-ROM**-idel. Tänu **Windows**'ile ja **multimeedia** mõjule kasvasid failide mahud väga kiiresti. Isegi tavaline **Word**'i fail, mis sisaldab pilte, ei mahu enam disketile.

Sellest kõigest tuleb järeldada, et personaalarvutile on vaja disketti asendavat vahetatavat mäluseadet, millel olevat infot oleks võimalik ka lihtsalt üle kirjutada.

Vahetatavat mälu on vaja mitmeks otstarbeks:

- 1) failitranspordiks ühest arvutist teise,
- 2) varukoopiade tegemiseks andmefailidest,
- 3) kõvaketta asendamiseks eriti suure andmemahu korral.

Kõigile on arusaadav, et suure andmemahu korral on lihtsam kasutada vahetavaid kettaid kui lisada arvutile täiendav kõva-ketas.



### 3.5.1. Disketiseadme ajaloost

Disketiseade leiutati 1967 aastal firma IBM laboratooriumis ja võeti kasutusele 1971 aastal System 370 suurtes arvutites protsessorite ja juhtseadmete mikroprogrammide salvestamiseks ja laadimiseks. Võrreldes oma eelkäijate magnetrihma ja lindi-kassetiga oli diskett palju odavam ja töökindlam.

Selle plastmassist raudoksiidiga kaetud ketta läbimõõt oli 8 tolli (umbes 20 cm), ta kaalus umbes 2 untsi (57 g) ja mahutas 80 KB infot. Esimene diskett oli ette nähtud ainult lugemiseks. Kettaseadme kriitiliseks osaks oli põimimata kangast kaitsekiht, mis puhastas ketta pinda selle pöörlemise ajal.

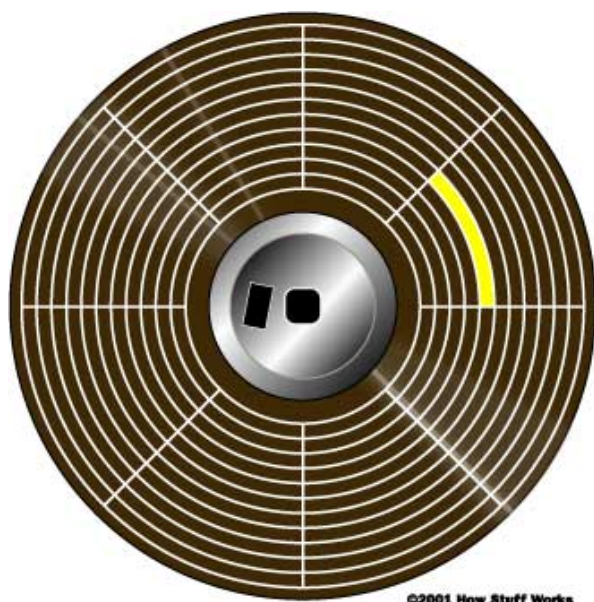
1973 aastal töötas IBM andmete sisestusseadme 3740 jaoks välja disketiseadme uue versiooni, mis kasutas täiesti erinevat salvestamise formaati. Uus seade oli mahuga 256 KB ning võimaldas ka andmeid salvestada.

Üheaegselt personaalarvutite ajastu algusega 1976 aastal võeti kasutusele disketiseade läbimõõduga 5,25 tolli. Esimese 5,25" seadme maht oli 160 KB, mis muutus kiiresti 180 kilobaidiks. Seoses kahepoolsete diskettide kasutuselevõtuga kasvas disketiseadme maht 360 KB-ni. 1984 aastal saavutas 5,25" disketiseade oma maksimaalse mahu 1,2 MB.

1981 aastal töötas firma Sony välja 3,5" 720 KB mahuga disketiseadme, mille firmad Apricot ja HP võtsid 1984 aastal kasutusele oma personaalarvutites. Aastaks 1987 kahekordistus disketiseadme maht 1,44 MB-ni. Kuigi 3,5" disketiseadme mahtu kahekordistati veelkord 2,88 MB-ni, ei leidnud see uuendus laialdast toetust ja nii jäigi rohkem kui kümneks aastaks disketi mahuks 1,44 MB. Disketiseadme arengu peatumise põhjusteks olid tootjafirmade vastuseis uuele standardile ja CD-ROM seadme kiire omaksvõtmine tänu sellele, et laserplaadilt oli palju mugavam tarkvara installeerida kui disketilt.

### 3.5.2. Disketiseadme tööpõhimõte

Andmed salvestatakse disketile kontsentriliste ringidena, mida nimetatakse **radadeks**



(*tracks*). **1,44 MB** disketiseadmel on **80 rada (0...79)**. Iga rada jaotatakse omakorda **18-ks sektoriks (1...18)**. Ühte sektorisse saab salvestada **512 baiti** informatsiooni. Kuna kirjutada saab ketta mõlemale poolele, siis saab ühele disketile salvestada maksimaalselt

$$80 * 18 * 512 * 2 = 1474560$$

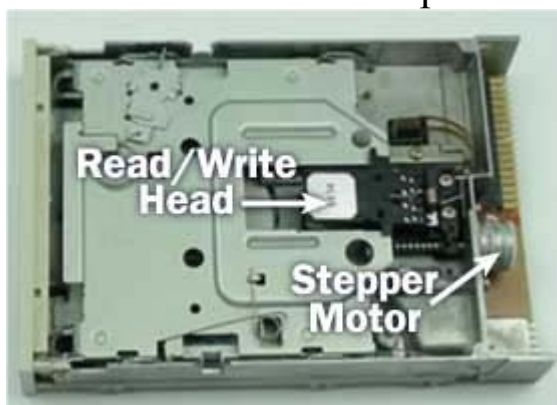
baiti. Teisendame baidid kilo-

baitideks  $1474560 / 1024 = 1440$

Jagades tulemuse 1000-ga, saamegi disketi mahuks 1,44 MB.

Erinevalt lindiseadmest, kus andmete poole pöördumiseks tuleb kerida lint õigesse asendisse (niinimetatud **jadapöördus**, ingl keeles *sequential access*), tuleb disketiseadmel andmete kirjutamiseks või lugemiseks ainult liigutada magnetpeade plokki ketta suhtes. Disketiseadet nimetatakse **otsepöördusega mäluseadmeks** (*direct access storage*).

Disketiseadmete tööpõhimõte erineb kõvakettaseadme



omast. Nimelt ei jälgi disketiseadme **kirjutamis-lugemispea** (*read/write head*) radasid kettal, vaid lihtsalt liigutab pea õigesse asendisse. Seevastu kõvakettaseadmel on ketta-seadmesse sisseehitatud **servomootor**, mis võimaldab **lugemis-kirjutamispeade plokil**

kontrollida oma asendit ja võimaldab niiviisi sadu kordi suuremat kirjutamistihedust kui disketiseade.

Kui paigutada diskett seadmele, siis plekist või plastmassist **kaitse** lükatakse eemale ja magnet lukustab disketi keskel asuva metallplaadi. Kettaseadme **spindel** lükatakse ketta keskel olevasse auku ja seejärel vastav otsik asetub täisnurksesse positioneerimise auku. **Alalisvoolumootor** paneb spindli pöörlema konstantse kiirusega 300 või 360 pööret minutis.

Kirjutamis-lugemispäid liigutab **tigumehhanism**, mille paneb pöörlema **samm-mootor** (*stepper motor*). Tigumehhanismi kruvi pööramine teatud nurga võrra liigutab päid vajalikku asendisse ketta suhtes. Andmete kettale **kirjutamise tihedus** sõltub samm-mootori täpsusest. **1,44 MB** mahuga ketastel on kirjutamise tihedus **135 TPI** (*tracks per inch*) – rada tolli kohta. Kettaseadmel on neli **andurit** elektroonika juhtimiseks: ketta **alalisvoolumootori** andur, **kirjutamiskaitse** andur, **ketta** andur ja **raja 00** andur samm-mootori juhtimiseks.

Magnetpeal on ferriidist **südamik**, mille keskel asub **lugemis-kirjutamispea** ning mõlemal äärel **kustutuspea**, mis puhastab uue andmeraja mõlemad ääred vanade andmeradade mõju kõrvaldamiseks. Andmebittide salvestamiseks muudetakse kirjutuspead läbiva voolu suunda perioodiga 2 kuni 4 mikrosekundit. Lugemispeast saadud signaal läbib elektroonikaskeemi, mis registreerib maksimaalsed voolutugevused ja muudab sisendsignaali vajaliku kujuga väljundsignaaliks, mis saadetakse arvuti siinile.

Aastate jooksul on olnud mitmeid katseid suurendada disketiseadme mahtu. Aastal 1991 üritas **IBM** suurendada disketi mahtu **2,88 MB**-ni, kuid firma poolt pakutud **baarium-ferriitkettaid** ei võetud kasutusele, sest nad osutusid liiga kalliks. 1993 aastal pakkusid firmad **Iomega** ja **3M** disketi asemel niinimetatud **floptokettaid** mahuga **21 MB**, kuid ka need ei saavutanud edu, sest nende maht oli kõrge hinna juures liiga väike.

### 3.5.3. Uued tehnoloogiad

Disketiseadmete asendamiseks töötati välja mitu erinevat vahetatavate optiliste ketaste tehnoloogiat. Erinevalt magnetketas-

test kirjutati ja loeti andmeid laserite abil ja see võimaldas palju suuremat täpsust kui magnetpeade abil kirjutamine-lugemine.

**1980-ndate lõpus** võeti kõigepealt kasutusele **WORM** (*Write Once/Read Many*) – ühekordset kirjutamist ja mitmekordset lugemist võimaldavad kettad, mida kaasajal kutsutakse **CD-ROM** (*Compact Disk Read Only Memory*) ketasteks. Need kettad muutusid kiiresti populaarseks firmades, kus oli vaja pikemat aega säilitada suuremahulisi faile (suuri andmebaase, graafikafaile ja suuremaid programmifaile). **WORM** tehnoloogia tähendas, et väikese võimsusega laseri abil kanti ketta pinnale püsivad füüsilised märgid, mida ei saanud enam kustutada.

Pisut hiljem ilmusid optilised kettaseadmed, mis võimaldasid kettale kirjutatud infot kustutada ja selle asemel uut infot salvestada – neid nimetati **CD-E** (*Erasable*) või **CD-RW** (*Rewritable*) seadmeteks.

Kuigi optilisi tehnoloogiaid pidevalt uuendatakse, jäävad optilised seadmed töökiiruselt alla kõvakettaseadmetele. Siiski on optilistel mäluseadmetel võrreldes magnetseadmetega rida eeliseid. Optilise ketta pind on ebatasane, kettaid on kerge transportida, pole vaja karta ketta rikkumist magnetpeade purunemisel (kokkujooksmisel) ega andmete hävimist ebasoodsate keskkonnatingimuste mõjul.

Eelnevast tuleneb, et kõvaketta- ja optilised seadmed ei võistle omavahel, vaid hoopis täiendavad teineteist – optilised kettad pakuvad **turvalisust**, kõvakettaseadmed aga suuremat **töökiirust**. CD/DVD tehnoloogiate areng ühekordset (*recordable*) ja mitmekordset (*rewritable*) kirjutamist võimaldamise suunas omas tohutut mõju vahetatava mälu arengule ja standarditele.

Siiski on kaasaegne turg küllalt lai selleks et mahutada erinevat tüüpi välismäluseadmeid, millest tähtsamad on:

- magnetkettaseadmed
- magnetoptilised kettaseadmed
- faasimuundamisel põhinevad kettaseadmed

Vahetatavaid kettaseadmeid võib jaotada ka andmemahu järgi:

- disketiseadmete asendajad 100-150 MB

- *super-floppies* 200-300 MB
- kõvaketaste täiendajad 500 MB – 1 GB
- vahetatavad kõvakettad mahuga 1GB ja rohkem

### 3.5.4. Magnetketta tehnoloogia

Seda tehnoloogiat kasutatakse nii disketiseadmete, kõvaketaste kui ka mõningate magnetlindiseadmete juures. Ketta pind on kaetud mikroskoopiliste osakestega, mille magnetilisi omadusi saab muuta tugeva magnetvälja abil. Kettaseade tekitab nendest osakestest piirkonnad, mida nimetatakse **domeenideks**. Iga üksik **domeen**, mis kujutab endast tillukest magnetit põhja- ja lõunapoolusega, võimaldab salvestada ühe biti informatsiooni, mille väärtus 0 või 1 sõltub magneti asendist ruumis.

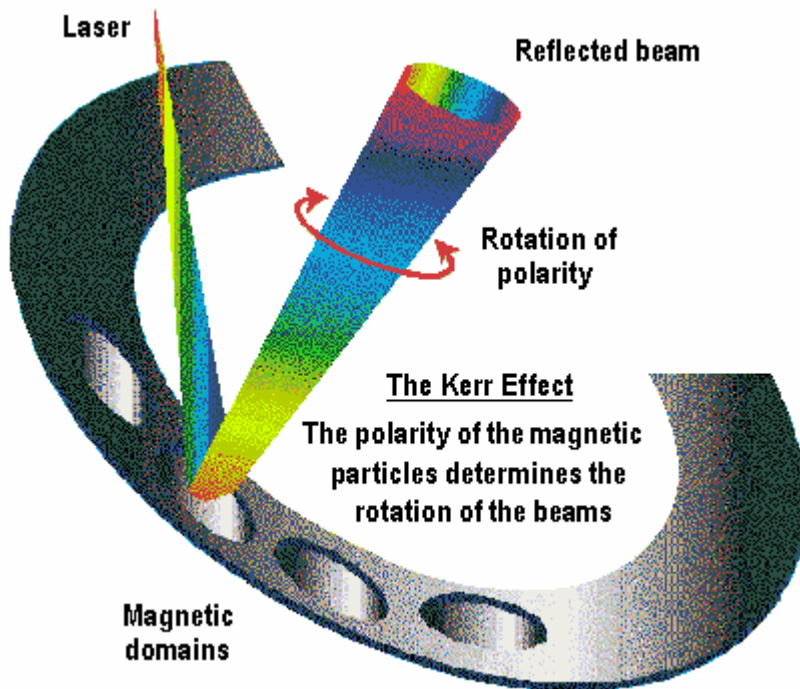
Informatsioon loetakse kettalt või kirjutatakse sellele **magnetpea** abil, mis töötab samuti nagu kassettmagnetofoni pea või nagu grammofoninõel. Kõvaketta pea ujub õhupadjal, mis tekib tänu ketta kiirele pöörlemisele. Diskett pöörleb tunduvalt aeglasemalt ning seetõttu puudutab magnetpea ketta pinda. Mõlemat tüüpi kettaseadmeid kutsutakse **otsepöördusega mäluseadmeteks** (*direct access storage*), sest juurdepääsuks andmetele piisab magnetpea asendi muutmiseks ketta pinna suhtes, mis toimub kiiresti (pea liigutamisega valitakse **rada** ja ketta pöörlemine võimaldab valida **sektori**).

Kõvaketastel, millel kasutatakse magnetkettatehnoloogiat, asub salvestuskiht otse ketta pinnal. Magnetpea ujumine suure kiirusega pöörleva ketta pinna vahetus läheduses on võimalik tänu sellele, et kõvaketta tööpind asub õhukindlalt suletud tolmu- vabas keskkonnas. Siiski on tööpinnale kantud ka väga õhuke mõne nanomeetri paksune kaitsekiht, mis on vajalik juhul kui magnetpea korraks pinda puudutab.

### 3.5.5. Magnetoptiline tehnoloogia

Nagu pealkirjast järeldub, põhineb magnetoptiliste seadmete töö nii magnetilistel kui ka optilistel nähtustel. Täpsemalt kasutatakse siin andmete lugemisel ainult laserit, kirjutamisel aga ka-

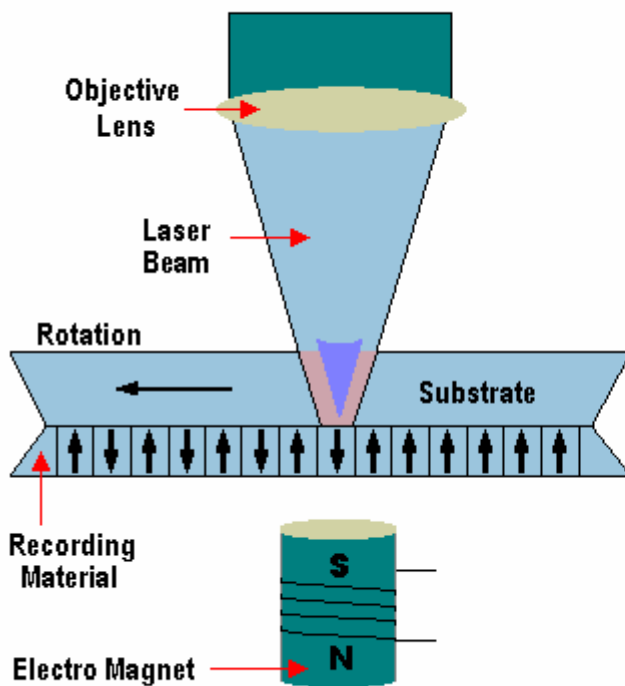
sutatakse nii laserit kui ka täiendavat magnetvälja. Magnetooptiline (MO) kettas



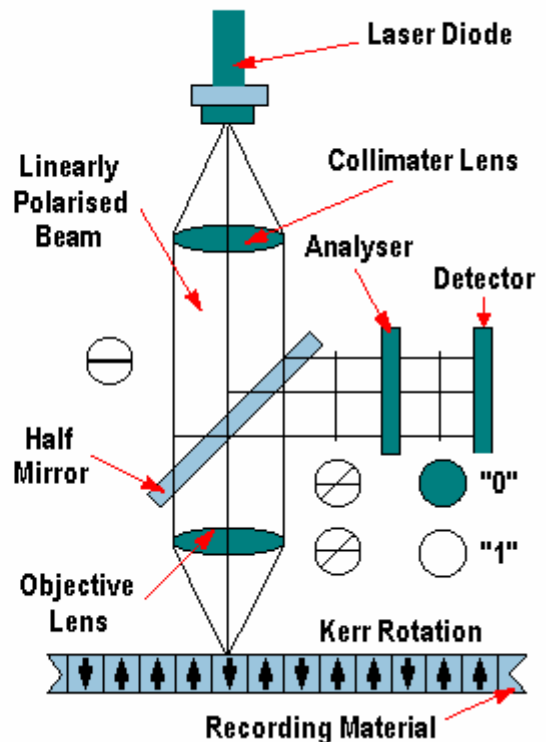
on ehitatud nii viisi, et ühelt poolt mõjub kettale magnetväli ja teiselt poolt laserikiir. Kasutatakse nii 5,25" kui ka 3,5" läbimõõduga MO kettaid. Kettale on kantud eriline oksiidikiht, millel on omadus peegeldada

laserikiirt erineva nurga all sõltuvalt sellest, kuidas ketta pinna osakesed on magnetiseeritud. Seda nähtust nimetatakse **Kerr'i efektiks**. Informatsiooni salvestamisel muudetakse **domeenide** polaarsust täpselt samuti nagu kõvaketl.

### Write cycle



### Read cycle



Erinevalt kõvakettast, kus kirjutamine toimub toatemperatuuril, peab **MO** ketta temperatuuri tõstma kirjutamise ajaks umbes **200 kraadini Celsiuse järgi**. Kuumutamisele ei kuulu mitte terve ketas, vaid ainult vajalik osa sellest. Kuumutamiseks kasutatakse laserikiirt ning kuumutatud **domeenid** muudavad kiiresti oma magnetilisi omadusi **kirjutamispea** poolt tekitatud magnetvälja mõjul. Pärast jahtumist toatemperatuurini säilitavad **domeenid** saavutatud magnetilise orientatsiooni.

Informatsiooni lugemiseks kasutatakse väiksema võimsusega laserit. Lugemine põhineb **Kerr'i efektil**, mis seisneb selles, et ketta pinnalt peegeldunud valguse **polaarsus** sõltub **domeenide** orientatsioonist. Nendes kohtades, kus **laser-magnetpea** mõjutab ketta pinda, on salvestatud “**1**” ja mõjutamata kohtades “**0**”.

**MO** kettad ei ole laialt levinud, sest keeruline salvestamis-lugemisprotseduur nõuab kalleid seadmeid ja ka kalleid kettaid. **MO** kettaid kasutatakse suuremahuliste andmete pikaajaliseks säilitamiseks, sest **MO** kettale salvestatud info säilib vähemalt 30 aastat – see on palju kauem kui teisi magnetkandjaid kasutades.

**MO** tehnoloogia tegi suure sammu edasi 1997 aastal, kui firma **Plasmon** lasi välja seadme **DW260**, mis kasutas erinevalt eelnevatest **LIMDOW** tehnoloogiat.

### 3.5.5.1. LIMDOW tehnoloogia

Valgustugevusega moduleeritud otsese ülekirjutamise tehnoloogia (*Light Intensity Modulated Direct OverWrite*) ehk **LIMDOW** erineb eelnevatest **MO** tehnoloogiatest selle poolest, et siin toimub kirjutamine teisiti. Tänu kiiremale kirjutamisele pakub **LIMDOW** kettaseade kõvakettale paremat konkurentsi.

Samuti nagu eelnevates **MO** seadmetes kuumutatakse ketta pinda ning täiendava välise magnetvälja rakendamisel muutuvad pinna magnetilised omadused, kuid erinevalt eelnevatest seadmetest kasutatakse siin välise magnetpea asemel **kettasse sisseehitatud magneteid**. **LIMDOW** kettal on otse salvestuspinna taga 2 erineva polaarsusega magnetilist kihti. Salvestuskiht on nii “tark”, et ta omandab erinevatel temperatuuridel erineva polaarsuse. Erinevate temperatuuride saavutamiseks kasutatakse

muudetava võimsusega kirjutamislaserit. Suurema võimsusega laserikiirguse toimetel kuumeneb salvestuspind rohkem ja ta omandab põhjapoolusele vastava magnetlaengu, väiksema võimsusega laserikiirgus aga kuumutab salvestuspinda vähem, mille tulemusena ta omandab lõunapoolusele vastava magnetlaengu. Uus tehnoloogia on oluliselt kiirem eelnevast, mistõttu ta hakkab juba võistlema kõvakettaga.

Juba 1997 aastal võeti **LIMDOW MO** kasutusele ka multimeediarakendustes, sest ta võimaldas andmete ülekannet kiirusega 4 MB sekundis ja otsinguaega 15 millisekundit. Lisaks suuremale töökiirusele võimaldas **LIMDOW** suurendada ka kettamahtu, sest nüüd asus magnetpind otse salvestuspinna all.

### 3.5.5.2. MO ketaste ehitus ja maht

**Ketta põhimik** on valmistatud eriti vastupidavast vaigust (see on sama materjal, mida nimetatakse kuulikindlaks klaasiks). Põhimikule on üksteise peale kantud mitu erinevat kihti. **Salvestuskiht** sisaldab erinevate metallide (terbium, raud ja koobalt) oksiide. Salvestuskihti ümbritsevad **dielektrilised kaitsekihid**, mis on ühtlasi ka soojuslikuks isolatsiooniks ja suurendavad **Kerr'i efektil** põhinevat polarisatsiooninurka. Ketas on mõlemalt poolt kaetud ultraviolettkiirguse abil tugevdatud **vaigust kaitsekihiga**. Ketta ülemisel poolel otse vaigust kattekihi all on **peegelkiht**, mille ülesandeks on parandada lugemise efektiivsust. Peegelkiht muudab **MO** ketta pinna vikerkaarevärviliseks. Salvestuskihi peal asuvad kihid on laserikiirguse jaoks läbipaistvad ja ühtlasi kaitsevad seda määrdumise ja oksüdeerumise vastu. Nende kihtide paksus on aga piiravaks teguriks objektiviidele, mis omakorda vähendab **MO** ketaste mahtu ja töökiirust.

**MO** kettad on saadaval erineva mahuga ning hinnaga ühe megabaidi kohta. Erinevalt vahetatavatest kõvaketastest on **MO** kettad standardsed, st et erinevad firmad toodavad ühesuguseid kettaid.

1998 aastal olid müügil **640 MB** mahuga **3,5"** läbimõõduga **MO** kettad ja firma **Fujitsu** planeeris 1999 aastal alustada **1,3 GB** mahuga **3,5"** ketaste tootmist.



Standardised **kahepoolsed 5,25"** läbimõõduga MO kettad mahutavad mõlemale poolele kokku **2,6 GB** informatsiooni. Mainitud **MO** seadmete puuduseks on asjaolu, et ketta teisel poolel asuva info kättesaamiseks tuleb kettas seadmest välja võtta ja ümber pöörata.

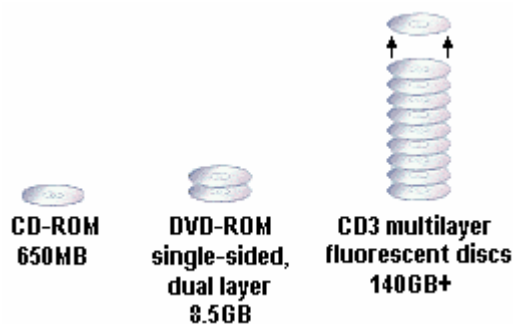
Enamus **MO** ketaste ja seadmete valmistajaid garanteerivad uuemate kettaseadmete ühilduvuse väiksema mahuga vanade **MO** ketaste jaoks. Näiteks saab vanu 128, 230 ja 530 MB mahuga **MO** kettaid kasutada uuematel 640 MB mahuga 3,5" läbimõõduga seadmetel.

**MO** kettad on väga vastupidavad, sest puudub füüsiline kontakt kirjutuspea ja ketta pinna vahel. Kuna kirjutamine ja lugemine toimub optiliselt, siis pole **MO** kettad magnetvälja suhtes tundlikud. Firmad väidavad, et ühele kettale võib kirjutada vähemalt miljon korda ja sealt lugeda vähemalt 10 miljonit korda. Lisaks eelpooltoodule väidavad firmad, et tänu väga tugevale pakendile säilivad **MO** kettalt kirjutatud andmed vähemalt 30 aastat.

### 3.5.5.3. Uued MO tehnoloogiad

Kuigi **MO** ketastel on rida eeliseid, areneb tehnoloogia pidevalt ning suurenevad vahetatavate ketaste mahud. Kui standardne **MO** kettas mahutab 640 MB informatsiooni (see on samapalju nagu **CD-ROM**), siis uus tehnoloogia **OSD** (*Optical Super Density*) võimaldab 40 GB mahuga **MO** kettaid ning seadmeid, mis võimaldavad informatsiooni edastuskiirust 30 MB sekundis – see on võrreldav kõvaketaste mahu ja kiirusega.

Loomisel on veelgi suurema mahuga, niinimetatud **FMD** (*Fluorescent Multi-layer Disc*) kettad (nende maht ulatub sadadesse gigabaitidesse).



## 3.6. Kõvakettaseadmed

**Kõvakettaseade HDD** (*Hard Disk Drive*) on välismäluseade, millele salvestatakse vajalikud programmid ja andmed.

Erinevalt operatiivmälust RAM jääb informatsioon kõvakettale alles ka toitepinge väljalülitamisel. Tavalise arvuti kõvaketta maht on umbes 2 suurusjärku suurem kui operatiivmälu maht (vastavalt 30 GB ja 256 MB), kuid kõvaketas on operatiivmälust tunduvalt aeglasem (andmevahetuskiirused vastavalt 50 MB sekundis ATA/IDE seadmel ja 2700 MB sekundis DDR DRAM mälul). Selline mahtude ja kiiruste võrdlus pole võibolla päris korrektne, kuid mingi pildi ta siiski annab.

### 3.6.1. Kõvakettaseadme ajaloost

Esimese kõvakettaseadme personaalarvutitele valmistas firma *Seagate Technology* 1979 aastal ja selle maht oli 5 MB.

Laiema leviku saavutasid kõvakettad firma IBM arvutitel PC XT 1983 aastal. Esimesel PC XT mudelil oli kõvaketas mahuga 10 MB, IBM personaalarvutite järgmiste mudelite juures kasutati kõvakettaid mahtudega 20 ja 40 MB. Nende arvutite juures kasutati kettaliidest ST506, mis võimaldas andmevahetuskiirust kuni 625 KB sekundis. Kettaseadmete mahud kasvasid suhteliselt aeglaselt: 1980-ndate lõpus oli 100 MB kettaseade suurepärase. Kaasajal ei piisa sellest isegi mitte operatsioonisüsteemi salvestamiseks.

Kõvaketaste mahud on järsult suurenenud 1990-ndate aastate teisel poolel ning tarkvarafirmad on hakanud uskuma, et nende poolt toodetavate programmide maht võib piiramatult kasvada. Tõepoolest, kõvaketta keskmine maht kasvas 100-lt MB-lt 1,2 GB-ni mõne aastaga ja 2000-ndaks aastaks oli tavalisel lauaarvutil 3-st 3,5-tollisest kettast koosneva kettapaketi 18 GB mahuga kõvakettaseade. Selline kiire kasv oli tingitud uutest tehnoloogiatest, mis võimaldasid salvestada pinnaühiku kohta rohkem informatsiooni ning sellega oluliselt vähendada hinda megabaidi kohta.

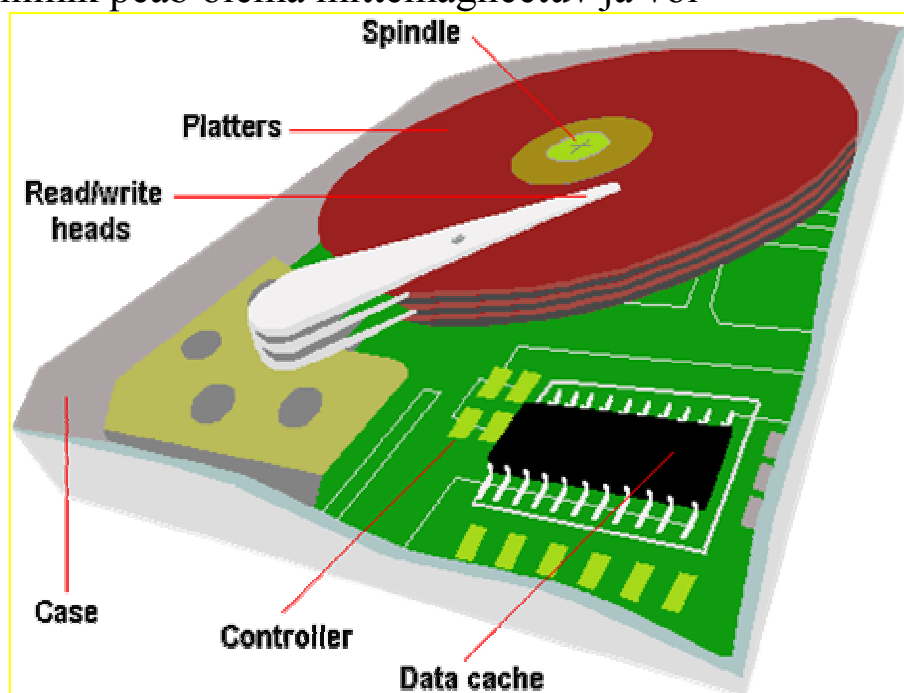
Mitte ainult maht, vaid ka ketaste töökiirus on kasvanud. Töökiirust võimaldas oluliselt tõsta **Inteli Triton** kiibistik, mis kasutas andmevahetusstandardit **EIDE PIO Mode 4** ja mis võimaldas ilma kallihinnalist **SCSI** liidest kasutamata kiirelt salvestada suuremahulisi andmeid.

### 3.6.2. Kõvakettaseadmete ehitus

Kettad on jäigad plaadid, mis koosnevad **põhimikust** ja **magnetkattest**. Põhimik peab olema mittemagneetuv ja võimaldama pinna peent lihvimist. Tavaliselt kasutatakse kas alumiiniumisulamit või klaasi ja keeraamika segu. Magnetkattena kasutati algul metallioksiidi, kaasajal aga üliõhukest metallikihti.

Magnetkattele salvestatakse andmed tihedusega umbes miljard bitti ruuttolli kohta. Plaadi läbimõõt on 5,25" või 3,5". Kaasajal kasutatakse rohkem klaasist põhimikku, sest tal on väiksem soojusjuhtivus ning klaasist saab teha õhemaid plaate kui alumiiniumist. Kettaseadme sisemus peab olema täiesti tolmuvaba. Seesmise reostamise vältimiseks on õhurõhk tasakaalustatud erifiltrite abil ning kettad on hermeetiliselt suletud korpusesse, mida hoitakse osaliselt vaakumis. Suletud kambrit nimetatakse **HDA** (*Head Disk Assembly*). Kettaseade sisaldab 3 või enam ketast, mis on jäigalt kinnitatud kiirelt pöörlevale võllile.

Andmete lugemiseks/kirjutamiseks kasutatakse plaatide vahele metallist vedruhoobade külge kinnitatud **magnetpäid**, mis



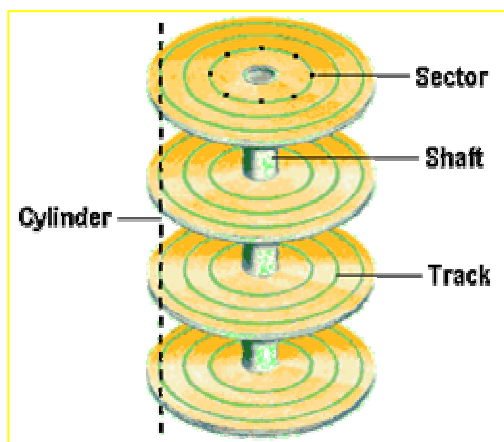
asuvad kõigi plaatide mõlemal küljel. Magnetpead (lugemis/kirjutamispead) on omavahel ühendatud **magnetpeade plokiks**. Magnetpead on vedrude abil surutud vastu kettaid ning millimeetrist väiksem pilu tekib ketta ja pea vahele tänu kiirel pöörlemisel tekkivale õhujoale. Esimestel ketastel oli see vahe 0,2 mm, kaasaegsetel aga 0,07 mm või veelgi väiksem. Ka kõige väiksem osake, mis satub pea ja plaadi vahele, võib põhjustada pea kokkupuute magnetpinnaga ja selle riknemise, mistõttu kettaseade muutub kasutamiskõlbmatuks.

Magnetpeade ploki liigutamiseks kettapaketi suhtes kasutatakse **positsioneerimismehhanismi**. Esimestel kõvaketastel kasutati positsioneerimiseks sammelektrimootorit, kaasajal on see asendatud **lineaarse elektromagnetiga**.

Magnetpead on ehitatud niiviisi, et nad puudutavad plaate kettaseadme väljalülitamisel. Kui lülitada välja elektrimootor, mis paneb kettapaketi pöörlema, siis õhuvahe peade ja ketaste vahel väheneb ja lõpuks kaob täiesti. Piirkonda kettal, kus magnetpea puudutab ketta pinda, nimetatakse **maandumistsooniks LZ (Landing Zone)**. Maandumistsoon on ette nähtud peade parakimiseks ja sinna ei salvestata kunagi andmeid.

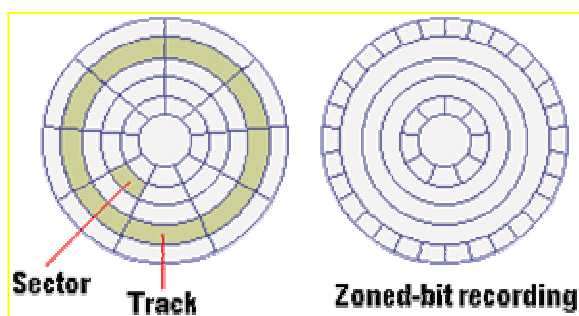
Kõigil kaasaegsetel **IDE** või **SCSI** tüüpi kettaseadmetel on seadme tööd juhtiv elektrooniline **kettakontroller** kettaseadme lahutamatuks osaks.

Enne uue kettaseadme kasutuselevõttu tehakse talle tehases **eelvormindus (low-level format)**. Eelvorminduse abil jagatakse ketta pind **radadeks (tracks)** ja **sektoriteks (sectors)**. Rajad on üksteise sees asuvad ringid, mis paiknevad ümber võlli iga plaa-



di mõlemal küljel. Üksteise kohal asuvate radade ruumilist kogumit nimetatakse **silindriks (cylinder)**. Silindrid omakorda jagatakse sektoriteks, kusjuures igasse sektorisse saab salvestada 512 baiti informatsiooni. Silindrite põhimõte on oluline, sest ühel silindril olev informatsioon on kättesaadav ilma magnetpäid

liigutamata. **Sektor** on väikseim andmehulk, mida saab kirjutada kettale või lugeda kettalt.



Kuna ketta äärel on raja pikkus suurem kui keskel, siis kasutatakse tehnikat, mille puhul rajad ketta ääres sisaldavad rohkem sektoreid kui ketta keskel. Seda tehnikat

nimetatakse *zoned-bit recording*.

### 3.6.3. Kõvakettaseadmete tööpõhimõte

Andmed salvestatakse kõvakettale samal põhimõttel nagu disketile või magnetlindile. Magnetketaste radadele tekitatakse magnetiliselt polariseerunud **domeenid**, kusjuures iga **domeen** kannab endas 1 biti informatsiooni. Domeenide paigutus ei ole täiesti täpne ja seepärast tuleb enne andmete salvestamist luua kettale erilised märgid, mille abil magnetpea paigutatakse vajalikku asendisse. Need märgid salvestatakse kettale vormindamise (formaatimise) ajal.

Kettale salvestatud andmete lugemisel kasutab kettaseade kolme koordinaati: 1) raja numbrit, 2) pea numbrit ja 3) sektori numbrit. Vajaliku raja leidmiseks peab positsioneerimissüsteem liigutama magnetpeade ploki õigesse asendisse, pea valikuks piisab elektroonilisest signaalist. Õige sektori “tabamiseks” peab teadma kiiresti pöörleva kettapaketi asendit magnetpeade ploki suhtes antud ajamomendil. Andmete lugemisel täidab kettaseade talle protsessori poolt antud korraldust.

Esimeste kõvaketaste juhtimine toimus otse arvutiprogrammi (antud juhul BIOS-i) abil, see tähendab et programm andis kettaseadmele vajaliku andmeploki (sektori) tegelikud koordinaadid. Kaasaegne kõvaketas on nii keerulise ehitusega, et BIOS ei suuda seda otse juhtida, mistõttu kettaseadme kontrollid teiseb BIOS-i poolt saadatud koordinaadid tegelikeks koordinaatideks.

Esimesed kettakontrollerid ei olnud küllalt kiired selleks et lugeda järjest füüsiliselt lähedalasuvaid sektoreid, mistõttu

järgmise loogilise sektori lugemine toimus alles pärast seda kui kettapakett oli teinud järjekordse pöörde. Selleks et vähendada niiviisi tekkivat ooteaega, paigutati loogiliselt järgnevad sektorid füüsiliselt üksteisest kaugemale. Seda nimetatakse **sektorite vahelduvpaigutuseks kettal**, mida iseloomustab suhe N:1, kus N (inglise keeles *interleave factor*) näitab, mitmes füüsiline sektor vastab järgmisele loogilisele sektorile. Näiteks N=3 korral jäetakse pärast iga kettalt lugemist 2 füüsilist sektorit vahele ja loetakse kolmas sektor. Kaasaegse kõvaketta kontrolleri kiirus ja sisemise puhvermälu kasutamine muudavad selle iganenud tehnika mittevajalikuks.

Kõvaketta mahu kiire kasv muutis üksiku andmesektori leidmise ja sellele järgneva otsimise võimatuks tänu sellega kaasnevale tohutule infohulgale. Selle asemel et lugeda kettalt ühe sektori kaupa, ühendatakse mitu sektorit grupiks, mida nimetatakse **klastriks** (*cluster*). Sektorite arv klastris sõltub **klastri suurusest**, mis omakorda sõltub **ketta sektsiooni** (*partition*) suurusel. Järgnevas tabelis on toodud variandid, mida toetab **Windows 98** failisüsteem **FAT32**.

Sektsiooni suurus	FAT32 klastri suurus
3 GB – 7 GB	4 KB
8 GB – 16 GB	8 KB
16 GB – 32 GB	16 KB
Suurem kui 32 GB	32 KB

Selleks et lugeda kettal olevaid andmeid, loeb operatsioonisüsteem kettalt operatiivmällu **juurkataloogi** (*root directory*) ja **failide paigutustabeli** **FAT** (*File Allocation Table*), mis mõlemad asuvad kõvaketta sektsiooni (*partition*) alguses. **Juurkataloog** sisaldab failide ja alamkataloogide nimesid ja teisi parameetreid, **failide paigutustabel** aga näitab, milliselt rajalt ja millisest sektorist võib vajaliku faili leida.

**Kettakontrolleri** ülesandeks on juhtida positsioneerimismehhanismi ja muundada magnetpealt saadud analoogsignaali digitaaliks ning edastada see protsessorile.

Kaasaegsel kettaseadmel on **puhvermälu** mahuga 256 KB kuni 8 MB, kuhu kirjutatakse kogu antud sektorit või silindrit sisaldav informatsioon. Tavaliselt asuvad järgnevad loogilised andmekogumid ka kettal järjestikku. Seega võimaldab puhvermälu kiirendada andmevahetust ja vähendada **pöördusaega** (*access time*).

Kõvaketas vajab töötamise ajal täpset informatsiooni peade asukoha kohta kettal. Selle info võib paigutada kettapaketi lisakettale, mida nimetatakse **servoplaadiks** või salvestada tavalisele plaadile vaheldumisi andmetega. Servoplaadi lisamine kettapaketi vähendab **pöördusaega**, kuid muudab selle kallimaks.

Kahjuks võib juhtuda, et servoplaat ja tavalised plaadid paisuvad erinevalt temperatuuri muutumisel. Temperatuurivea vältimiseks tehakse automaatselt kindla ajavahemiku tagant parandusi, mida nimetatakse termokalibreerimiseks (*thermal recalibration*). Kui lugeda niisugusele kettaseadmele salvestatud video- või audiofaili, siis kalibreerimise momendil võib tekkida kujutise värisemine või heli katkemine. Termokalibreerimine pole vajalik juhul kui servoinfo on salvestatud tavalistele plaatidele vaheldumisi andmetega, mistõttu kaasajal kasutatakse peamiselt ilma servoplaadita kettaseadmeid.

Kaasajal kasutatakse kettaseadme ühendamiseks protsessoriga peamiselt **EIDE** või **SCSI** tüüpi liideseid.

### 3.6.4. Kõvakettaseadmete töökiirus

Kõvaketta töötamise kiirus on väga oluline kogu süsteemi töökiiruse seisukohast. Aeglane kõvaketas võib nullida kiire protsessori eelised. Kõvaketta kiirus on määratud paljude erinevate näitajate poolt.

Üheks põhinäitajaks on kettapaketi pöörlemiskiirus, mida mõõdetakse pöörete arvuga minutis (*rpm*). Mida kiiremini pakett pöörleb, seda rohkem andmeid suudavad magnetpead ajaühikus lugeda. Kõvakettad pöörlevad ainult konstantse kiirusega. Mõned aastad tagasi loeti EIDE kõvaketaste pöörlemiskiiruseks 5400 *rpm* ning SCSI kõvaketaste pöörlemiskiiruseks 7200 *rpm*. 1997 aastal õnnestus firmal **Seagate** tõsta **UltraSCSI**

ketaste pöörlemiskiirus 10033 *rpm* ning 1998 aastal **EIDE** ketaste kiirus 7200 *rpm*.

Aastal 1999 õnnestus firmal **Hitachi** tõsta Pegasus II **SCSI** ketaste kiirus kuni 12000 *rpm*, mis võimaldas keskmist pöörumisaega 2,49 ms. Kiiruse suurenemisel tekkiva ülekuumenemise vältimiseks vähendati kettaplaadi läbimõõtu 2,5 tollini tavalise 3 tolli asemel, samuti aitas kuumust eemale juhtida korpuse erilise kuju. Väikestel plaatidel on ka oma miinused: ühele plaadile mahub vähem andmeid, mistõttu tuleb suurendada plaatide arvu, see aga omakorda suurendab paketi paksust ja kaalu.

**Mehaaniline pöördusaeg**, mida mõõdetakse millisekundites, koosneb nii peade liigutamisest kui ka paketi pöörlemisest tingitud viivitustest.

**Rajaotsiaeg** (*seek time*) on aeg, mis kulub lugemis/kirjutamispeal andmeploki füüsilise asukoha leidmiseks kettal.

**Latentsusaeg** (*latency*) on sektori otsimise keskmine aeg, mis kulub sektori pöörlemiseks pea alla pärast pea poolt sooritatud otsingu lõppu. Seda saab lihtsalt arvutada ketta pöörlemiskiiruse järgi, sest ta võrdub ajaga, mille vältel ketas teeb pool pööret ümber oma telje.

Ketta **keskmine pöördusaeg** on ajavahemik, mis kulub süsteemi poolt päringu esitamisest momendini, mil vajalikud andmed on kettalt loetud. **Pöördusaeg** sisaldab **rajaotsiaega**, pöörlemisest tingitud **latentsusaega** ja käsu töötlemise **ballastaega** (lisaagea).

**Ketta edastuskiirus** (*transfer rate*), mida mõnikord kutsutakse ka **andmekandja kiiruseks** (*media rate*), on kiirus, millega andmeid kantakse kettaplaadile või loetakse sellelt. Seda mõõdetakse tavaliselt **megabaitides sekundi kohta (MBps)**. Kaas-aegsetel ketastel on andmekandja kiirus ketta äärel suurem kui keskosas. Seda nimetatakse **tsoneeritud** (*zoned*) salvestustehnikaks.

Andmete salvestustihedust kettale mõõdetakse radade arvuga tolli kohta **TPI** (*Tracks Per Inch*) või bittide arvuga tolli kohta **BPI** (*Bits Per Inch*). **TPI** näitab andmete raadiusesuunalist tihedust ehk teiste sõnadega mitu rada mahub raadiuse peal ühte tol-



li. **BPI** seevastu näitab andmete tihedust ühel rajal, see tähendab bittide arvu raja ühel tollil.

**Peremeesarvutisse ülekanne kiirus** (*host transfer rate*) on kiirus, millega peremeesarvuti kannab andmeid **IDE/EIDE** või **SCSI** siini abil üle kettaseadmelt oma protsessorisse ja vastupidi. Seda nimetatakse ka üldisemalt **andmete ülekandekiiruseks DTR** (*Data Transfer Rate*), kuid seoses selle terminiga võib tekkida segadus. Mõned tarnijad märgivad ära ka **sisemise ülekandekiiruse**, see on kiiruse, millega andmed liiguvad magnetpealt seadme sisse sisse puhvermällu. Teinekord räägitakse ka **maksimaalsest ülekandekiirusest**, see tähendab kiirusest, mida seade võib saavutada ideaalsetes tingimustes lühikese aja vältel.

Tegelikus elus on siiski kõige olulisem **väline ülekandekiirus**, mis on andmete kettaseadmelt arvuti põhimällu ülekanndmise kiirus.

2001 aasta lõpu võimsad kettaseadmed olid järgmiste parameetritega:

- keskmine latentsusaeg alla 3 ms,
- keskmine rajaotsiaeg 4 kuni 7 ms,
- maksimaalne andmete ülekandekiirus 50 MBps **EIDE** liidesega ja 60 MBps **SCSI** liidesega kettaseadmetel.

Siinjuures tuleb mainida, et need ülekandekiirused jäävad alla liideste kiirustele, mis on **Ultra ATA/100** korral 100 MBps ja **Ultra SCSI 160** korral 160 MBps.

### 3.6.5. Kõvakettaseadmed audio-video rakendustes

Audio-video rakendused nõuavad kõvaketastelt teistest rakendustest erinevaid parameetreid. Tavalised rakendused sooritavad palju suhteliselt väikeste andmehulkade päringuid, **AV** rakendused, nagu näiteks digitaalne helisalvestus, video redigeerimine ja vaatamine, **CD**-de kirjutamine jne, sisaldavad järjestikku salvestatud andmete suurte plokkide ülekandeid. Nende põhinõudeks on pidev, katkematu andmevoog, mille analoogväljundis ei tohi olla ühtegi katkestust.

See kõik nõuab erilisi kettaseadmeid, mille tootmist alustas firma **Micropolis** juba 1997 aastal. Siiski, seoses nii **EIDE** kui

ka SCSI liideste arenguga viimastel aastatel on vähenenud vajadused eriliste AV kettaseadmete järele.

Peamised AV kettaseadmete erinevused seisnevad viisis, kuidas nad käsitlevad **termokalibreerimist**. Temperatuuri tõustes kettaplaadid paisuvad. Paisumise kompenseerimiseks kalibreerivad seadmed ennast ise perioodiliselt selleks et lugemis/kirjutamispead jääksid täpselt andmeradade kohale.

Traditsioonilised mitte - AV seadmed sooritasid rangelt perioodilisi kalibreerimistsükkeid, see tähendab et kalibreerimistsükli algus ei sõltunud ketta poolt sooritatavatest operatsioonidest. Operatsioonid, mis langesid tsükliga ajaliselt kokku, katkestati ja neid jätkati alles pärast tsükli lõppu. AV seadmed kasutavad erinevaid meetodeid selleks et mitte katkestada andmevoogu. Üheks meetodiks on kalibreerimise algusaja ümberplaneerimine või edasilükkamine ajaks, mil andmevahetus on lõppenud. Mõnedes seadmetes kasutatakse erilisi suuri mälupuhvreid või puhverdusskeeme, mis on spetsialiseeritud AV-rakendustele.

Aastaks 2000 hakati kõigil ketastel kasutama servotehnoloogiat, mis ei vajanud enam termokalibreerimist. See on tehnoloogia, mille puhul peade positsioneerimiseks vajalik info on salvestatud andmeketastele vaheldumisi andmetega.

### 3.6.6. Kõvakettaseadme mahud

Kõvakettaseadmetele andmete salvestamise pindtihedus on kasvanud keskmiselt 27% aastas, kuid 1990-ndatel oli kasv 60% aastas. Aastaks 2000 saavutati pindtihedus 600 – 700 megabitti ruuttolli kohta.

Traditsiooniline kettaseade põhines magnetilise induktsiooni meetodil. See tähendab, et paigalseisvas magnetpeas tekitati liikuva püsimagneti (magnetketta) poolt elektrivool. Magnetpeana kasutati metallsüdamikku, mille ümber oli mähitud peenike traat.

Vajadus suuremahuliste kettaseadmete järele põhjustas kettaseadmete kiire arengu. Tavaliste magnetpeade asemele tulid erilise tehnoloogia **TFI** (*Thin Film Inductive*) abil valmistatud magnetpead. TFI tehnoloogia võimaldas päid valmistada suurtes

kogustes, kasutades tootmisprotsessi, mis sarnanes pooljuhtide valmistamisele. Kuigi see tehnoloogia töötati välja 1960-ndatel, muutus ta tööstuslikuks standardiks alles 1990-ndate keskel. TFI magnetpea koosneb samuti nagu traditsiooniline magnetisüdamikust, mille ümber on mähitud voolujuhe ja milles tekib vool, kui tema suhtes liigub magnetketas. 1990-ndate keskel jõuti olukorrani, kus polnud enam võimalik suurendada informatsiooni pindtihedust magnetilisel induktsioonil põhinevates kettaseadmetes. Probleem tekkis sellest, et magnetpea tundlikkuse suurendamiseks oli vaja suurendada mähise keerdude arvu, mis omakorda suurendas induktiivsust, liiga suur induktiivsus aga hakkas segama andmete kirjutamist kettale.

Pindtiheduse edasiseks suurendamiseks võeti magnetilise induktsiooni põhimõtte asemel kasutusele anisotroopse magnetresonantsi (AMR) põhimõte. AMR seisneb selles, et raudoksiid muudab oma takistust elektrivälja mõjul.

## 3.7. Kettaseadmete liidesed

### 3.7.1. IDE liides

Üheks vanemaks ja tähtsamaks personaalarvutite riistvara-standardiks on **IDE** (*Integrated Drive Electronics*). **IDE** liidese kaudu toimub andmevahetus kõvaketta ja protsessori vahel.

**IDE** põhimõtte esitasid firmad **Western Digital** ja **Compaq** 1986 aastal selleks et kaotada varasemate liideste **ST506** ja **ESDI** kiirusepiirangud. **IDE** ei ole ametlik standardi nimetus, standardi nimetus on tegelikult **ATA** (*AT Attachment*). Paralleelstandard **ATA** arenes välja originaalsest **IBM Advanced Technology** (**AT**) liideseast ning ta defineerib käskude ja registre komplekti **IDE** liidesele, luues universaalse standardühenduse kettaseadme ja protsessori vahel.

**IDE** põhiliseks erinevuseks oli asjaolu, et kettakontrolleri funktsioonid olid integreeritud kettaseadmesse. Kontrolleri loogika eraldamine liideseast tegi võimalikuks tootjatel parandada seadme tootlikkust ilma liidest muutmata.

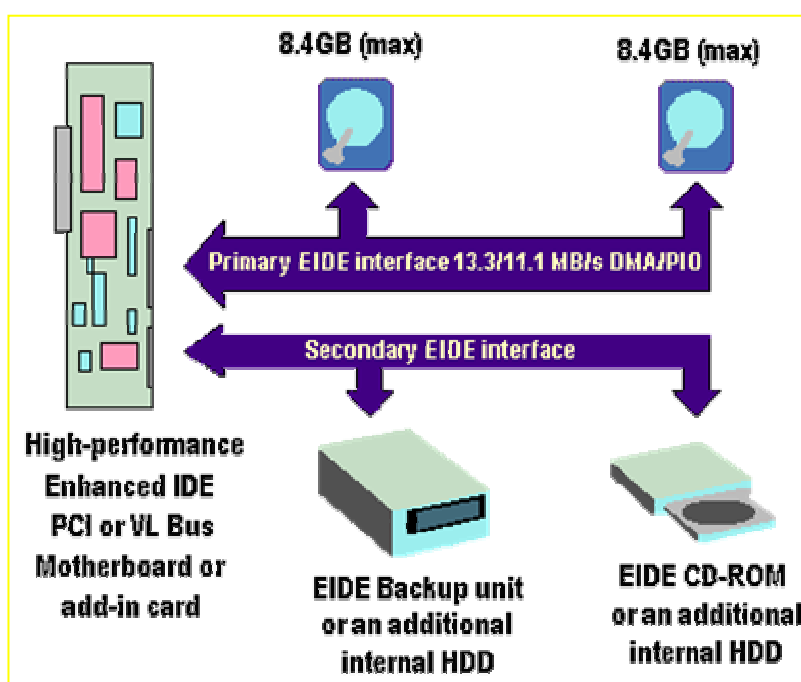
**IDE** kettad on ühendatud otse süsteemisiinile ilma juhtseadmeta. Juhtseadme puudumine võimaldas kokku hoida selle ehitamise kulusid.

**IDE** standardi massiline kasutamine oli tingitud tema kahest põhiomadusest: hinnast ja ühilduvusest. Aastate jooksul on need kaks faktorit olnud põhivoolu arvutite juures tähtsamad kui kõrge tootlikkus, mistõttu **IDE** muutus kiiresti massiliselt kasutatavaks standardiks.

Alates **ATA** standardi kasutuselevõtust on personaalarvutid oluliselt muutunud. **IDE** oli ette nähtud 2 sisemise kõvaketta ühendamiseks, kusjuures nende maht oli piiratud 528 MB-ga ja aastal 1986 tundus see piirang olevat mõttetu, sest nii suurt kettaseadet polnud olemas ja selle järele polnud ka vajadust. Järgnevate 10 aasta jooksul võeti kasutusele kiiremad protsessorid ning uued süsteemisiinid **VLB** ja **PCI** ning kõik see nõudis ka **IDE** liidese uuendamist.

### 3.7.2. EIDE liides

1993 aastal võttis **Western Digital** kasutusele uue **EIDE** (**Enhanced IDE**) liidese, mis kõrvaldas **IDE** piirangud, kuid samas võimaldas ühendada ka vanu seadmeid. Näiteks **EIDE** modifikatsioon **Fast ATA** toetab maksimaalset ülekandekiirust 16,6 MB sekundis ja suuremaid kettamahte. Kuni 1998 aastani oli maksimaalne kettamaht 8,4 GB, pärast seda aga juba 137 GB.



**EIDE** liides võimaldab ühendada kuni 4 seadet. Kumbki kanal toetab 2 seadet, kusjuures üks seadmetest on ülem (*master*) ja teine alluv (*slave*). Esimene kanal on vaikimisi ühendatud siiniga (näiteks **PCI**-ga) ja see kasutab sama mäluaadressi ja pärinunumbrit **IRQ**, mida kasutas **IDE** süsteem. See kindlustab tagasiühilduvuse **IDE** süsteemidega ja väldib konflikte, mis võivad tekkida operatsioonisüsteemi tarkvaras või draiverites, mis otseselt töötavad **IDE** seadmetega. Vana **IDE** süsteemi peab saama seadistada niiviisi, et ta saab hakkama **EIDE** uuendustega (suurem töökiirus ja suurem kettamaht) ning seda tagab täiendav tarkvara.

Kui on vaja lugeda andmeid kettalt või kirjutada neid kettale, siis operatsioonisüsteem teeb kindlaks andmete aadressi kettal: pea numbri, silindri numbri ja sektori numbri.

Operatsioonisüsteem saadab käsu koos aadressiga kettakontrollerile, mis liigutab päid niiviisi, et nad satuvad vajalikule rajale. Ketta pöörlemise ajal loeb üks peadest sektorite numbreid valitud rajal. Sel hetkel kui vajalik sektor asub lugemis/kirjutamispea all, loetakse kettaplaadilt vajalikud andmed vahemällu (puhvermällu). Lõpuks saadab kontrolleri andmed läbi liidese süsteemi siinile.

**CD-ROM** kettaseadmete ja lindiseadmete ühendamiseks defineeris firma **Western Digital ATAPI** (*Advanced Technology Attachment Packet Interface*) standardi. **ATAPI** laiendus **ATA** protokollile defineerib lisakäsud ja täiendava registrite komplekti, mis võimaldavad teistel seadmetel jagada **ATA** siini koos traditsiooniliste **ATA** kõvaketastega. Selles laienduses on mitu **CD-ROM** seadmete erikäsku, näiteks andmete lugemise käsud **CD** kettalt ja **CD** kiiruse valiku käsk.

Lisaks **ATAPI**-le toetab **EIDE ATA Committee** poolt arendatud ülekandestandardeid. Programmeeritavad sisendi/väljundi **PIO** (*Programmed Input/Output*) olekud on protokollid kettaseadmele ja **IDE** kontrolleri jaoks, mis kirjeldavad protsessori ülesandeid andmevahetuse juhtimisel kõvaketta ja operatiivmälu vahel. Paljud kettaseadmed toetavad otseselt mälu poole pöördumist **DMA** (*Direct Memory Access*) kui alternatiivi **PIO** olekute kasutamisele. Otsene mälu poole pöördumine tähendab, et kettaseade võtab protsessorilt üle mälu juhtimise ning kirjutab andmed otse mällu või loeb andmeid mälust ilma protsessori osavõtuta. **DMA** on kasulik üheaegselt mitme programmiga arvutites, kus protsessor võib andmevahetuse ajal töötada mingi teise programmiga. **DMA** kasutamine on võimalik siiski süsteemides, mis kasutavad **Triton HX/VX** või sellest uuemaid **Intel**'i kiibistikke või nende analooge. Mainitud kiibistikud võimaldavad protsessoril kasutada mälu või **ISA** siini samal ajal kui kettaseade kasutab **PCI** siini. **DMA** jaoks peab olema ka seadme draiver ning süsteemi **BIOS** peab vastavat standardit toetama.

Kõvakettatööstus on lisanud järk-järgult parandusi **IDE**-liidesele. Esimeseks paranduseks oli kettamahu suurendamine, mida sai teha kas radade arvu suurendamisega kettal (radade tiheduse suurendamine) või suurema arvu andmete salvesta-

misega ühele rajale (lineaarse tiheduse suurendamine). Järgmisteks parandusteks olid ketta pöörlemiskiiruse suurendamine ja kettaseadme vahemällu (puhvermällu) kirjutamise algoritmi muutmine. Paranduste viimaseks lüliks oli **ATA/IDE** standardi enda muutmine.

Esialgne **ATA** standard nägi ette seadmete ühendamist **ISA** siiniga ning andmete ülekanne toimus kiirusega 2 –3 MB sekundis. Uuem **ATA-2** või teise nimega **Fast ATA** liides ühendas kettaseadme lokaalsiiniga (*local bus*) ning selle siini suurem läbilaskevõime võimaldas oluliselt suurendada andmete edastuskiirust. Kuna seadmete tootjatel lubati kasutada terminit **EIDE** ka siis kui ta toetas ainult üht standardi osa, siis nimetati **EIDE** erinevaid variante erinevalt. Näiteks **Fast ATA** tähendas **PIO Mode 3** ja **Multiword Mode 1 DMA** toetust ja **Fast ATA-2** tähendas **PIO Mode 4** ja **Multiword Mode 2 DMA** toetust.

### 3.7.3. Ultra ATA liides

1997 aasta teisel poolel kahekordistati **EIDE** ülekandekiirust 16,6 MB-lt sekundis 33 MB-ni sekundis. **EIDE** uut modifikatsiooni hakati nimetama **Ultra ATA** või **ATA –33** või **Ultra DMA mode 2 protocol**. Lisaks andmete ülekandekiiruse tõstmisele võeti kasutusele andmete terviklikkuse **tsükkelkood-kontroll CRC** (*Cyclical Redundancy Check*).

Esialgne **ATA** liides oli ehitatud **transistor-transistorloogika** (**TTL**) elementidest, sest neid elemente kasutati **ISA** siini protokollis. **ISA** protokoll kasutas andmete ülekande **asünkroonmeetodit**, mille korral nii andmed kui ka juhtsignaalid kantakse üle üheaegselt **sünkrosignaali** (*strobe*). **ISA** liides ei võimalda üheaegselt üle kanda andmeid ja juhtsignaale. See tähendab, et enne uue käsu või mingi teise signaali saatmist peab andmete päring olema lõpetatud.

Alates **ATA-2**-st kasutatakse palju efektiivsemat andmete ülekande **sünkroonmeetodit**, mille korral kettaseade sünkroniseerib nii juhtimis- kui ka andmesignaale sünkrosignaali tõusva frondiga. See tähendab, et iga järgneva sünkrosignaali kantaakse üle järgmine andme- või juhtsignaali bit. Erinevalt asünk-

roonmeetodist võimaldab sünkroonmeetod andme- ja juht-signaaside vaheldumist.

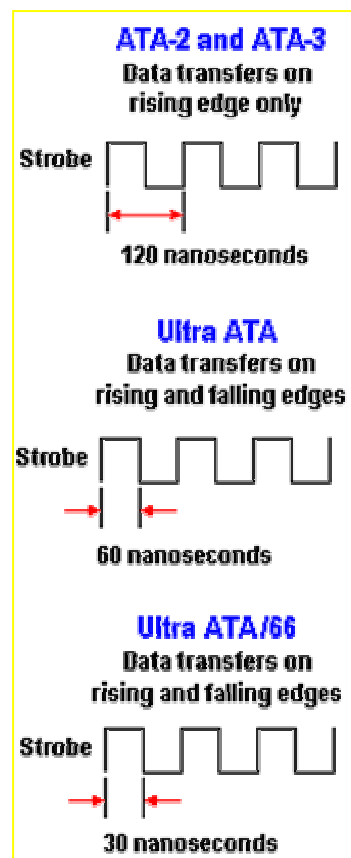
Üheks võimaluseks kiirendada andmete ülekannet on sünkrosageduse tõstmine, mis vähendab süsteemi stabiilsust, kuna tekib elektromagnetiline interferents ehk müra, mille tulemusena tekivad vead andmete ülekandmisel.

**ATA-2**, mis sisaldas **PIO mode 4** või **DMA mode 2**, võimaldas koos **Intel Triton** kiibistikuga alates 1994 aastast kasutada suuremat andmete ülekandekiirust 16,6 MB sekundis.

**ATA-4** sisaldab **Ultra ATA**-t, mis elektromagnetilise müra vältimiseks ei tõsta sünkrosagedust, vaid selle asemel kasutab sünkroniseerimiseks sünkrosignaali mõlemaid (tõusvaid ja langevaid) fronte. See tähendab, et sama sünkrosageduse korral kantakse üle kaks korda rohkem infot. Kui **ATA-2** ja **ATA-3** maksimaalne ülekandekiirus on 16,6 MB sekundis, siis **Ultra ATA-1** on see 33,3 MB sekundis. **ATA-4** standard lisas **Ultra DMA** oleku 2 (33,3 MB sekundis) eelmistele **PIO** olekutele 0 kuni 4 ning **DMA** olekutele 0 kuni 2.

**Ultra DMA** poolt kasutusele võetud **tsükkelkoodkontroll CRC** oli uus **ATA** liidese jaoks. **CRC** väärtus arvutatakse iga signaalipaketi kohta nii arvuti poolt kui ka kettakontrolleri poolt ning salvestatakse vastavatesse **CRC** registritesse. Iga signaalipaketi lõpus saadab arvuti oma **CRC** registri sisu kettakontrollerile ja see kontrollib, kas arvutilt saadud väärtus langeb kokku kontrolleri poolt arvutatud väärtusega. Kui väärtused ei lange kokku, siis kettakontroller saadab arvutile veateate ja arvuti kor-dab vigast ülekannet.

**ATA-5** sisaldab **Ultra ATA-66**, mis kahekordistab **Ultra ATA** maksimaalset ülekandekiirust, vähendades käivitus aega ja tõstes sünkrosagedust. Viimase tõstmine suurendab elektro-





magnetilist induktsiooni, mille poolt tekitatud häired ei võimalda kasutada standardset 40-juhtmelist kaablit kettaseadme ühendamiseks. Selle asemel võeti kasutusele uus 80-juhtmeline kaabel, mille pistikutel on endiselt 40 kontakti. Uus kaabel sisaldab täiendavalt 40 maandusjuhet, mis aitavad vähendada kaablis tekkinavat elektromagnetilist induktsiooni. Uue kaabli pisikud sobivad kokku vana 40-kontaktilise pistikupesaga, mistõttu **Ultra ATA-66** kettaseadmed on tagasiühilduvad **Ultra ATA-33**-ga, eelnevate **EIDE/IDE** kõvaketaste, **CD-ROM**-seadmetega ja emaplaatidega. **ATA-5** detailne kirjeldus asendab vana **CRC** tsükkelkoodkontrolli uuega ning lisab uued **Ultra DMA** olekud **3** (44,4 MB sekundis) ja **4** (66,6 MB sekundis) olemasolevatele **PIO** olekutele 0-4 ja **DMA** olekutele 0-2 ning **Ultra DMA** olekule **2**.

Järgnev tabel näitab, et **ATA** liidese arenedes on parandatud mitmeid komponente, suurendatud töökiirust ja lisatud funktsioone võrreldes 1981 aasta versiooniga.

Parameeter	ATA	ATA-2	ATA-3	ATA/ATAPI-4	ATA/ATAPI-5
Kõige uuemad ülekandeolekud ( <i>modes</i> )	PIO 1	PIO 4 DMA 2	PIO 4 DMA 2	PIO 4 DMA 2 UDMA 2	PIO 4 DMA 2 UDMA 4
Maksimaalne ülekandekiirus	4 MB sekundis	16 MB sekundis	16 MB sekundis	33 MB sekundis	66 MB sekundis
Maksimaalne ühenduste arv	2	2	2	2 kaabli kohta	2 kaabli kohta
Ühenduskaabel	40 kontakti	40 kontakti	40 kontakti	40 kontakti	40 kontakti, 80 juhet
CRC	Puudub	Puudub	Puudub	Olemas	Olemas
Kasutuselevõtmise aasta	1981	1994	1996	1997	1999

**Ultra ATA-100**, mis kuulutati välja aastal 2000, on arvata-vasti viimane **Parallel ATA** liidestest. **Ultra ATA-100** kasutab **Ultra DMA** olekut 5, mille täpne kirjeldus sisaldab sedasama 40-kontaktilist ja 80-juhtmelist kaablit, mis võeti kasutusele koos **Ultra ATA-66** liideselega, kuid erinevalt eelmisest on mak-

simaalne ülekandekiirus 100 MB sekundis. Kiiruse suurendamine saavutati tänu toitepinge vähendamisele 5-lt voldilt 3,3 voldile ja sageduse tõstmisele.

### 3.7.4. Kettamahu piirangud

Omal ajal kuulutas Bill Gates, et 640 KB peaks olema kõigile küllaldane. See jutt on levinud näide ettenägemisvõime puudumisest arvutitööstuses alates 1980-ndatest aastatest. Kõvaketta ehituses on viimase 15 aasta jooksul olnud 10 erinevat kettamahu piiri, mis kõik on lõpuks ületatud. Mõned neist olid tingitud **BIOS**-i või operatsioonisüsteemi versioonidest, teised kas kujundusvigadest, kehtivate failisüsteemide piirangutest või lihtsalt vigadest riistvara ja tarkvara rakenduste käivitamisel. Ka kõvakettastandardite poolt on kehtestatud kettamahu piirangud.

Esiolgu **IDE** kettaseade teatas **BIOS**-ile silindrite arvu, peade arvu ja sektorite arvu ühel rajal. Need kolm numbrit salvestati püsिमällu **CMOS**. Iga sektor sisaldab alati täpselt 512 baiti. **BIOS** lubas maksimaalselt 1024 silindrit, 16 pead ja 63 sektorit rajal. Korrutades läbi need 4 arvu, saame:

$$1024 * 16 * 63 * 512 = 528\,482\,304$$

Kuna ketaste valmistajafirmad loevad 1 MB = 1 000 000 baiti, siis saamegi piiranguks ligikaudu 528 MB. Kui aga lugeda, et 1 megabait = 1024 kilobaiti =  $1024 * 1024 = 1\,048\,576$  baiti, siis saame piirväärtuseks täpselt 504 megabaiti.

See piirang oli kõige tuntum ning mõjutas otseselt arvuteid, mille **BIOS**-id olid kirjutatud 1994 aasta keskel. Selle piirangu kõrvaldas **EIDE** kasutuselevõtt, mis hülgas silindrite, peade ja sektorite **CHS** (*Cylinder, Head and Sector*) abil adresseerimise ja asendas selle loogilise ploki adresseerimisega **LBA** (*Logical Block Addressing*). **LBA** tähendas, et **BIOS** teisendas **CHS** abil esitatud informatsiooni 28-bitiseks loogilise ploki aadressiks, mis oli kättesaadav operatsioonisüsteemidele ja rakendusprogrammidele ja võimaldas maksimaalset kettamahtu  $2^{28} * 512$  baiti ehk 137 GB.

Kahjuks **BIOS**-i ja **ATA** liidese kujundajad ei kasutanud **LBA**-s sisalduvat informatsiooni samal viisil või ei defineerinud

sama baitide arvu silindri, pea ja sektori adresseerimiseks. Erinevused **CHS** kujutamise viisis nõudsid aadressi tõlkimist selle edastamisel arvutist (**BIOS**-i kujult) kettaseadmele (**ATA** liidese kujule).

Tulemuseks oli, et **LBA** ei lahendanud kiiresti 528 MB barjääri ning tekkis uus 8,4 GB barjäär, mille põhjuseks oli süsteemi **BIOS**-i jaoks määratud kogu aadressiruumi piir, mida kutsuti ka **BIOS Int13h piiranguks**. Nimelt oli **BIOS**-i aadressiruum piiratud 24-bitise aadressiga:

$$2^{24} * 512 \text{ baiti} = 16\,777\,216 * 512 \text{ baiti} = 8\,589\,934\,592 \text{ baiti} = 8\,388\,608 \text{ kilobaiti} \approx 8,4 \text{ GB}$$

Mainitud piirangu kõrvaldamiseks määrati uus, 64-bitine aadressiruumi piir, mida nimetati **BIOS Int13h extensions**. Uus piir lubas kasutada maksimaalset aadressi:

$$2^{64} * 512 \text{ baiti} \approx 9,4 * 10^{21} \text{ baiti}$$

See on tohutu suur arv, mis on eelmisest piirangust 8,4 GB  $10^{12}$  korda suurem! See oli põhjuseks, miks enne 1998-ndat aastat ei võetud kasutusele uut 64-bitist piiri.

Aastaks 2000 muutus piiravaks **EIDE** standardiga määratud 28-bitine **LBA** adresseerimine, mis lubas maksimaalset kettamahtu 137 GB. **EIDE** protokollis uus versioon **ATA-6**, mis võeti vastu 2001 aasta sügisel, lubas 48-bitist aadressvälja, piirates kettamahu 144 **petabaidiga** (PB). See on umbes  $10^6$  korda suurem eelmisest piirist ja arvatavasti peab vastu 20 aastat.

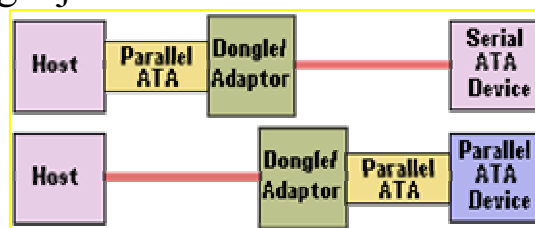
### 3.7.5. ATA jadaliides

Viimastel aastatel on pakutud **ATA** paralleelliidese asendajateks kaht järjestikliidest – **USB-d** (*Universal Serial Bus*) ja **IEEE 1394**. Siiski ei olnud neist kumbki suure tootlikkusega ja samal ajal odav, kuid need omadused on üheaegselt olemas paralleelsel **ATA** liidesel. Paralleelse **ATA** puuduseks on aga tema rohked parandused ja täiendused. Enamusest probleemidest on õnnestunud üle saada, kuid mõned on siiski alles jäänud. Seepärast loodi 1999 aastal töögrupp – **Serial ATA Working Group** – millest võtsid osa arvutifirmad **APT Technologies**, **Dell**, **IBM**, **Intel**, **Maxtor**, **Quantum** ja **Seagate Technologies** ja mis

hakkas tööle **ATA** jadaliidese (**Serial Advanced Technology Attachment**) loomiseks kõvaketastele ja ühtlasi **ATA** pakettliidese (**ATAPI**) loomiseks **CD-ROM** ja lintseadmetele, selleks et asendada olemasolevat **ATA** paralleelliidest. Võrreldes paralleelliideselega hakkab jadaliides töötama madalamal pingel, olema kiirem ja tugevam ning tema kaabel on palju väiksem. Ta hakkab olema täielikult tarkvara osas ühilduv paralleelse **ATA**-ga ning riistvara osas tagasiühilduv traditsiooniliste paralleelsete **ATA** ja **ATAPI** seadmetega. Ühilduvus saavutatakse kiibistikuga, mis toetab paralleelseid **ATA** seadmeid, mis on ühenduses **ATA** jadaseadmeid toetavate üksikute komponentidega või kasutavad jada- või paralleelpordi lukke (*dongles*), mille abil saab ühendada paralleelseadmeid jadakontrolleriga või jadaseadmeid paralleelkontrolleriga.

**ATA** jadaliidese eelised **ATA** paralleelliidese (rööpliidese) ees on järgmised:

- kasutab madalamat pinget ja kontaktide arvu: jadaliidese madalam pinge (tipust tipuni 500 mV) kergendab oluliselt raskelt kohandatavat 5 voldise signaali nõuet, mis muudab paralleelliidese töö keeruliseks,
- väiksemad, kergemalt paigaldatavad kaablid. Siin on lubatud kuni meetripikkused kaablid. Laia lintkaabli asemel kasutatakse õhukest painduvat kaablit. Tülikate pikkade 40 kontaktiga pistikute asemel väiksemad pistikud. Väiksem kaabli läbimõõt võimaldab paremat õhuringlust arvuti sees ja kujundada väiksemaid arvuteid,
- Parandatud andmekaitse: **ATA** jadaliides pakub sügavamalt veaotsingut ja paremaid võimalusi vigade parandamiseks kui paralleelliides. Jadaliides kindlustab andmete ja käskude kindlama ülekande.



Esimesed **Serial ATA** seadmed pidid ilmuma 2001 aastal ja nad pidid toetama ülekandekiirusi kuni 150 MB sekundis. Järgmiste versioonide täpsemas kirjelduses on ette nähtud ülekande-

kiirute 300 MB sekundis ja hiljem ka 600 MB sekundis kasutamine.

### 3.7.6. SCSI liides

Nimetus **SCSI** (hääldatakse *skaazi*) tuleb inglise keelest *Small Computer System Interface*. Sõna *Small* kasutatakse siin vastandina sõnale *Big*. Nimelt kutsuti 1980-ndatel aastatel **ISA** siini ka suureks interfeisiks (liideseks). Vajadus väikese liidese järele tulenes sellest, et suure arvu välisseadmete korral osutus keeruliseks nende ühendamise otse **ISA** siinile. Nagu me teame, asendati **ISA** siin kiirete seadmete ühendamisel algul **VESA kohtsiiniga** ja seejärel **PCI** siiniga, väike interfeis (liides) **SCSI** jäi aga alles. **SCSI** liidest kasutati algul kettaseadmete ning hiljem ka teiste välisseadmete ühendamiseks arvutiga.

Tööd **SCSI** liidese kirjeldamiseks lõppesid 1986 aastal ja juba oli alustatud ka uue versiooni **SCSI-2** loomisega. Selle liidese loomisel võeti aluseks käskude komplekt, mis juhib andmete liikumist seadmete vahel. Käskude abil juhivat liidest nimetatakse intelligentseks liideseks ja **SCSI** on intelligentne liides. Intelligentsus oli **SCSI** tugev külg, kuid samas ka nõrk külg, sest puudus seadmete tootjatele vajalik standard käskude kohta. 1980-ndate keskel valmis laiendus **SCSI** käskudele, mida nimetati *Common Command Set (CCS) extension*.

**SCSI** nagu **EIDE**-gi on siin, mille kaudu toimub infovahetus protsessori ja välisseadmete vahel, kusjuures välisseadmeteks on tavaliselt kõvakettad. Erinevalt **EIDE**-st jääb **SCSI** siini ja **ISA**-või **PCI**-siini vahele seade, mida nimetatakse *host adapter*. See ei ole kontrolleri, sest kontrolleri on igasse **SCSI** seadmesse sisse ehitatud samuti nagu **IDE** kontrolleri **IDE** seadmesse.

**SCSI** tugevaks küljeks on see, et *host adapter*-i abil saab üheaegselt ühendada kuni 7 seadet. Võrdluseks võimaldas **IDE** ühendada ainult 2 ja **EIDE** kuni 4 seadet. Veelgi enam, **SCSI** võimaldab ühendada lisaks kõvaketastele, **CD-ROM**- ja lindi-seadmetele ka printereid, skannereid, võrgukaarte ja teisi seadmeid.

Igal **SCSI** seadmel, sealjuures ka kaardil *host adapter*, peab olema unikaalne aadress. Numbrid peavad olema erinevad, kuid nad ei pea olema järjestikused. Enamus **SCSI** kaarte *host adapter* on varustatud nii väliste kui ka sisemiste pistikupesadega, mis võimaldavad ahelat laiendada kas ainult ühes või korraga mõlemas suunas. Seadme number ei ole seotud tema füüsilise asukohaga ahelas, kuid ahela mõlemas otsas peab **terminaator**, milleks on tavaliselt koormustakisti.

**Vanilla SCSI** toetab kuni kaheksat seadet, mille numbrid on 0 kuni 7. Kaardi *host adapter* number on tavaliselt 7 ja operatsioonisüsteemi alglaadimine toimub väikseima numbriga seadmel. Enamus **SCSI** süsteeme omistavad operatsioonisüsteemiga kõvakettale numbriga 0 ja jätavad numbrid 1 kuni 6 seadmetele, mida ei kasutata süsteemi laadimiseks. **SCSI** süsteemi käivitamisel kontrollitakse kõik seadmed üle nende numbrite järjekorras.

**SCSI host adapter** kasutab **riistvara katkestusnõuet IRQ**, kuid tema kaudu ühendatud seadmed seda ise ei kasuta. See võimaldab ühendada süsteemiga rohkem seadmeid. Vajaduse korral võib süsteemiga ühendada teise **SCSI** kaardi, mille kaudu saab ühendada veel 7 lisaseadet. Veelgi enam, spetsiaalsed **SCSI** kaardid võimaldavad ühendada kuni 15 seadet ja kasutada sealjuures ainult üht riistvara katkestusnõuet **IRQ**.

### 3.7.7. SCSI liidese areng

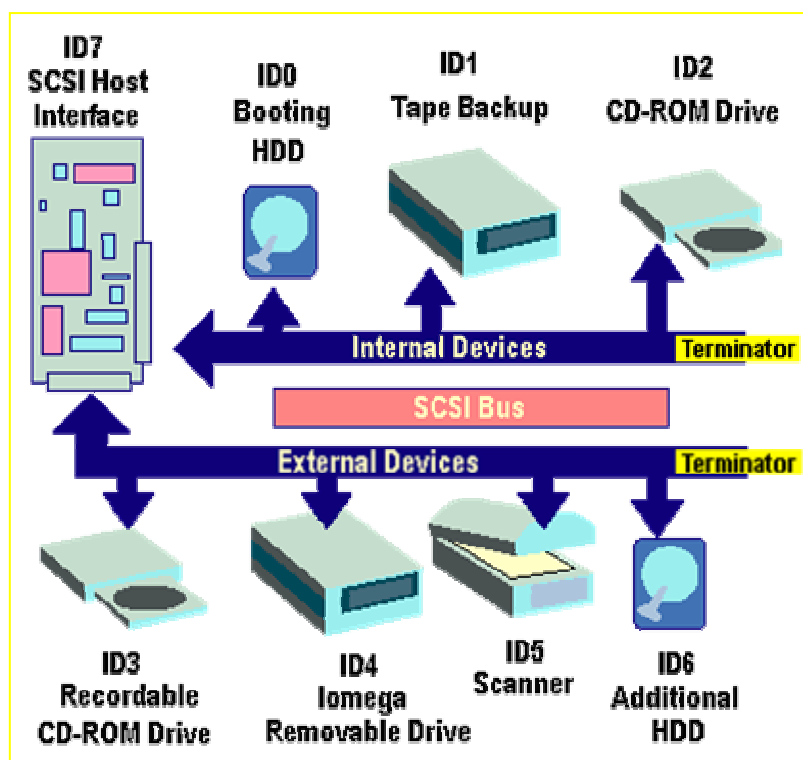
1986 aasta versioon **SCSI-1** on kaasajal juba tarvitusest kadunud. **SCSI-1** kasutas **asünkroonülekanne**, mis tähendas et arvuti ja seadme vahel toimus andmevahetus paralleelselt 8 biti kaupa, mis võimaldas andmevahetuskiirust 3 MB sekundis. **SCSI-1** lubas kasutada 8-t seadet, millest üks oli **SCSI** kaart ja ülejäänud kõvakettad.

**SCSI-2**, mis kinnitati **ANSI** (*American National Standards Institute*) poolt 1994 aastal, kasutas **sünkroonülekanne**. See tähendab, et arvuti ja seade määravad koos kiireima võimaliku ülekandesageduse ja töötavad edaspidi mõlemad sellel sagedusel. Sünkroonülekanne võimaldas tõsta andmevahetuskiirust 5

MB-ni sekundis. Uus standard lubas ühendada ka teisi seadmeid peale kõvaketaste.

## SCSI-2

lisas 2 võimalikku kiiruseparandust: signaalisageduse tõstmine 10-le MHz-le (**Fast SCSI**) ja "P" lisakaabel siinile, mis võimaldas andmesiini laiendada 16-le või 32-le bitile (**Wide SCSI**). Neid parandusi võis kasutada



kas ükshaaval või korraga (viimasel juhul **Fast Wide SCSI**, mis võimaldas ülekandekiirust 20 MB sekundis). **Wide SCSI** adapterid võimaldasid kasutada ühes ahelas kuni 16 seadet numbritega 0 kuni 15.

1996 aastal võeti kasutusele uus standard **SCSI-3**, mis jaotas üldise **SCSI** standardi mitmeks osaks. Need osad olid:

- paralleelliidese kirjeldus, mis sisaldas ühenduskaablite osa,
- arhitektuurimudel, mis määras andmete ülekandeks vajalikud käsud,
- põhikäskude kirjeldus, mis määras käsud kõigile **SCSI** seadmetele,
- eraldi kirjeldused igale seadmetübile.

Tähtis oli see, et **SCSI-3** ei nõudnud teist kaablit **Fast SCSI** või **Wide SCSI** jaoks ja lisas kiudoptilise (*fibres-optic*) kaabli toetuse.

Teiseks oluliseks erinevuseks oli **SCAM** (*SCSI Configuration Auto-Magically*), mis kõrvaldas ühe olulise **SCSI** puuduse,

nimelt installeerimise ja konfiguratsiooni muutmise keerukuse. **SCAM** on **Plug and Play** alaliik, mis võimaldab **SCSI** seadmete automaatset konfigureerimist (näiteks automaatset numbrite omistamist seadmetele) ning ei nõua käsitsi terminaatorite ühendamist (see toimub samuti automaatselt).

**Ultra SCSI** ehk **Fast-20 SCSI** on **SCSI-2** laiendus, mis suurendab taktsagedust 20 MHz-ni, kuid piirab kaabli pikkust 1,5 meetrini.

**Ultra SCSI-2** ehk **Fast-40 SCSI** oli viimane **SCSI** uuendus 1998 aastal. Viimase modifikatsioon **Fast-40 Wide SCSI** võimaldab maksimaalset teoreetilist andmevahetuskiirust 80 MB sekundis.

**Ultra2 SCSI** toetab ka pikemaid kaablipikkusi, kasutades **LVD** (*Low Voltage Differential*) signaale. **LVD** kasutab varasema 5V asemel madalamat 3V pinget. **LVD** võimaldab kaablite pikkuseid kuni 12 meetrit ka siis kui kõik 16 seadet on ühendatud. **LVD-1** on veel üks eelis. Nimelt madalam pinge ja väiksem vool tähendavad ka väiksemat soojaeraldust.

1999 aasta lõpus teatati uue **Ultra3 SCSI** standardi alaliigi **Ultra-160 SCSI** valmimisest. Viimasel on 3 eelist **Ultra2 SCSI** ees:

- 2-kordne töösagedus (80 MHz)
- CRC kasutuselevõtt,
- toetab doomenite kasutamist.

Järgmises tabelis on toodud **SCSI** eri variantide erinevused:

SCSI versioon	Sünkro-sagedus (MHz)	Siini laius (biti)	Maks. DTR (MBps)	Maks. seadmete arv	Maks. kaabli pikkus
SCSI-1	5	8	5	7	6 m
SCSI-2	5	8	5	7	6 m
Wide SCSI	5	16	10	15	6 m
Fast SCSI	10	8	10	7	6 m
Fast Wide SCSI	10	16	20	15	6 m
Ultra SCSI	20	8	20	7	1,5 m
Ultra SCSI-2	20	16	40	7	12 m
Ultra2 SCSI	40	16	80	15	12 m
Ultra160 SCSI	80	16	160	15	12 m



**SCSI** on täielikult tagasiühilduv, sest vanad **SCSI** seadmed töötavad viimaste **SCSI** kaartidega. Muidugi ei pane uus *host adapter* vana kõvaketast kiiremini tööle, samuti peab uuema kõvaketta suurema kiiruse kasutamiseks olema ka uuem *host adapter*.

**SCSI** on tuntud standard serverite suure mahuga kettamäludes. **Ultra2 LVD** liideses kasutakse lisaks veel **RAID** (*Redundant Array of Independent Disks*) süsteeme, mis võimaldavad suurt kiirust ja samal ajal ka head kättesaadavust. Siiski tuleb juba peale ketaste **Fibre Channel** standard, mis võistleb **SCSI**-ga.

Järgnev tabel võtab kokku personaalarvuti ketasmälu ja väliste seadmete standardid 1999 aasta seisuga.

Standard	Tüüpilised kasutusala	Maks. DTR	Väljavaated lähitulevikus
ATA/IDE	Kõvakettad, CD-ROM ja DVD-ROM seadmed	3,3 kuni 66,6 megabaiti sekundis	Standardne kõvaketas
SCSI	Kõvakettad, vahetatavad kettad, skannerid	5 kuni 80 megabaiti sekundis	Standardne kõvakettasiin suure hulga kõvaketaste ühendamiseks
USB	Osutusseadised, skannerid, digitaalkaamerad	12 megabitti sekundis	Ettenähtud jada- ja paralleelportide asendamiseks
IEEE 1394	Digitaalsed videokaamerad, suure kiirusega kettaseadmed	400 megabitti sekundis	Võimalik kasutamine alates 2000 aastast

## 3.8. CD-ROM kettaseadmed

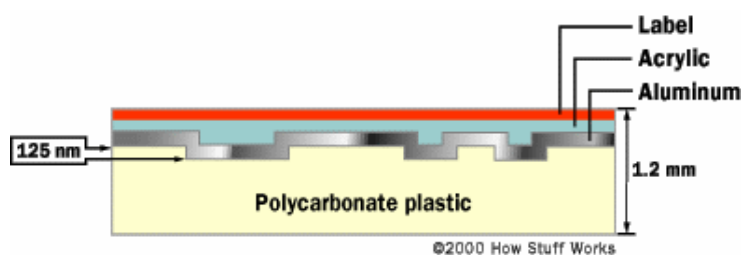
**CD** (*Compact Disc*) leiutati 1980-ndate aastate alguses firmade **Sony** ja **Philips** poolt ning leiutajad ei osanud arvatagi, kui mitmekülgne andmekandja sellest hiljem sai. 1982 aastal tulid müügile **CD heliplaadid**, mis tänu vastupidavusele, suvapöörduse võimalusele ning suurepärasele helikvaliteedile saavutasid mõne aastaga turul liidrikohta.

**CD-ROM kettaseadmed** järgnesid 1984 aastal, kuid laiema leviku saavutamiseks kulus rohkem aega kui **CD heliplaatidel**. Tarbijate vastuseis oli tingitud sellest, et esimestel aastatel pärast tehnoloogia leiutamist ei osatud **CD-ROM plaatidele** midagi eriti huvitavat salvestada. Kaasajal sisaldavad **CD-ROM-id** arvutimänge, arvutiprogramme, entsüklopeediaid, esitlusi ja teisi multimeediaprogramme. Ühele plaadile saab salvestada kas 74 minutit kõrgekvaliteedilist muusikat, **650 MB** arvutifaile või 74 minutit audio-videosalvestust, samuti on võimalikud igasugused kombinatsioonid eelnevatest.

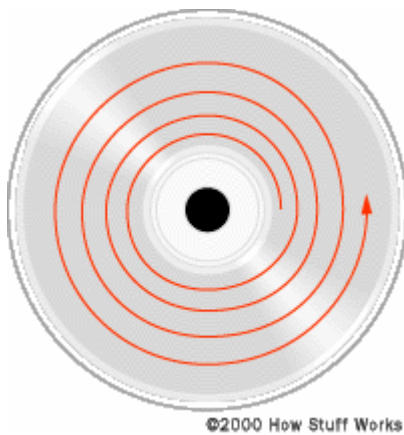
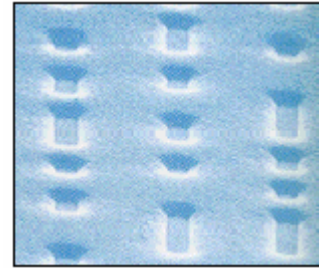
Kaasaegsed **CD-ROM kettaseadmed** on kiiremad ja odavamad varasematest. Lisaks laiale **CD-ROM-ilt** kõvakettale installeeritavate programmide valikule kasutatakse ka programme, mis käivituvad otse laserplaadilt, nagu näiteks mängud, andmebaasid, videod, õppeprogrammid jne. **CD-ROM seadmete** turg on väga lai – siia alla kuuluvad sisemised, välised ja kaasaskantavad seadmed, erinevat tüüpi laadimismehhanismid, seadmed töötamiseks ühe või mitme kettaga, **SCSI** ja **EIDE** liidesega seadmed ning palju erinevaid standardeid.

### 3.8.1. Laserplaadi ehitus

Standardne laserplaat ehk kompaktplaat on 1,2 mm paksune eriti tugevast plastmassist **polükarbonaadist** ketas läbimõõduga 120 mm, mille keskel on 1,5 cm läbimõõduga ava.



Plaadi ühel küljel on spiraalne salvestusjalg, mis koosneb 0,5 mikromeetri laiustest, kuni 3 mikromeetri pikkustest ning umbes 0,12 mikromeetri sügavustest pikergustest lohku-dest (*pit*). Salvestusradade vahekaugus on 1,6 mikromeetrit, nende arv läbimõõdu kohta on 6250 (seega radade tihedus on suurem kui kõvaketastel), raja üldpikkus ligikaudu 7 kilomeetrit.



Salvestust alustatakse mitte välisservalt nagu tavalisel heliplaadil (vinüülplaadil), vaid seestpoolt. Salvestusjalg on kaetud **alumiiniumkelmega**, millele on kantud õhuke **lakikiht**, mis kaitseb ketast mehaaniliste vigastuste, oksüdeerumise ja tolmu vastu. Lakikihi peale kantakse **siiditrükis plaadi silt** – sisu, valmistaja nimi ja logo jms. Plaadi teisel küljel näeme läbi paksu läbipaistva **põhimiku** hõbedaselt sillerdavat pinda vaevumärgatavate kontsentriliste ringidega. Sealtpoolt loetakse laserkiirega salvestusjälge; niisiis on jälg vigastuste eest hästi kaitstud.

### 3.8.2. Laserplaadi valmistamine tehases

Tehase poolt väljastatavate, pressitud kompaktketaste valmistamisprotsess koosneb järgmistest etappidest:

- 1) ISO-tasemel kodeerimine,
- 2) CD-tasemel kodeerimine,
- 3) *master*- ketta valmistamine,
- 4) matriitside valmistamine,
- 5) polükarbonaadist CD-ketaste tiražeerimine matriitside abil.

Kahte esimest (aga mõnikord ka ainult teist) etappi nimetatakse **eelkodeerimiseks** (*premastering*), see tähendab info ettevalmistamiseks algeksemplari (*master* - ketta) jaoks.

**Esimesel etapil** luuakse **andmefailid**, nende füüsiline järjestus kettaspiraalil ning lisatakse **teenusinfo** (köitekirjeldajad ja faili otsingutee). Saadud **kujutis** (*image*) kontrollitakse üle ehk

testitakse. Seda osa ettevalmistusest nimetatakse **ISO-tasemel kodeerimiseks**.

**Teisel etapil**, mida nimetatakse **CD-tasemel kodeerimiseks**, lisatakse loogiliste sektorite aadressid, sünkroniseerimiskoodid, veakorrektsioonibitid ja toimub **EFM-modulatsioon** (üleminek kaheksalt bitilt neljateistkümnele). Eelkodeerimise tulemusena saadakse üks **ISO 9660** formaadis fail. Vanasti toimetati eelkodeeritud fail heliplaaditehasesse magnetlindil, kaasajal kasutatakse magnetlinde asemel **CD-R** seadmel valmistatud laserplaati.

**Kolmandal etapil** toimub klaasist *master* – **ketta** valmistamine heliplaaditehas. Umbes 25-sentimeetrise läbimõõduga 6 millimeetri paksune klaasketas puhastatakse, lihvitakse ja kaetakse ühtlaselt vedela valgustundlikust materjalist kihiga. Pärast kuivamist on klaasist *master* – **ketas** valmis salvestamiseks. Eelkodeerimise tulemusel saadud **ISO 9660** formaadis fail kantakse võimsa sinise või violetse laserikiire abil konstantse lineaarkiirusega pöörlevale klaaskettale. Salvestamise ajal muudetakse sujuvalt laseri asendit ketta suhtes, nii et tulemusena tekib kettale spiraalne jälg, mis algab plaadi keskelt ja lõpeb äärel. Kohtadesse, kus laserikiirgus oli tugevam, jäävad lohud (*pits*). Lohkude õige geomeetrilise kuju saavutamiseks töödeldakse klaasplaadi pinda keemiliselt, mille tulemusena eemaldatakse nendest kohtadest eksponeeritud valgustundlik kiht täielikult, nii et alles jääb puhas klaasist aluspind. Seejärel kantakse vaakuumkambris ketta pinnale eriti õhuke hõbedakiht ning *master* – **ketas** ongi valmis.

**Neljandal etapil** paigutatakse *master* – **ketas** niklisoola lahusesse. Elektrokeemilise protsessi abil kantakse õhukesele hõbedakihile paksem niklikiht. Saadud niklikiht, mida nimetatakse “**isa**”, eemaldatakse klaasplaadilt. “**Isa**” kujutab endast *master* – **ketta** negatiivi, mida võiks juba kasutada matriitsina laserplaatide valmistamisel. Seda siiski ei tehta. Selle asemel kasvatatakse “**isa**” pinnale uus niklikiht, mis eemaldatakse “**isast**”. Seda niklikihti nimetatakse “**ema**” ja ta kujutab endast *master* – **ketta** täpset koopiat. Ühest “**emast**” tehakse juba kirjeldatud tehnoloogia abil tavaliselt mitu “**poega**” ehk **matriitsi**.

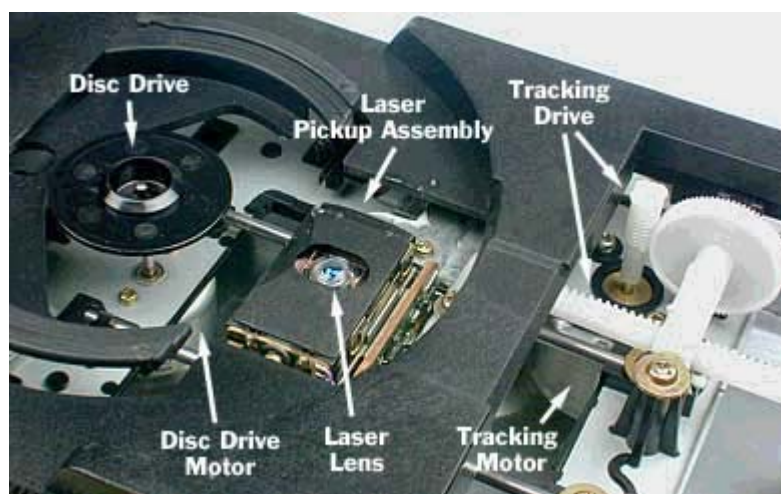
**Viendal etapil** toimub laserplaatide pressimine matriitsi abil. Enne pressimist tuleb matriitsid hoolikalt ette valmistada. Kõigepealt poleeritakse matriitsi tagakülg ühtlane paksuse saavutamiseks, seejärel stantsitakse matriits täpselt laserplaadi mõõtu (oluline on nii väline läbimõõt, sisemise augu läbimõõt kui ka nende asend salvestatud info suhtes). Lõpuks kontrolitakse matriitsid üle spetsiaalsel seadmeh, mida nimetatakse *stamper player*.

Matriitside abil pressitakse kuumutatud vedelast polükarbonaadist laserplaadid, millele pärast jahtumist kantakse õhuke alumiiniumkile ja see kaetakse omakorda akrüülist kaitse lakiga. Lõpuks kantakse kaitsekihile siiditrüki abil etikett.

### 3.8.3. CD-lugeri (laserplaadimängija) tööpõhimõte

Vaatame siin esmalt laserplaadimängija tööpõhimõtet, sest CD-ROM seade erineb heliplaadimängijast ainult elektroonika poolest.

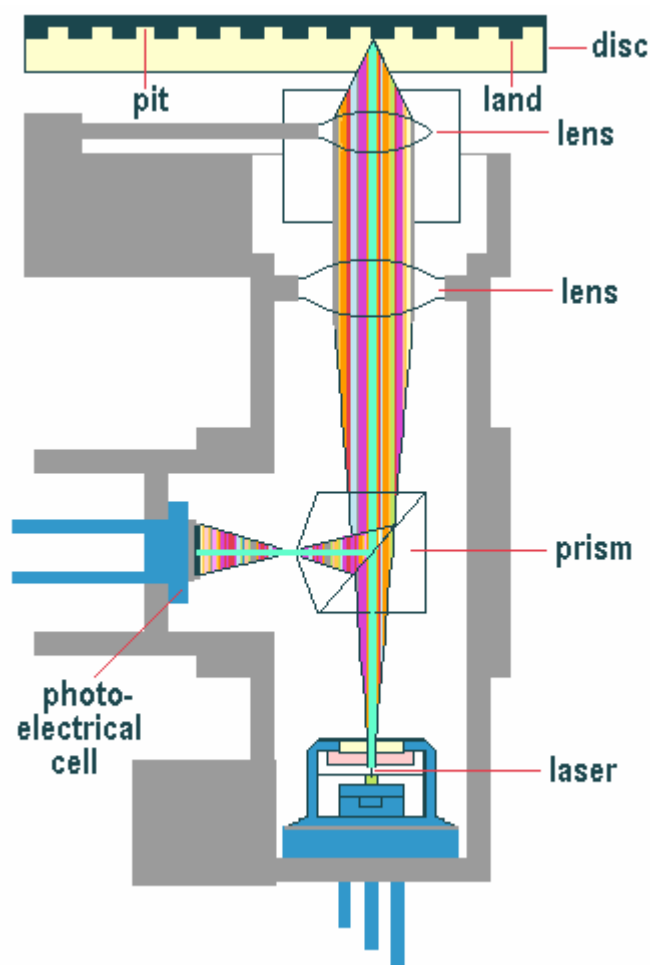
Informatsioon on salvestatud laserketta keskelt algavale ja ääres lõppevale spiraalsele rajale üksteisele järgnevate lohku (*pit*) ja tasase pinna (*land*) abil 2 KB



suuruste plokkide kaupa. Analoogiliselt disketiseadmeh on laserplaadimängijal 2 elektrimootorit, millest esimene paneb ketta pöörlema ja teine liigutab laserit plaadi suhtes. Tavalises CD-ROM lugeris kasutatakse väikest galliumarseniidilaserit, mis kiirgab infrapunast valgust lainepikkusega 780 nanomeetrit. Hoolimata laseri väikesest võimsusest on ta küllalt võimas selleks et kahjustada silma, mistõttu pole lubatud töötavat laserplaadimängijat lahti võtta.

Laserplaat pöörleb CD-lugeri täpselt ettenähtud kiirusega, mida aitab konstantsena hoida eriline tagasisidemehhanism.

Pooljuhtlaser genereerib valguskiire, mille läätsesüsteem fokuseerib laserplaadile. Laserkiir läbib polükarbonaadist põhimiku ja peegeldub selle peal asuval alumiiniumkilel. Peegeldunud valgus murdub prisma ja suundub sealt fotoelemendile. Kuna tasaselt pinnalt (*land*) peegeldunud valguse intensiivsus on tugevam kui lohkudest (*pit*) peegeldunud valguse intensiivsus, siis genereeritakse fotoelemendis erineva tugevusega elektrivool, mis muudetakse täisnurkseteks impulssideks, mida arvuti tõlgendab ühtede ja nullidena.



Üheks suuremaks probleemiks **CD-lugeri** juures on laserkiire suunamine andmerajale ja selle hoidmine rajal lugemise ajal. Enamlevinud on kolme kiire meetod, mille korral laserkiire tee paigutatakse **difraktsioonvõre**, mis tekitab lisaks põhikiirele **kaks täiendavat valgusallikat**, mis asuvad üks ühel ja teine teisel pool põhikiirt. Läätsel läbimisel muutuvad kiired paralleelseteks. Seejärel läbivad kiired prisma, mis laseb laserist tulnud kiired otse läbi, kuid pöörab laserplaadilt peegeldunud kiired 90 kraadi võrra, nii et nad satuvad **fotodiodile**. Tagasi-pegeldunud külgmiste kiirte intensiivsust võrdleb fotodiod. Juhul kui põhikiir asub rajal, on külgmiste kiirte intensiivsus ühesugune, vastasel korral aga erinev. Fotodiod sisaldab 4

andurit, mille abil on võimalik registreerida külgmiste kiirte intensiivsuse erinevust. Erinevuse korral saadetakse laserit liigutavale mootorile signaal ja mootor liigutab laserit vajalikus suunas.

### 3.8.4. Heli salvestamine laserplaadile

Heli salvestamisel laserplaadile kantakse plaadile helisignaali lugemid tavaliselt iga 23 mikrosekundi tagant, niisiis sagedusega 44,1 kHz. Väärtus ise esitatakse 16-bitises kahendkoodis; viimasel ajal kasutatakse helikvaliteedi tõstmiseks kuni 24-bitist koodi. Andmete salvestamisel esitatakse need kahendkoodis baitidena nagu muudelgi andmekandjatel. Nagu eelpool märgitud, koosneb plaadi pinnal olev spiraalikujuline salvestusjalg lohkest (*pit*) ning põhipinnast (*land*). Viimane tähistab algset loogilise nulli salvestist, üleminekud lohkedele aga - loogilisi ühtesid. Kuna kahte ühte pole võimalik üksteise järele salvestada, siis kasutatakse **kodeerimisviisi EFM** (*Eight to Fourteen Modulation* -8:14), s.t. kõik 8-bitised baidid teisendatakse 14-bitiseks koodiks, millega on tagatud, et kunagi ei esine kõrvuti kaht loogilist ühte. Võib veel juhtuda, et üks bait lõpeb ja järgmine algab ühega, seepärast lisatakse iga kahe baidi vahele kolm täiendavat nulli - seega ühtekokku vajatakse 17 bitti.

Laserplaadimängija või **CD-ROM** – lugeri elektroonikasõlmed muundavad ja teisendavad signaale, kindlustades lugemisvigade avastamise ja automaatkorrektsiooni tänu signaali erilisele kodeerimisviisile. Seetõttu ei avalda plaadi pinnal olev "väiksem" tolmu või "väiksemad" kriimustused lugemisel erilist mõju (küll aga võib loetavat infot moonutada tolmu optikasõlme, mis väga tolmuks muutudes võib lugemist sootuks takistada). Väga keerukad elemendid on signaali lugemise optikasõlmes. Tillukese, umbes transistorisuuruse pooljuhtlaseri kiir fokuseeritakse plaadi salvestusjäljele täpsusega pluss- miinus 0,2 mikromeetrit (see on mitusada korda väiksem inimese juuksekarva läbimõõdust).

**Puhvermälu** -MPC- standardi-kohaselt peab sisepuhvri suurus olema vähemalt 64 KB, s.t et ta mahutab 0,4 sekundit digitaalset

stereoheli (16-bitises kodeeringus ja 44,1 KHz diskreetimis-sagedusega). Kiiretel lugemisseadmetel on see maht MB-des. Andmeploki suurus- minimaalne baitide arv, mida edastatakse arvutile ajaühikus liideskanali kaudu; vastab kõvaketta klastrile. MPC-määratluse kohaselt on selleks minimaalseks ploki suuruseks 16 kB.

### 3.8.5. Vea avastamine ja parandamine

CD-ROM-i puhul täiendava veaavastamis- ja korrigeerimissüsteemi EDC/ECC lisamine on seotud sellega, et võrreldes tavalise heliplaadiga on nõuded tunduvalt kasvanud. Kui tavalise CD korral mõne süvendi vahelejätmine või ebakindel lugemine näiteks kriimustuse või tolmu tõttu ei põhjusta tõsiseid häireid (kuna on võimalik vigade interpoleerimine, mida inimkõrv avastada ei suuda), siis digitaalse CD (**CD-ROM-i**) puhul juba üks vigane bitt võib põhjustada totaalse vea kogu programmi täitmisel. Heliplaadil kasutatakse **ristipaigutatud Reed Solomoni koodi CIRC** (*Cross-Interleaved Reed Solomon Code*), mis võimaldab veakorrektsiooni teostada isegi kuni 450 baidi pikkuste vigaste plokkide korral (vastab umbes 2 mm-le rajal). Täiendav **EDC/ECC-** (*Error Detection Code / Error Correction Code*) kood võimaldab **CD-ROM-i** vigade esinemissageduse viia kuni ühe vale bitini terabaidi (s.o 2000 kompaktketta) kohta. Kui **ECC** ei suuda kätte saada õiget informatsiooni, võetakse kasutusse uus abivahend: interpolaatsioon. Seda tehnikat kasutatakse **heliplaatidel** puuduvate bittide asendamiseks. Oletame näiteks, et meil on heliplaadi andmerajal sellised andmed : 400, 525, 650, 825, 1100. Kui nüüd mingil põhjusel nt. neljandat väärtust lugeda ei suudeta, siis on võimalik seda tänu lineaarsele interpolaatsioonile asendada, arvutades välja keskmise 650 ja 1100 vahel, mis antud juhul on 875. See ei ole küll päris õige väärtus, kuid siiski ligilähedane ja inimkõrvale eristamatu, sest see on vaid üks tuhandetest sekundis mängitavatest väärtustest. Kahjuks ei saa antud meetodit kasutada **CD-ROM-i** puhul, kuna ainuüksi ühe biti puudumine 1 MB failist võib põhjustada antud faili täielikult töökõlbmatuks muutumise. Sel põhjusel kasuta-



takse täiendatud **ECC** ehk veaparandus -ja korrigeerimisbitte, mis hõlmavad üle 10% plaadi mahust. (iga 2048 andmebaidi kohta on 304 baiti veaavastus -ja paranduskoodi).

### 3.8.6. Pöörlemiskiirus

Seadmele märgitud kordsus (näit. 24x, 32x) näitab, mitu korda on selle maksimaalne andmete ülekandekiirus suurem kui heliplaadi puhul, mis on 150 KB/s.

Plaati keerutava mootori pöörlemiskiirust kontrollitakse mikrokontrolleri poolt, mis saab juhtimiskäskude väljatöötamiseks andmeid loetavalt plaadilt (jälgib pidevalt lugemispea asukohta).

Esimesed **CD-ROM**-id töötasid samal kiirusel nagu standardne heliplaadimängija: 210 kuni 539 pööret minutis (RPM), sõltuvalt lugemispea asukohast plaadil ning andmeedastuskiirus oli 150 KB/s. Andmete lugemiseks kasutati CLV meetodit. Aja jooksul andmeedastuskiirust tõsteti ning kasutusele võeti uued meetodid.

**CAV** (*Constant Angular Velocity*) -

püsiv radiaalne pöörlemiskiirus. **CD-ROM** seadmete tööprintsiip, mille puhul ketas pöörleb alati ühesuguse kiirusega sõltumata sellest, kas infot loetakse tema sisemiselt või välimiselt osalt. Rakendatakse tavaliselt alates 12-kordsetest seadmetest. **CD-ROM** seadmete lugemiskiiruste võrdlemisel tuleb arvestada, et neile märgitud kordsuse arv käib vaid ketta välisosa kohta, väiksema raadiusega siseosalt lugemine võib olla isegi 60% aeglasem. Kahjuks algabki CD-del info plaadi keskosast.

**CLV** (*Constant Linear Velocity*) –

muutumatu lineaarne lugemiskiirus. Väiksema kiirusega **CD-ROM** lugejates on pöörlemiskiirus muutuv ja seda väiksem, mida kaugemalt ketta keskkohast lugemine parajasti toimub, sest seda rohkem infot ühele täistiirule mahub. Nii saavutatakse püsiv info ülekandekiirus, mis näiteks heliplaadi jaoks on ka hädavajalik. Suurematel pöörlemiskiirustel on **CAV** eelistatum, sest muidu peaks lugemispea uude kohta liigutamisel ootama veel plaadi pöörlemise stabiliseerumist (s.t oleks raske pidurdada ketast, mis teeb 12 936 pööret minutis (RPM) kiirusele

5040 ja siis jälle vajadusel kiirendada). Seega on üldine "jõudlus" nt. 24-kordsel CLV seadmel parem, kui 24-kordsel CAV-il. On ka seadmeid, mis kasutavad mõlemat tehnoloogiat, lugedes laserplaadi välisääre poolt CAV meetodil ja seestpoolt pöörlemiskiirust suurendades CLV meetodil. Mitmed eriti kiired seadmed kasutavad andmete lugemiseks mitut lugemispead.

<b>CLV ja CAV erinevused:</b>		
<b>Omadused</b>	<b>Constant Linear Velocity (CLV)</b>	<b>Constant Angular Velocity (CAV)</b>
<b>Seadme kiirus</b>	Muutuv	Fikseeritud
<b>Ülekande kiirus</b>	Fikseeritud	Muutuv
<b>Kasutusala</b>	Tavalised, vanemad CD-ROM seadmed	Uued ja kiired CD-ROM seadmed, kõvakettad, disketi-seadmed

Üldjuhul ei ole seadme kiirus mingite programmide jooksumisel plaadilt eriti tähtis, sest need ei vaja tavaliselt väga suurt pöördumiskiirust. Olulisemaks muutub kiirus juhul, kui on tegu suurte andmekogumite kopeerimisega plaadilt või on vaja teha ulatuslikke päringuid nt. andmebaasidest.

### **3.8.7. Erinevad standardid**

Selleks et aru saada, millised kettad mida teevad ja milliste seadmete abil neid lugeda saab, tuleb kõigepealt määrata ketta formaat. **CD ketaste formaadid** on kirjeldatud erinevat värvi kaantega raamatutes. Ketaste standardeid tuntakse raamatu-kaante värvide järgi. Kõik **CD-ROM kettaseadmed** vastavad kollasele ja punasele raamatule. **CD heliplaate** loevad kõik seadmed tänu sisseehitatud digitaal-analoogmuunduritele, mille

väljundisse saab otse ühendada kõrvaklapid või helivõimendi sisendi.

### 3.8.7.1. Punane raamat

Punane raamat on enimlevinud *audio CD* standard ja ta kirjeldab laserplaadi füüsikalisi omadusi ning **digitaalset helisalvestust**. Standard koosneb järgmistest osadest:

- 16-bitise digitaalse helisalvestuse kirjeldus,
- laserplaadi füüsikaliste omaduste kirjeldus,
- optilise lugemis-kirjutusseadme kirjeldus,
- lubatud hälvete ja plokivigade suurused,
- modulatsioonisüsteem ja vigade parandus,
- juhtimissüsteem ja näidikute süsteem.

Plaadile salvestatud muusika peab täpselt vastama sellele standardile. Standard võimaldab helisalvestust **radade** (*tracks*) kaupa, kusjuures plaadile salvestada kuni 74 minutit muusikat. Viimane täiendus punasele raamatule käsitleb alamkanalite **R** kuni **W** kasutamist graafika ning **MIDI** failide salvestamisel.

### 3.8.7.2. Kollane raamat

Kollane raamat on kirjutatud 1984 aastal ja ta kirjeldab arvutifailide salvestamist laserplaadile ja lugemist sellelt ehk teiste sõnadega **CD-ROM** (*data CD*) tehnoloogiat. Kollane raamat kopeerib suures osas punast raamatut:

- laserplaadi füüsikaliste omaduste kirjeldus (koopia),
- optilise lugemis-kirjutusseadme kirjeldus (koopia),
- modulatsioonisüsteem ja vigade parandus (koopia),
- juhtimissüsteem ja näidikute süsteem (koopia),
- **CD-ROM** ketaste digitaalse andmestruktuuri, sektoriteks jaotamise ja veakontrolli kirjeldus.

Kollane raamat ei defineerinud täpselt andmete salvestamise viisi kettal (**failisüsteemi**), mistõttu tekkis vajadus täiendava standardi järele. Uus standard lepiti kokku 1985 aastal (niinimeetatud *High Sierra* kokkulepe), mille alusel töötati hiljem välja ametlik standard **ISO 9660**.

**ISO 9660** defineerib 2 erinevat salvestusviisi (**mode 1** ja **2**):

- **Mode 1:** See on standardne andmehoidmisviis andmeketastel (*data CD*). Andmed on paigutatud põhimõtteliselt samuti nagu standardsel heliplaadiformaadil (*audio CD*). Erinevus seisneb selles, et igast 2352 baidisest andmeplokist kasutatakse 2048 reaalse andmete jaoks ning ülejäänud 304 baiti veaavastamiseks ja korrigeerimiseks. See on vajalik, kuna heliplaatidel lubatud mõningate bitide kaotamine pole üldse lubatud andmeketastel.
- **Mode 2:** *Mode 2* andmekettad on samasugused nagu *mode 1 CD*-d, kusjuures veaavastamis- ja veaparandamiskoodid on välja jäetud. Sellise formaadiga plaadil võib nt. hoida andmekadude suhtes mitte eriti tundlikku infot nagu muusikat, graafikat ja videod. Seda tüüpi plaadid on aluseks *CD-ROM Extended Architecture* ehk **CD-ROM XA** standardile.

### 3.8.7.3. CD-ROM XA

Tegemist on eraldi lisaga kollasele raamatule, mis võimaldab:

- **Q**-kanalit ja **Mode 2** sektoreid,
- **ISO 9660** standardil põhinevat andmete lugemist, mis sisaldab failide vahelduvust (seda ei toeta **Mode 1**),
- heli kodeerimist, mis kasutab **ADPCM** (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) tasemeid **B** ja **C**,
- videokujutise kaadrite kodeerimist.

Kaasajal kasutavad seda standardit **CD-I Bridge** formaadid **Photo CD** ja **Video CD** ning **Sony Playstation**.

### 3.8.7.4. Roheline raamat

Roheline raamat kirjeldab **CD-I** (*CD-interactive*) kettaid, kettaseadmeid ja operatsioonisüsteeme:

- **CD-I** kettaformaad (radade paigutus, sektorite struktuur),
- standardil **ISO 9660** põhinev andmete lugemise süsteem,

- heli kodeerimine, mis kasutab **ADPCM** tasemeid **A**, **B** ja **C**,
- reaajas töötav kaadreid kasutava videokujutise kodeerimine, dekodeerimine ja efektide toetus,
- **CD-RTOS** (*Compact Disc Real Time Operating System*),
- võimaldab loomutruud liikumist (**MPEG** (*Motion Picture Expert Group*) riist- ja tarkvara)

Standard **CD-I** võimaldas salvestada ühele kettale 19 tundi heli või 7500 kaadrit kujutisi või 72 minutit täisekraanilist videod (**MPEG**) standardses **CD** formaadis. Kasutati 1990-ndate alguses, kaasajal ei kasutata.

### 3.8.7.5. Oranž raamat

Oranž raamat kirjeldab **multisessiooneid** (*multisession*) **CD-R** (*Recordable*) kettaid. Raamat koosneb 3-st osast:

I osa defineerib **magnetoptilised** (**MO**) mitmekordse kirjutamisega (*Rewritable*) kettad,

II osa defineerib **ühekordse kirjutamisega** **CD-WO** (*Write Once*) ehk **CD-R** kettad,

III osa defineerib **mitmekordse kirjutamisega** **CD-RW** (*Rewritable*) kettad.

Kõik kolm osa sisaldavad järgmisi sektsioone:

- salvestamata ja salvestatud ketaste kirjeldus,
- positsioneerimisspiraalvaio kirjeldus,
- omavahel seotud andmeplokkide paigutus,
- multisessioonsed ja hübriidkettad,
- soovitusel peegelduvuse mõõtmiseks, toite juhtimiseks jne.

### 3.8.7.6. Valge raamat

Valge raamat valmis 1993 aastal ja see sisaldab **Video CD** standardit, mis on ette nähtud video salvestamiseks pakitud kujul **MPEG-1** formaadis. Valget raamatut tuntakse ka nime **DV** (*Digital Video*) all. **Video CD** ketta esimesele rajale (*Track 1*) on salvestatud andmed **CD-ROM XA** formaadis. Sellel rajal on

kasutatud **ISO 9660** failistruktuuri ja ta sisaldab **CD-I** rakendusprogrammi ning **Video CD** informatsiooni antud ketta kohta. Järgmisel rajal või radadel asub video pakitud kujul samas **CD-ROM XA** formaadis. Kogu info peab olema ühes sessioonis.

Standard sisaldab:

- ketta formaati, mis kirjeldab radade kasutamist, informatsiooni ketta kohta, andmeradasid ja audio/videoradasid,
- ISO 9660 andmestruktuuri,
- MPEG audio/videoradade kodeerimist,
- mahamängimisjärjekorra kirjeldusi eelnevalt programmeeritud järjestuste jaoks,
- kasutaja andmevälju, mis võimaldavad kiirkerimist andmete otsimisel jne.

#### **3.8.7.7. Sinine raamat**

Raamat sisaldab **täiustatud muusika CD** (*Enhanced Music CD*) kirjeldust multisessioonsetele tehases pressitud plaatidele, mis sisaldab nii audio kui ka andmesessioone. Neid plaate saab maha mängida CD-plaadimängijatel ja personaalarvutitel.

Standard koosneb järgmistest osadest:

- ketta kirjeldus ja andmeformaadid nii audio- kui ka andmesessioonile,
- pilte ja teksti sisaldava lisainfo failiformaadi **CD-Plus** kirjeldus, mis ühtlasi vastab ka standardile **ISO 9660**,
- **MPEG** kaadri pildi andmeformaad.

Sinist raamatut kutsutakse ka **CD-Extra** või **CD-Plus**. Sellele standardile vastav plaat sisaldab andme- ja helifailide segu, mis on salvestatud erinevate sessioonide ajal, mis võimaldab vältida andmefailide mahamängimist helina.

#### **3.8.7.8. Purpurne raamat**

Firmade **Philips** ja **Sony** poolt 2000 aastal kasutusele võetud standard, mis kirjeldab topelt-tihedusega laserplaati mahuga 1,3 GB. Suurema mahu saavutamiseks on suurendatud radade arvu

ja kirjutamistihedust ühel rajal. Topelt-tihedusega kettad on tavaliselt **CD-R** või **CD-RW** tüüpi ning vajavad erilisi **CD-RW** seadmeid.

#### 3.8.7.9. **CD-I Bridge**

See on samuti firmade **Philips** ja **Sony** poolt väljatöötatud standard, mis on ette nähtud kasutamiseks CD-mängijatel ja personaalarvutitel. Ta koosneb järgmistest osadest:

- kettaformaad, mis ühtib **CD-ROM XA**-ga,
- **ISO 9660**-le vastav failistruktuur. Kataloogis **CDI** peab asuma **CD-I** rakendusprogramm,
- **ADPCM** ja **MPEG** formaatidega audioandmete kodeerimine,
- videoandmete kodeerimine vastavalt **CD-I** ja **CD-ROM XA** standarditele,
- multisessioonne kettastruktuur, mis sisaldab ka sektorite adresseerimist ja ketta nimetust,

Ajutine segadus tekkis, kui firma **Philips** paigutas **MPEG-1** video **roheline raamatu** ketastele, mida sai lugeda ainult **CD-I** kettaseadmete abil. Kaasaegsete **MPEG-1** filmide pealkirjad ühtivad **valge raamatu** standardiga (**Video CD**), mis võimaldab neid lugeda uuematel **CD-ROM** seadmetel. Kaasajal pakitakse nii video kui ka heli kokku ühte **MPEG-1** abil ning salvestatakse **CD-I Bridge** tüüpi kettale.

#### 3.8.7.10. **Photo CD**

See standard on ette nähtud fotode salvestamiseks. **Photo CD** põhineb **CD-I Bridge** standardil ja on kirjeldatud firmade **Kodak** ja **Philips** poolt 1990-ndate alguses.

Uute fotode lisamiseks peab ketas olema multisessioonne, see tähendab, et ta peab vastama ka **oranžile raamatule**.

### 3.8.7.11. Failisüsteemid

Enamlevinud failisüsteem **CD** ketastele on **ISO 9660**, mis suures osas langeb kokku **MS-DOS**-is kasutatava failisüsteemiga **FAT16**. **CD** ketaste failisüsteem määrab kettal asuvate kataloogide ja failide loogilise vormingu ja viisi, kuidas ketta sisu kindlaks määrata **VTOC** (*Volume Table of Contents*) abil. Põhimõtteliseks erinevuseks **FAT16**-st on asjaolu, et laserplaadi süsteemiala sisaldab alamkataloogis failide otseaadressi, mis oluliselt hõlbustab otsingut.

**ISO 9660 esimene tase** (*Level 1*) võimaldas kasutada ainult **MS-DOS**-i failinimesid kujul **8.3** (nimi 8 sümbolit, punkt ja laiend 3 sümbolit). Nimedes võis kasutada võis ainult suuri ladinatahti, numbreid ja allkriipsu “\_”. Faili pidi olema salvestatud kettale järjestikustesse sektoritesse (see võimaldas faili adresseerida algusaadressi ja pikkuse järgi) ning maksimaalne alamkataloogide sügavus oli 8.

**ISO 9660 teine tase** (*Level 2*) võimaldas failinime pikkust kuni 32 sümbolit.

**ISO 9660 kolmas tase** (*Level 3*) lubas failide tükeldamist. Standardile on tehtud ka rida täiendusi, millest tähtsaim on *Microsoft Joliet* täiendus **ISO 9660** esimesele tasemele. See täiendus parandab terve rea puudusi, millest olulisem on **Windows 95** ja järgnevate süsteemide poolt kasutatavate pikkade failinimede toetus.

**ISO 9660** oli kasutatav ainult **CD-ROM** (ainult lugemiseks ette nähtud) ketastel. Ühekordset ja mitmekordset kirjutamist võimaldavate kettaseadmete **CD-R** ja **CD-RW** jaoks loodi uus failiformaat **UDF**.



### 3.9. CD-R ja CD-RW kettaseadmed

Tavalistel **CD heliplaatidel** ja **CD-ROM plaatidel** on andmed salvestatud plastikplaadile sissepressitud imepeenikeste sälkudena (*pits*), mis asetsevad ketta keskelt ketta äärele suunduval spiraaljoonel. Andmete lugemiseks kettalt suunatakse laserikiir spiraaljoonele ja plaadilt tagasipeegeldunud valguse põhjal otsustatakse, kas laseri poolt valgustatud osas asus või ei asunud sälk.

Tänu keerukatele laseri fokuseerimis- ja veaavastussüsteemidele õnnestub väga täpselt välja lugeda plaadile salvestatud informatsiooni. Kahjuks ei võimalda **CD-ROM tehnoloogia** kord juba plaadile salvestatud sälkusid üle kirjutada, seega pole võimalik plaadile salvestatud informatsiooni muuta või uut lisada. Selleks et võimaldada ülekirjutamist või info lisamist töötati välja uued **CD-R** ja **CD-RW tehnoloogiad**.

**CD-R** tehnoloogia võeti kasutusele 1993 aastal ja **CD-RW** 1997 aastal ning samal 1997 aastal tekkis oht, et eespoolmainitud tehnoloogiad tõrjutakse välja uue **DVD tehnoloogia** poolt. Õnneks seda siiski ei juhtunud, sest **DVD plaate** tootvatel firmadel ei õnnestunud kokku leppida ühtse **DVD standardi** küsimuses.

**CD-R** ja **CD-RW** pakuvad laiale ringile arvutikasutajatele võimaluse salvestada ise laserplaadile muusikat, videokujutisi, arvutiprogramme ja andmefaile. Mainitud formaatide eelisteks tavaliste magnetoptiliste (**MO**), uuemate **LIMDOW** ja firma **Panasonic** poolt väljatöötatud **PD** ketaste ees on:

- ühilduvus laserheliplaatide ja **CD-ROM** plaatidega (kirjutavad laserplaadiseadmed loevad kõik mainitud plaate ja uuemad **CD-ROM seadmed** suudavad lugeda nii **CD-R** kui ka **CD-RW** plaate),
- **CD-RW** plaadid on odavamad ning **CD-R** plaadid palju odavamad magnetoptilistest ketastest.

**CD-R** plaadi puuduseks on asjaolu, et juba salvestatud infot pole hiljem enam võimalik muuta (teatud juhtudel saab aga plaadile infot lisada). Kuni viimase ajani oli võimalik **CD-RW plaadile** salvestatud infot üle kirjutada ainult pärast kogu plaadil

oleva info kustutamist, kaasajal aga saab **CD-RW** plaadile salvestatud infot ka osaliselt üle kirjutada.

### 3.9.1. Kettaformaadid

1984 aastal kirjutatud standard **ISO 9660**, millest oli juttu juba eespool, kirjeldas **failinimesid** ja **kataloogide struktuuri** laserplaadil. Selle põhjal oli lubatud kasutada failinimeses ainult suuri ladina tähti ja numbreid 0-9 ning allkriipsu “\_”. Kataloogi nimi võis koosneda ainult 8-st sümbolist ilma laiendita ning maksimaalne alamkataloogide sügavus oli 8. Seoses **Windows 95** ilmumisega tehti standardile vastavad parandused, kuid varasemad **CD-ROM** seadmed ei suutnud lugeda uusi “mittestandardseid” kettaid.

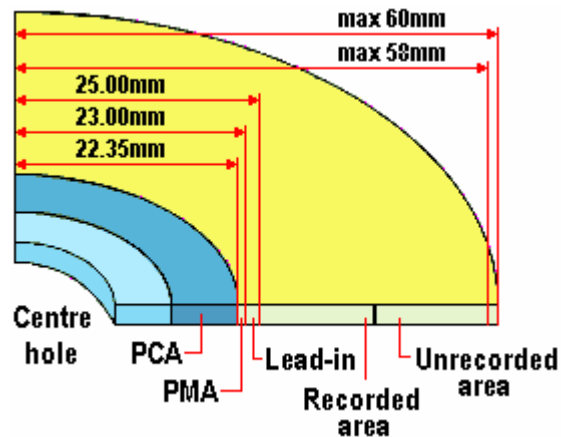
Vastavalt **ISO 9660**-le pidi igal kettal olema **sisukord VTOC** (*Volume Table of Contents*), mis sisaldas nii failinimesid, kataloogide struktuuri kui ka failide asukohta (aadressi) kettal. Eespoolmainitud standard “**oranž raamat**” pakkus välja võimaluse kirjutada kettale mitu korda järjest (niinimetatud **multisessioonsed** kettad), kusjuures igal järgneval sessioonil tuli kettale kirjutada uus täiendav sisukord **VTOC**.

**ISO 9660** formaadi puuduseks on asjaolu, et ühe sessiooni kirjeldamiseks kulub vähemalt 13 MB kettaruumi, millest järeldeb, et 650 MB suurusele kettale saab salvestada ainult 50 sessiooni, seega ei saa laserplaadile salvestada ükshaaval suurt hulka üksikuid faile. Mainitud puuduse kõrvaldas organisatsioon **OSTA** (*Optical Storage Technology Association*), defineerides uue standardi **ISO 13346** ehk **UDF** (*Universal Disc Format*).

**UDF** ei ole seotud ühegi operatsioonisüsteemiga, ta kirjeldab andmete salvestamist optilistele **CD-R**, **CD-RW** ja **DVD** ketastele, kasutades kataloogide struktuuri, mis võimaldab kirjutada kettale ükshaaval suure hulga üksikuid faile.

Vastavalt standardile “**oranž raamat**” jagatakse CD-R ketta pind kaheks: raadiuste 19 kuni 23 mm vahele jääb **süsteemiala SUA** (*System Use Area*) ning raadiuste 23 ja 60 vahele **informatsiooniala** (*Information Area*).

Süsteemiala käitub nagu **alglaadimise sektor** (*boot sector*) kõvakettal – seal on kirjas, millist tüüpi informatsiooni ketas sisaldab ja millises formaadis on andmed. Süsteemiala jagatakse omakorda kaheks osaks: raadiuste 19 mm ja 22,35 mm vahele jääb **kalibreerimispiirkond**



**PCA** (*Power Calibration Area*) ning vahemikus 22,35 kuni 23 mm **programmimälupiirkond PMA** (*Program Memory Area*).

**Informatsioonialal** raadiuste 23 ja 25 mm vahel asub **salvestuse algus** (*lead-in*), selle järele alates raadiusest 25 mm kirjutatakse **andmed** kuni maksimaalse raadiuseni 58 mm, millele järgneb 2 mm laiusega **salvestuse lõpp** (*lead-out*).

Järgneb piirkondade täpsem kirjeldus:

- 1) **Kalibreerimispiirkonda PCA** kasutatakse **salvestuslaseeri** kalibreerimiseks. Igakordsel salvestamisel **CD-R** kettale suunatakse laserikiir kõigepealt **PCA** piirkonnale laseri **salvestusvõimsuse** valimiseks. Optimaalse salvestusvõimsuse valikul tuleb arvestada salvestuskiirust, niiskust, temperatuuri ja kasutatava ketta tüüpi.
- 2) **Programmimälupiirkonda PMA** salvestatakse kalibreerimiste arv: igakordsel kalibreerimisel seatakse üks bitt asendisse “1”, kusjuures lubatud on kuni 99 kalibreerimist. See tähendab, et kettale saab salvestada maksimaalselt 99 sessiooni (99 muusikasalvestust heliplaadile või 99 andmesalvestust andmeplaadile).
- 3) **Salvestuse alguspiirkond** (*lead-in*) võimaldab häälestada **lugemislaserit** salvestusrajale andmete lugemiseks **andmete piirkonnast**. Piirkond ei sisalda andmeid põhikanalil, kuid sisaldab **Q-kanalil** sisukorda **VTOC**. Salvestuse alguspiirkonna pikkus peab võimaldama kuni 99-st rajast (*tracks*) koosneva sisukorra salvestamist.
- 4) **Andmete piirkond** (*Program Area*) sisaldab **põhikanalil** umbes 76 minutit **andmeid**, mis on jagatud kuni 99-ks ra-

jaks (*tracks*). Andmed on salvestatud meetodil, mida nimetatakse **EFM** (*Eight to Fourteen Modulation*), mis tähendab, et iga baidi salvestamiseks kasutatakse 14 bitti ning 2 baidi vahele veel 3 täiendavat bitti. **EFM** bitte kasutatakse **sälkude** (*pits*) moodustamisel ketta pinnale.

5) **Salvestuse lõpp** (*lead-out*) ei sisalda andmeid **põhikanalil**. Ta määrab andmete piirkonna lõpu.

**Alamkanaleid** on kokku 8 ja need on ette nähtud andmete eraldamiseks ja taasesitusprotsessi juhtimiseks nii heliplaadi-mängijatel kui ka **CD-ROM** seadmetel. **Alamkanaleid** kasutatakse vaheldumisi **põhikanaliga**.

**P-kanalit** kasutatakse iga raja alguse ja lõpu tähistamiseks.

**Q-kanal** sisaldab **ajakoode** (minutid, sekundid ja freimid), **raja tüüpi**, **katalooginumbrit** ja **sisukorda VTOC**, mis asub salvestuse alguspiirkonnas.

Algul kasutati ainult kahte kanalit “**P**” ja “**Q**”. Ülejäänud 6 kanalit “**R**”, “**S**”, “**T**”, “**U**”, “**V**” ja “**W**” võeti kasutusele “**punase raamatu**” täiendusega graafikafailide ja **MIDI**-tüüpi helifailide salvestamiseks. Seoses tehnoloogia arenguga lisandus järjest uusi failitüüpe ja **DVD-seadmete** kirjeldus ei kasuta enam üldse alamkanaleid.

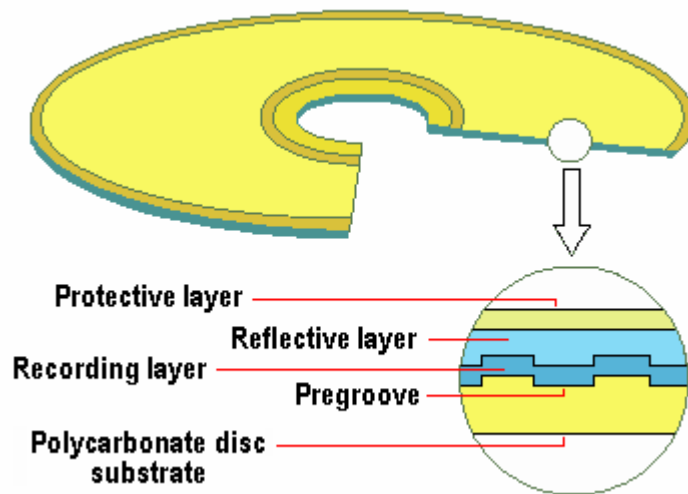
### 3.9.2. CD-R kettaseadmed

Optilised **WORM** (*Write Once Read Many*) kettad võeti kasutusele 1980-ndate lõpus. Kaasajal kasutatav **CD-R** on üks **WORM** ketaste liike.

Esimene **CD-R** (*Compact Disc Recordable*) seade valmistati firmas **Philips** ja see jõudis turule 1993 aastal. **CD-R** asemel kasutatakse ka nime **CD-WO** (*Compact Disc Write Once*). Seade võimaldab ühekordset kirjutamist laserplaadile ja paljukordset lugemist plaadilt vastavalt standardi “**oranž raamat**” II osale.

**CD-R** sarnaneb ehituselt **CD-ROM**-ile, kuid põhimiku (*Polycarbonate disc substrate*) ja metallikihi (*Reflective layer*) vahel on valgustundlikust orgaanilisest materjalist (tsüaniin või seda sisaldavad segud) andmekiht (*Recording layer*). Analoogiliselt **CD-ROM**-iga kaetakse **CD-R** plaadid pealtpoolt kaitsva

lakikihiga (*Protective layer*). Põhimikku on pressitud pidev spiraalvagu (*Pregroove*), mille järgi kirjutav seade hiljem kirjutuslaserit positioneerib (kirjutamiseks kasutatakse suure intensiivsusega laserkiirt). Kirjutamisel tekitatakse vagudevahelisele alale “lohke” (*pits*). Need ei ole tegelikult lohud, vaid materjali kerge sulatamisega mittepeegeldavaks muudetud piirkonnad, mida **CD-lu**ger peab lohkuks.



Erinevalt **CD-ROM**-ist kasutatakse **CD-R** ketaste valmistamisel oksüdeerumise vältimiseks peegeldava kihina alumiiniumi asemel väärismetalli (hõbedat või kulda), mistõttu kettad paistavad pealtpoolt hõbedased või kuldsed.

Kuna valgustundliku kihina kasutatakse erinevaid pigmente, siis võivad **CD-R** plaadid olla altpoolt erinevat värvi: sinised, rohelised, kollased või hõbedased.

**CD-R** valmistajafirmad on uurinud ketastele salvestatud info säilivust testide ja matemaatilise modelleerimise abil ning on saanud tulemuseks 70 kuni 200 aastat. Siiski garanteerivad firmad info säilivust tavaliselt 5 kuni 10 aastat.

Kaasajal on **CD-R** kettad muutunud väga odavaks (nende hind on võrreldav diskettide hinnaga), samal ajal kui salvestatava info maht on umbes 450 korda suurem. Ka kirjutavate seadmete hind on langenud peaaegu samale tasemele **CD-ROM** seadmete hinnaga.

Siiski on **CD-R** seadmetel üks suur puudus – kord juba kirjutatud infot ei saa üle kirjutada. Selle puuduse kõrvaldamiseks leiutati firmade Philips ja Sony poolt 1997 aastal **CD-RW** (*Rewritable*) seadmed.

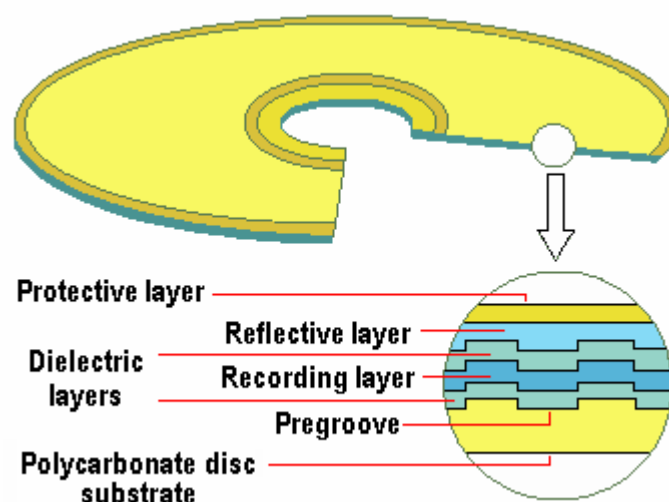
### 3.9.3. CD-RW kettaseadmed

**CD-R** oli 1997 aastal juba muutumas laialdaselt kasutatavaks, kui ilmus võistleja **CD-RW** (*Compact Disc Rewritable*).

**CD-RW** loomisest võtsid osa firmad **Hewlett-Packard, Mitsubishi Chemical Corporation, Philips, Ricoh** ja **Sony**. **CD-RW** tehnoloogia võimaldas kasutajal üle kirjutada vanu mittevajalikke faile või kustutada üksikuid faile. **CD-RW** standard, mida tunni “**oranži raamatu**” **III osana**, kindlustas ühilduvuse teiste **CD** perekonna toodetega ja lisaks veel ühilduvuse uuema **DVD-ROM**-iga.

**CD-RW** kasutab salvestamisel optilist **faasimuutmise** põhimõtet, mis oli kasutusel ka magnetoptiliste kettaste juures. Erinevus **MO** ketastest seisneb selles, et siin ei kasutata magnetvälja. Erinevalt **CD-R** ketastest on **CD-RW** kettad halli metalli värvi.

Kuigi nende ehitus on põhiliselt sama, leidub ka olulisi erinevusi. Plaadi **põhimik** koosneb endiselt **polükarbonaadist**, millesse on pressitud **spiraalvaigu**, mis on vajalik laserikiire positioneerimiseks, kuid sisaldab veel **ajamärke** ja muud täiendavat informatsiooni. Põhimikule on kantud 5 erinevat kihti. **Salvestuskiht** (*recording layer*) on paigutatud 2 **dielektrikihti** (*Dielectric layers*) vahele. Dielektrikihtide ülesandeks on salvestusprotsessis eralduva üleliigse soojuse väljajuhtimine salvestuskihist. Erinevalt **CD-R** ketastest koosneb **CD-RW** ketaste **salvestuskiht** haruldaste metallide **hõbeda, indiumi, antimoni** ja **telluuri** kristallilisest segust. Sellisel segul on eriline omadus: kuumutamisel mingi temperatuurini muutub segu **kristalliliseks**, aga kuumutamisel veel kõrgema temperatuurini ja sellele järgneval jahtumisel muutub segu **amorfseks**. Salvestuskihi kristal-



lilised piirkonnad lasevad valgust paremini läbi kui valgust neelavad amorfseid, nii et laserikiir peegeldub tagasi ainult kristalliliste piirkondade kohalt.

**CD-RW** kettaseade kasutab 3 erinevat laserikiire võimsust:

- suure võimsusega laserikiir, mida nimetatakse “**kirjutamise võimsus**”, muudab salvestuskihi mittekristalliliseks (amorfseks),
- keskmise võimsusega laserikiir, mida nimetatakse “**kustutamise võimsus**”, sulatab salvestuskihi ja muudab selle uuesti kristalliliseks,
- väikese võimsusega laserikiir, mida nimetatakse “**lugemise võimsus**”, ei muuda salvestuskihi omadusi.

Kirjutamise ajal kuumutab fokuseeritud “**kirjutamise võimsusega**” laserikiir salvestuspinna valitud alasid sulamistemperatuurini (500-700 °C), nii et aatomid selles piirkonnas hakkavad kiiremini liikuma (aine sulab). Kuumutamisele järgneb kiire jahutamine, mille tulemusena tekib “külmutatud vedel” ehk **amorfne** aine olek. Amorfne aine tõmbub kokku, tekitades salvestuskihti “**lohu**”.

Kui suunata salvestuskihi “**kustutamise võimsusega**” laserikiir ja hoida seda teatud aja jooksul paigal, siis kiht soojeneb **kristalleerumistemperatuurini** (200 °C) ja aine muutub uuesti kristalliliseks.

Kirjutamine toimub fokuseeritud laserikiire ühekordse liikumisega üle salvestuspiirkonna. Niisugust protsessi nimetatakse **otseseks ülekirjutamiseks** (*direct overwriting*) ja seda võib ühe kettaga korrata mitu tuhat korda.

Salvestuspinna kuumutamise tulemusena amorfseks muudetud piirkondi saab lugeda “**lugemisvõimsusega**” laserikiire abil, mis võimaldab eristada “**lohke**” ketta pinnal. **CD-RW** plaadilt tagasipeegeldunud valgus on nõrgem kui **CD-ROM** või **CD-R** plaadilt peegeldunud valgus, mistõttu **CD-RW** plaate loevad ainult uuemad **MultiRead** tüüpi kettaseadmed. Ka **DVD-ROM** seadmed, mis kasutavad sama **UDF** failiformaati, vajavad erilist **kahe lainepikkusega** lugemispead **CD-RW** plaadi lugemiseks.

Kaasaegsed **CD-RW kirjutajad** on kahefunktsioonilised, sest nad võimaldavad kirjutada nii **CD-R** kui ka **CD-RW** plaate.

**CD-R** plaatide toorikud on odavamad ja salvestatud plaate saab lugeda ka vanematel seadmetel ja heliplaadimängijatel (kui seade ei ole **MultiRead** tüüpi, siis saab lugeda ainult esimest sessiooni). 1998. aastal valmistatud seadmed võimaldasid lugeda 6-kordse kiirusega ja kirjutada nii CD-R kui ka CD-RW plaate 4-kordse kiirusega. 2000 aasta lõpus valmistatud seadmed kirjutavad kiirusega 10/12 (vastavalt CD-RW ja CD-R) ning lugesid kiirusega 32, 2001. aastal olid need kiirused 10/24/40.

Kuigi **UDF** formaat võimaldab failide **kiirkirjutamist** (*Drag and drop*) kettale, ei ole failide kirjutamine **CD-RW** kettale sama lihtne nagu kirjutamine kõvakettale. Esiolgsed piirangud **UDF** standardis ja selle põhjal toodetud tarkvaras (seadmete draiverites) tähendasid, et faili kustutamisel **CD-RW** kettalt ei kustutatud tegelikke andmeid kettalt, vaid fail ainult märgiti kustutatuks, kusjuures vastav andmete piirkond muutus nii lugemisele kui ka kirjutamisele ajutiselt kättesaamatuks. Ülejäänud osa kettast oli võimalik kasutada kuni kogu ketta täitumiseni andmetega. Selleks et salvestada uusi andmeid täiskirjutatud kettale, oli vaja kogu ketta pind puhastada niinimetatud **järjekuse kustutamise** (*sequential erase*) protseduuri abil. Riistvara mõttes **ketta täielik puhastamine** (kustutamine) tähendab kogu ketta pinna kuumutamist madalama temperatuurini pikema aja vältel, mille tulemusena kogu pind omandab esialgse kristallilise struktuuri.

**UDF** standardi ja sellega seotud draiverite tarkvara areng on muutnud **CD-RW** kirjutamise lihtsamaks, kuid siiani pole õnnestunud saavutada samasugust kirjutamise viisi nagu kõvakeetastele ja diskettidele kirjutamine.

### 3.9.4. Minikettad

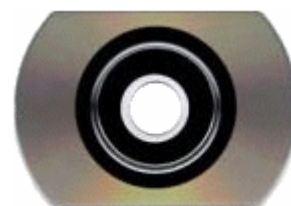
Minikettad kujutavad endast 8 cm läbimõõduga **CD-R** ja **CD-RW** kettaid, mis mahutavad 185 MB andmeid. Enamusel tavalistest **CD-lugeritest** on sahtli põhjas 8 cm läbimõõduga süvend miniketaste jaoks. Teistsuguse konstruktsiooniga lugeritel on tavalisel spetsiaalne adapter miniketaste jaoks.



Ainult vertikaalse paigutusega lugerites ei saa minikettaid kasutada.

Aastaks 2000 olid minikettad muutunud mugavaks **MP3 formaati** kasutava **muusika** ja **video** salvestamise vahendiks nii pleieritele kui ka digitaalkaameratele. Jaapani firma **Nikon** asus isegi tootma suurendatud mahuga (300 MB) minikettaid, mis jäid nii kirjutamisel kui ka lugemisel ühilduvaks tavaliste CD seadmetega.

Mini CD-sid kasutatakse ka **pangakaardi** (*business card*) **formaadis**. See tähendab, et 8 cm läbimõõduga miniketta ääred on lõigatud sirgeks, mille tulemusena kaart mahub pangakaardi kohale rahakotis.



Mõnikord lõigatakse ära ainult 2 äärt, aga kasutatakse ka kettaid, millel kõik 4 äärt on lõigatud. Nendele kaartidele mahub 20 kuni 60 MB infot sõltuvalt sellest, kui palju kettast on ära lõigatud. Pangakaardi formaadis mini-CD-sid kasutatakse nii reklaamimaterjalide jaotamiseks kui ka juurdepääsuvahendina piiratud kasutamissoigusega süsteemides - seal nimetatakse neid ka **PCD** – *Personal Compact Disk*.

### 3.9.5. Digitaalsed audiokettad

“**Digital Audio for Consumers**” – digitaalsed heliseadmed kodutarbijatele – siia alla kuuluvad mitmesugused stereohelisisüsteemid, mis ühtlasi sisaldavad ka CD-mängijaid ja CD-kirjutajaid, mis töötavad samal põhimõttel nagu CD-R ja CD-RW seadmed.

Nende seadmete jaoks on müügil spetsiaalsed laserplaadid, mille hind on märgatavalt kõrgem CD-R ja CD-RW plaatidest. Põhimõtteliselt ei erine need plaadid tavalistest, kuid nende puhul on rakendatud spetsiaalset autorikaitse süsteemi SCMS, mis võimaldab küll teha koopiat originaalist, kuid mitte koopest. Digitaalsed audiokettad on tavalistest CD-toorikutest kallimad sellepärast, et nende tootjad maksavad heliplaadi-firmadele kompensatsiooni. Kompensatsiooni mõte seisneb

selles, et niimoodi saavad plaadifirmad piraatplaatide eest osaliselt tasutud.

### 3.9.6. Topelttihedusega kettad

Topelttihedusega (*double density media*) salvestatavate CD-plaatide idee pole uus. Juba 1990-ndate alguses katsetasid firmad laiendada valge ja punase raamatu standardeid suuremahuliste videosalvestuste salvestamiseks. Sellest ei tulnud aga midagi välja ja 1997 aastal leiutati palju parem DVD – ketas.

Siiski õnnestus firmal **Sony** aastal 2000 välja kuulutada standard "**Purpurne raamat**", mis kohandas vana ISO 9660 formaadi standardse CD kahekordsele tihedusele **1,3 GB**. Tuleb mainida, et see standard oli ette nähtud **ainult andmeketastele**, seega kujutas endast mitte punase, vaid kollase raamatu laiendust.

Suurema tiheduse saavutamiseks tuli **radadevahelist kaugust** vähendada 1,6-lt mikronilt 1,1-le ning minimaalset "**lohu**" **pikkust** 0,833-lt mikronilt 0.623-ni. Ka **veaparandusskeemi CIRC** muudeti – uuele versioonile pani **Sony** nimeks **CIRC7**, samuti laiendati **aadressiformaati ATIP**.

Tiheduse muutmine nõudis ka mõningaid muudatusi kettaseadmete ehituses.

Turule jõudsid **Sony** topelttihedusega **DD-R** ja **DD-RW** seadmed aasta pärast standardi väljakuulutamist. Kirjutav seade **Spressa CRX200E-A1** suutis kirjutada 12x kiirusega **DD-R/CD-R** plaate, kiirusega 8x **DD-RW/CD-RW** plaate ja lugeda neid kiirusega 32x.

Kuigi uued seadmed suutsid lugeda ka vana formaati, ei õnnestu vanade **CD-R** ja **CD-RW** seadmetega lugeda uusi topelttihedusega kettaid.

### 3.9.7. Kettaformaati UDF

Standard **ISO 9660**, mis oli loodud **CD-ROM** ketaste jaoks, omas rea piiranguid, mistõttu ei saanud seda kasutada **DVD**, **CD-RW** ja teiste kettatüüpide puhul. **UDF ISO 13346** standar-

dil need piirangud puuduvad. Näiteks ei saanud vana standardi korral kasutada **pakettkirjutamist**, kuna **ISO 9660** nõudis, et kirjutatavate failide nimed ja pikkused oleksid teada juba enne kirjutamise algust, sest failide füüsilist asukohta kettal määravad *Path Tables* ja *Primary Volume Descriptors* oli vaja genereerida enne kirjutamise algust.

**UDF** võimaldab lisada faile **CD-R** või **CD-RW** kettale ükshaaval ilma palju ruumi võtva 13 MB-se **sisukorra VTOC** lisamiseta iga järgneva sessiooni korral. **UDF** kasutab sealjuures tehnoloogiat, mida nimetatakse **pakettkirjutamiseks**. **UDF**-i korral ei muutu faili **virtuaalne aadress** isegi mitte selle ülekirjutamisel. Pärast iga paketi kirjutamist kettale kirjutab **UDF** kettale **virtuaalse paigutustabeli VAT** (*Virtual Allocation Table*), mis kirjeldab kõigi failide füüsilisi asukohti kettal. Iga uus kettale kirjutatud **VAT** sisaldab eelmise **VAT**-i andmeid, mistõttu **UDF** leiab sealt andmed kõigi kunagi kettale kirjutatud failide kohta.

1998 aastal oli olemas 2 erinevat **UDF**-i versiooni. Versioon **1.02** oli kasutusel **DVD-ROM** ja **DVD-Video** ketaste jaoks. Versioon **1.5** lisas ka **CD-R** ja **CD-RW** toetuse. Kuna puudus operatsioonisüsteemi toetus versioonile **1.5**, siis vajas **CD**-formaatide pakettkirjutamine erilist tarkvaradraiverit. Firma **Adaptec DirectCD V2.0** oli esimeseks draiveriks, mis võimaldas **pakettkirjutamist** ja **üksikute failide eraldikustutamist CD-RW** ketastel. Mainitud draiver võimaldas kirjutada nii **fikseeritud** kui ka **muutuva pikkusega pakette**. Fikseeritud pikkusega pakettide kasutamine sobib **CD-RW** ketastele paremini, sest ta võimaldab ka üksikute failide eraldikustutamist. Fikseeritud pikkus on parem ka sellepärast, et muutuva pikkusega pakettide korral oleks väga raske korras hoida suurt, pidevalt muutuvat failisüsteemi. Siiski pole ka **UDF 1.5** ideaalne. Lisaks operatsioonisüsteemi toetuse puudumisele on puuduseks asjaolu, et 32 KB pikkused fikseeritud paketid nõuavad lisaks palju ruumi ketta sisukorras, tänu millele saab 650 MB-sele **CD-RW** kettale kirjutada ainult 550 MB andmeid. Praktiliselt jääb kettal andmete jaoks veelgi vähem ruumi, sest draiver **DirectCD V2.0**

kasutab osa järelejäänud 550-st megabaidist programmi sisseehitatud ketta eluiga suurendavatele vahenditele.

Iga väikest **CD-RW** osa saab kustutada ja üle kirjutada umbes 1000 korda (planeeritakse lubada ülekirjutamist 10000 korda). Pärast seda muutub antud osa plaadist kasutuskõlbmatuks. Siiski jälgib programm **DirectCD**, et üht ja sedasama plaadi füüsilist osa korduvalt ei kustutata ja üle ei kirjutata, vastavat tehnikat nimetatakse "*sparing*". See tehnika suurendab oluliselt ketta eluiga, kuid suurendab samal ajal ka ketta sisukorra (*overhead*) mahtu, mille tulemusena väheneb ketta kasulik mahtuvus. Isegi juhul kui mingi väike osa **CD-RW** kettast "läbi põleb", ei kujuta see endast mingit probleemi, sest **DirectCD** märgib selle kasutuskõlbmatuks ja töö käib edasi seda ümbritsevate ketta osakestega (umbes samuti nagu kõvakettal märgitakse rikunud sektorid *bad sectors*). Järelikult on väga väheusutav, et **CD-RW** ketas kiiresti ära kulub.

Lisaks sellele, et pakettkirjutamine vähendab ketta kasulikkust, peab veel arvestama sellega, et mitte kõik **CD-R** ja **CD-RW** seadmed ei toeta pakettkirjutamist – seda teevad ainult **MultiRead** seadmed, mis peavad olema varustatud vastava draiveriga. Selliseks draiveriks võib olla **Adaptec**'i tasuta programm **UDF Reader**, mis võimaldab paljudel **MultiRead** seadmetel lugeda **UDF 1.5** formaadis kettaid. Kasulik on veel teada, et **DirectCD** ei asenda **UDF Reader**-it – esimene neist on vajalik ketaste kirjutamisel, teine aga lugemisel.

### 3.9.8. MultiRead kettaseadmed

**CD-RW** kettale salvestatud infot loetakse samal põhimõttel nagu tavalist **CD-d**: leitakse üleminekud vähese ja suurema peegeldumisega piirkondade vahel ja mõõdetakse vahemaad üleminekute vahel. Ainuke erinevus seisneb selles, et peegeldunud valguse intensiivsus on **CD-RW** ketastel väiksem kui tavalistel **CD** ketastel. See aga tähendab, et **CD-RW** kettaid ei saa lugeda paljude vanemate **CD-ROM** kettaseadmete või **CD-mängijate** abil.

Selleks et leida antud probleemile lahendus, on vaja vaadata üle standardid. Vanas **CD**-de kirjelduses on öeldud, et ketta tasane pind (*land*) peab peegeldama vähemalt 70% temale langevast valgusest ja lohk (*pit*) peab peegeldama vähem kui 28% temale langevast valgusest. Sellised nõuded olid tingitud valgustundlike andurite (fotodiodide) parameetritest standardi kirjutamise ajal 1980-ndate algul. Kaasaegsed fotodiodid suudavad eristada palju väiksemat vahet tasase pinna ja lohkude vahel ja seetõttu pole nii ranged nõuded enam vajalikud.

**CD-RW** ketas peegeldab 15-25% tasaselt pinnalt, seega töötab süsteem 3 korda väiksema valguse intensiivsusega. Õnneks pole see probleemiks kaasaegsetele fotodiodidele. Vajalik on ainult fotodiodilt saadud signaali suurem võimendustegur. Firmsid **Philips** ja **Hewlett Packard** poolt väljatöötatud ning **OSTA** (*Optical Storage Technology Association*) poolt kinnitatud **MultiRead** standard pakub välja vajalikud parandused vana standardile ja lahendab sellega ühilduvuse probleeme.

Veelgi enam, maksimaalne ja minimaalne peegelduvus **CD-RW** kettalt vastavad **CD** standardi nõuetele minimaalse modulaatsiooni kohta, mis peab olema 60%. Vaadates tulevikku näeme, et **CD-RW faasimuutmise** tehnoloogia on suhteliselt sõltumatu salvestamise/lugemise laseri lainepikkusest. See tähendab, et **CD-RW** kettaid saab lugeda nii **DVD** süsteemides kasutatavate 650 nm laserite kui ka vanades **CD** süsteemides kasutatavate 780 nm laserite abil, mis pakub seadmete valmistajatele täiendavaid võimalusi.

### 3.9.9. Vigade vältimine kirjutamisel

Üks suuremaid probleeme **CD**-de "kõrvetamisel" on kirjutuspuhvri tühjenemine "*Buffer underrun*". See võib juhtuda, kui samaaegselt "kõrvetamisega" töötavad arvutis teised programmid või kui üritatakse lugeda "aeglaselt" kettalt ja kirjutada "kiirele" kettale. Vigade vältimiseks peavad kirjutatavad andmed olema põletamise ajal algusest lõpuni pidevalt kättesaadavad.

Kirjutuspuhvri tühjenemine "*Buffer underrun*" leiab aset juhul kui arvutisüsteem ei suuda kindlustada pidevat andme-

voogu CD-kirjutajale kirjutamise ajal. Tulemuseks on praak: ketas muutub kasutamiskõlbmatuks. Kirjutuspuhvri tühjenemise vältimiseks sisaldavad kõik kaasaegsed CD-kirjutajad sisseehitatud andmepuhvrit, mis salvestab arvutist saadud andmed, nii et seadmele jääb kirjutamiseks varuks teatud hulk andmeid ka pärast arvutist tuleva andmevoo lõppemist.

Alates aastast 2000 varustatakse **CD-RW** seadmed ketta tasemel töötava riist- ja tarkvaraga, mis muudab kirjutuspuhvri tühjenemise minevikuveaks. Firma **Sanyo** poolt väljatöötatud ja patenteeritud **kirjutuspuhvri tühjenemiskindel tehnoloogia** (*Buffer UnderRun-Proof technology*) kontrollib pidevalt CD-kirjutaja andmepuhvri olekut ning kriitilise oleku korral lõpetab kirjutamise kindlaksmääratud punktis. Pärast puhvri küllaldlast täitumist andmetega jätkatakse kirjutamist alates katkestuspunktist. Firma **Plextor** kasutab oma sedmetes **Sanyo** tehnoloogiat koos enda **PoweRec** (*Plextor Optimised Writing Error Reduction Control*) tehnoloogiaga. **PoweRec** tehnoloogia korral katkestatakse põletamise protsess perioodiliselt **Sanyo** tehnoloogia abil, selleks et kontrollida kirjutamise kvaliteeti ja määrata, kas on võimalik järk-järgult suurendada kirjutamise kiirust. Teised firmad on kas muretsenud litsentsi või välja töötanud oma tehnoloogia. Firmad **Mitsumi** ja **LG Electronics** kasutavad firma **OAK Technology** "ExacLink" süsteemi, firma **Yamaha** kasutab sama süsteemi nimetuse all "SafeBurn". Firma **Acer Communications** nimetab oma tehnoloogiat "Seamless Link" ja firma **Ricoh** kasutab nimetust "JustLink".

### 3.9.10. Ketaste mahud

**CD-R**-idel on eelnevalt sissepressitud spiraalne vagu, mille sisse on kirjutatud ka andmesektorite aadressid. Tavalise **CD** formaadiks on "Punase raamatu" järgi kas 74 minutit (heliplaat) või "Kollase raamatu" järgi 650 MB (andmeplaat). Iga mängitav sekund on salvestatud 75-de sektorisse, seega on ketta kogumaht  $74 \cdot 75 \cdot 60 = 333\,000$  sektorit. Heliplaadi sektorisse saab kirjutada 2353 baiti ja andmeplaadi sektorisse 2048 baiti. Erinevus tuleb sellest, et andmeplaadil on kasutatud täiendavat veaparandus-

koodi, mis võtab enda alla 305 baiti iga sektori kohta. Seega saab tavalisele heliplaadile salvestada **746 MB** (74 minutit) heli ja andmeplaadile ainult **650 MB** andmeid.

1990-ndate lõpus hakati tootma mainitud mahtudest suuremaid laserplaate. Mahu suurendamiseks vähendati nii ridadevahelist kaugust ja kui ka lohkudevahelist kaugust ühel real.

Esimesel katsel suurendati sektorite arvu 360 000-ni, mis võimaldas salvestada kuni 80 minutit muusikat või 703 MB andmeid. Teisel katsel suurendati salvestuse aega maksimaalse 99 minutini, mis teeb andme-CD mahuks 793 MB. Kuna ajamärgid on salvestatud spiraalvaole kahendkoodis kümnendarvudena, siis polnud enam võimalik suurendada salvestatavate minutite arvu.

Suurendatud kettastandardide eelised on järgmised:

- Segadus kirjutatava **DVD** ja tema erinevate variantide tõttu pärssis **DVD**-de laiema kasutuselevõtu,
- **CD-RW** tehnoloogia oli läinud massidesse, sest juba paljudesse koduarvutitesse olid paigaldatud laserplaadikirjutajad,
- **CD-R** ja **CD-RW** plaadid on väga odavad võrreldes **DVD** plaatidega,
- tohutu huvi **VCD** ja **SVCD** formaatide vastu, eriti Kaug-Idas ja Hiinas.

## 3.10. DVD kettaseadmed

Kettaseadmete tormiline areng toimus 1990-ndatel aastatel: kõvaketaste maht suurenes ligi sajakordseks, **CD-ROM** ja selle uuemad vormid **CD-R** ja **CD-RW** muutusid odavaks ja kättesaadavaks tavakasutajale ning 1996 aastal lepidi lõplikult kokku ka eriti suure mahuga vahetatava ketta **DVD** (*Digital Versatile Disc*) ehk “digitaalne mitmekülgne ketas” kirjeldus (standard).

Kinokompaniid nägid **DVD**-plaadis võimalust elavdada videotoodete (filmide) turgu, sest “suure CD” omahind oli madalam ja kujutise ning heli kvaliteet parem kui videokassetil. Kasutades **MPEG-2 videokompressiooni** (seda kasutatakse ka digitaalse TV satelliit- ja kaabelülekannetel) on võimalik salvestada täispikk videofilm **DVD** ketta ühele poolele. Sellise salvestuse kvaliteet on sama hea nagu televisioonis ning **DVD-Video** ketas suudab lisaks kanda ka mitmekanalilist digitaalset heli.

Algul kasutati uut ketast ainult videosalvestuste (**DVD-Video** ketaste) mahamängimiseks



spetsiaalsetel **DVD-ROM** seadmetel, kuid juba 1990-ndate lõpus müüdi arvutite **DVD-ROM** seadmeid 5 korda rohkem kui spetsiaalseid **DVD-ROM** seadmeid. Tänu arvutitööstusele ja eriti **CD-ROM**-seadmete valmistajatele on kaasajal **DVD-ROM** seadmeid kasutusel juba rohkem kui **CD-ROM** seadmeid.

Varem ainult videosalvestusteks kasutatud **DVD-ROM** kettad leiavad kaasajal järjest rohkem kasutamist arvutite maailmas, näiteks eriti suure mahuga mängude ja suuremahuliste programmipakettide salvestamiseks. Varem mitmele **CD-ROM** kettale paigutatud programmid või andmebaasid mahuvad nüüd ära ühele **DVD-ROM** kettale.

### 3.10.1. Ajalugu

Erinevalt **CD-ROM** ketastest, mille standardi väljatöötamisest võtsid osa mitmed firmad **Philips**-i ja **Sony** juhtimisel ja mis sujus ladusalt, ilma probleemideta, tekkis **DVD-ROM**-i



standardi väljatöötamisel pikka aega kestev vastuseis erinevate grupeeringute vahel.

Üheks grupeeringuks oli elektroonikafirmade **Matsushita Electric, Toshiba** ja kinokompanii **Time Warner** liit oma *Super Disc (SD)* tehnoloogiaga ning teiseks grupeeringuks firmad **Sony** ja **Philips** oma *Multimedia CD (MMCD)* tehnoloogiaga. Mainitud ketaste formaadid olid täiesti erinevad, mistõttu kokkulepe tundus olevat võimatu.

Arvutitööstuse surveel kuulutati **DVD** standard välja septembris **1995**, standardi omanikuks ja litsentseerijaks oli organisatsioon nimega **DVD Licensor Consortium**, millesse kuulusid firmad **Hitachi, JVC, Matsushita, Mitsubishi, Pioneer, Sony, Thomson, Time Warner, Toshiba** ja **Philips**. Segadus standardi nime üle (esialgu eksisteeris kaks varianti- *Digital Video Disc* ja *Digital Versatile Disc*) lahenes sedaviisi, et eelpool mainitud konsortsium teatas ametlikult lühendi “**DVD**” pika kuju puudumisest. Tegu olevat üldise tootenimega.

Standardi loomisega segadused veel ei lõppenud, sest see põhines suures osas *Super Disc* tehnoloogiale ning tuli hõõgus tuha all edasi. Peamised arvutifirmad **Microsoft, Intel, Apple** ja **IBM** moodustasid kolmanda grupeeringu ja nõudsid kiiret ühtse standardi määratlemist. Suurte raskustega õnnestus asjaosalistel firmadel **1996 aastal** uuesti **DVD Forum**-i nime all kokku leppida (lõplik standard sisaldas enam-vähem võrdselt elemente mõlema osapoole tehnoloogiast). Kokkuleppimine oli raske, sest küsimus oli litsentsitasudes – tasu suurus olenes standardiga kinnitatud tehnoloogiaelementide arvust.

Lisaks sellele, et **DVD-ROM** ketaste pärast tülitsevad elektroonikafirmad, tekitas “suurte CD-de” leiutamine probleeme ka filmitööstuses. Nimelt nõudis *Hollywood*, et piraatkoopiate tegemise vältimiseks uutest ketastest tuleb välja töötada spetsiaalne tehnoloogia. Esialgne kaitsesüsteem ei õigustanud ennast, sest arvuti abil oli võimalik **DVD** kettast teha täpne koopia näiteks kõvakettale ning seepärast pöördus filmitööstus USA Kongressi poole seaduseelnõuga, mis oleks piiranud koopiate tegemist videofilmidest.

Filmitööstusel ei õnnestunud seaduseelnõud USA Kongressis läbi suruda, kuid neil õnnestus lisada koopiakaitse nõuded **DVD-Video** standardile. Vastavalt sellele standardile töötati 1996 aasta lõpuks välja andmekaitstesüsteem *Content Scrambling System (CSS)* ja seejärel ka mitmed teised kopeerimiskaitstesüsteemid.

### 3.10.2. Formaadid

**DVD**-del on viis erinevat formaati:

- **DVD-ROM** on suure mahuga arvutiketas,
- **DVD-Video** on digitaalne mälu ketas, millele mahub täispikk mängufilm,
- **DVD-Audio** on ainult heli salvestamiseks ettenähtud suuremahuline mälu ketas (**CD-Audio** analoog),
- **DVD-R** on **CD-R** analoog, mis võimaldab ühekordset kirjutamist ja mitmekordset lugemist,
- **DVD-RAM** on ülekirjutatava **DVD** esialgne formaat, millele järgnesid temaga võistlevad formaadid **DVD-RW** ja **DVD+RW**.

Kõigil neil on ühesugused välised mõõtmed, mis langevad kokku CD-plaatidega (läbimõõt 120 mm ja paksus 1,2 mm). Võrreldes CD-plaatidega on DVD plaatide mahud oluliselt suuremad (kuni 17 GB) ja andmete ülekandekiirused suuremad, kuid keskmine juurdepääsuaeg langeb kokku CD-plaatide omaga. Andmemahu järgi jagatakse DVD-plaadid järgmiselt:

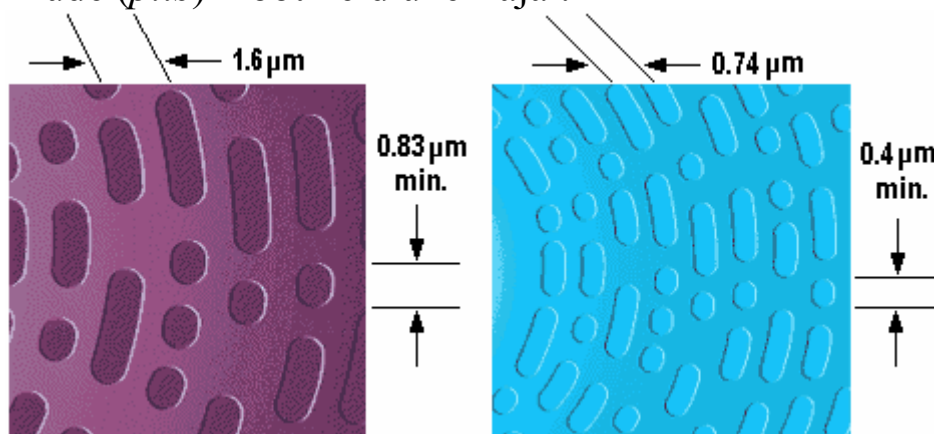
- **DVD-5** on CD-plaadist 7 korda suurema mahuga (4,7 GB) ühepoolne ühekihiline ketas,
- **DVD-9** on ühepoolne kahekihiline ketas mahuga 8,5 GB,
- **DVD-10** on 9,4 GB mahuga kahepoolne ühekihiline ketas,
- **DVD-18** on kahepoolne kahekihiline ketas mahuga 17 GB.

Esimene **DVD-18** formaadis film "*The Stand*" lasti turule 1999 aasta oktoobris, kuid seda osteti vähe tema kõrge hinna tõttu. Kuna ka **DVD-10** poolt turu vallutamiseks kulus palju aega, siis on raske ennustada, millal muutub **DVD-18** turu liidriks (võibolla võetakse enne kasutusele vahepealne variant **DVD-14**, mille ühel küljel on kaks kihti ja teisel küljel üks kiht).

Seega on DVD-del **füüsilised formaadid** vastavalt ketta mahule ja sisemisele ehitusele ja **rakendusformaadid** vastavalt sellele, mida kettale kirjutatakse. **DVD-video** ja **DVD-audio** on rakendusformaadid, ka mängukonsool **Sony Playstation2** kujutab endast rakendusformaati.

### 3.10.3. Tehnoloogia

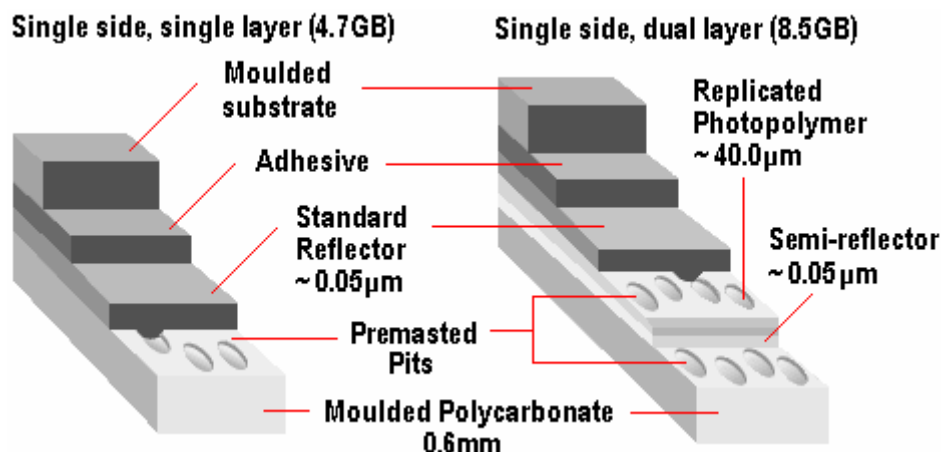
Võrreldes omavahel **CD** ja **DVD** plaate võib nad kergesti segamini ajada, sest nad on ühesuguste mõõtmetega ja mõlemad on ette nähtud laseriga lugemiseks. DVD-plaadi 7-kordne maht võrreldes CD-plaadiga on saavutatud salvestustiheduse suurendamisega. Vähendatud on nii radadevahelist kaugust kui ka lohku (*pits*) mõõtmeid ühel rajal.



**DVD** plaadi salvestusradade omavaheline kaugus (*track pitch*) on 0,74 mikronit, seega vähem kui pool **CD** plaadi 1,6-st mikronist. **DVD** plaadi lohkuide minimaalne pikkus (0,4 mikronit) on samuti umbes kaks korda väiksem kui **CD**-plaadil (0,834 mikronit). Mõõtmetelt väiksemate lohkuide kirjutamiseks ja lugemiseks ei sobi enam **CD-ROM** seadmetes kasutatav infrapunane 780 nanomeetrise lainepikkusega laser, mistõttu **DVD** seadmetes kasutatakse punast laserit lainepikkusega 635 või 650 nanomeetrit.

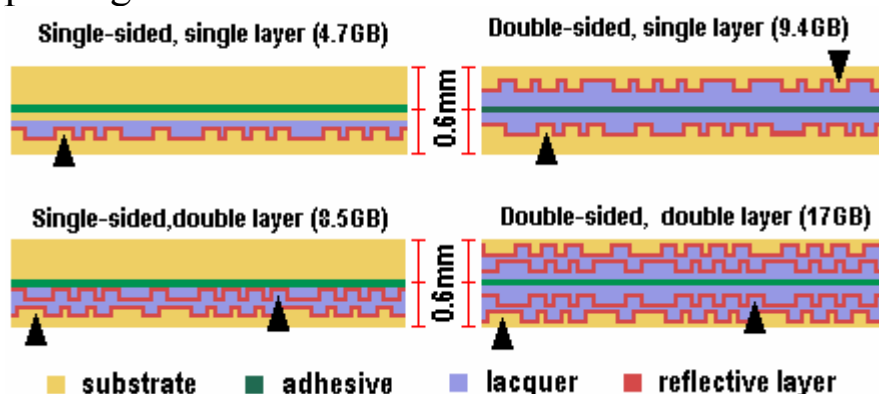
Veelgi suurema mahu saavutamiseks salvestatakse andmed kahele andmekihile, kusjuures üleminekuks ühelt kihilt teisele tuleb muuta laseri fookuskaugust. Erinevalt ühekihilisest plaadist, kus informatsiooni sisaldava polükarbonaadist põhimiku (*substrate*) peal asub läbipaistmatu alumiiniumist peegelkiht

(*reflector*), kasutatakse siin **polükarbonaadist põhimiku peal poolläbipaistvat peegelkihti (*semi-reflector*)**, mille peal asub teine salvestuskiht ja selle kohal omakorda **läbipaistmatu peegelkiht**.



Ühepoolse kahekihilise ketta maht (8,5 GB) on väiksem kui kahekordne ühekihilise ketta maht (9,4 GB), sest teisele kihile ei saa kirjutada andmeid sama tihedalt kui esimesele, kuid ta võimaldab lugeda andmeid algul ühelt ja seejärel teiselt kihilt ilma vahepeal ketast ümber pöörata.

Huvitav on ka see, et kahekihilise ketta esimeselt kihilt loetakse andmeid samuti nagu CD-kettalt, see tähendab mööda spiraali keskelt ääre poole, kuid andmete lugemine teiselt kihilt toimub tavaliselt vastassuunas, seega ääre poolt keskele. Võimalus lugeda teist kihti mõlemas suunas kiirendab lugemisprotsessi, sest laserikiire ümberfokuseerimine võtab vähem aega kui lugemispea liigutamine ühest äärmisest asendist teise.



Nagu juba eespool mainitud, kasutatakse ketta mahu suurendamiseks kahepoolseid kettaid, mis võimaldavad salvestada kahekordse andmemahu, kuid üleminekuks teisele poolele tuleb kettas seadmest välja võtta ja ümber pöörata. Selleks et hõlbusta-

da laseri fokuseerimist väiksematele ja madalamatele lohkuudele, kasutatakse **DVD** ketastes kaht “selgapidi” kokkukleebitud 0,6 mm paksusega plaati. Ketta üldine paksus 1,2 mm muudab nad mehaaniliselt tugevamaks (0,6 mm paksusega ketas on liiga õhuke). Ka ühepoolsed **DVD** kettad koosnevad kahest kokkukleebitud plaadist, kusjuures ainult üks neist sisaldab infot.

Lisaks eelpooltoodud ketta üldise mahu suurendamise võtetele on andmed kettale paigutatud palju efektiivsemalt. Nimelt ehitati **CD**-de veaparandussüsteemid 1970-ndate lõpus eriti vastupidavana, kusjuures ei pööratud erilist tähelepanu asjaolule, et veaparandusbitid võtavad enda alla suure osa üldisest kettapinnast. **DVD** ketaste juures kasutatav veaparanduskood **ECC** (*error correction code*) on efektiivsem ja jätab rohkem ruumi kasulikele andmetele.

### 3.10.4. OSTA

**OSTA** (*The Optical Storage Technology Association*) on ühing, mitte standardiorganisatsioon, mille liikmed toodavad rohkem kui 80 protsenti kogu maailma vastavast toodangust. Tema kirjeldused väljendavad liikmete ühist seisukohta, kuid ei ole kõigile kohustuslikud.

**MultiRead** on kirjeldus, mis sisaldab nõudmisi kettaseadmele, mis peab mängima või lugema kõiki järgnevaid kettatüüpe: **CD-DA** (*Digital Audio*), **CD-ROM**, **CD-R** (*CD-Recordable*) ja **CD-RW** (*CD-Rewritable*). Selle kirjelduse projekti esitasid **OSTA**-le firmad **Hewlett Packard** ja **Philips**. **OSTA** võttis projekti vastu ja kuulutas välja avatud arutelu asjast huvitatud firmadele. Arutelu käigus tehti projektile mitmeid täiendusi, millest üks lisas nõude, et **DVD-ROM** kettad peavad suutma lugeda **CD-R** kettaid. **OSTA** kinnitas **MultiRead** kirjelduse.

Ühinemine **MultiRead** kirjeldusega on vabatahtlik. Ühinemise kinnituseks on seadmele kantud logo, mille saab firmast **Hewlett Packard** pärast seadmete testimist ja litsentsitasu maksmist.

**MultiRead** mängis olulist rolli ka võitluses kirjutatavate **DVD** standardite vahel. Ta kaitses tarbijaid sel viisil, et kind-

lustas võimaluse lugeda kõiki vanu ketaste kettatüüpe, kusjuures ühilduvus puudus ainult **DVD-RAM** ja **DVD+RW** ketaste vahel.

**OSTA** mängis tähtsat osa ka **DVD** ketaste failisüsteemide kirjeldamisel.

### 3.10.5. Failisüsteemid

Üks peamisi **DVD** saavutusi oli kõigi võimalike **CD** kasutusala (heli, video ja andmete) või nende segu salvestamine **UDF** (*Universal Disc Format*) formaadis. Kõik **OSTA** poolt esitatud **UDF** failistruktuuri omavad kettad peavad olema faili tasemel loetavad kõigi kettaseadmete, arvutite ja koduvideoseadmete poolt. **UDF** võimaldab ka paljudel juhtudel ühilduvust operatsioonisüsteemidega, sest ta sisaldab ühilduvust **CD** standardiga **ISO 9660**. **UDF** abil ületati ühilduvusprobleemid, mis tekkisid **CD** standardite uuendamisel uue multimeedia või videorakenduse ilmumisel.

**DVD** kohta kehtib **UDF** kirjeldus **1.02**, mida nimetatakse ka **M-UDF** (*Micro-UDF*).

Kuigi **Windows 95** esimene versioon toetas standardit **ISO 9660**, ei toetanud ta üldse **DVD** ketaste standardit **UDF**. Seoses sellega tekkis **DVD**-firmadel probleem, mille lahendamiseks töötati **DVD-ROM** ketaste jaoks välja vahepealne formaat **UDF Bridge**, mis kujutas endast **UDF** ja **ISO 9660** segu. **Windows 95** uuendus **OSR2** toetas **UDF Bridge**-i, kuid **Windows 95** esimese versiooni kasutajad pidid muretsema **DVD-ROM** ketaste lugemiseks vastava eriseadme. **UDF Bridge** ei sisaldanud täielikult *Joliet* laiendusi **ISO 9660** jaoks, mis pidid võimaldama pikkade failinimede kasutamist. Probleemid **UDF** standardile vastavate **DVD** ketaste lugemisel lahendas **Windows 98**, mis toetas täielikult **UDF** standardit.

**DVD-Video** kettad kasutavad ainult **UDF** standardile vastavaid andmeid ja **ISO 13346** standardit, mis võimaldab neid maha mängida arvutisüsteemide abil. **CD** ketaste esialgset failisüsteemi **ISO 9660** ei kasutata siin üldse. **DVD-Video** failide pikkus ei tohi ületada 1 GB ja nad peavad olema salvestatud

ühes sektsioonis (see tähendab, et failid ei tohi olla tükeldatud). Esimene kataloog kettal peab olema **VIDEO\_TS**, mis sisaldab kõikide failide nimesid, mis peavad olema **formaadis 8.3**.

**DVD-Audio** kettad kasutavad **UDF** formaati ainult andmete salvestamiseks erilisse **DVD-Audio piirkonda** kettal, mis kasutab katalooginime **AUDIO\_TS**.

### 3.10.6. Ühilduvus

**DVD** formaatide ühilduvusega on olnud probleemid juba algusest peale. Mõned nendest on lahenenud, kuid eriti need, mis on seotud korduva kirjutamisega või erinevate video-variantidega, on jäänud ja paistab, et isegi süvenevad.

**CD-R** ja **CD-RW** ketaste lugemine **DVD-ROM** kettaseadmete abil oli üks esimesi probleeme. Nimelt mõned nendes ketastes kasutatavad värvained ei peegelda **DVD-ROM** kettaseadmetes küllaldaselt valgust, mistõttu seade ei suuda neid kettaid lugeda. **CD-RW** ketaste jaoks lahenes probleem **MultiRead** standardi abil, mis nõudis kahe lainepikkusega laseri kasutuselevõttu. Samas osutus palju suuremaks probleemiks **CD-R** ketaste lugemine **DVD-ROM** seadmete abil. Nimelt on **DVD** seadme **650 nm laserikiire** peegelduvus **CD-R** ketta salvestuskihilt väga madal, samal ajal kui **780 nm laserikiire** peegelduvus sellelt on normaalne, see tähendab peaaegu sama suur kui peegelduvus **CD-ROM** kettalt. Lisaks halvale peegelduvusele on ka modulatsioon **650 nm** lainepikkuse juures väga väike. Elektroonikaseadme konstrueerimine seda tüüpi peegelduvuse korral on väga keeruline ja saadud seade võib osutada liiga kalliks. Võrdluseks võib öelda, et **CD-RW** korral on tagasipeegeldunud signaali tugevus kas 780 nm või 650 nm juures  $\frac{1}{4}$  **CD-ROM** kettalt peegeldunud signaali tugevusest. Neljakordset erinevust on lihtne kompenseerida signaali võimenduse neljakordse suurendamise abil. Nagu näha, on **CD-RW** lugemine **DVD-ROM** seadme poolt palju parem kui **CD-R** lugemine ja seepärast kasutatakse andmete ülekandel **CD** seadmelt **DVD** seadmele põhiliselt **CD-RW** kettaid.

**DVD-R Video** kettaid saab maha mängida nii **DVD-Video** plaadimängijal kui ka arvutil, mis on varustatud **DVD-ROM** seadmega, **DVD MPEG** dekodeeri kaardiga (või vastava tarkvaraga) ja rakendustarkvaraga, mis emuleerib videopleieri juhtimisfunktsioone.

Salvestatud **DVD-ROM** ketast saab lugeda nii **DVD-ROM** kettaseadmega varustatud arvutiga kui ka arvutiga, mis on kohandatud **DVD Video** ketaste mahamängimiseks.

1998 sügisel ei suutnud **DVD-ROM** kettaseadmed lugeda mitmekordselt kirjutatavaid **DVD** kettaid. Sellest puudusest saadi üle alles 1999 aasta keskel, siis kui turule ilmusid “**kolmanda põlvkonna**” seadmed, millest mõned võimaldasid lugeda nii **DVD-RAM** kui ka **DVD+RW** formaadis kettaid.

Ka pöörlemiskiirus oli alguses probleemiks. 1997 aastal hakati tootma ainult **CAV** (*Constant Angular Velocity*) meetodit kasutavaid **CD-ROM** kettaseadmeid, mille eelisteks olid suurem ülekandekiirus ja väiksem vibratsioon töötamisel. Esimesed **DVD-ROM** seadmed, samuti nagu esimesed **CD-ROM** seadmedki, kasutasid **CLV** (*Constant Linear Velocity*) meetodit. Kuna ainult **CLV** meetodit kasutavate seadmete tippkiiruseks oli  $8 \cdot 150 = 1200$  KB/s, siis ei saanud nendel seadmetel lugeda **CD-ROM** kettaid, mis nõudsid sellest suuremat lugemiskiirust.

Eespoolmainitud puudused põhjustasid aeglase **DVD-ROM** seadmete arengu 1997 aastal, mistõttu **DVD-ROM** seadmete arengu “**teine põlvkond**” sai alguse alles 1998 aasta alguses. Teine põlvkond erines esimesest selle poolest, et need seadmed suutsid lugeda **CD-R** ja **CD-RW** kettaid, **DVD-ROM** kettaid kahekordse kiirusega ja **CD-ROM** kettaid 12-kordse kiirusega.

Pärast esimeste probleemide lahendamist oodati, et nii **DVD** ketaste kui ka seadmete areng hakkab kiirenema tänu mängude ja muude videorakenduste kiiremale arengule. Siiski aeglustus areng ka 1998 aastal seoses võistleva **DIVX** formaadi ilmumisega. Õnneks viimane kadus 1999 aasta keskel ja tekkis lootus, et **DVD-ROM** seadmed võetakse omaks ja nad hakkavad kõigis arvutites asendama **CD-ROM** seadmeid. Järgnevas tabelis on toodud erinevate formaatide ühilduvus lugemisel ja kirjutamisel. “Jah” tähendab, et märgitud kettaseade tavaliselt suudab töötada



mainitud kettatüübiga ja “Ei” seda, et märgitud kettaseade ei suuda või väga harva suudab töötada mainitud kettatüübiga.

DVD ketta formaat	DVD seadme tüüp											
	DVD-mängija		DVD-R(G)		DVD-R(A)		DVD-RAM		DVD-RW		DVD+RW	
	R	W	R	W	R	W	R	W	R	W	R	W
DVD-ROM	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Ei
DVD-R(G)	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Ei
DVD-R(A)	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Ei
DVD-RAM	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei	Ei
DVD-RW	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Ei	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Ei
DVD+RW	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei	Jah	Ei	Jah	Jah
CD-R	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Jah
CD-RW	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Jah

Märkused tabeli kohta:

1) Kuni 2001 aasta lõpuni suutsid **DVD-RAM** kettaseadmed kirjutada ainult **DVD-RAM** kettaid, pärast seda aga ka **DVD-R (G)** tüüpi kettaid,

2) Esimesed **DVD+RW** seadmed ei suutnud salvestada **DVD-R** kettale, kuid alates 2002 aasta kevadest suudavad need seadmed salvestada ka uuele kettatüübile DVD+R.

### 3.10.7. Kodeerimine

Kodeerimine tähendab siin andmete (antud juhul videosalvestuse) ümberkirjutamist digitaalsele kujul, mis võimaldab videopildi salvestamist **DVD**-kettale. Kaasaegsed kodeerimismeetodid võimaldavad andmeid kodeerimise ajal ka ühtlasi kokku suruda. Kokkusurumine osutub võimalikuks tänu korduvatele gruppidele või tänu sellele, et jäetakse registreerimata tühine (silmale märkamatu) signaali muutus.

**DVD-Video** kettale saab salvestada liikuvaid pilte (videot), kasutades kas **MPEG-1** või **MPEG-2** kodeeringut.

Järgnevas tabelis on toodud nende kodeeringute põhiparameetrid:

	MPEG-2	MPEG-1
<a href="#">PAL/ SECAM</a> resolutions (punkte ekraanil)	720 x 576 704 x 576 352 x 576 352 x 288	352 x 576 352 x 288
<a href="#">NTSC</a> resolutions (punkte ekraanil)	720 x 480 704 x 480 352 x 480 352 x 240	352 x 480 351 x 240
Variable Bit Rate ( <a href="#">VBR</a> ), Constant Bit Rate ( <a href="#">CBR</a> )	VBR or CBR	CBR
PAL/SECAM frame rate (kaadrisagedus)	25 <a href="#">fps</a>	
NTSC frame rate (kaadrisagedus)	24 or 30fps	

Muutuva reasagedusega (*Variable Bit Rate*) kodeerimine võimaldab paremat kujutise kvaliteeti väiksema bittide keskmise koguarvu juures, mis saavutatakse suurema bittide arvuga keerulisema kujutise korral ja väiksema bittide arvuga lihtsama kujutise korral. Konstantne reasagedus (*Constant Bit Rate*) nõuab ühesugust (suuremat) bittide arvu kõigis ridades.

Varasemad **DVD-ROM** kettaseadmed kasutasid kahte erinevat strateegiat videopildi moodustamisel kettalt loetud andmete põhjal.

Esimest meetodit nimetati “**analooglaotus**” (*analogue overlay*), teist aga **VideoInlay**.

Mõlemad meetodid tekitavad kuvari ekraanile videopildi, kuid nad kasutavad erinevaid lähenemisviise.

**VideoInlay** kasutab arvuti graafikakaarti video moodustamiseks ja kuvari ekraanile saatmiseks, mistõttu viletsama videokaardi korral võivad tekkida ekraanil moonutused.

**Analooglaotuse** korral läbib signaal samuti videoadapteri, kuid ta ei jõua sealt otse kuvari ekraanile, vaid ta läbib eelnevalt erilise dekooderikaardi. Analooglaotuse korral pole vaja kasutada uuemat (võimsamat) graafikakaarti.

Heli kodeerimiseks **DVD** ketastele kasutati Euroopas ruumilist (*surround*) **MPEG-2** meetodit, samal ajal kui mujal maailmas kasutati meetodit *Dolby Digital AC-3*. Vastuolu lahendas

1998 aasta jaanuaris **DVD Forum**, lubades kasutada mõlemat meetodit.

**DVD-Video** ilmus turule Jaapanis 1996 aasta novembris, USA-s 1997 aasta märtsis ning Euroopas alles 1998 aasta sügisel. Nii suured viivitused olid tingitud tehnilistest probleemidest, sealjuures suures osas kodeerimise probleemidest.

### 3.10.8. Intellektuaalse omandi kaitse

Firmad **Intel**, **IBM**, **Matsushita** ja **Toshiba** töötasid koostöös grupiga **CPTWG** (*Copy Protection Technical Working Group*) välja süsteemi **CPSA** (*Content Protection System Architecture*), mis kirjeldas üldist andmekaitse süsteemi kõigile **DVD** ketastele. **CPSA**-le pidid vastama nii juba olemasolevad kui ka tulevikus loodavad andmekaitsetehnoloogiad. Koostöös asjast huvitatud gruppidega tuli ühtlasi vältida grupi **SDMI** (*Secure Digital Music Initiative*) poolt väljastatud meetmete dubleerimist andmekaitse alal.

**CPSA** arhitektuur on kõikehaarav – ta kehtib nii analoog- kui ka digitaaltehnikaga koostades nii audio- kui ka videosalvestuste, nii koduelektronika kui ka arvutisüsteemide kohta. Järjekindel kaitse süsteem on üles ehitatud nii tehnoloogiale kui ka poliitika-le. Tehnoloogia osas kasutatakse lisaks **kaitsekodeerimisele** ka **vesimärgistamist**.

**Vesimärgistamine** on tehnoloogia, mis võimaldab eristada litsentsi omavat originaali piraatkoopiast. Vesimärgid peavad olema kaitstavasse objekti sisseehitatud sellisel viisil, et nad oleksid tarbijale nähtavad, kuid kustutamise- ja muutmiskindlad. Vesimärgis sisalduv informatsioon **CMI** (*Content Management Information*) kujutab endast salvestuse kasutamise reegleid – tingimusi ja nõudeid, mida tuleb järgida kasutamisel. Need reeglid kehtivad nii salvestuse analoog- kui ka digitaalkuju kohta. Vesimärgistamine iseenesest ei kaitse salvestuse sisu. Sisu kaitseks sanktsioneerimata kasutamise vastu on ette nähtud kaitsekodeerimine ehk **šifreerimine**.

**Šifreerimine** on salvestuse digitaalse sisu tükeldamine sellisel viisil, et see muutub kasutamiskõlbmatuks (arusaamatuks). Šif-

reeritud sisu arusaadavaks muutmist nimetatakse **dešifreerimiseks**. Salvestuses sisalduva intellektuaalse omandi dešifreerimiseks peab kasutaja omandama **litsentsi**. Litsentsileping sisaldab **CMI**-s kirjapandud kasutamise reegleid. 2000 aasta lõpus olid kasutusel järgmised **CPSA**-le vastavad omandikaitse tehnoloogiad:

- **APS** (*Analogue Protection System*) – töötati välja firma **Macrovision** poolt kopeerimise vältimiseks videomagnetofonides ja võeti hiljem kasutusele ka laserketaste juures. Koopiakaitse süsteem koosneb kahest elemendist: **võimenduse automaatregulaatorist AGC** (*Automatic Gain Control*) ja **värvitriipudest** (*Colourstripe*). Kopeerimise vältimiseks salvestati originaalvideolindile lisaks videosignaale täiendavad impulsid, mis ei mõjunud televiisorile, kuid segasid salvestava videomagnetofoni võimenduse automaatregulaatorit. Tulemuseks oli koopia, mille mahamängimisel esinesid mitmesugused häired – kujutus muutus uduseks, kadusid värvid või kadus pilt täielikult. Ka värvitriipude tehnoloogia rikkus ära koopia – selle mahamängimisel ilmusid kujutisele segavad jooned.
- **CSS** (*Content Scrambling System*) ehk sisu tükeldamise süsteem töötati välja **DVD-Video** sisu kaitseks firmade **Matsushita** ja **Toshiba** poolt. Sisu taastamiseks loetavale kujule oli vaja kaht võtit. Esimene võti oli unikaalne iga ketta jaoks, teine aga unikaalne taastatava **MPEG-2** faili jaoks. Võtmed kirjutati ketta salvestuse alguspiirkonda (*lead-in*) ja neid sai lugeda ainult vastavalt ehitatud seadmete abil. Selliste seadmete tootmiseks pidi firma ostma litsentsi, mis sisaldas nõudmist rakendada koopiakaitse süsteemi tervikuna.
- **CGMS** (*Copy Guard Management System*) – süsteem, mis võimaldab teha originaalist ainult ühe koopia. Süsteem lisab videosignaale 2-bitise juhtkoodi, mis lubab või keelab kopeerimise. Koodil on 3 võimalikku tähendust: “kopeeri vabalt”, “kopeerimine keelatud” või “lubatud ainult üks koopia”.

- **DTCP** (*Digital Transmission Content Protection*) – firma-  
de **Intel, Sony, Hitachi, Matsushita** ja **Toshiba** poolt  
1998 aastal väljatöötatud kaitsesüsteem andmete ülekand-  
misel liidese **IEEE 1394** abil ühendatud digitaalseadmete  
(näiteks **DVD-mängija** ja **digitaalse TV**) vahel. Süsteem  
kasutab eespooltoodud **CGMS** koodi.
- **CPRM** (*Content Protection for Recordable Media*) –  
salvestatava mälu sisukaitse. Standard võimaldab audio-  
visuaalse info kaitstud vahetust nii **DVD**-de kui ka teiste  
mälutüüpide korral. See meetod seob salvestuse meediaga.  
Meetodit toetavad kõik pärast 1999 aastat toodetud **DVD**-  
mängijad. Igale tühjale salvestatavale **DVD**-plaadile on  
**BCA** (*Burst Cutting Area*) piirkonda salvestatud unikaalne  
64-bitine kood. Info salvestamisel kettale šifreeritakse see  
56-bitise võtmega, mis on tuletatud ketta 64-bitisest koo-  
dist. Andmete lugemisel kettalt loetakse kõigepealt **BCA**-st  
ketta kood ja seejärel genereeritakse võti andmete dešifree-  
rimiseks. Juhul kui andmed on kopeeritud teisele kettale, ei  
õnnestu neid taastada, sest teisel kettal kood puudub või  
erineb originaali koodist.
- **CPPM** (*Content Protection for Pre-recorded Media*) – ette-  
nähtud **DVD-ROM** ketastele salvestatud **DVD-Audio** sisu  
kaitseks. Standard võimaldab sisu šifreerida, kaitsta **CMI**  
andmeid ja vältida mahamängimist piraatkoopiatega. Asen-  
dab varem selleks otstarbeks kasutatud **CSS** koopiakaitset,  
mis murti lahti **DeCSS** programmi abil. Töötab umbes  
samuti nagu **CSS**, kuid kasutab pikemat võtit, mille pikkus  
on 40 biti asemel 56 bitti.
- **Verance Watermark** - ülemaailmne standard, mida kasu-  
tatakse **DVD-Audio** ketastel ja mis on välja töötatud **SDMI**  
(*Secure Digital Music Initiative*) poolt. Ketta märgistus ei  
ole kuuldav mahamängimisel, kuid ta on võltsimiskindel  
ning teda ei saa kustutada salvestuse teisendamisel ana-  
loogkujult digitaalkujule, lahtipakkimisel ja dešifreerimisel.

### 3.10.9. Piirkondlik kodeerimine

Kinostuudiod on huvitatud sellest, et videosalvestused ilmuksid müüki erinevates maades erineval ajal. Teatavasti toimuvad Ameerika filmide esilinastused kõigepealt Ühendriikide kinodes ja alles teatava aja pärast lubatakse neid filme näidata Euroopas, teistes piirkondades aga veelgi hiljem.

Lisaks esilinastuste aja määramisele määravad kinostuudiod ka oma filmide videoversioonide müügiletuleku aja, mis peab olema hilisem kui esilinastuse aeg ning samuti piirkondlikult erinev.

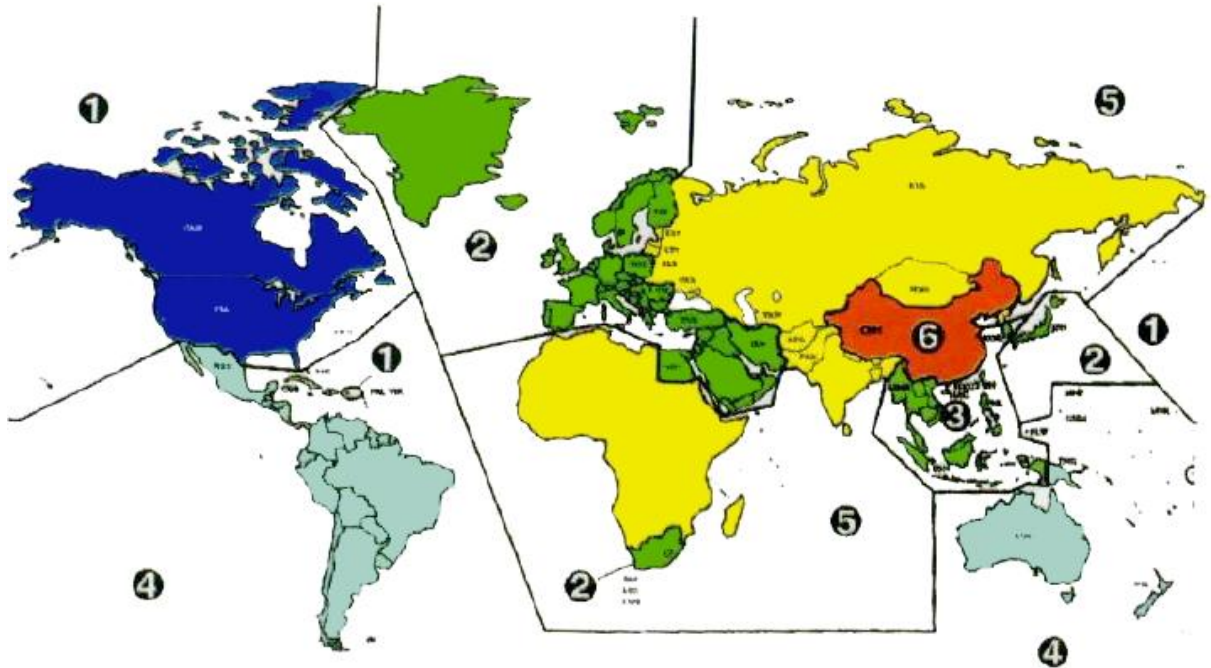
Videoversioonide vaatamise vältimiseks enne vastava filmi esilinastust mingis piirkonnas mõeldi välja **DVD-Video ketaste** ja **DVD seadmete piirkondlik kodeerimine**. Nii ketastele kui ka seadmetele omistati **piirkonnakoodid** ning seade võimaldas maha mängida ainult vastava koodiga kettaid. Maailm jagati 8-ks eri piirkonnaks ning igas piirkonnas oli lubatud kasutada ainult vastava **piirkonnakoodiga** DVD seadmeid.

Piirkonnakoodi määras ketta valmistaja. Ilma koodita kettaid sai maha mängida igal maal ükskõik millise seadme abil. Piirkonnakood ei ole šifreerimissüsteem, ta on ainult üks bait kettal, mida **DVD** seade mahamängimisel kontrollib.

Piirkond 2 tekitas standardi väljatöötajatele suuri probleeme, sest selle piirkonna riikides kehtisid erinevad seadused ning seal räägiti paljudes erinevates keeltes. Piirkond 2 tuli omakorda jaotada osadeks. Segadused piirkonnaga 2 oli üks põhjusi, miks **DVD-Video** kasutuselevõtt edasi lükkus. 1998 aasta sügiseks oli piirkonna 2 jaoks välja antud vaevalt tosin plaati, mis oli väga väike arv võrreldes piirkonnas 1 väljalastud plaatidega. Sellise olukorra tõttu hakkasid paljud firmad müüma **DVD** seadmeid, mis võimaldasid lugeda plaate sõltumata piirkonnast.

Järgnevas tabelis on toodud piirkonnakoodid:

1	USA, Kanada, USA territooriumid
2	Jaapan, Euroopa, Gröönimaa, Lõuna Aafrika Vabariik, Lähis-Ida koos Egiptusega
3	Lõuna- ja Ida-Aasia koos Hong-Kong-iga
4	Austraalia, Uus-Meremaa, Atlandi ookeani saared, Kesk-Ameerika, Mehhiko, Lõuna-Ameerika ja Kariibi mere riigid
5	Ida-Euroopa (endine Nõukogude Liit), India piirkond, Aafrika, Põhja-Korea ja Mongoolia
6	Hiina
7	Reserveeritud
8	Riikidevahelised transpordivahendid (lennukid, laevad jne)



Piirkondlik kodeerimine **RPC** (*Regional Playback Control*) viidi arvutisüsteemidesse sisse kahes etapis:

- Esimesel etapil oli lubatud kasutada **RPC** funktsiooni ainult operatsioonisüsteemi ja draiverite tasemel. Arvutile oli võimalik määrata piirkonnanumbrit ainult üks kord. Siis oli **RPC** seotud šifreerimissüsteemiga **CSS**, mida oli võimalik alates 1999 aastast lahti murda programmi **DeCSS** abil.
- Teisel etapil, mis hakkas kehtima alates 1. jaanuarist 2000, nõuti **RPC** funktsioonide täitmist **DVD** seadme enda püsi-

mälu abil. Lisaks lubati kasutajal pöörduda vastava arvuti-firma poole, kellel oli õigus kuni 5 korda muuta kettaseadme piirkonnanumbrit.

Tagasivaatena tundub piirkondliku jaotuse sisseseadmine küsitavana. Ka mängukonsoolide **Nintendo**, **Sega** ja **Sony** tootjad on püüdnud takistada mängude importi teistesse riikidesse, kuid sellest pole midagi välja tulnud. Piirkondlik kodeerimine on kulutanud palju **DVD Forum**-i raha, tekitanud viivitusi turu laiendamisel ja võimaldanud mõnedel firmadel teenida kodeeringu mahavõtmisega palju raha.

2002 aasta alguses esitas Austraalia Tarbijakaitseamet Föderaalkohtule hagi rahvusvahelise **RPC** lepingu vastu. Hageja väitis, et **RPC** tulemusena Austraaliast **DVD** mängija ostnud inimene ei saa vaadata Ameerikast ostetud filme. See tähendab kunstlike barjääride tekitamist kaubanduses, mis on seadusega vastuolus.

### 3.10.10. DVD-ROM seadmed

Välimuselt ei erine DVD-ROM seadmed CD-ROM seadmetest, ainult logole **COMPACT disc** lisandub logo **DVD ROM**. Ka seadme sisemuses on rohkem sarnasusi kui erinevusi: ühendusliides on sama **ATAPI** või **SCSI** ja mehaanika (kettasahtel, ketast pöörlema panev mehhanism ja laserit liigutav mehhanism) on sarnased.

Erinevused tulenevad **CD-ROM** ja **DVD-ROM** ketaste erinevustest:

- **CD-ROM**-il on andmed salvestatud ketta ülemisele pinnale, **DVD-ROM**-il aga ketta keskele, võimaldades nii kahekihilist kui ka kahepoolset salvestust,
- **CD-ROM**-i "lohud" on sügavamad, laiemad ja pikemad ning paiknevad hõredamalt kui **DVD-ROM**-i "lohud".

Selleks et võimaldada nii **CD-ROM** kui ka **DVD-ROM** ketaste lugemist, peab **DVD-ROM** seadme laserpea olema tunduvalt keerulisema ehitusega kui seda on **CD-ROM** seadme oma. Esialgseks lahenduseks oli kasutada kaht erinevat läätset, esimest laserkiire fokuseerimiseks **CD-ROM** ketta andmekihile



ja teist **DVD-ROM** ketta jaoks. Siin tekkisid probleemid läätse-  
de vahetamisel. Firma **Sony** lahenduseks oli 2 erineva laseri  
(CD jaoks lainepikkusega 780 nm ja DVD jaoks 650 nm) kasu-  
tamine 2 erineva läätse asemel. Firma **Panasonic** kasutas kol-  
manda lahendusena holograafilist optikat, mis võimaldas foku-  
seerida laserit kahele erinevale kaugusele.

Esimesed **DVD-ROM** seadmed pöörlesid aeglasemalt kui samal ajal kasutusel olevad **CD-ROM** seadmed, kuid kuna andmed on **DVD** ketastele salvestatud tihedamalt, siis on andmete väljastuskiirus sama kiirusega pöörlevatel **DVD-ROM** ketastel oluliselt suurem. Kui 1x kiirusega **CD-ROM** seadmed edastavad andmeid maksimaalse kiirusega 150 kilobaiti sekundis, siis samasuguse 1x kiirusega **DVD-ROM** seadmed kasutavad ülekandekiirust 1250 kilobaiti sekundis, mis on rohkem kui 8-kordne **CD-ROM** seadme kiirus.

**DVD-ROM** seadmed jõudsid turule 1997 aasta algul ja need seadmed suutsid lugeda ka **CD-ROM** kettaid kiirusega kuni 12x, mis oli küllaldane täisekraanilise video mahamängimiseks.

1998 aasta algul ilmusid turule **MultiSpeed logoga DVD-ROM** seadmed, mis suutsid lugeda **DVD-ROM** kettaid kahekordse kiirusega (2700 kilobaiti sekundis) ja **CD-ROM** kettaid 24-kordse kiirusega (3600 kilobaiti sekundis).

1999 aastal ulatus **DVD-ROM** lugerite kiirus kuuekordseni (8100 kilobaiti sekundis) **DVD** ketaste jaoks ja 32-kordseni **CD**-ketaste jaoks.

2001 aasta alguseks olid **DVD-ROM/CD-ROM** kiirused vastavalt 16x/40x.

Kuigi puudub ametlik standard **DVD-ROM** kettaseadmete põlvkondade kohta, kasutatakse sageli järgmist jaotust:

- **teine põlvkond** ehk **DVD II** – 2x kiirusega seadmed, mis suudavad ühtlasi lugeda **CD-R/CD-RW** kettaid (**Multi-Speed**)
- **kolmas põlvkond** ehk **DVD III** – 5x kiirusega seadmed, millest mõned suudavad lugeda ka **DVD-RAM** kettaid.

### 3.10.11. DVD-Video kettad

Laserkettale kirjutatakse **DVD-Video** filmid tavaliselt **MPEG-2** kodeeringus. **MPEG-2** võimaldab videot paremini kokku suruda kui tema eelkäija **MPEG-1** ning annab teravama ja puhtama pildi. Ka punktide arv kaadri kohta (720x480) on siin suurem kui videokassetile salvestamisel (250x270).

Ühepoolne (DVD-5) **DVD-Video** ketas pidi mahutama 133 minutit videot (see on mängufilmi tavaline pikkus). **MPEG-2** kodeering eemaldab kokkusurumisel ülearuse informatsiooni, nagu näiteks muutumatud pildiosad ja inimese silma poolt eristamatu informatsiooni. Kiirestimuutuva või väga keerulise videopildi korral võivad mõnikord kujutuse esitamisel tekkida vead, mis on põhjustatud kokkusurumise astmest või kvaliteedist. Normaalse videopildi saavutamiseks **MPEG-2** abil peab andmeedastuskiirus olema vähemalt 3500 kilobitti sekundis. Lisades videole digitaalse ruumilise heli (*digital surround audio*), mis sisaldab kuut kanalit (parem, vasak, keskmine, tagumine vasak, tagumine parem ja suunast sõltumatu eriti madal), tuleb arvestada veel täiendava 384 kilobitiga sekundis. Lisades veel erinevate keelte kasutamise võimaluse, saame kokku 4692 kilobitti sekundis ehk 586,5 kilobaiti sekundis. 133-minutilise filmi salvestamiseks kulub seega mälu  $133 \times 60 \times 586,5 = 4680270$  kilobaiti ehk 4,68 GB. Kodeerimise tehnoloogiat täiustades võib tulevikus saavutada hea tulemuse ka väiksemaid andmeedastuskiirusi kasutades.

**DVD-Video** annab õigesti valitud kompressiooniastme juures parema tulemuse kui videolindile salvestatud film. **DVD-Video** pakub ka lisavõimalusi, näiteks valida tavalise või laiformaadis filmi vahel, valida ühe 8-st keelest või ühe subtiitrite variandi 32-st.

Kahekihiline ketas **DVD-9** suurendab video mahtu 240 minutini. Kahepoolne ketas **DVD-10** pakub mahtu 266 minutit, kuid teise poole vaatamiseks tuleb ketas ümber keerata. Paljudel juhtudel salvestatakse ühele poolele tavalisele ekraanile (laiuse ja kõrguse suhe 4:3) ettenähtud film ja teisele poolele laiekraanifilm (suhe 16:9).

Andmete salvestamisel kahekihilistele DVD ketastele kasutatakse kaht erinevat meetodit:

- paralleelne kihtide lugemine **PTP** (*parallel track path*), kus mõlemad kihid loetakse spiraali mööda keskelt ääre poole,
- vastassuunaline kihtide lugemine **OTP** (*opposite track path*), kus kõigepealt loetakse väline kiht spiraali mööda keskelt ääre poole ja seejärel sisemine kiht spiraali mööda ääre poolt keskele.

**OTP** võimaldab lugeda mõlemad kihid peaaegu järjest, kusjuures kahe lugemise vahele jääb ainult lühike paus, mis on vajalik laserikiire fookuse muutmiseks. Seda meetodit kasutatakse peamiselt DVD filmide mängimisel.

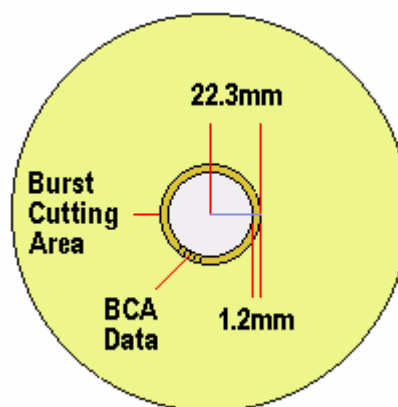
1998 aastal kuulutas ühendus **DVE** (*Digital Video Express*) välja uue **DVD-Video**-ga võistleva formaadi **DIVX**. Selle formaadi iseärasus “maksa iga vaatamise eest” leidis kohe toetust juhtivate filmistuudiotelt **Disney**, **Paramount** ja **MGM** poolt.

### 3.10.12. DIVX kettad

**DIVX** on olulisel määral piiratud kasutamisega “maksa iga vaatamise eest” **DVD** tehnoloogia. **DIVX** plaate müüsid firma **Circuit City** (ühenduse **DVE** peamine liige) jaemüügikauplused **DVD-Video** plaatidest palju odavamaga, kuid tingimusega, et filmi saab vaadata piiramatu arv kordi ainult esimese 48 tunni jooksul. Kui 48 tundi on möödunud, siis nõutakse kasutajalt tasu iga täiendava vaatamise eest. **DIVX** plaadimängijasse on sisse ehitatud modem, mida ta kasutab umbes 2 korda kuus automaatselt helistamiseks arveldusserverisse. Kasutajad võivad osta piiramatu vaatamise õiguse, mis maksab umbes sama palju kui tavaline **DVD-Video** ketas.

**DIVX** plaadimängija kujutab endast tavalist **DVD-Video** plaadimängijat, millele on lisatud “maksa iga vaatamise eest” aparaat. Järelikult saab **DIVX** plaadimängija abil mängida ka tavalisi **DVD-Video** plaate, kuid vastupidine (**DIVX** plaatide mahamängimine **DVD-Video** plaadimängija abil) pole võimalik.

Lisaks sisseehitatud modemile sisaldab **DIVX** plaadimängija dešifreerimisahelat, mis võimaldab lugeda erilise algoritmi (**Triple-DES**) abil kodeeritud **DIVX** kettaid. Erinevalt **DVD-Video** plaadimängijast oskab **DIVX** plaadimängija lugeda **DIVX** ketta eripiirkonnast **BCA** (*Burst Cutting Area*) sinna salvestatud unikaalset ketta seerianumbrit, mida kasutatakse 48-tunnise piiramatute kasutusaja määramiseks. Piirkonna **BCA** kirjeldus on lisatud **DVD standardi I osale** nimetusega *Annex K*. Kirjeldus lubab salvestada kettale pärast selle valmistamist kuni 188 baiti andmeid.



Hoolimata sellest, et **DIVX** vastu võitlesid tarbijad, kes väitsid, et nad ei tohiks maksta rohkem kord juba ostetud kauba eest, ja teised, kes protesteerisid digitaalketaste kahe erineva standardi vastu, kohtasid **DIVX** kettad suurt poolehoidu, mida näitas **DIVX** plaadimängijate suur läbimüük (neid osteti umbes samapalju kui **DVD-Video** plaadimängijaid).

**DIVX** “suri välja” tänu firmaga **Circuit City** võistleivate firmade otsusele hakata laenutama **DVD-Video** plaate nii nagu seda varem tehti videokassetidega.

Kuigi formaat **DIVX** ise suri välja, aitas ta kaasa **DVD-Video** plaatide levikule nii müügi kui ka laenutamise teel. Lisaks sellele pakkus **DIVX** välja huvitava idee – **BCA** piirkonna kasutamise tarkvara levitamisel **DVD-ROM** ketaste abil. Nimelt saab installeerimistarkvara sisaldava **DVD-ROM** ketta **BCA** piirkonda salvestada unikaalse hankijakoodi (*vendor ID*), kaubakoodi (*product ID*) ja seerianumbri (*serial number*), mis loetakse kettalt automaatselt installeerimise ajal. See võimaldab vältida nii tarbijale tülikat seerianumbri käsitsi sisestamist kui ka tarkvara installeerimist piraatketta abil.

### 3.10.13. DVD-Audio kettad

Ajalooliselt oli just helisalvestus see, millest sai alguse **CD-ROM** ketaste võidukäik ja see, et 1990-ndatel **CD-ROM** muutus personaalarvuti standardosaks, oli tingitud asjaolust, et digitaalne helisalvestus on olnud tihedalt seotud digitaalse andmesalvestusega.

Seoses **DVD** leiutamise ja hakati välja töötama ka **DVD-Audio** standardit. Kuna **DVD** kettad leidsid kasutamist põhiliselt videosalvestusel, siis jäi **DVD-Audio** standardi areng seisma. Uue peamise helisalvestusstandardi kohale pretendeerisid ka **SACD** (*Super Audio CD*) ja **DAD** (*Digital Audio Disc*). Selleks et peale jääda standardite võistluses, pidi uus standard võimaldama kasutada uut **24 bitti / 96 KHz** formaati varasema **16 bitti / 44,1 KHz** asemel. Formaadi **SACD** eeliseks oli tagasiühilduvus olemasolevate heliplaadimängijatega.

1996 aastal ei õnnestunud koos **DVD-Video**-ga vastu võtta **DVD-Audio** standardit. Kokkulepe muusikatööstusega uue standardi loomiseks saavutati hiljem ja mustand valmis grupil **DVD Forum** 1998 aasta algul. **DVD-Audio Version 1.0** valmis 1999 aasta kevadel, kuid seda ei võetud kasutusele, sest standardil puudus koopiakaitse osa. Lõplik **DVD-Audio Version 1.2**, mis sisaldas koopiakaitset ja vesimärkide kasutamist, võeti lõplikult vastu alles 2001 aasta suvel.

Uus standard lubas kasutada tervet rida erinevaid helisalvestusformaate. **DVD-Audio** toetas ka neid mitmekanalilisi formaate, mis olid kasutusel **DVD-Video** standardis, nimelt **Dolby Digital**-i ja **DTS**-i. Siiski oli **DVD-Audio** põhiline eelis **CD** plaadi ja **DVD-Video** ees asjaolu, et ta võimaldas kasutada kvaliteetsemat **PCM** (*Pulse Code Modulation*) helisalvestusformaati.

**DVD-Audio PCM** võimaldab salvestada ümbritsevat heli väga tõetruult, ta tagab instrumentide erksuse ja elava esituse. Uus formaat suudab salvestada rohkem kui neljakordset sagedusvahemikku võrreldes **CD** formaadiga, samuti kasutatakse siin palju suuremat helitugevusvahemikku – ta muudab valjemad helid tugevamaks ja nõrgemad helid vaiksemaks.

Järgnev tabel võimaldab võrrelda CD-Audio ja DVD-Audio tehnilisi parameetreid:

Standard	DVD-Audio	CD
Heliformaat	PCM	PCM
Kettamaht	4,7 GB – ühekihiline 8,5 GB – kahekihiline 17 GB – kahepoolne ja kahekihiline	650 MB
Kanalite arv	kuni 6	2 (stereo)
Sagedusvahemik (KHz)	0 - 96 (maksimaalne)	5 - 20
Sagedusvahemik (DB)	144	96
Diskreetimissagedus 2 kanali korral (KHz)	44,1; 88,2; 176,4 või 48, 96, 192	44,1
Diskreetimissagedus mitme kanali korral (KHz)	44,1; 88,2 või 48; 96	Ei kasutata
Bittide arv valimi kohta	12, 16, 20, või 24	16
Maksimaalne andmeedastuskiirus (megabaiti sekundis)	9,6	9,6

Lisaks **PCM**-ile toetab **DVD-Audio** ka **MPEG**, **Dolby Digital** ja **DTS** (*Digital Theatre Systems Digital Surround*) formaate. See on vajalik, sest videofilmide heli on salvestatud **Dolby Digital** või **DTS** formaadis (mõlemad formaadid sarnanevad kinodes kasutatavate formaatidega). **DTS** sisaldab 5 suunatud ja üht eriti madalate helide kanalit samuti nagu **Dolby Digital**. Kuna **DTS** kasutab väiksemat kokkusurumisastet, siis loetakse seda formaati kvaliteetsemaks kui **Dolby Digital**.

Samuti nagu video korral sõltub siin helikvaliteet kodeerimise kvaliteedist. Hoolimata sellest, et **Dolby Digital** ja **DTS** kasutavad kokkusurumist, loetakse saadav helikvaliteet võrdseks **CD-Audio** kvaliteediga või isegi sellest paremaks.

Lisaks kõrgekvaliteedilisele helile võivad **DVD-Audio** kettad sisaldada videokujutisi, samuti võib neile lisada piiratud valikufunktsioonid. Kahekihilisele **DVD-Audio** kettale saab salvesta-

da kuni 2 tundi ruumilist või 4 tundi stereoheli. Ühekihiliste ketaste mahud on vastavalt poole väiksemad.

Esimesed **DVD-Audio** plaadid ilmusid 2000 aasta jõuludeks. Viivitus plaatide väljalaskmisel oli tingitud probleemidest koopiakaitse valikul (kodeerimine ja vesimärgid pidid vastama **SDMI** nõuetele).

Algul planeeriti **DVD-Audio** ketaste kopeerimise kaitseks kasutada **CSS** meetodit, mis oli kasutusel **DVD-Video** ketaste juures. Seoses programmi **DeCSS** ilmumisega, mis võimaldas ignoreerida **CSS** koopiakaitset, mõeldi **DVD-Audio** ketaste kaitseks välja uus meetod **CPPM** (*Content Protection for Pre-recorded Media*), mis kasutas 56-bitiseid võtmeid (**CSS** kasutas 40-bitiseid).

Kuna **DVD-Audio** sisaldab võimalusi, mis puuduvad **DVD-Video** standardis, siis pole võimalik kõiki **DVD-Audio** kettaid lugeda juba kasutuselolevate **DVD-Video** mängijatega, kuid uute universaalsete mängijate kasutuselevõttu pole lähemal ajal oodata.

### 3.10.14. Salvestatavad DVD kettad

Salvestatavate DVD ketaste formaate on viis:

- **DVD-R General**
- **DVD-R Authoring**
- **DVD-RAM**
- **DVD-RW**
- **DVD+RW**

Nagu juba eespool mainitud, saab **DVD** kettaid jaotada kahel põhimõttel: füüsilise ehituse järgi (niinimetatud *füüsiline kiht*) ja kasutamise järgi (*rakenduslikud kihid*). *Füüsiline kiht* määrab ära ketta ehituse ja selle omadused ning ühtlasi ka kettaseadme võime vastavat ketast lugeda või sellele kirjutada. *Rakenduslikud kihid* on määratud **DVD Forum**-i poolt väljatöötatud standarditega. Näiteks videofilmid on kirjutatud **DVD-ROM** ketastele (*füüsiline kiht*), kasutades **DVD-Video** formaati (*rakenduslik kiht*).

**DVD-Video** on tegelikult paljundusformaad, mida hiljem muuta ei saa. Siiski loodi **DVD videosalvestusseadmetele** uus **VR (Video Recording)** formaat, mis võimaldab kasutada videomagnetofoniga analoogilisi funktsioone, nagu näiteks videosegmenti loomist, aga ka mõningaid uusi funktsioone, mis videomagnetofonil puudusid.

Kõik salvestavad **DVD**-seadmed suudavad lugeda **DVD-ROM** kettaid, kuid salvestamiseks kasutavad nad erinevat tüüpi kettaid. **DVD-R** ilmus turule 1997 aastal ja selle abil sai kettale ainult üks kord kirjutada. **DVD-RAM**, **DVD-RW** ja **DVD+RW** seevastu võimaldavad kirjutada ja ka üle kirjutada tuhandeid kordi.

Esimene mitmekordselt kirjutav **DVD** seade **DVD-RAM** ilmus turule 1998 aastal. See formaat sobis hästi kasutamiseks personaalarvutites, kuid ei sobinud eraldi seadmena. Tema puuduseks on halb juhitavus ja **CLV** formaat suure kiiruse juures. Formaadi puuduseks on ka ühildumatus enamiku **DVD** seadmete ja mängijatega.

**DVD-RW** ja **DVD+RW** sarnanevad selle poolest, et nad mõlemad on tekkinud **CD-RW/DVD-R** tehnoloogiate arengu tulemusena ning omavad seetõttu paremat ühilduvust **CD/DVD** perekonna toodetega. **DVD-RW** ilmus kõigepealt Jaapanis 1999 aasta lõpus, mujale jõudis aga alles 2001 aastal. **DVD+RW**-l on olnud mitu äpardumist, mistõttu tema ilmumisajaks loetakse 2001 aasta lõppu.

Kuigi **DVD-RAM** ilmus esimesena, ei võetud teda omaks ning vaevalt saab temast võitja salvestavate formaatide võistluses. Arvestades seda, et nii **DVD+RW** kui ka **DVD-RW** suudavad kirjutada ka ühekordseid **CD-R** ja mitmekordset kirjutamist võimaldavaid **CD-RW** kettaid ning **DVD-RW** ka **DVD-R (G)** kettaid, siis on **DVD-RAM** palju vähem mitmekülgne kui tema võistlejad. **DVD-RW** ja **DV+RW** formaatidel on niipalju ühist, et on raske uskuda, et nad mõlemad on alles jäänud.

Firma **Sony** nõuab oma **DVD+RW** formaadi kinnitamist personaalarvuti seadmena, samal ajal kui firma **Pioneer DVD-RW** sobib paremini koduelektroonikaseadmetesse. Ka ette-



ennustatud mitmeformaadilised kombineeritud  
**DVD+RW/DVD-RW** seadmed on jõudnud müüki.

**CD/DVD** seadmete ligikaudsed hinnad Eestis 2003 aasta  
aprillis:

Seadme tüüp	Firma	Hind (kr)
CD-ROM	Sony, NEC	400
DVD-ROM	Sony, Pioneer, NEC	700
CD-R/RW	Lite-On, NEC, Philips	800-1000
CD-R/RW+DVD-ROM	Philips, Samsung	1300-1700
DVD+RW	Philips, HP	5500-6100
DVD-RW	Pioneer	5000
DVD+RW/DVD-RW	Sony	5900

### 3.11. Kuvarid

**Kuvar** on personaalarvuti kasutajale üks tähtsamaid seadmeid, eriti tähtis on tema kujutise kvaliteet. Eestikeelse nimetuse **kuvar** asemel kasutatakse mõnikord ka inglise keelest tuletatud sõna **displei** (*display*) või televisioonitehnikas tuntud terminit **monitor**. Kuvareid saab liigitada mitmeti. Näiteks **värviline** (*color*) ja **ühevärviline** (*monochrome*). Kuigi värviline kuvar tundub silmale ilusam, ei ole ta alati just tarvilik.

Kaasajal kasutatakse peamiselt **kineskoobi** ehk **katoodkiiretoru CRT** (*cathode-ray tube*) baasil ehitatud kuvarid, kuid suund on võetud õhukeste ja kergete **vedelkristallide** põhimõttel töötavate kuvareite kasutuselevõtule.

Reeglina töötab tänapäeva arvuti kahes režiimis: **tärk-** ehk **tekstirežiimis** ja **graafilises režiimis**. Graafilises režiimis töötav kuvar esitab nii sümboleid kui pilte, sest tema ekraaniväli on jaotatud suureks hulgaks väikesteks punktideks- **pikseliteks** (*pixel = picture element*). Värvikuvaril võib punkt olla mitut värvi ja sel juhul on pilt muidugi värviline. Mida tihedamalt on ekraanil punkte (mida väiksem on piksel), seda kvaliteetsem on kujutis.

Kogu kujutis peetakse meeles selleks ettenähtud mäluosas ehk **videomälus**, kus igale punktile on eraldatud vähemalt bait mäluruumi, sest salvestada tuleb nii punkti värv kui ka intensiivsus. Vastav seade “loeb” videomälust kujutise ja esitab selle ekraanil 25...160 korda sekundis (**värskendussagedus hertsides**). Kujutis esitatakse ekraanil ridade kaupa. Mida sagedamini kujutis esitatakse, seda vähem väsitab see kasutaja silmi.

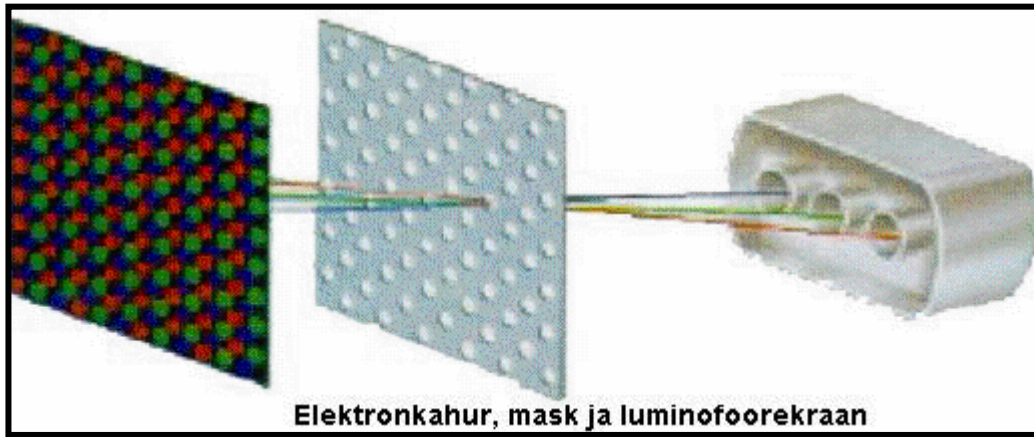
Mida rohkem punkte, seda rohkem on vaja videomälu ja seda kiiremini peavad töötama elektroonikaseadmed, et ühe “ringiga” siiski kõik punktid väljastada. On ka kuvareid, mis kasutavad väljastamisel tehnoloogiat, kus ühel läbimisel taasesitatakse paaritud ja järgmisel tsüklil paarisarvulised read (*interlaced display*). Kasutaja tajub sellisel juhul pilti vilkuvana. Kaasajal selliseid kuvareid (*interlaced*) enam ei toodeta.

### 3.11.1. Tööpõhimõte

Traditsioonilise **kineskoobi baasil** ehitatud kuvari tööpõhimõte sarnaneb televiisori omaga. Kuvari erinevused televiisoriga võrreldes seisnevad peamiselt selles, et ta sisend on kohandatud arvutiandmete erilisele, nimelt numbrilisele kujule ja inimese tervist kaitsvad **ergonoomilised** nõuded on veidi teistsugused. Monitori juhtseade arvuti **graafikakaardil (video-kaardil)** muundab digitaalsed kahendsignaaliid **videosignaali- deks**, et nende abil ekraanil moodustada üksikutest pildipunktidest koosnev terviklik kujutis.

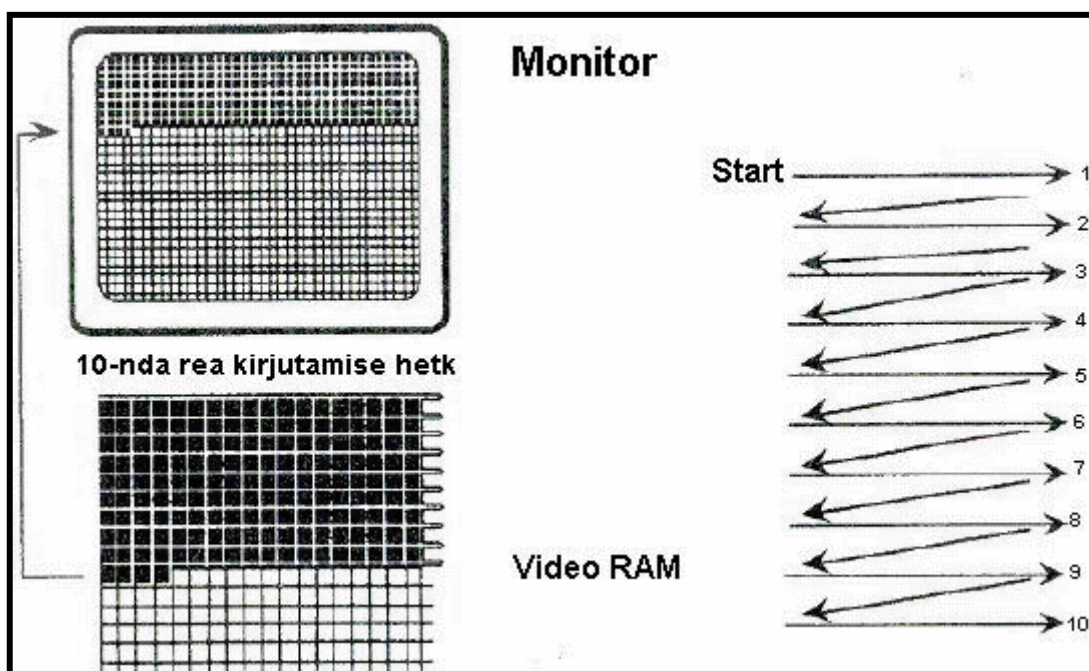
**Elektronkiiretoru** ehk **kineskoop** on kuvari kõige tähtsam komponent. Kineskoobi tagumises, peenemas osas on **elektronkahur**, mis saadab välja elektronkiire. Pärast teravustamist see kiir kallutatakse sobivasse punkti ekraanil, andes talle samal ajal ka selle punkti jaoks vajaliku intensiivsuse. Ekraanil on **luminofooritäpikesed**, mis neile langeva liikuva elektronkiire mõjul helendama hakkavad. Nii käiakse ridahaaval läbi terve ekraanitäis punkte ja moodustatakse kujutis. Kui seda piisavalt sageli teha, siis ei taju silm punktide vahepealset kustumist, kuna **luminofoor** jätkab helendumist veel veidi aega pärast kiire edasi- liikumist järgmistele punktidele.

Odava kuvasüsteemi üks tunnuseid ongi asjaolu, et pildi värskendamist ekraanil ei õnnestu teha piisavalt sageli, teisiti öeldes ei ole kuvari **värskendussagedus** (*refresh rate*) piisavalt kõrge ja pilt väreleb. Sõna "piisav" tähendus on siin väga individuaalne: mõni on rahul 60 hertsiga (see tähendab, et pilt käiakse elektronkiirega üle 60 korda sekundis), 100 Hz juures tajuvad värelust väga vähesed ja 85 Hz on selline paras vahepealne väärtus, mille juures tavaliselt ei õnnestu kahel inimesel kokku leppida, kas vilgub või ei vilgu. Sellisel juhul tehke vilkumise tuvastamiseks nii: kuvage mingi hele pilt, näiteks tühi lehekülg tekstiredaktoris, ja vaadake seinakuvari kõrval. Silmanurgast näete kohe, kas suur hele pind väreleb või mitte. Tajutav värelus suurendab silmade väsimist.

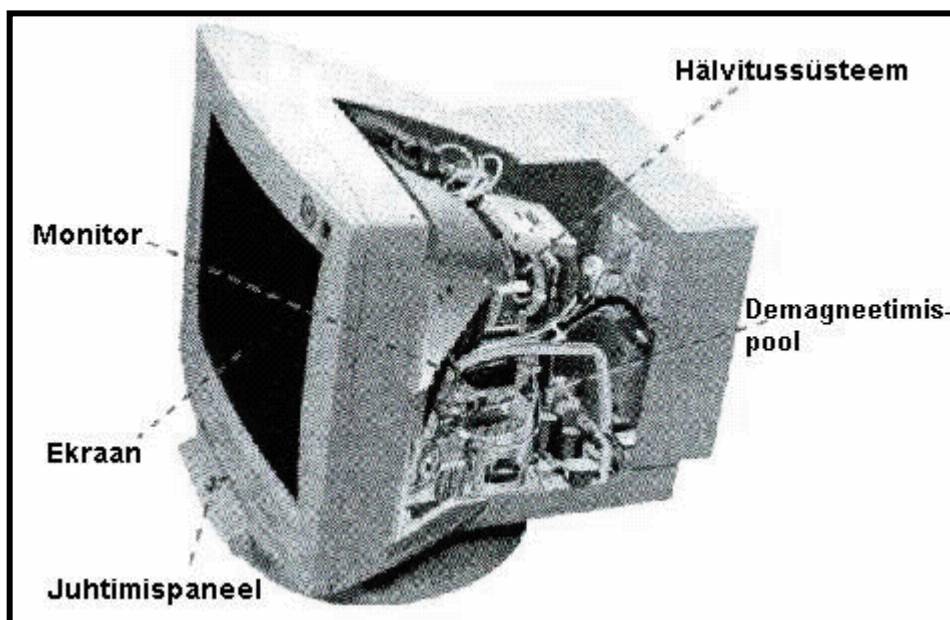


Värvimonitori elektronkiiretoru sisaldab kolme **elektronkahurit**, ekraani siseküljel mosaiiki kolmevärvilistest täppidest **luminofooriga** (R- punane, G- roheline ja B- sinine) ja **varimaski** (*shadow mask*) nende vahepeal. Maskis olevad avad (ümarmargused või piklikud) lasevad läbi ainult ühe kindla elektronkiire temale vastavale **luminofooritäpile**. Ekraani väliskülg on kaetud erilise kihiga, mis vähendab peegeldumisi ja helkimist, ilma et kuva kvaliteet selle all kannataks. Nagu öeldud, tehakse värvilise kujutise saamiseks **luminofooritäpid** kolme värvi: punased, rohelised ja sinised. Nende omavahelisel kombineerimisel saab siis moodustada peaaegu kõiki ülejäänud värvusi.

Kallutussüsteemi toimel alustab kiir liikumist ekraani vasakust ülanurgast, liigub parempoolse ääreni, hüppab siis kustutatuna järgmise rea algusse vasakul jne. Joonisel on kujutatud 10-nda rea kirjutushetk. Nende pildipunktide kohal, mis peavad ole-



ma kustunud, lülitatakse kiir lühiajaliselt välja. Kui kiir jõuab nii viimase rea lõppu ekraani paremas allnurgas, viiakse ta uuesti kustutatult ekraani algusse vasakul ülanurgas. See kaadrivahetus toimub tavaliselt sagedusega 50-75 korda sekundis ehk teisi öeldes on **monitori kaadrilaotussagedus 50-75 Hz**.



Tüüpilise kuvari väliskuju on esitatud toodud joonisel. Selle põhiosad on **elektronkiiretoru, ekraan, kallutus- ehk hälvitus-süsteem, lahtimagneetimispool ja juhtimispaneel**.

**Kallutussüsteem** koosneb reast elektronkiiretoru ümbritsevatest poolidest ja ta tagab elektronkiire liikumise nii rõht- kui ka püstsuunas.

**Demagneetimispooli** ülesandeks on elektronkiiretoru lahtimagneetimine, kuna maa magnetvälja ja muude magnetiliste häireväljade mõjul toimub selle osaline magneetumine, mis halvendab värvilise ekraanipildi kvaliteeti.

Igal monitoril on häälestusorganid- mõnel rohkem, mõnel vähem- kuid olemas on need kindlasti. **Juhtimispaneeli** abil saab käsitsi reguleerida **värviküllastust, pildi kontrastsust, heledust** ja muid parameetreid. Tavaliselt toimub monitori seadistamine pööratavate nuppude abil. Sõltuvalt graafikakaardist võib kuvar olla varustatud digitaaljuhtimisega häälestusega kus kõigi vajalike parameetrite häälestamine toimub mikroprotessori abil. Kõik pöörad on asendunud klahvidega ja kasutajal on võimalus salvestada erinevaid pildi seadistusi ning hiljem

neid vaid ühe nupuvajutusega esile kutsuda. Veelgi kaasaegsemaks ja oluliselt mugavamaks loetakse häälestusviisi, mille puhul on monitoril vaid 4 nuppu (valik, väljumine, + ja -) ning seadistatava parameetri valik toimub ekraanile kuvatava menüü abil.

### 3.11.2. Millest pilt koosneb?

**Piksel** (*pixel*) on väikseim kuva moodustusühik. Näiteks eralduse 640x480 korral koosneb kuva 640x480- st pikselist (horisontaal x vertikaal).

**Pikselil** ei ole mingit tegemist kuvari punktisammuga, ta on täielikult tarkvaral põhinev mõõduühik. Tuleb vaid jälgida, et piksel oleks tunduvalt suurem kui **kuvari punktisamm** (*dot pitch*), vastasel juhul muutub pilt häguseks.



Kui arvuti jaoks on pildi väikseim üksus **piksel**, siis värvuskuvari seisukohalt pole see nii. Ekraanil koosneb iga piksel omakorda kolme eri värvi **punktidest** (*dot*). Kui arvuti tahab ühe konkreetse **pikseli** teha näiteks kollast värvi, siis ütleb ta seda videoadapterile. Videoadapter mõtleb asja üle järele ja käsib monitoril sellele **pikselile** vastaval ekraanialal pommitada elektronkiirtega punaseid ja rohelisi punkte - teiste sõnadega, annab selle ala värskendamise ajal punasele ja rohelisele signaalile maksimaalväärtused ja sinise signaalile minimaalse. Kui arvuti nüüd tellib mingi tumedama rohekaskollase, siis vähendab videoadapter punase nivood tunduvalt ja rohelise nivood natuke.

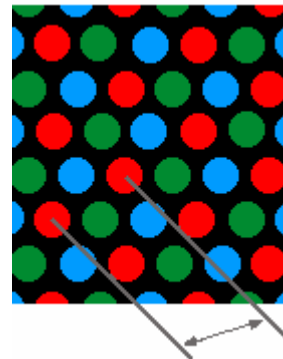
Luminofoorekraani taga, tema ja elektronkahuri vahel, asub **varimask**, mis punktidevahelise ekraaniala kinnikatmisega kindlustab, et elektronkiir langeb täpselt ettenähtud punktile. Maskis olevate avade ja luminofooripunktide kuju ning paigutus aga kuuluvad kindlasti kuvari oluliste tunnuste hulka, mida oleks vaja teada kuvari ostmisel.

Maske on peamiselt kolme sorti:

- punktikolmikutest ehk **triaadidest** koosnev (*shadow mask*)
- vahepealne variant kasutab ringikujuliste avade asemel piklikke (*slot mask*)
- firma **Sony** poolt toodetavates ja litsentseeritavates **Trinitron** tüüpi kineskoopides ulatuvad omavahel traatidega eraldatud avad vertikaalselt üle kogu ekraani (*aperture grill*).

**Trinitronil** on traditsioonilise maski ees mitmeid eeliseid ja kaks puudust. Eelisteks on suurem heledus (väiksem osa elektronkiirest maskitakse välja), vertikaalsuunalise kumeruseta esipind (vähendab peegeldusi) ja suurem teravus joograafika, eriti horisontaal- ja vertikaaljoonte kujutamisel. Puudusteks on suurem sakilisus kõverate ja diagonaalide kujutamisel, mistõttu soovitatakse näiteks fototötluse rakendustes **Trinitron** tüüpi kineskoopidest hoiduda. Teiseks puuduseks on, et pikad ja omavahel ühendamata maskitraadid kipuvad vibreerima ja selle vältimiseks on horisontaalselt üle ekraani tõmmatud üks või kaks ühendavat traati, mis võivad pilti rikkuda.

Joonisel on näha punktikolmikutest (*dot trio*) koosnevate pildipunktide ehk **pikselite** (*picture element*) paigutusmeetod kuvari ekraanil. Sellise kuvari üheks tähtsamaks iseloomustajaks on **punktisamm** (*dot pitch*), mis näitab kahe üht värvi värvipunkti minimaalset vahekaugust monitori ekraanil. Mida lähemal üksteisele punktid paiknevad ehk mida väiksem on punktisamm, seda parem on **kuvari lahutusvõime** (*resolution*). Kaasaegsetel kvaliteetsetel värvimonitoridel on punktisamm 0,21 mm suurusjärgus.



### 3.11.3. Subjektiivsed väärtused

Lisaks numbriliselt mõõdetavatele suurustele tuleb kuvari ostmisel kindlasti arvestada ka subjektiivse muljega, mida ei anna edasi ükski arvvärtus ega kirjeldus. Eri inimesed võivad sama kuvari kvaliteedi osas olla väga vastandlikel arvamustel.

**Teravus** on üks hea pildi tegureid. Praktiliselt kõik kuvarid suudavad näidata teravat pilti ekraani keskel ka madala eraldusvõime juures, kallimatel näeme teravat pilti ka nurkades ja suurema eraldusvõime puhul. Kui kuvada sama tekst või lihtne pilt ekraani keskel ja nurkades, ning kui nende vahel on silmaga nähtavaid erinevusi, siis on tõenäoliselt tegu kehva kuvariga.

**Üldine heledus** on mõnel mudelil suurem kui teistel. Oluliseks muutub see töötamisel väga heledalt valgustatud ruumides. Tasub ka arvestada, et heledus väheneb kuvari vananedes.

**Pikkuse ja laiuse õige suhe.** Enamik kuvareid järgib suhet 4:3, aga mitte kõik. Kontrollimiseks joonistage graafikaprogammiga ring ja vaadake ekraanile. Kui näete ringi, siis on tegemist õige 4:3 suhtega, ellipsi korral on suhe teistsugune.

**Sirged jooned.** Eriti ekraani servades kipuvad sirged jooned kõverduma, kusjuures mõnel odavamal eksemplaril ei tarvitse nende sirgekestõmbamiseks piisata ka olemasolevast reguleerimisvõimalusest.

**Peegeldused** ekraani pinnalt sõltuvad selle pinna mehaanilisest ja keemilisest töötlustest. Uuemad kuvarid sisuliselt enam ei vaja ekraanifiltreid.

**Kiirte joondamine** määrab selle, kas must tekst valgel pinnal (või vastupidi) on tõesti mustvalge või tekivad servadesse värvilised üleminekud. Seda tasub kontrollida, kuna suur osa inimesi veedab oma päevi just selliste ekraanipiltide taga tekste või tabelleid töödeldes.

**Värvustasakaal** võib mudelite ja isegi üksikute eksemplaride lõikes üllatavalt palju erineda. Samasugust nähtust olete kindlasti tähele pannud teleripoes, kus riulitäied aparate sama pilti väga erineva värvitooniga näitavad.



Tänapäeval on kuvarid enamasti üsna lihtsalt reguleeritavad. Kui kuvaril saab mõnda ülalnimetatud parameetrit reguleerida, siis muidugi tehke seda enne otsuse langetamist.

Kuvari tähtsamate parameetrite hulka kuulub ekraani suurus, mida mõõdetakse samuti nagu televiisoritel tollides diagonaali-pidi monitori ühest nurgast vastasnurgani. Populaarsemad väärtused on 17, 19 ja 21 tolli. Vanematel arvutitel olid kasutusel 14 ja 15-tollised kuvarid.

Suuremad monitorid (19"-21") on mõeldud eelkõige arvuti-graafika, masinprojekteerimise (*CAD*) ja muude suurt ekraani-pinda nõudvate rakenduste tarvis.

Vastavalt suurusele võib monitore veel jagada:

- *portrait* - kõrgus on suurem kui laius (spetsiaalkuvar nt. kirjastuse tarbeks)
- *landscape* - laius on suurem kui kõrgus (tavaline kuvar).

### **3.11.4. Ekraani suurus ja hind**

Kui tavaliselt arvutikomponentide ühikuhind mõõtmete kasvades langeb (näiteks maksab üks 20 GB ketas tavaliselt vähem kui kaks 10-gigabaidist), siis kuvarite puhul on see trend risti vastupidine. Suuri kineskoope on tehniliselt keerukas toota, samuti kuulub suurema kuvari juurde tavaliselt kallim elektronikaosa (et võimaldada kõrgemaid eraldusvõimeid ja värskendussagedusi), seetõttu maksab näiteks 21-tollise ekraani pinnaühik paar-kolm korda rohkem kui sarnase 17-tollise oma. Nii ongi välja kujunenud, et 19-tollisest suuremaid kuvareid kasutavad ainult need, kellel seda tõesti tarvis on- kujundajad, küljendajad, projekteerijad, börsimaaklerid jm.

Ekraanisuurusega seoses tasub mainida ka kuvarikasti enda mõõtmeid: need võivad suurematel kuvaritel olla üllatavalt suured. Pole harvad juhused, kui 21-tollise kuvari värske (ja õnnelik) omanik koju jõudes avastab, et see iludus lihtsalt ei mahu laua peale ära. Rusikareegel on selline, et kasti iga mõõde - pikkus, laius, kõrgus - võrdub umbes diagonaali nimiväärtusega (1" = 25,4 mm) või ületab seda veidi. Ka kaal võib suurematel kuvaritel olla märkimisväärne – kuni 50 kg.

### 3.11.5. Energiasääste, ohutus, kiirguskaitse ja demagneetimine

Kuvari osaks langeb suur osa arvutisüsteemi energiatarbest. Keskmise 17" kuvaritarbimise töörežiimis 150 W energiat. Energiasäästliku arvutisüsteemi (roheline arvuti) põhimõtete hulka kuulub see, et monitori tarbitav võimsus ei ületaks säästurežiimis 30 vatti (*Energy Star* markeering). Tänapäevased arvutid ja kuvarid on varustatud *VESA* poolt välja töötanud **DPMS**-süsteemiga (*Display Power Management Signalling*), mis lubab pikka aega kasutamata seisval arvutil saata oma kuvarile käsu lülitada kas 30 W energiat tarbivasse säästurežiimi (*Standby*) või sellest veelgi säästlikumasse (8 W) säästurežiimi (*Suspend*) ning siis esimese hiireliigutuse või klahvivajutuse peale ta uuesti sisse lülitada. Automaatse ümberlülitumise aega saab iga režiimi jaoks eraldi muuta programmiliselt operatsioonisüsteemi abil. Kuigi enamik arvutikomponente ühildub energiasäästurežiimidega, võib viimastest kohati siiski probleeme tekkida.

Olenemata sellest, kas energiasäästurežiimi kasutate või mitte, tuleks pikemate pauside ajal, näiteks ööseks, kuvar välja lülitada. Arvuti enda puhul vaieldakse hoolega, kumb kulutab riistvara rohkem, kas sisse-väljalülitamisest tingitud termiline paisumine ja kokkutõmbumine või vaheaegadeta töö. Kuvar aga vananeb pidevalt töötades kindlasti kiiremini.

Keegi ei ole veel suutnud tõestada, et kuvar iseenesest oleks tervisele ohtlik. Aga vaidlused käivad. Loomulikult kujutab endast ohtu töötamine tolmuse kuvariga, kaua, väsinult, pimedas, ebamugavas asendis jne, nagu ka näiteks raamatu või ajalehega töötamine samades tingimustes.

Palju on räägitud monitoride kiirgusest ja erinevatest standarditest, mis seda piiravad. Tavalise monitori puhul mõjutab kasutajat kõige enam staatilisest väljast tulenev kiirgus.

Monitori elektromagnetilise kiirguse piiramiseks ja hindamiseks on kehtestatud terve rida riiklike standardeid (**DIN**, **SSI**, **MPR I**, **MPR II**, **TCO**), millest kõige levinum on Rootsis riikliku ameti **SWEDAC** poolt 1990.a. kehtestatud **MPR II** standard. Selle kohaselt ei tohi monitori poolt kiiratav magnet-

välja tugevus poole meetri kaugusel ületada 250 nanoteslat. Sellest veelgi rangemad on Rootsis kehtestatud **TCO** (*Total Cost of Ownership*) normid **TCO-92** ja **TCO-95**. Kõige uuem **TCO-99** standard reguleerib muuhulgas ka **värskendussagedust**, mis peab väiksema kui 20" diagonaali korral olema vähemalt 85 Hz ning 20" ja suurema korral vähemalt 75 Hz. Neid standardeid toetavad monitorid on tavalistest kallimad, kuid üldjuhul ka paremad teiste omaduste poolest.

Kui monitori ekraanipind on antistaatiliselt katmata, siis tekib staatiline väli ekraani pinnal oleva staatilise laengu ja kasutaja silmade vahel. Sattudes sellesse välja hakkavad õhus hõljuvad väikesed aineosakesed (nt. tolm) liikuma inimese silmade suunas. Kasutajale lõppeb see tavaliselt silmapõletikuga. Selle vältimiseks tuleks antistaatilise katteta monitori kasutada ainult koos ekraanifiltriga. Kui kineskoobi pind on töödeldud ja ta vastab nõutud parameetritele, siis on monitoril ka teade vastavusest **MPR-II** standardile. Peale eelnimetatute võivad monitori pildikvaliteeti parandada veel mitmesugused tehnoloogilised lahendused:

- ekraani katmine peegeldumisvastase kihiga;
- dünaamiline või kahekordne dünaamiline fokuseerimine (pildi teravus suureneb märgatavalt ja praktiliselt välistatakse *moire*-häire);
- invarist valmistatud varimask (invar talub oluliselt kõrgemat temperatuuri kui tavalised varimaski materjalid, seega võib tõsta elektronkiirte energia tõstmise läbi pildi heledust);
- lame ekraan (kineskoobi nähtav osa moodustab tasapinna, mis vähendab moonutusi pildi nurkadel).

## SWEDAC MPRII standard

<b>Lubatud magnetväli</b>	ELF (5 Hz-2 KHz) VLF (2 kHz-400 MHz)	< 250 nT < 25 nT	nT = <i>nanoTesla</i> 250 nT = 0,00000025 Tesla
<b>Lubatud elektriväli</b>	ELF (5 Hz-2 KHz) VLF (2 kHz-400 KHz)	< 25 V/m < 2.5 V/m	1 Tesla = 1 N/(1 A*1 m) V/m = <i>volti meetri kohta</i>

**Demagneetimine** (*degaussing*) Kuvarite komponendid magneetuvad aja jooksul (Maa magnetvälja ja naabruses asuvate tugevate püsi- või elektromagnetite tõttu), mille tulemuseks on värvusmoonutusega laigud ekraanil, tavaliselt selle servades. Niisuguste laikude kõrvaldamiseks on paljudel kuvaritel olemas demagneetimise nupp (*degauss*) või käivitatakse see protsess automaatselt igal sisselülitamisel. Kui laigud demagneetimise tagajärjel ei kao, ka siis pole mõtet kohe kuvariga poe poole tagasi sõitma hakata. Tõenäoliselt kaovad nad paari nädala jooksul, kui kord päevas demagneetimise nuppu vajutate või kuvari sisse lülitate.

### 3.11.6. Vedelkristallkuvar

Kaasajal kasutatakse üha rohkem elektronkiirekuvarite asemel vedelkristallekraane (**LCD** - *Liquid Crystal Display*). Neid kasutati alguses peamiselt kandearvutites (*laptop*) ja suuremõõtmeliste esitlusgraafika projektsioonekraanidena, sest nende hind oli võrreldes tavaliste kuvaritega oluliselt kõrgem. Viimasel ajal on hind langenud peaaegu samale tasemele tavaliste kuvaritega, mistõttu neid kasutatakse ka lauaarvutitel.

Lihtsamal kujul on tegemist kahe elektrodplaadiga, mille vahel paikneb õhuke vedelkristallkile, mille molekulid võivad elektrivälja toimel pöörata 90 kraadi võrra või rohkem, mis teeb kile valgust läbilaskvaks. Elektrodplaatidele on kantud piki- ja põiksuunas kitsad läbipaistvad juhtelektroodid (nt. 480 reaelektroodi ja 640 veeruelektroodi), mille abil toimub kuvari ekraani üksikpunktide valik (nende aktiveerimine.)

### 3.11.6.1. Puuduv kaadrisagedus (*refresh rate*)

**LCD** -ekraanide üheks eeliseks on see, et nad ei vilgu. Traditsiooniliste **CRT** monitoride pilt joonistatakse rida reaalajas igas sekundis mingi arvukordselt, mis tähendab et tegelikult pilt kogu aeg vilgub. Pildi uuesti joonistamine käib aga suure sagedusega (85 Hz ja rohkem), nii et kogu protsess jääb silmale praktiliselt märkamatuks. **LCD** monitorides on aga vilkumine üldse kõrvaldatud s.t kaadrivärskendussagedus (*refresh rate*) on 0 Hz. See kõik aga tähendab seda, et antud tüüpi monitorid on ka silmasõbralikumad.

Uurides **LCD**- ekraane, võib näha nt. järgmist informatsiooni:

- *Pixel Frequency 65MHz*
- *Horizontal 30 ~ 50KHz*
- *Vertical: 55 ~ 70Hz*

Eelnevast võime näha, et tegelikult kaadri värskendamine ikkagi toimub, kuid seda ainult siis, kui ekraanil olev pilt muutub (näiteks liigutades ekraanil mingit akent, värskendatakse pilti sagedusel 70 Hz).

### 3.11.6.2. Vedelkristallpaneel

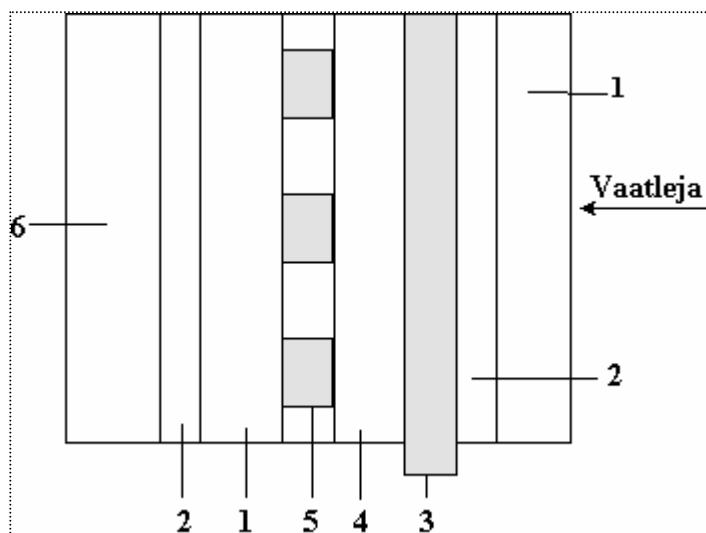
**Vedelkristallid** on ained, millel teatavas temperatuurivahemikus on nii vedelike kui kristallide omadused. Kõrgematel temperatuuridel kaotavad nad oma kristallilise struktuuri. Vedelkristallindikaatorites kasutatakse vedelkristalle, mis koosnevad orgaaniliste ühendite segust. Vedelkristalli pikad kepjad molekulid paiknevad kihiti ühesuunaliselt orienteerituna. Erinevais kihtides on molekulide orientatsioon erinev. Paigutanud õhukese kihi (mõnikümmend mikromeetrit) vedelkristallilist ainet kahe elektroodidega varustatud klaasplaadi vahele, saab muuta kristallikihi läbipaistvust, kui ainet mõjutatakse välise elektromagnetilise väljaga.

Vedelkristallelementide juhtimiseks rakendatakse kahte meetodit.

**Esimese meetodi** korral orienteerib pinge puudumine elektroodidel või väga madal pinge vedelkristalli molekulid paral-

leelselt elektrootide tasapinnaga. Kui sellisele vedelkristallide kihile langeb väline valgus, siis läbivad valguskiired kihi takistusteta. Piisava pinge rakendamine elektrootidele muudab aga kristallstruktuuri. Mida kõrgemaks pinge tõuseb, seda enam hakkavad üksikud molekulid liikuma, moodustades molekulide gruppe. Läbipaistev kiht muutub hägusaks. Valguse langemisel vedelkristalli ergastatud ja ergastamata aladele tekib nendelt peegeldunud valguse vahel kontrast. Välise elektromagnetilise välja poolt ergastamata vedelkristalli alad kujutavad tausta. Elektrootidelt pinge kõrvaldamisel taastub algne regulaarne kristalliline struktuur ja kaob kontrast üksikute alade vahel. Kujutise kontrastsuse tõstmiseks paigutatakse sageli paneeli taha valgusallikad, milledest kiirgub valgus kas jõuab vaatleja silma või mitte (tagantvalgustusega vedelkristallpaneelid).

**Teise meetodi** puhul tekitatakse kujutis vedelkristallpaneelis tvistefekti esilekutsumisega. Kui vedelkristallile rakendatakse väline elektriväli, siis vedelkristalli läbiva polariseeritud valguse polarisatsioonitasapind pöörduv (sõltuvalt ainest, kas 90 kraadi või 270 kraadi võrra). Kuvapaneel kujutab endast sellisel juhul kaht polaroidplaati, mille vahel asub vedelkristalli kiht. Polaroidplaatide valguse polarisatsioonitasapinnad on teineteisega risti, mistõttu neile langev valgus plaate ei läbi. Kuid tänu vedelkristallikihile, mis on võimeline pöörama temale langeva valguse polarisatsioonitasandit 90 kraadi võrra, muutub võimalikuks valguskiirte läbitungimine polaroidplaatidest. Olukord muutub radikaalselt, kui mõjutada vedelkristallikihti välise elektromagnetilise väljaga, mis orienteerib vedelkristalli molekulid välja jõujoonte sihis. Sellisel juhul kaotab vahekiht võime pöörata polarisatsioonitasapinda ning valguskiired ei läbi enam polaroidplaate. Ergastades vedelkristalli pinda valikuliselt välise väljaga, saab moodustada suvalisi rasterkujutisi. Visualiseeritava märgi kujutis tekib tumedamana, võrreldes heledama (ergastamata) fooniga.



Teine meetod on leidnud laiemat kasutust kui esimene, sest ta tagab kujutise parema kontrastsuse ning vähendab energia-kulu.

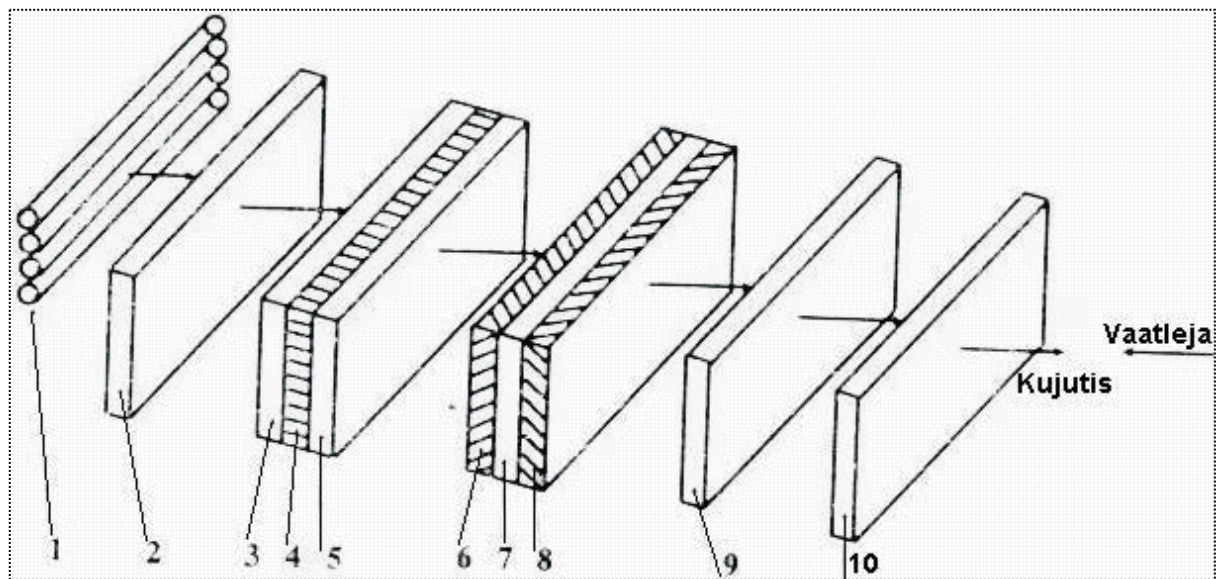
**Vedelkristallpaneeli põhimõtteline ehitus:** (1- klaasplaat, 2- filter-polarisaator, 3- vertikaalsed elektroodid, 4- vedelkristallid, 5- horisontaalsed elektroodid, 6- peegelplaat)

Kui elektroodidele pole pinget rakendatud, tungivad välised valguskiired läbi kuvapaneeli elementide ning peegelduvad paneeli tagumiselt peegelplaadilt vaatleja silma. Silm tajub iga peegeldunud kiirt kui halli punkti.

Elektroodide valikulisel pingestamisel ei teki rastri üksikutest punktides valguse tagasipeegeldust ja neid tajutakse mustadena. Enamasti saadakse vedelkristallpaneelidel must kujutis hallil foonil.

Värviliste kujutiste tekitamiseks lisatakse vedelkristallidesse lisandeid. Lisandainete molekulid orienteeruvad seejuures vedelkristallaine molekulidega paralleelselt. Sõltuvalt kasutatud lisandainest omandavad ergastamata vedelkristallid kindla värvuse. Vedelkristallide ergastamisel elektrivälja värvus kaob.

Mitmevärviliste kujutiste tekitamiseks kasutatakse spetsiaalseid värvifiltreid. Ühe taolise seadme ehitus nähtub allolevalt jooniselt.



**Värvivedelkristallpaneeli konstruktsioon:** (1- luminofoorlambid, 2- tagumine polarisaator, 3,5- klaasplaat, 4- vedelkristallid, 6- punane valgusfilter, 7- roheline valgusfilter, 8- sinine valgusfilter, 9- spetsiaalfilter, 10- eesmine polarisaator)

Kuvapaneeli taga asuvad 4 luminofoorlampi, millede poolt tekitatud tugev valgusvoog suunatakse läbi tagumise polarisaatori. Polarisaatorit läbivad ainult need valguskiired, mille võnketasapind ühtib polarisatsioonitasapinnaga. Sõltuvalt vedelkristalli elementide (pikselite) ruumilisest orientatsioonist läbivad polariseeritud valguskiired neid või mitte. Vedelkristalle läbinud valguskiired suunduvad seejärel valgusfiltrisse. Viimane koosneb kolmest osafiltrist, vastavalt rohelise, punase ja sinise värvuse tarvis. Kuvapaneelil iga visualiseeritava kujutise elemendi moodustamisest võtab osa vedelkristalli kolm elementi, mis on üksteisest sõltumatult juhitavad. Rastripunkti nähtav värvus sõltub sellest, millisest elemendist valguskiired langevad valgusfiltrile. Valgusfiltri taga võib saada ühe järgmistest värvustest: must, valge, punane, roheline, sinine, kollane, purpurpunane ja lilla. Juhul, kui vedelkristallis eristatakse iga kujutisepunkti moodustamiseks nelja elementi, siis saab moodustada 16 erinevat värvust. Seadmesse lisandub veel neljas filter- valge, mis toimib valgustugevuse modulaatorina.

Kõrvaldamaks vedelkristalli keskkonda läbivat "lekkevalgust" rakendatakse täiendavat spetsiaalfiltrit. Kuna valgusalli-



kaist väljunud valguskiired peavad oma teekonnal enne vaatleja silma jõudmist läbima 10 eri keskkonda, tekivad võrreldes monokroomsete vedelkristallpaneelidega märkimisväärsed valguskaod. Kompenseerimaks valguskadudest põhjustatud kujutise kvaliteedi langust, kasutatakse kuvapaneelides suure võimsusega valgusallikaid.

Vedelkristallpaneelide mõõdete vähendamiseks monteeritakse neid juhtivad elektroonikalülitused vahetult kuvapaneelile. Võrreldes plasma- ja elektroluminestsentspaneelidega tarbivad vedelkristallpaneelid tunduvalt vähem energiat. Neid on võimalik kokku suruda väga kompakseteks. Paneelide nõrgaks kohaks on kujutise vähene kontrastsus. Kuvari ekraanil visualiseeritava kujutise loetavus sõltub oluliselt välistest valgustingimustest. Nõrgas valguses või pimeduses muutub vedelkristallpaneelil olev kujutis nähtamatuks. Kujutisele avaldab mõju veel kuvapaneeli kasutuskeskkonna temperatuur. Enamik vedelkristallpaneeli keeldub töötamast temperatuuril alla  $+1^{\circ}\text{C}$ ; temperatuuril alla  $-40^{\circ}\text{C}$  võivad nad rikneda.

Vedelkristallekraanid jagatakse kahte suurde rühma: **passiivmaatriksid** ja **aktiivmaatriksid**.

### 3.11.6.3. Passiivmaatrikskuvar

**Passiivmaatrikskuvar** koosneb kahest klaasipinnast, mille vahel on vedelkristallsegu. Klaasipindadele on kantud elektroodid - veeru omad ühele ja rea omad teisele. Elektroodid on valmistatud läbipaistvast metalliühendist indiumtinaoksiidist. Kuvari tööpõhimõte on lihtne, ta toimib valgusele kui lüliti - vastavalt rea - ja veeruelektroodidele rakendatud pingele valgus kas läbib või ei läbi antud rea ja- veeruelektroodi ristumiskohta. Mustvalgel kuvaril on reaalseid ekraanipikseleid samapalju kui rea - ja veeruelektroodide ristumiskohti. Värvilistes kuvarites on iga reaalse ekraanipikseli kohta 3 alampikselit (rea- ja veeruelektroodide ristumist). Värvide moodustamise eest hoolitseb värvifilter. Lõpuks on kuvar mõlemalt poolt kaetud polarisatsiooniga - kontrastsuse parandamiseks ja peegelduste vähendamiseks. Lisaks kasutatakse kuva parandamiseks mitmesuguseid lisavahendeid: **tagantvalgustust** (kuvar ise valgust ei kiirga) ja

kahekordset skaneerimist (*dual scan*). Viimane tähendab seda, et kuvarimaatriks jagatakse kahte rõhtsesse ossa, mis mõlemad töötavad samaaegselt. Selle tulemusena tõuseb pildi kontrastsus, väheneb pildi reageerimisaeg ja pildi võbelemine.

Passiivmaatrikskuvarite tüübid:

- **STN** - *Super Twisted Nematic* - kasutatakse vedelkristallmaterjali, mille polariseerimisnurk on 200 kraadi. Kasutusel vanemat tüüpi kaasaskantavatel arvutitel. Ekraanil on enamasti kollakas ja sinakas varjund.
- **DSTN** - *Double Super Twisted Nematic* - kuna *STN*-i puhul ei saavutatud puhast musta ja valget, arendas firma **Sharp** välja *DSTN*-kuvari. *DSTN* on tegelikult kaks kokkuliimitud *STN*-kuvarit - esimene on nagu tavaline *STN* kuvar, teine aga lihtsalt vedelkristallpaneel ilma elektroodideta ehk polariisaator. Teise paneeli eesmärk on suurendada kontrastsust.
- **FCSTN** - *Film Compensated STN* - kontrastsuse parandamiseks on vedelkristallpaneelile kleebitud õhuke polümeerkile. See on analoogne *DSTN*-i teisele vedelkristallpaneelile. Kuna aga läbipaistvus halveneb, nõuab see meetod võimsamat tagantvalgustust.

Passiivmaatriksite suureks eeliseks on nende hind. Negatiivse poole aga kallutavad üles nende kehvemad tehnilised parameetrid: nad pole nii kontrastsed kui aktiivmaatrikskuvarid ja nende värvid on tuhmimad (neid on kerge ära tunda servas heledamaks minevate värvide, laigulisena paistvate värvipindade ja säreleiva musta järgi). Lisaks kõigele on nad ka aeglased, mistõttu võib hiirekursori jälgimine olla veidi raskendatud.

#### 3.11.6.4. Aktiivmaatrikskuvar (TFT)

**TFT** (*Thin Film Transistor*) on üks aktiivmaatriksteknoloogia liike. Tema peamiseks osaks on klaasipinna peale kantud õhuke fotolitograafia tehnoloogias tehtud transistorimaatriks-siit ka nimi. Iga tegeliku ekraanipikseli kohta on maatriksis kolm transistori - üks iga põhivärvi kohta. Eraldusvõimel

640x480 on transistore 921600 (640x48x3). Ka aktiivmaatriks-ekraan ei kiirga ise valgust. Ta töötab valgusele kui lüliti, mille juhtimiseks kasutatakse neidsamu maatriksi transistore - igale pildipunktile (pikselile) vastab oma juhtimistransistor, mis asub otse kuvaekraani pinnal. *TFT*-kuvarites kasutatakse vedelkristallmaterjalina *TN*-tüüpi materjali, mille polariseerimisnurk on 90 kraadi. Valguseks on ekraani taga paiknev valgustus, mis ongi kaasaskantavate arvutite kõige suurem energiaröövel: ekraani juhtimine ise võtab vähe energiat. Iga tegelik ekraanielement ehk piksel koosneb rohelisest, sinisest ja punasest alampikselist. Värvid moodustatakse värvifiltri abiga, kus on iga ekraanipikseli kohta üks värvikolmik või -triip. Niimoodi kolme alampikselit juhtides lastakse valgus läbi vedelkristalli, värvifiltri kolmiku või triibu - ja saadakse vastavad värvid.

**Polarisaator** on ette nähtud peegelduse ärahoidmiseks ja kujutise teravdamiseks. Parema kontrastsuse saavutamiseks kasutatakse nn. *black matrix* tehnoloogiat- värvifiltri kolmikute (triipude) ümbrus kaetakse musta kilega. See vähendab veelgi heledust.

*TFT*-kuvarid on oma parameetrite poolest peaaegu võrdsed traditsiooniliste *CRT*-kuvaritega- nad on kiired ja kontrastsed ning neil on kirkad värvid kogu ekraani ulatuses. Samas on nad passiivmaatrikskuvaritest kallimad.

Vedelkristallkuvarite peamisteks eelisteks on väike võimsustarve, väikesed mõõdud (peaaegu tasapinnaline ekraan) ja kiirguse puudumine (ka tagantvalgustusega kuvaritel rakendatakse mitte üle 500 V). Seni on suuremate (üle 12- 13 tolliste) vedelkristallkuvarite laiemat kasutuselevõttu elektronkiirekuvarite asemel takistanud nende kõrge hind. Märkimisväärt on asjaolu, et vedelkristallekraanide pind on palju suurem vastavate elektronkiirekuvarite omast (kasutamata nurga piirkondi ei teki). 13,3 tolline *LCD*-kuvar on tegelikult ekvivalentne 15 tollise elektronkiiremonitoriga.

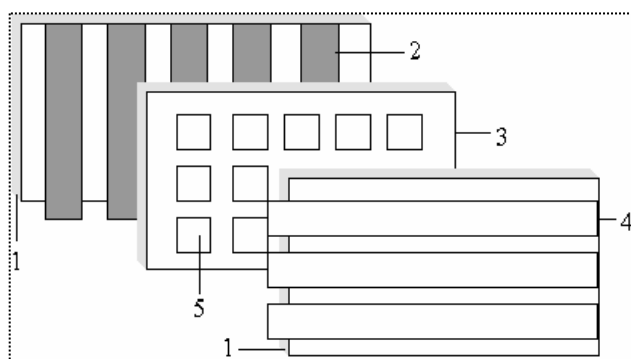
Vedelkristallkuvaritele ja- näidikutele väga sarnaste omadustega on ka (gaas) plasmapaneelid ja elektroluminestsentskuvarid. Nende peamine omavaheline erinevus seisneb selles, et kui esimestel kasutatakse neon/ argoongaasi täidist (tavaliselt

oranž või punane), siis teistel on see asendatud õhukese luminofoorikihiga (tavaliselt rohekaskollane). Võrreldes *LCD*-kuvarite ja -näidikutega on nende kasutusvaldkond siiski suhteliselt piiratud.

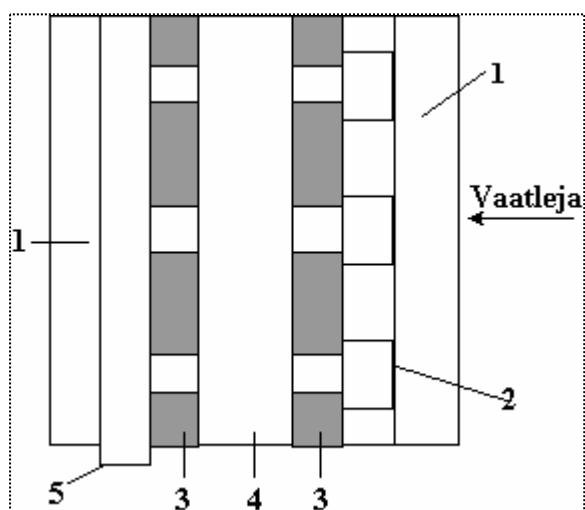
### **3.11.7. Plasma- ehk gaaslahenduspaneel**

Plasmapaneelides kasutatakse nõrkvoolu – huumlahendust. Eristatakse alalis- ja vahelduvvoolutoitega kuvapaneele. Alalisvoolu-plasmapaneeli põhilisteks elementideks on kaks klaasplaati, milledele on kantud kelmeelektroodid. Ühel klaasplaadil asuvad elektroodid horisontaalselt, teisel vertikaalselt. Kokku moodustavad elektroodid ristvõrgu. Klaasplaadid on teineteisest eraldatud õhukese dielektrilise plaadikesega, milles on avad elektroodide ristumiskohtades. Avade mõõted ja nende omavaheline kaugus määravad plasmapaneeli eraldusvõime. Ühed kelmeelektroodid täidavad anoodide, teised katoodide ülesandeid. Elektroodidevaheline ruum täidetakse mingi inertgaasi või gaasiseguga. Rakendades kindlatele anoodidele ja katoodidele alalispinge, tekitatakse pingestatud elektroodide ristumiskohtades gaasiosakeste helendus (ionisatsiooni tulemusena). Enamasti kasutatakse gaasina neooni või argooni. Helendumisel annavad gaasid oranžika tooniga värvuse. Kuvatava kujutise moodustavad diskreetsed helenduvad punktid, st. kasutatakse punktrastrit. Kujutise visualiseerimisel saadab kuvapaneeli juhtseade vooluimpulsse läbi horisontaalsete ja vertikaalsete elektroodide, sõltuvalt sellest, millistes rastro punktides on vaja tekitada helendavaid punkte. Kuna kuvamisel elektroodide skaneerimine toimub suure kiirusega tsükliliselt, siis vaatlejal tekib illusioon püsivast pildist.

Plasmakuvari konstruktsioon on näha järgneval joonisel:



**Alalisvoolu plasmapaneeli põhielemendid** (1- alusplaat, 2- katoodi elektroodid, 3- dielektriline plaat, 4- anoodi elektroodid, 5- avad dielektrilises plaadis



### **Plasmapaneeli konstruktsioon**

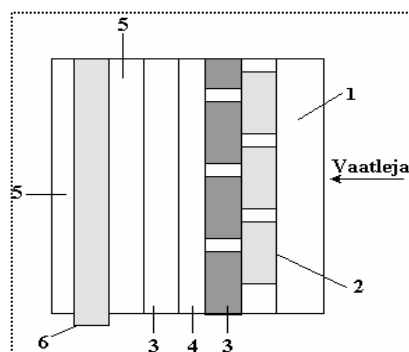
(1- klaasplaat, 2- horisontaalsed elektroodid, 4- argooni-neooni segu, 3- isolaator, 5- vertikaalsed elektroodid).

Plasmapaneelides on oluline tagada elektroodide väga täpne vastastikune asetus.

Kuna huumlahenduse tekkimiseks peab gaas olema hõren-  
datud, siis esitatakse kõrgendatud nõudeid paneeli konstrukt-  
sioonile. Huumlahenduseke vajatakse pingeid 130- 150 V, see-  
tõttu kuvapaneeli elektroonilises juhtseadmes peavad olema  
spetsiaalsed kõrgepingelised mikrolülitused. Keeruliseks prob-  
leemiks on plasmapaneelides värviliste kujutiste saamine.

### 3.11.8. Elektroluminestsentspaneel

Sarnaselt eelkirjeldatud kuvapaneeliga kasutatakse elektroluminestsentspaneelides kujutise rasteri moodustamiseks ristuvate elektroodide võrgustikku, mida läbivad vooluimpulsid. Oluliseks erinevuseks on see, et elektroluminestsentsseadmetes asendatakse gaas üliõhukese luminofoori kelmega või pulbriga. Rakendades elektroodidele pinge, kutsutakse esile luminofoori luminesseerumine, mis avaldub kindla värvusega helendamise-na. Luminofoori helenduse tekitamiseks piisab tunduvalt madalamast pingest kui vajatakse gaasi ioniseerumiseks. Valides luminofooride keemilist koostist, saab varieerida kujutise värvust (roheline, oranž, kollane jne.). Elektroluminestsentspaneeli konstruktsioon nähtub järgmiselt jooniselt. Selleks et üksikud helenduvad rastrovandid oleksid paremini jälgitavad, varustatakse paneelid täiendava valgustneelava kihiga, mis tekitab kujutisele tumeda fooni.



#### **Elektroluminestsentspaneeli konstruktsioon**

(1- klaasplaat, 2- horisontaalsed elektroodid, 3- isolaator, 4- luminofoori kiht, 5- valgust neelav kiht, 6- vertikaalsed elektroodid)

## 3.12. Kuvari adapter ehk videokaart

**Kuvari adapter** ehk **videokaart** (nimetatakse ka **graafika-kaardiks**) kujutab endast vahelüli protsessori ja kuvari vahel. Tema ülesandeks on moodustada **videomällu** ekraanipilt protsessorist või otse operatiivmälust saadud andmete põhjal ja edastada see kuvarile. Videokaardil asuv **videomälu** võimaldab värskendada kuvari ekraanipilti (**CRT** kuvar ise seda ei säilita). Mõnedel arvutitel täidab videokaardi ülesandeid emaplaat. Sellisel juhul öeldakse, et tegemist on **integreeritud videokaardiga** (vajalikud mikroskeemid ja pistikupesa kuvari kaabli ühendamiseks asuvad otse emaplaadil).

Esimestel personaalarvutitel kasutati ainult **tekstirežiimi** ja seetõttu olid ka kuvarite adapterid lihtsama ehitusega. Tekstirežiimi korral võttis ekraanipildi moodustamisest olulisel määral osa põhiprotsessor. Graafiliste operatsioonisüsteemide (näiteks *Windows*) ilmumisel suurenes oluliselt ekraanile edastatava informatsiooni maht, mistõttu polnud enam otstarbekas koormata põhiprotsessorit ekraanipildi moodustamisega. Uuendatud **kuvari adapter** ehk **graafikakaart** sisaldab lisaks **videomälule** ka spetsialiseeritud **videoprotsessorit**, mis võtab põhiprotsessorilt üle kõik ekraanipildi moodustamise funktsioonid.

Eriti kiire **graafikakaartide** areng toimus 1990-ndatel aastatel seoses **multimeedia** ja kolmemõõtmelise (**3D**) graafika kasutuselevõttuga. 1990-ndate lõpuks oli **graafikakiipide** tehnoloogia areng kiirem kui teiste kiipide (näiteks mikroprotsessorite või mälude) areng. **Graafikakiipe** valmistasid sel ajal firmad **3dfx**, **ATI**, **Matrox**, **nVidia** ja **S3**, kusjuures iga 6 kuu järel lasti välja täiesti uus toodang. Kiire areng nõudis väga head koostööd **graafikakiipide** ja **graafikakaartide** valmistajate vahel.

Koostöövajadus põhjustas vastavate firmade ühinemise, kuid lõpptulemusena loobusid mitmed firmad graafikakiipide tootmisest (näiteks **S3** müüs tootmise maha firmale **VIA**) ja mõned firmad (näiteks **3dfx**) likvideeriti. Alates aastast 2001 on graafikakiipide turu liidriks firma **nVidia**, kes on suutnud siiani täita oma lubadust lasta välja uus kiip igal sügisel ning selle täiustatud variant igal kevadel.

### 3.12.1. Eraldusvõime, piksel ja graafikastandardid

**Eraldusvõime** (*resolution*) on termin, mida on raske defineerida, sest selle all võib mõista erinevaid asju. Üldiselt iseloomustab eraldusvõime visuaalse kujutise teravust. Esialgselt defineeriti eraldusvõimet kui kuvari omadust näidata teravat pilti ja seda mõõdeti **punktisammuga** (*dot pitch*) millimeetrites.

Punktiks ehk **pikseliks** nimetakse väikseimat ekraaniosa, mille **värvi** ja **intensiivsust** on võimalik eraldi muuta. Ekraanile ilmuv kujutis koosneb tuhandetest **pikselitest**, mis asuvad ekraanil korrapärastes ridades ja veergudes. Lisaks värvile ja intensiivsusele iseloomustab pikselit ka tema **aadress**, mis koosneb veeru ja rea järjekorranumbritest.

Kaasajal mõistetakse **kuvari eraldusvõime** all tavaliselt maksimaalset **pikselite** arvu ehk korrutist **veergude arv \* ridade arv**. Erinevalt **punktisammust** iseloomustab **eraldusvõime** mitte kuvarit ennast, vaid hoopis **kuvari adapterit** (selle võimet salvestada teatud arvu pikseleid). **Eraldusvõime, punktisamm ja ekraani suurus** on omavahel seotud mõisted. Selleks et realiseerida etteantud eraldusvõimet, ei tohi punktisamm etteantud ekraanisuuruse juures ületada teatud väärtust (näiteks **15"** kuvari korral, kus kasutatakse eraldusvõimet **800\*600**, peab punktisamm olema mitte suurem kui **0,21 mm**).

**Graafikastandard** määrab kujutise moodustamise viisi, **eraldusvõime** (ridade ja veergude arvu), **maksimaalse värvide arvu** ja **tehnilised parameetrid** (graafikaadapterit kuvariga ühendava pistikühenduse tüübi ning seda läbivate signaalide kirjelduse).

**Kuvarite ühilduvus erinevate graafikastandarditega** - algsed värvimonitorid olid mõeldud kasutamiseks ainult ühe kindla graafikastandardiga (**MDA, CGA, EGA**). Neid nimetati **püsilaotussagedusega** monitorideks, kuna töötasid ainult **fiksseeritud laotussagedusega**.

Alates standardi **VGA** ilumisest hakati valmistama **mitmesageduslikke** (*multi-scan*) monitore, mis toetavad eri graafikaadapereid ja -standardeid. Vaatame põhjalikumalt ainult uuemaid standardeid (alates **VGA-st**).



**VGA** (*Video Graphics Array*)- standard võeti kõigepealt (1987) kasutusele **IBM** arvutiseerias *PS/2*. See on ühilduv eelmiste süsteemidega, kuid pakub veidi suuremat lahutusvõimet ja värvivalikut. Kujutis on kas ühe- või mitmevärviline ja lubab esitada pilti tekstirežiimis eraldusvõimel 720x400 ja graafikarežiimis 640x480 (16 värvi) või 320x200 (256 värvi). Esitatavate värvide koguarv on 262144. **VGA** adapteris hakati kasutama ka uut 15 viiguga **D-pistikut**. Kasutab andmeedastuseks **analoogsignaali** (vastupidiselt **MDA-**, **CGA-**, **EGA** digitaalsetele).

**VGA** standard oli aluseks tervele reale standarditele, mis kõik kasutasid analoogsignaali ja 15 viiguga D-pistikut.

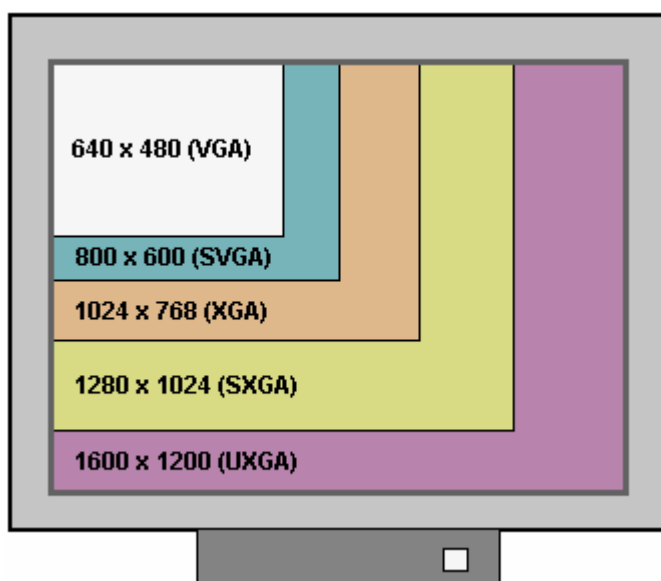
Mainitud standardid on kirjas järgnevas tabelis:

Aasta	Tüüp	Nimetus	Eraldusvõime	Värvide arv
1981	<b>CGA</b>	<i>Color Graphics Adapter</i>	640*200 160*200	mustvalge 16
1984	<b>EGA</b>	<i>Enhanced Graphics Adapter</i>	640*350	64
1987	<b>VGA</b>	<i>Video Graphics Array</i>	640*480 320*200	16 256
	<b>SVGA</b>	<i>Super VGA</i>	800*600	
1990	<b>XGA</b>	<i>Extended Graphics Array</i>	1024*768	16,7 miljonit
	<b>SXGA</b>	<i>Super XGA</i>	1280*1024	16,7 miljonit
	<b>UXGA</b>	<i>Ultra XGA</i>	1600*1200	16,7 miljonit

Graafikastandardite väljatöötamisega ja registreerimisega tegeleb **VESA** (*Video Electronics Standards Association*), mis kujutab endast videokaarte ja kuvareid tootvate firmade poolt moodustatud organisatsiooni. **VESA** poolt on välja töötatud terve rida **VGA** standardil põhinevaid, kuid suuremat eraldusvõimet ja värvide arvu võimaldavat standardit. Kõik need standardid kuuluvad **SVGA** gruppi ja enamus neist lõpevad tähtedega **XGA**.

Üldjuhul võimaldab **SVGA** kuvar kasutada kuni 16,7 miljonit erinevat värvitooni, kuid konkreetse arvuti videomälu suurus tavaliselt ei luba nii suurt värvivalikut. 14" diagonaaliga

**SVGA** kuvarid võimaldavad tavaliselt eraldusvõimet kuni **800\*600** pikselit, **21"** diagonaaliga kuvar aga võimaldab juba eraldusvõimet **1600\*1200** või isegi **1800\*1440**.



**XGA** standard töötati esialgselt välja firmas **IBM** ja seda kasutati firmasiseselt **MCA**-tüüpi laienduspesadesse ühendatavates graafikaadapterites. Hiljem võeti see standard kasutusele **VESA** poolt eraldusvõimega kuni **1024\*768** pikselit.

**XGA**-le järgnev **SXGA** standard eraldusvõimega **1280\*1024** erineb teistest **SVGA** grupi standarditest ekraani suhte **5:4** poolest (kõigil teistel on see suhe **4:3**).

**Windows 95** objektid (näiteks ikoonid ja pealkirjad) koosnesid algul kindlast arvust pikselitest (see arv ei sõltunud eraldusvõimest), mistõttu nad olid suurema eraldusvõime korral väikesemad. Kaasajal saab **Windows**-i objektide suurust (pikselite arvu) muuta, valides näiteks suured või väikesed ikoonid ja seejärel osutub võimalikuks kasutada **15"** kuvaril lahutusvõimet **1024\*768** ja **17"** kuvaril lahutusvõimet **1600\*1200**. Järgnevas tabelis on toodud erinevate **SVGA** kaartide eraldusvõimed ja neile vastavate **CRT** kuvarite diagonaalid.

Diagonaal	800x 600	1024 x768	1152 x882	1280x 1024	1600x 1200	1800x 1440
15"	jah	jah				
17"		jah	jah	jah	jah	
19"			jah	jah	jah	
21"					jah	jah

Kõik **SVGA** standardid toetavad 16 miljonit värvi, kuid üheaegselt kasutatavaste värvide arv sõltub konkreetse arvuti videomälu mahust. Nii värvide arvu kui ka eraldusvõime

suurendamine nõuab ühtlasi videomälu suurendamist. Siiski on võimalik suurendada üht teise arvelt.

### 3.12.2. Värvide intensiivsus

Iga üksiku **pikseli** kujutamiseks kasutatakse kolme erineva värvi (punase, roheline ja sinise) kombinatsiooni. Kuna valgustäpi heledus sõltub elektronkahurit juhtiva elektrisignaali tugevusest, siis on võimalik saavutada nende 3 põhivärvi intensiivsuste muutmisega erinevaid värvitoone. Võimalike erinevate värvitoonide arv sõltub siin sellest, kui täpselt on võimalik määrata elektrisignaali tugevusi ehk teiste sõnadega iga põhivärvi intensiivsuse määramiseks eraldatud bittide arvu (*colour depth*) videomälus. Mida rohkem bitte kulub ühe pikseli kirjeldamiseks, seda täpsemalt saab määrata värvitoone.

Järgnev tabel näitab tavaliselt kasutatavaid variante:

Bittide arv pikseli kohta	Nimetus	Värvide arv	Baite pikseli kohta
4	Standard VGA	16	0,5
8	256-colour mode	256	1,0
16	High colour	65 536	2,0
24	True colour	16 777 216	3,0

Selleks et silm näeks kõiki võimalikke värvitoone, on vaja iga põhivärvi jaoks 256 erinevat tugevust, seega 8 bitti igale värvile ehk kokku 24 bitti. Siiski vajavad mõned graafika-kaardid loomuliku värvi (*True colour*) saavutamiseks veel täiendavalt 8 bitti iga pikseli kohta, seega kokku 32 bitti. Täiendavaid bitte kasutatakse läbipaistvuse saavutamiseks.

Formaat *High colour* kasutab 2 baiti 3 põhivärvi intensiivsuste määramiseks: sinise jaoks 5 bitti, punase jaoks 5 bitti ja roheline jaoks 6 bitti. Tulemuseks on, et sinise ja punase värvi jaoks saab kasutada 32 erinevat intensiivsust, roheline jaoks aga 64 erinevat intensiivsust, mis on silmale vaevumärgatav erinevus, kuid võimaldab väiksemat videomälu ja suuremat kiirust.

Formaat *256 värvi* võimaldab teha eelneva valiku (**värvipaleti**) kõigist võimalikest 16,7 miljonist värvitoonist. Iga üksik värv 256-st erinevast värvist koosnevas paletis on defineeritud standardse 3-baidise kirjeldusega, mis on kasutusel formaadis *True colour*. Kõiki värve saadud 256-st värvist koosnevas paletis võib kasutada vajaliku kujutise saamiseks.

Värvipaleti kasutamine formaadis *256 värvi* võimaldab talle eraldatud 8 bitti kasutada paremini kui alternatiivsel juhul, kasutades iga pikseli juures 2 bitti sinisele, 3 bitti punasele ja 3 bitti rohelisele. Formaati *256 värvi* kasutatakse laialdaselt ärirakendustes, sest ta võimaldab kokku hoida videomälu arvelt (väiksema videomäluga kaardid on tavaliselt odavamad).

### 3.12.3. Virvtoonimine

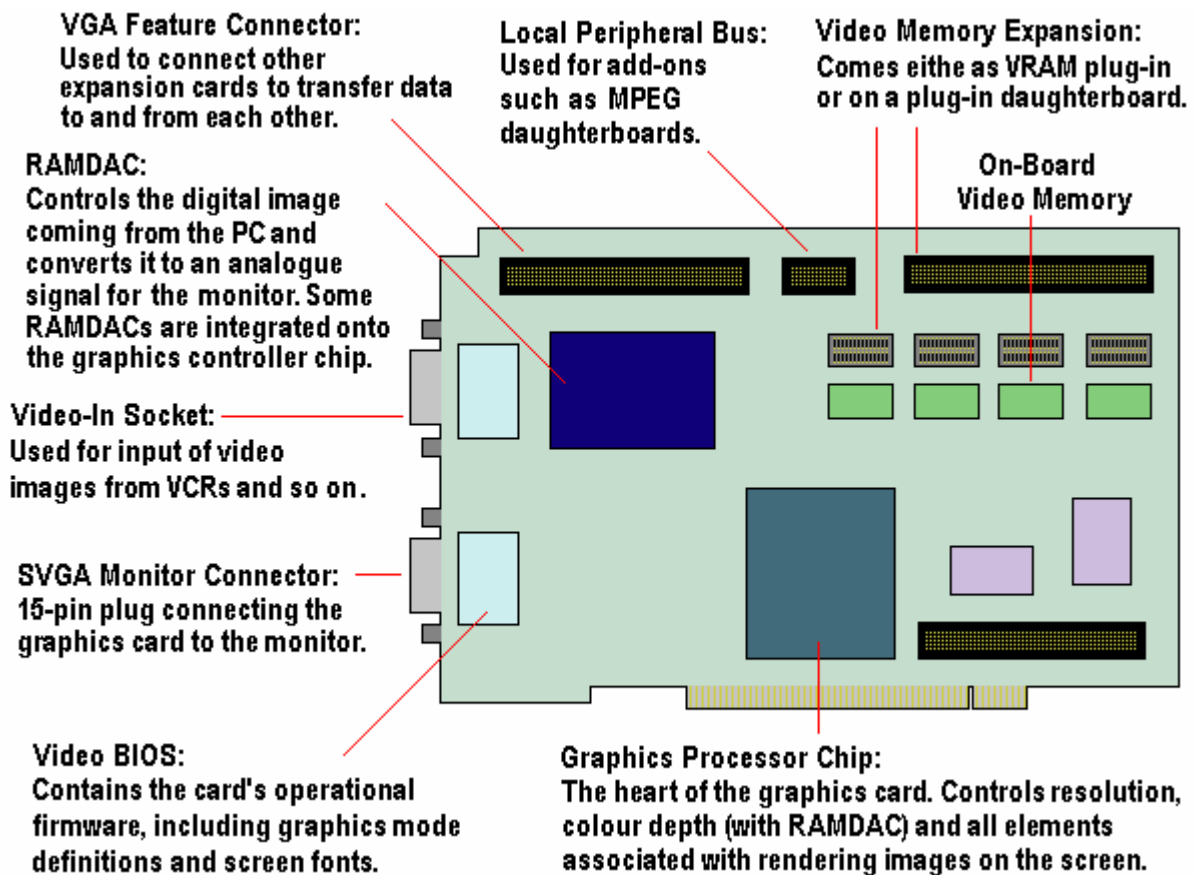
**Virvtoonimiseks** ehk **pseudotoonimiseks** (*dithering*) nimetatakse originaalse värvitooni asendamist sellele lähedasega juhul, kui graafikakaart pole võimeline originaaltooni genereerima. Näiteks juhul kui graafiline süsteem suudab esitada 256 erinevat värvi, kuid kujutis kasutab 65 000 erinevat värvi, asendatakse puudujäävad värvid kombinatsioonidega võimalikest värvidest. Loomulikult on saadud kujutis viletsam originaalkujutisest.

**Virvtoonimiseks** nimetatakse ka tehnikat, mis kasutab kaht erinevat värvitooni kolmanda saamiseks üleminekutel, mis muidu paistaksid sakilistena.

### 3.12.4. Komponendid

Kaasaegne graafikakaart koosneb järgmistest osadest:

- graafikaprotsessor
- videomälu
- digitaal-analoogmuundur RAMDAC (*Random Access Memory Digital-to-Analogue Converter*)
- kuvari draiveri programm



Esimesed **VGA** süsteemid olid väga aeglased. Põhiprotsessor oli suurel määral hõivatud graafiliste andmete töötlemisega ja mööda siini protsessorist graafikakaardile liikuv informatsioon kujutas endast olulist koormust süsteemile. Protsessi komplitseeris ka asjaolu, et tavaline dünaamiline videomälu **DRAM** ei võimaldanud üheaegset kirjutamist ja lugemist, mistõttu **RAMDAC** ei saanud lugeda videomälust samal ajal kui **CPU** sinna kirjutab ja vastupidi.

### 3.12.4.1. Graafikaprotsessor

Kaasaegsed graafikakaardid sisaldavad keerulise ehitusega **graafikaprotsessori kiipi**, mis võimaldab vähendada **CPU** ja siini koormust. Selle asemel et saata graafikakaardile **kaadripuhvrise** (*frame buffer*) tervet ekraanipilti, saadab **CPU** väiksema ploki **graafikakäske**. Käsud tõlgitakse eelnevalt konkreetse **graafikakaardi draiveri** poolt graafikaprotsessorile arusaadavateks masinakäskudeks, mis seejärel täidetakse otse graafikakaardil.

Graafikaprotsessor suudab riistvaraliselt sooritada paljusid operatsioone palju kiiremini kui seda suudab **CPU** programmi abil. Graafikaprotsessori abil saab sooritada järgmisi operatsioone:

- rasterkujutise ülekanne ja väljajoonistamine,
- akna mõõtmete muutmine ja nihutamine ekraanil,
- joone joonistamine,
- trükikirja suuruse muutmine,
- hulknurga joonistamine jne.

Valmis kujutise saadab graafikaprotsessor **kaadripuhvrise**. Kuna antud juhul on vaja üle kanda vähem andmeid, siis kooratakse nii süsteemisiini kui ka põhiprotsessorit vähem.

#### 3.12.4.2. Videomälu

**Videomälu** ehk **kaadripuhver** (*frame buffer*) on mälu, mis säilitab videokujutist. Videomälu asub tavaliselt videokaardil. Vanadel kaartidel kasutati videomäluna tavalist DRAM mälu, mille puuduseks oli asjaolu, et seda oli vaja pidevalt **regeneereida** ehk **värskendada** ja selle sisu ei saanud muuta värskendamise ajal. Kuna kaasaegsed graafikakaardid on väga kiired (töötavad väga kõrgel sagedusel), siis ei saa nendel kasutada tavalist **DRAM** mälu.

Videomälu paigutamine graafikakaardile võimaldas seda kohandada tema eriliste ülesannetega, mis omakorda põhjustas uute mälutehnoloogiate kiire arengu:

- **Video RAM** ehk **VRAM** – eriline kahe **porti** ehk **liitmikuga DRAM**, millest saab samaaegselt kirjutamisega ka lugeda. Lisaks sellele ei vaja **VRAM** nii sagedast värskendamist kui tavaline **DRAM** ning töötab seepärast palju kiiremini.
- **Windows RAM** ehk **WRAM** – kasutatakse eriti edukal Matrox Millennium kaardil. WRAM on samuti kahe liitmikuga ja töötab pisut kiiremini kui tavaline VRAM.

- **EDO DRAM** – kiirem kui **DRAM**, võimaldab kõrgemat töösagedust ja juhib lugemis-kirjutamis-tsükleid palju efektiivsemalt,
- **SDRAM** – sarnane eelmisega, kuid erinevalt eelmisest töötavad mälu ja graafikakiibid ühel sagedusel, mis võimaldab kiiremat tööd kui **EDO DRAM**-iga,
- **SGRAM** – sama mis SDRAM, kuid toetab ka plokki-dena ja bitthaaval kirjutamist, mis annab parema tootlikkuse graafikakiipidel, mis kasutavad neid võimalusi,
- **DRDRAM – Direct RDRAM** on täiesti uus mälu-arhitektuur, mis pakub 20 korda suuremat tootlikkust võrreldes tavalise **DRAM**-iga.

Mõnedel emaplaatidel kasutatakse ka **integreeritud graafikaarte**, kus puudub eriline kaadripuhver ja videomäluna kasutatakse üht osa operatiivmälust. Sellist lahendust nimetatakse **unifitseeritud mäluarhitektuuriks** ja seda kasutatakse ainult odavate emaplaatide valmistamisel. Neid lahendusi ei kasutata paremate videomälude juures, sest nad vähendavad tootlikkust.

Videomälu kaadripuhvrise on salvestatud rasterkujutis **digitaalkujul** pikselite kaupa (*bitmap*). Kaadrimälu väljundis on saadaval digitaalne info, kuid **CRT** kuvarile on vaja saata **analoogsignaali**, mis peab määrama, kuskohal, millal ja millise intensiivsusega peavad elektronkahurid tulistama ekraanipinda. Seega tuleb videomälust saadav digitaalkujutis teisendada analoogsignaaliks ja sellega tegeleb **RAMDAC**.

Järgnevas tabelis on toodud kuue graafikasüsteemides kasutatava mälutüübi andmed:

	EDO	VRAM	WRAM	SDRAM	SGRAM	RDRAM
Maksim. tootlikkus (MBps)	400	400	960	800	800	600
2 või 1 portiga	1	2	2	1	1	1
Andmesiini laius bittides	64	64	64	64	64	8
Tüüpiline mälu tsükkel	50-60 ns	50-60 ns	50-60 ns	10-15 ns	8-10 ns	330 MHz taktsagedus

1998. aastal langesid tugevalt **SDRAM** tüüpi mälude hinnad ja see põhjustas ka videomälude **SGRAM** hinna languse. Samal ajal viibis **RDRAM** tüüpi mälude kasutuselevõtt (see oli seotud nende kõrge hinnaga), nii järjest rohkem kasutati videokaartidel **SGRAM** ja ka uusi **DDR SGRAM** tüüpi mälusid. Teatavasti erineb **DDR** mälu tavalisest **SGRAM** mälust selle poolest, et sisend-väljundoperatsioonid saab sooritada ühe takti jooksul 2 korda (sünkrosignaali tõusva ja langeva frondi ajal).

Suuremat videomälu nõuab nii värvide arvu suurendamine kui ka eraldusvõime parandamine. Kuid õnneks on tegemist jaotatud ressursiga, see tähendab et muutumatu videomälu korral saab suurendada värvide arvu eraldusvõime vähendamisel ja vastupidi. Järgnev tabel annab ülevaate erinevatest variantidest:

Videomälu	Eraldusvõime	Bittide arv pikseli kohta	Värvide arv
1 Mb	1024x768	8	256
	800x600	16	65 536
2 Mb	1024x768	8	256
	1280x1024	16	65 536
	800x600	24	16,7 miljonit
4 Mb	1024x768	24	16,7 miljonit
6 Mb	1280x1024	24	16,7 miljonit
8 Mb	1600x1200	32	16,7 miljonit

Juhul kui kogu installeeritud videomälu pole kasutusel valitud eraldusvõime korral, kasutab graafikaprotsessor tekkinud lisamälu täiendava mälupuhvrina, kuhu saab salvestada näiteks tekstifonte või ikoone.

### 3.12.4.3. Digital-analoogmuundur RAMDAC

**RAMDAC** (*Random Access Memory Digital-to-Analogue Converter*) loeb videomälust välja digitaalse ekraanipildi, muundab selle **RGB** analoogsignaalsiks ja saadab selle videokaabli abil kuvarile. Värvusinfo muundamisel kasutatakse tabelit, mis seab igale digitaalsele väärtusele vastavusse kindla pingeaaloogväärtuse. Täieliku värvigamma saamiseks elektronkiiretoru ekraanile kasutab RAMDAC kolme digital-analoogmuundurit



(iga põhivärvuse jaoks ühte). Tulemuseks on õige värvisegu iga üksiku pikseli jaoks. Graafikakaardi poolt toetatavad **värskendussagedused** on määratud nii sagedusega, millega **RAMDAC** suudab infot muundada, kui ka graafikaprotsessori enda ehitusega. **RAMDAC**-i sisemine ehitus määrab ka antud eraldusvõimele vastava värvide arvu.

#### **3.12.4.4. Graafikakaartide draiverid**

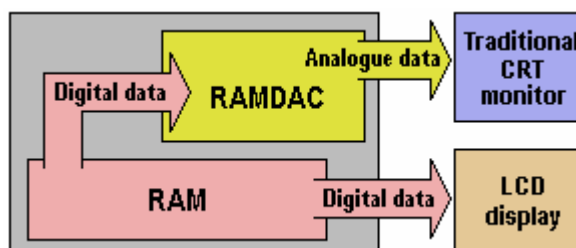
Kaasaegse graafikakaardi draiver määrab töökiiruse ja lisavõimalused. Draiver transleerib rakendusprogrammi käsud graafikaprotsessori käskudeks. Eriti tähtis on viis, kuidas ta seda teeb. Kaasaegne graafikaprotsessor suudab lisaks üksikute pikselite info muutmisele ka palju muud, näiteks joonistada keerukaid jooni ja kujundeid ning nihutada ekraanil suuri aknaid. Draiveri ülesandeks on otsustada, kuidas kasutada neid graafikaprotsessori omadusi rakendusprogrammi poolt esitatud kujutiste esitamisel.

Tavaliselt kasutatakse iga eraldusvõime ja värvide arvu jaoks eraldi draiverit. Seega võib üks graafikakaart erinevate eraldusvõimete ja värvide arvude korral omada erinevat töökiirust sõltuvalt sellest, kui hästi vastav draiver on kirjutatud ja optimeeritud.

#### **3.12.5. Digitaalsed graafikakaardid**

Kui turule ilmusid vedelkristallekraaniga LCD kuvarid, siis ühendati nad graafikakaardiga VGA standardis kirjeldatud pistiku abil, seega LCD kuvarile saabusid analoogsignaali. Erinevalt CRT kuvaritest kasutab LCD kuvar pildi moodustamiseks digitaalsignaali, seega peab kuvar sisaldama täiendavat analoog-digitaalmuundurit. Nagu näha, toimub siin kahekordne signaali muundamine – RAMDAC graafikakaardil muundab digitaalsignaali analoogsignaaliks ja LCD kuvar analoogsignaali tagasi digitaalsignaaliks. Täiendav muundur LCD kuvaris tõstab ta hinda ja samal ajal halvendab kahekordne muundamine kujutise

kvaliteeti. Probleemi lahenduseks oleks saata graafikakaardi video-mälust LCD kuvarile kohe digitaalsignaali.



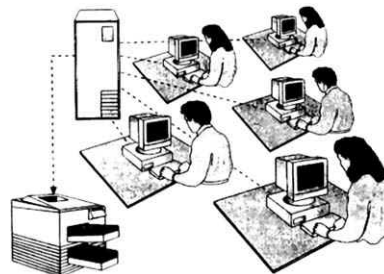
Probleemi ei õnnestunud kiiresti lahendada, sest tekkisid vaidlused liidese standardi üle. Pakuti välja mitmeid lahendusi ja alles 1999 aastal suutis spetsiaalselt selleks kokkukutsutud **DDWG** (*Digital Display Working Group*) välja töötada kõiki osapooli rahuldava **DVI** (*Digital Visual Interface*) standardi **LCD** kuvarite ühendamiseks graafikaadapteriga. Selleks et rahuldada ka **CRT** kuvareid kasutavaid tarbijaid, varustati graafikakaardid nii **DVI** kui ka traditsioonilise **VGA** pistikuga. Lisaks sellele lahendusele töötati välja **DVI-I** (*Integrated*) standard, mis võimaldas kasutada ainult üht täiustatud **DVI** pistikut nii analoog- kui ka digitaalsignaali jaoks vastavalt **CRT** või **LCD** kuvarile. Tänu **DVI** liidesele õnnestus 2001 aasta lõpuks müüa oluliselt rohkem **LCD** kuvareid, mis omakorda põhjustas kuvarite hinna languse umbes kahekordsele **CRT** kuvari hinnale ja tendents on edasisele hinna langemisele.

## 4. Arvutivõrgud

### 4.1. Põhimõisted

Esimesed arvutivõrgud tekkisid 1960-ndate teisel poolel. Need olid **ajajaotusvõrgud** (*time-sharing networks*), mis koosnesid suurarvutitest (*mainframes*) ja nendega ühendatud terminalidest, näiteks firma **IBM SNA** (*System Network Architecture*).

**Kohtvõrgud LAN** (*Local Area Network*) tekkisid koos personaalarvutite arenguga. **Kohtvõrkudeks** nimetatakse andmesidevõrke, mis ühendavad arvuteid geograafiliselt väikeses piirkonnas (näiteks ühes hoones või kõrvutiasuvas hoonetes). Nad võimaldavad võrkuühendatud tarbijatel kasutada jaotatud seadmeid, vahetada omavahel faile ja elektronposti. Algused kohtvõrgud olid enamasti väikesed ja ühendasid omavahel kuni 10 arvutit ja ühe printeri.



**Laivõrgud WAN** (*Wide Area Networks*), mis ühendavad omavahel üksikuid kohtvõrke, katavad geograafiliselt suuremaid alasid ning kasutavad andmesideks traditsioonilisi vahendeid, näiteks telefoniliine või raadiosidet. Kõige suuremaks laivõrguks on loomulikult **Internet**.

Nii koht- kui ka laivõrke saab jaotada järgmiste omaduste põhjal:

- **topoloogia** – arvutisüsteemi geomeetriline paigutus. Arvuteid saab ühendada siini-, tähe- või ringikujuliselt.
- **standardid/protokollid** – mitmesugused eeskirjad, millele võrkuühendatud arvutid ja nendevahelised ühenduslülid peavad vastama. **Ethernet** ja **Token Ring** on kaabliühendamise standardid ja **TCP/IP** on peamine andmeedastusprotokoll.
- **arhitektuur** – eristatakse võrdõiguslike arvutite (*peer-to-peer*) ja klient-server (*client-server*) tüüpi arhitektuuri.

Lisaks arvutitele endile, mida mõnikord nimetatakse **sõlmedeks** (*nodes*), sisaldavad arvutivõrgud veel järgmisi koostisosi:

- **võrgukaart NIC** (*Network Interface Card*). Võrgukaart on arvutiseade, mis võimaldab arvutit võrku ühendada.
- mitmesugused **võrguseadmed**, mille abil sõlmed omavahel ühendatakse, näiteks **jaoturid** (*hub*) või **kommutaatorid** (*switch*).
- **ühenduskeskkond** ehk **meedium**, milleks võib olla kaabel või traadita ühendus raadiolainete abil.

#### 4.1.1. Võrguprotokollid ja OSI mudel

Igasugune andmevahetus nõuab kindlate reeglite (**protokollistiku**) täitmist. **Protokoll** defineerib, kuidas arvutid peaksid üksteist identifitseerima, millisel kujul on informatsioon ülekanalil ja kuidas tuleks töödelda sihtpunkti jõudnud informatsiooni. Samuti tegelevad protokollid sellega, et hoolimata kaotsiläinud ja vigastest pakettidest saaks kogu informatsioon vahetatud. Kahe sama tüüpi arvuti ühendamisel on sideprotokoll suhteliselt lihtne, kuid keerukaks muutub asi eri tüüpi arvutite kokkuühendamisel ja andmeedastuse teostamisel füüsiliselt erisuguste sidekanalite kaudu. Sel põhjusel on püütud Rahvusvahelise Standardiorganisatsiooni (**ISO**) poolt kehtestada ühtsete sideprotokollide standardeid. Esimese laiema levikuga võrguprotokolli standardi töötas välja siiski **IBM** nime **SNA** all (*System Network Architecture*).

1984 aastal määratles **ISO** andmeside protokollide kogu, mida nimetatakse **OSI** (*Open Systems Interconnection*) **mudeliks**. **OSI** mudel kirjeldab, kuidas informatsioon ühe arvuti rakendusprogrammist liigub mööda võrku teise arvuti rakendusprogrammi. **OSI**-raammudeli eesmärk on eraldada mistahes keeruka sidevõrgu funktsioonid (sidereeglistikud) seitsmeks eraldi **protokollikihi**ks. Iga protokollikihi jaoks on määratletud tema sise-mised funktsioonid, samuti ühendused naaberkihtidega. Iga kiht on suhteliselt iseseisev. See tähendab, et **OSI** üldiseid reegleid järgides võib muuta, lisada või kõrvaldada ükskõik millise kihi funktsioone, kusjuures ülejäänud kihid jäävad muutumatuks.

OSI mudeli kihid jaotatakse **ülemisteks** ja **alumisteks** kihtideks. Seitsmest kihist on madalaim **füüsiline**, kõrgeim **rakenduskiht**. Jaotamine ülemisteks ja alumisteks on suhteline, sest keskmisi kihte võib vaadelda ülemistena allpool olevate suhtes ja alumistena võrreldes nendest ülalpool asuvatega.

**Ülemised kihid** on kõige lähemal tarbijale, tegelevad põhiliselt rakendustega ja on realiseeritud tarkvaraliselt.

**Alumised kihid** tegelevad otseselt andmeedastusega. 2 kõige alumist kihti (**füüsiline** ja **lülikiht**) on realiseeritud nii riistvaraliselt kui ka tarkvaraliselt. Kõik ülejäänud kihid on realiseeritud ainult tarkvaraliselt.

Nende seitsme kihi ülesandeks on:

- 7 **rakenduskiht** (*application layer*) — rakendus- ehk tarbe-programmidega otse antavad teenused (näiteks elektronpostivahetus),
- 6 **esituskiht** (*presentation layer*) — andmete esituskuju muutmine (kooditeisendused),
- 5 **seansikiht** (*session layer*) — nimede ja aadresside teisendused, pääsuõigused, kahe tööjaama dialoogi korraldamine,
- 4 **transpordikiht** (*transport layer*) — arvutitevaheline läbi-  
paistev (transparentne) ja usaldatav andmete transport, tegeleb veaavastamise ja –parandamisega,
- 3 **võrgukiht** (*network layer*) — sõnumite **marsruutimine** keerukates võrkudes,
- 2 **lülikiht** (*data link layer*) — organiseerib andmeedastust läbi füüsilise kihi,
- 1 **füüsiline kiht** (*physical layer*) — andmete füüsiline edastus punktist punkti.

Iga protokoll sisaldab reegleid ja tehnilisi protseduure, mis võrgutöös on vajalikud kindla ülesande teostamiseks. Igale standardsele protokollikihtile vastab harilikult üks kindel protokoll, kuid on ka selliseid praktikas kasutatavaid protokolle, mis korraga vastavad mitmele kihile. Seejuures omavahel lähedaselt seotud protokollide kogumeid nimetatakse protokollide virnaks (*protocol stack*). Sellised on näiteks **AppleTalk**, **IPX/SPX** ja **TCP/IP**.

Vastavalt protokollikihile võib eristada rakendus-, transpordi-, võrgu- jne. protokolle. Eriti laia levikuga on järgmised protokollid(stiku)d:

- **TCP/IP** (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) — väga populaarne protokollistik, mida kasutatakse enamikes **Unix**-süsteemides ja ka **Internetis**. **TCP** on transpordikihi- ja **IP** - võrgukihi pakattedastusprotokoll. Samasse komplekti kuuluvad ka **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*) - elektronposti teenus, **FTP** (*File Transfer Protocol*) — failiteisaldusprotokoll, **Telnet** — kaugterminaali emuleerimisprogramm, **SNMP** (*Simple Network Management Protocol*) - võrguhalduse juhtimisprotokoll, **UDP** (*User Datagram Protocol*)- transpordikihi protokoll, mis lisab **IP**-le **usaldatavustaseme** ja **multipleksimise** võimaluse;
- **IPX/SPX** (*Internetwork Packet eXchange/Sequenced Packet eXchange*) — **Novell NetWare** (võrguoperatsioonisüsteemisüsteemi) võrguprotokollid (**IPX** — võrgukihi-, **SPX** — transpordikihiprotokoll);
- **X.25** — **CCITT** (*International Telephone and Telegraph Consultative Committee*) andmete pakattedastuse protokoll **OSI** mudeli kolmele alumisele kihile, mida laialt kasutatakse suurvõrkude liidestest;
- **NetBIOS** — **IBM**-i poolt väljatöötatud võrguoperatsioonisüsteemi liides rakendusprogrammide jaoks;
- **NetBEUI** (*NetBIOS Extended User Interface*) — **NetBIOS**-i laiendus transpordikihile.

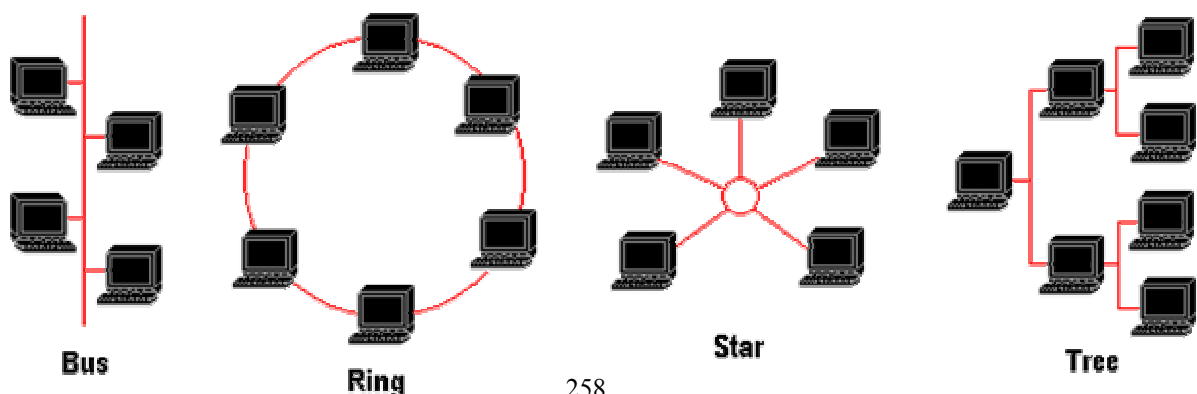
Kuigi iga võrguprotokoll on teistest erinev, on nad võimelised jagama sama füüsilist edastuskeskkonda. Kuna erinevad protokollid on võimelised rahumeelselt samal meediumil koos eksisteerima, siis on võimalik ühist riistvara kasutada mitmete erinevate protokollidega. See põhimõte on tuntud **protokollist sõltumatusena** (*protocol independence*) ja tähendab seda, et sama füüsilise ja lülikihi peal võib jookсутada erinevaid protokolle. Füüsilise kihi protokollid on otseselt seotud võrgu füüsilise teostusega, mistõttu võib rääkida ka **Ethernet**-i, **Token Ring**-

i jms. protokollidest (neid võrguarhitektuure vaatame lähemalt allpool).

## 4.1.2. Topoloogiad

Kohaliku võrgu **LAN topoloogia** määrab arvutite omavahe- lise loogilise ühendusviisi. Eristatakse nelja ühendusviisi:

- **Siin** (*bus*)– andmed liiguvad ühest **sõlmest** (arvutist) siinile ning on kogu siini ulatuses kättesaadavad kõigi teiste sõlmede poolt. Mitu **sõlme** võivad üheaegselt võtta siiniga ühendust ning alustada andmevahetust ühes võrguosas ehk **segmentis**. Katkestus siini kaablis katkestab tavaliselt andmevahetuse terves segmentis ja see taastub alles kaabli parandamisel. Kaasajal üks levinumatest kohaliku võrgu standarditest **Ethernet/IEEE 802.3** kasutab siinitopoloogiat, mille puhul kõik seadmed on ühendatud ühe kaabli abil, mida nimetatakse **siiniks** ehk **selgrooks** (*backbone*).
- **Ring** – seadmed on omavahel ühendatud suletud ahela abil, kusjuures iga seade on otseselt ühendatud 2 kõrvalasuva seadmega. Ringitopoloogiat kasutavad **lubaringi** (**Token Ring/IEEE 802.5**) ja **kiudlevi-andmeliidese FDDI** standardid.
- **Täht** (*star*) – nii nimetatakse topoloogiat, mille korral kõik võrgu lõpp-punktid on eraldi kaabli abil ühendatud ühise **jaoturiga** (*hub*) või **kommutaatoriga** (*switch*). Seda topoloogiat kasutab **10BaseT Ethernet** võrk. Tähtühenduse eeliseks on asjaolu, et kui füüsiline ühendus ühe lõpp-punktiga katkeb, siis see ei katkesta andmevahetust ülejäänud sõlmede vahel.
- **Puu** (*tree*) – sarnaneb siiniga, kuid ühendus 2 arvuti vahel toimub läbi vahelülide, mis võimaldavad ühendust teise haruga.



Need topoloogiad on **loogilised ühendusviisid**, kuid tegelik **füüsiline ühendusviis** võib olla nende segu. Näiteks võib **ühele siinile** ühendatud jaoturitega igapäevaga ühendada **tähekujuliselt** üksikud arvutid. Kuna tegemist on loogilise ühendusviisiga, siis seadmete füüsiline ühendusviis ei pea sellega täpselt kokku langema. Näiteks suudab **10BaseT** võrgu **jaotur** efektiivselt muuta standardse loogilise siinitopoloogia füüsiliselt tähekujuliseks ühenduseks.

Kolmest enamlevinud võrgutüübist kaks - **kiudlevi-andme- liides FDDI** (*Fibre Distributed Interface*) ja **lubaring (Token Ring/IEEE 802.5)** - kasutavad ringitopoloogiat, kuid **Ethernet/IEEE 802.3** kasutab siinitopoloogiat.

### 4.1.3. Pöördumisviisid

Arvutivõrgu ülesehitamisel võib rakendada mitmeid meetodeid, vältimaks mitme arvuti üheaegset **pöördumist** (saadet) meediumi poole ja tagamaks kindlal ajahetkel ainult ühe arvuti töötamise saatjana, mida teised ei sega. Põhimõtteliselt võib eristada **juhuslikke** ja **deterministlikke pöördumisviise**.

Esimesel juhul on reaalne, et mitu saatjat võivad töötada (tööd alustada) üheaegselt ja neil tuleb **konkureerida** endale saateõiguse saamiseks (sellespärast räägitakse ka „**konkureerivast**” pöördumisest). Kui selline üheaegselt tööst tingitud sõnumite „**kokkupõrge**” avastatakse, siis arvutid katkestavad saatmise ja mõne aja möödudes püüavad seda uuesti alustada. Selle meetodi kaheks põhivariandiks on **CSMA/CA** (*Local Talk*) ja “liikluse ja põrke tuvastusega multipöördus” **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), mida kasutatakse **Ethernet-is**. **Deterministliku pöördumise** korral on saate alustamisaeg süsteemis eelnevalt määratletud ja sõnumite kokkupõrke oht puudub. Seda meetodit kasutavad näiteks lubamarkeriga (*token passing*) süsteemid, mille hulgas kõige levinumad on **Token BUS** (**ARCnet**-võrk) ja **IBM-i** poolt väljatöötatud **Token Ring**.



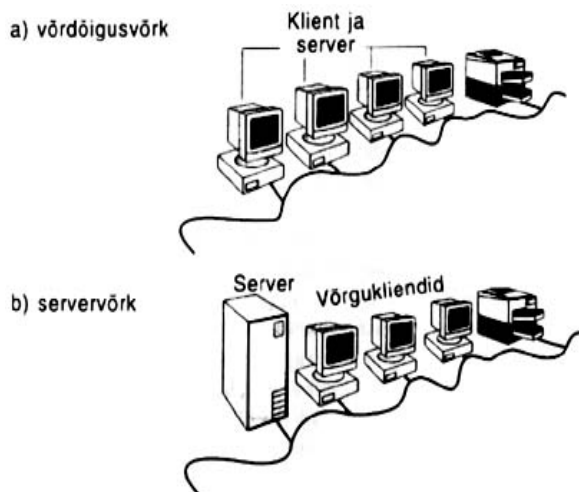
#### 4.1.4. Kohtvõrkude arhitektuur

Vaatame järgnevas arvutivõrkude klassifitseerimist arhitektuuri põhjal. Kaheks põhiliigiks on:

- **võrdõigusvõrgud** (*peer-to-peer networks*) ja
- **klient-servervõrgud** (*client-server networks*)

**Võrdõigusvõrgus** (vaata joonist) on kõik arvutid (tööjaamad) võrdsete õigustega, puudub eriline peaarvuti (**serverarvuti**). Neid võrke nimetatakse ka **töörühmadeks** ning neis ei ole tavaliselt üle kümne arvuti.

Võrdõigusvõrk sobib väikefirmale, kus kasutajad paiknevad kompaktselt ja andmekaitse küsimused ei ole kriitilised. Iga kasutaja tegeleb iseseisvalt oma arvutil võrgukorralduse (administreerimise) küsimustega.



**Võrguhaldus** sisaldab rea olulisi võrguga seotud ülesandeid:

- kasutajate töö juhtimine ja andmekaitse,
- ressurssidele ligipääsu tagamine,
- tarbeprogrammide ja andmebaaside toe loomine,
- tarbetarkvara paigaldamine ja moderniseerimine.

Võrdõigusvõrgus spetsiaalset lisatarkvara ei vajata, sest populaarsed operatsioonisüsteemid nagu *Windows XP*, *Windows 2000 Workstation* või *Windows 98* sisaldavad sisseehitatud toe-tuse nendele võrkudele. Kui võrku lülitatud kasutajate arv ületab kümnet, kipub töö võrdõigusvõrgus muutuma vähetootlikuks.

Sel põhjusel lülitatakse võrku sihtotstarbeline **serverarvuti** (*dedicated server*), mis tavalise tööjaama funktsioone ei täida. **Klient-servervõrgus** (vaata joonist) on **server** optimeeritud rahuldama tööjaamade-klientide päringuid ja võtab enda peale ka failide kaitse.

Serverid võivad täita väga erisuguseid ülesandeid, kusjuures nad on tavaliselt kohandatud üsna kitsa kasutusvaldkonna jaoks.

Näiteks *Windows 2000* võrgus kasutatakse järgmist tüüpi servereid:

- **faili-** ja **prindiserverid**, mis juhivad ligipääsu vastavalt failidele ja printeritele;
- **rakendusprogrammiga serverid**, millel täidetakse klient-serrakenduste teatavaid osi ja kus paiknevad klientidele ligipääsetavad andmed. Näiteks hoiavad nad andmevõtu lihtsustamiseks suuri andmehulki struktureeritud kujul. Erinevalt faili- või prindiserverist ei kopeeri nad tervikandmeid täielikult kliendarvutisse, vaid saadavad ainult päringu tulemuse küsitluse teinud arvutisse;
- **postiserverid**, mis juhivad elektronpostivahetust võrgukasutajate vahel;
- **faksiserverid**, mis juhivad fakside saatmist ja vastuvõttu üle ühe või mitme faksmodemi;
- **sideserverid**, mis juhivad andmete ja teadete vahetust teiste võrkude, suurarvutite või kaugkasutajatega modemi ja telefonivõrgu kaudu.

Serverivõrgu tööks vajatakse erilist **võrguoperatsioonisüsteemi NOS** (*Network Operating System*), näiteks *Windows 2000 Serverit*. Serveriarvuti koos võrguoperatsioonisüsteemiga tagab tsentraalse ressursside ja kasutajate kaitsmise ning võrgukorralduse (administreerimise). Vajatakse vähemalt üht eriülesannetega isikut- **võrguhaldurit** (**võrguadministraatorit**).

#### 4.1.5. P2P võrgud

Aastal 2000 tekkis uus võrdõigusvõrgu tüüp, mida hakati nimetama **P2P võrguks** (*P2P computing*). See võrk kujutab endast **Interneti** ühendatud võrdõiguslike arvutite ühendust, kes jagavad omavahel nii kliendi kui ka serveri funktsioone.

Mõned näited **P2P võrkude** kohta:

- **MP3** muusikafailide jaotamine programmi **Napster** abil. Asi sai alguse 1999 aasta septembris ja 2000. aasta keskel oli programmiga ühinenud juba rohkem kui 20 miljonit arvutit. Hiljem programm **Napster** keelustati heliplaadifirmade survele.

- 2000 aasta lõpuks kasutas **P2P** võrke rohkem kui 100 firmat ja palju erinevaid uurimisprojekte.
- 2001 aasta algul oli programmiga [SETI@home](http://setiathome.org), mis kasutas raadioteleskoobilt saadud andmete **jaotatud töötlust**, ühinenud rohkem kui 2,6 miljonit kasutajat, kes annetasid kokku rohkem kui 500 000 aastat protsessoriaega maailmise intelligentsi otsimiseks.

**P2P** pakub alternatiivi traditsioonilisele **klient-server** arhitektuurile ning seda võib defineerida kui arvuti ressursside ja teenuste jagamist otsese vahetuse abil. **P2P** kasutab olemasolevat võrgu, klientide ja serverite infrastruktuuri viisil, mis erineb oluliselt **klient-serveri** arhitektuurist. Need 2 arhitektuuri eksisteerivad koos, segunevad ja täiendavad teineteist.

**Klient-server** mudeli korral teeb klient temaga ühes võrgus olevale serverile **päringuid**. Server, mis on reeglina üksik arvuti või arvutisüsteem, vastab päringutele ja täidab tööjaamadelt saadud ülesandeid. **P2P** võrgus, kus kõik arvutid on võrdsete õigustega, töötab iga üksik arvuti kliendina, millel on ka teatud serveri funktsioonid. Selline ülesannete jaotus võimaldab arvutil antud rakenduse piirides töötada üheaegselt nii serverina kui ka kliendina. Võime sooritada **otsest andmevahetust** teiste kasutajatega pakub terve rea nii **tehnilisi** kui ka **sotsiaalseid eeliseid** nii **üksiktarbijatele** kui ka **suurtele organisatsioonidele**.

**Tehniliselt** pakub **P2P** võimaluse kasutada tohutuid ressursse, mis vastasel korral jääksid lihtsalt kasutamata. Nende ressursside hulka kuulub nii **summaarne protsessorite tööaeg** kui ka tohutu **summaarne mälumaht**. **P2P** võimaldab elimineerida ühe allika kasutamise “pudelikaela”. **P2P** võimaldab jaotada **andmeid, juhtimist ja päringuid** ühtlaselt üle **Interneti**. Lisaks tootlikkuse optimeerimisele võimaldab **P2P** mehhanism vältida vigu, mis on iseloomulikud ühes arvutis toimuvatele protsessidele.

**P2P** kasutamisel suure ettevõtte siseselt on võimalik asendada mõned tavaliselt kalli serveri poolt sooritatavad funktsioonid klientide poolt sooritatavate jaotatud funktsioonidega. Klientide ülesandeks võib jätta mälu, andmete archiveerimise ja hankimise.

**P2P** struktuur lubab otsest juurdepääsu ja jaotatud ressursse, mis omakorda võimaldab arvutite **kaugteenindust**.

**P2P** köitvust suurendavad tema **sotsiaalsed** ja **psühholoogilised aspektid**. Näiteks saavad kasutajad kergesti moodustada oma autonoomsed **Interneti kogukonnad** ning juhtida neid kollektiivselt. Enamuses nendest kogukondadest toimub pidev muutumine ja areng, sest kogu aeg lisandub uusi kasutajaid ning samal ajal teised lahkuvad, mõned muutuvad aktiivseks ja teised passiivseks. Paljudele kasutajatele meeldib tsentraliseeritud kontrolli puudumine.

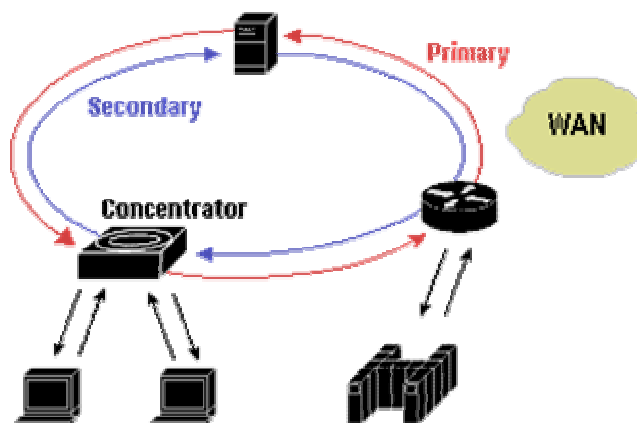
## 4.2. Arvutivõrkude standardid

Nagu eespool mainitud, kasutatakse personaalarvutite võrkuühendamiseks peamiselt **Ethernet**-i võrgustandardit, kuid mõnikord ka teisi, näiteks **Token Ring** standardit ning mainitud standardite edasiarendusi. Vaatleme siinkohal neid lähemalt.

### 4.2.1. Kiudlevi-andmeliides FDDI

**Kiudlevi-andmeliides FDDI** (*Fibre Distributed Interface*) loodi 1980-ndate keskel **ANSI** (*American National Standards Institute*) standardite komitee poolt, selleks et võimaldada kiiret (100 megabitti sekundis) ühendust kiirete **tööjamaade** (*workstation*) vahel. Seda standardit iseloomustab **kaksikring**, kus andmete edastus toimub **valguskaabli** (fiiberoptika) abil.

**Kaksikring** koosneb kahest tavalisest ringist, kusjuures ühes ringis liiguvad andmed kellaosuti suunas ja teises vastassuunas. Normaalse töö korral kasutatakse andmeedastuseks ainult esimest ringi, kusjuures teine ring on ooteseisundis. Teine ring on vajalik töökindluse suurendamiseks eriolukordades.



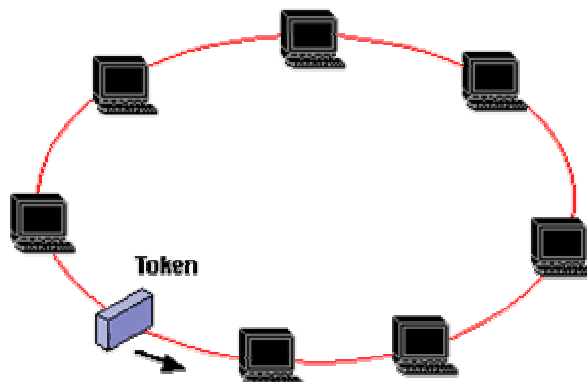
Ringil asuvad **jaamad** (*station*) on ühendatud **portide A ja B** abil mõlema ringiga – **port A** kaudu tuleb esimeselt ringilt sisendsignaali ja väljub signaal teisele ringile, **port B** kaudu tuleb aga sisendsignaali teiselt ringilt ning väljub signaal esimesele ringile. Lisaks **A ja B portidele** võib igal ringil asuval **jaamal** olla täiendavate ringil mitteasuvate jaamade ühendamiseks mitu **M porti**. Ringil asuvat jaama, millel on **vähemalt üks M port**, nimetatakse **kontsentraatoriks** (*concentrator*).

Ringile pääsemise järjekord on eelnevalt määratud. Jaam saadab välja erilise signaali jada, mida nimetatakse **Token** (luba), mis juhib ülekandeõigust. Signaal **Token** liigub ringimööda ühest jaamast teise. Kui jaamal on andmeid saatmiseks, siis ta ei saada edasi signaali **Token**, vaid saadab **FDDI formaadis** andmed. Alles pärast andmete saatmist saadetakse edasi signaal **Token**. **FDDI formaat** näeb ette, et andmetele lisatakse sihtjaama (-jaamade) aadress (aadressid). Iga sõlm (jaam) kontrollib saadetise aadressi ja kui see ühtib enda omaga, siis ta loeb andmed maha ja saadab saadetise edasi. Saadetis edastatakse ka siis, kui selle aadress ei ühti jaama aadressiga. Kui saadetis jõuab ringiga tagasi saatjale, siis ta kustutab selle.

**Lubaringi** põhimõte võimaldab kõigil jaamadel edastada andmeid suure kiirusega ja veavabalt. **Kiudlevi-andmeliidest FDDI** kasutatakse võrkudes, mis nõuavad töökindlat ja kiiret andmeedastust. **FDDI** on ettenähtud andmeedastuseks klaaskiudkaablite abil, kus andmete ülekandmiseks kasutatakse valgusimpulsse. Hiljem võeti kasutusele samal põhimõttel töötav **vaskleviandmeliides CDDI** (*Copper Distributed Data Interface*), kus andmed liiguvad sama kiirusega (100 megabitti sekundis) vasest **keerdpaarjuhtmeid** (*twisted pair*) mööda.

#### 4.2.2. Lubaring (Token Ring)

1984 aastal võttis **IBM** kasutusele kiirusega 4 megabitti sekundis töötava arvutivõrgu **lubaring (Token Ring)**. Erinevalt tavalistest pistikühendustest, kus üks



pool on “meessoost” (*male*) ja teine “naissoost” (*female*), kasutab **IBM** siin **IDC**-tüüpi pistikühendust, kus mõlemad pooled on ühesugused. Kuigi firma **IBM** kaabelühendusi loeti töökindlaks, ei meeldinud tarbijatele **IDC** pistikühendus, kuna ta oli mõõtmetelt suur ja kallis ning sisaldas ainult 4 signaalijuhet, mistõttu jäi alla ka **Ethernet**-i 8-juhtmeline varjeta keerdpaarkaablile **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*). Hoolimata ebaedust jättis **IBM Token Ring**-i oma peamiseks võrgutehnoloogiaks.

**Token Ring** ja standard **IEEE 802.5** pole identsed, kuid nende erinevus on väga väike. Nimelt kasutab **Token Ring** füüsiliselt tähekujulist topoloogiat, kus kõik tööjaamad on ühendatud seadmega **MSAU** (*Multistation Access Unit*). **IEEE 802.5** ei sisalda viidet topoloogiale, kuid kõik tema rakendused kasutavad füüsilist tähtühendust.

Arvutivõrgu **Token Ring** käivitamisel toimuvad kõigi sõlmede vahel “läbirääkimised”, mille tulemusena otsustatakse, milline sõlm asub ringi juhtima. “Läbirääkimiste” tulemusena selgub juhtiv sõlm ehk *Active Monitor*, mille ülesandeks on kontrollida, kas teised sõlmed ei sega arvutivõrgu normaalset tööd ja käivitada ring pärast katkestust või viga. Selleks saadab ta iga paari sekundi tagant signaali *Ring Polling* ning vea avastamisel puhastab ringi. Signaal *Ring Polling* võimaldab kõigil võrkuühendatud sõlmedel teada oma soovist osa võtta andmevahetusprotsessist ning teada saada lähima eelneva aktiivse naabri **NAUN** (*Nearest Active Upstream Neighbour*) aadressi, mis on vajalik ringi sisenemisel või sellest väljumisel. Ringi puhastus nullib need andmed katkestuse või veateate korral.

Arvutivõrk **Token Ring** edastab andmeid loasignaali saamisega, mida saadetakse mööda võrku ühes suunas ja mis on nähtavad kõigis sõlmedes. Kui sõlm saab temale adresseeritud teate, siis ta kopeerib selle ja märgib teate loetuks. Kuna teade liigub mööda ringi edasi, siis jõuab ta lõpuks saatjani, kes märgib, et teade on edukalt tagasi jõudnud ja kõrvaldab selle ringlusest. Loa saamine annab õiguse ülekandeks. Kui loa saanud sõlmel pole saatmiseks informatsiooni, siis ta saadab loa edasi järgmisele sõlmale. Igal sõlmel on õigus hoida luba kinni teatud aja jooksul.

Kuigi **Token Ring**-i pooldajatel õnnestus 1999-ks aastaks tõsta **Token Ring**-i kiirus 100-le megabitile sekundis ja kehtestada ka vastav **HSTR** (*High Speed Token Ring*) standard, pidid nad lõpuks ikkagi tunnistama allajäämist võistlevale **Ethernet** standardile.

### 4.2.3. Ethernet

1972-73.a sündis firma **Xerox Corporation Palo Alto** uurimiskeskuses **Ethernet**-kohtvõrgu idee, mille põhjal 1970-ndate keskel töötati välja **Ethernet**-i võrk.

1979 aastal asusid firmad **DEC** ja **Intel Xerox**-i ideed toetama, mistõttu 1980 aastal anti nende 3 firma ühistööna välja kirjeldus "*Ethernet Blue Book*", mida tunni ka **DIX standardi** nime all. Selle võrgu töökiirus oli 10 megabitti sekundis. Võrgus kasutati siini põhikaablina jämedat koaksiaalkaablit, mille külge oli võimalik ühendada iga 2,5 m tagant peenemad kaablid tööjaamade ühendamiseks. Jämedat kaablit nimetati *Thick Ethernet* ehk **10Base5**. Siin "10" tähendab töökiirust (Mbit/s) ja "5" tähendab, et kaabli maksimaalne pikkus võib olla 500 m.

1983 aastal anti välja ametlik **Ethernet**-i standard, mida nimetati **IEEE 802.3** ja mis kirjeldas jämeakaablivõrku **10Base5**.

1985 aastal andis **IEEE** (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) välja **Ethernet**-i peenakaablivõrku *Thin Ethernet* ehk **10Base2** kirjeldava standardi **IEEE 802.3a**. Kuigi "2" nimetuse lõpus peaks lubama kaabli maksimaalset pikkust 200 m, oli tegelikult lubatud ainult 185 m pikkune võrgukaabel.

**Ethernet** on siia maani kasutusel tänu sellele, et ta on kergesti mõistetav ja teda on lihtne paigaldada. Ta on nii populaarne, et mõisted "võrguühendus" ja "võrgukaart" tähistavad automaatselt **Ethernet**-i võrku ja selle kaarti. Edu põhjuseks on asjaolu, et temas on saavutatud suurepärase tasakaal kiiruse, hinna ja paigaldamise lihtsuse vahel. Kodudes ja väikestes kontorites hakati kasutama **Ethernet**-i versiooni **10BaseT**, kus koaksiaalkaabel oli asendatud varjestamata keerdpaarjuhtmega **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*).

**Ethernet** põhineb pöördumisviisil, mis kannab nime **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision*

*Detect*) s.t ta on kandevsageduskuulamisega ja konfliktsituatsioonide lahendamisega. Kandesignaali (*carrier*) all mõeldakse raadioliinis kõrgsageduslikku kandelainet, kaabelliinis digitaal-andmete olemasolu väljendavat alalisjääkpinget. Töö põhimõte on järgmine: iga võrguarvuti kuuleb igat saadet, kuid ei võta vastu igat saadet, vaid ainult temale adresseeritud. Ülekande toimumise ajal ei saa alustada uut ülekannet. Selleks et edastada infot, oodatakse, kuni eelmine ülekanne lõpeb ja alles siis saadetakse **kaader** (saadetus) võrguliidese **NIU** (*Network Internet Unit*) kaudu kanalisse.

Iga arvuti kuuleb kanalisse saadetud **kaadrit**, kuid ignoreerib seda. Ainult see arvuti, kellele **kaader** adresseeritud, võtab selle vastu ja saadab vastuvõtukinnitususe. **Kaader** tuntakse arvuti poolt ära **arvutiaadressi** järgi. Vastuvõtu kinnitust on võimalik vastu võtta ainult seetõttu, et aadressis on ka saatja aadress.

Kui 2 arvutit saadavad **kaadri** üheaegselt, siis tekib konfliktsituatsioon "kokkupõrge" (*Collision*), mis viib selleni, et teadet pole võimalik võrku saata. **Konflikti lahendamine**: mõlemad abonentarvutid katkestavad saatmise mingiks ajamomendiks ja proovivad siis uuesti saadet korrata.

Ühenduse saanud **saatja** ja **vastuvõtja** kasutavad mõlemad kogu ribalaiust (10 Mbit/s).

**Ethernet**-i kaabel ühendatakse võrgukaardiga, mis võib olla ka integreeritud (asub otse emaplaadil). Vastuvõtjas on realiseeritud palju funktsioone riistvara tasemel, sealhulgas ka kokkupõrke avastamine ja konfliktsituatsiooni lahendamine.

Edastuskiiruse 10 Mbit/s jaoks kasutati nelja standardset (**IEEE 802.3**) lahendust:

- **10Base2** (peenikese koaksiaalkaabliga **Ethernet**),
- **10Base5** (jämeda koaksiaalkaabliga **Ethernet**),
- **10BaseT** (vasest keerdpaariga **Ethernet**),
- **10BaseFL** (valguskaabliga **Ethernet**).

Aastaks 1998 kasutati 86% kõigist võrgulahendustest **Ethernet**-i võrku, mille edu üheks põhjuseks oli pidev areng: 1990-ndate teisel poolel võeti kasutusele **Fast Ethernet**, mis oli 10 korda kiirem (100 Mbit/s) ja mõned aastad hiljem ilmus turule **Gigabit Ethernet** töökiirusega 1000 Mbit/s.



#### 4.2.4. Fast Ethernet

**Fast Ethernet** ehk **100Base-T** võeti ametlikult kasutusele 1995 aastal standardiga IEEE 802.3u. See **Ethernet**-i standard on loodud võrkudele, kus on vaja suuremat sidekiirust, kui seda suudab pakkuda **Ethernet**-i standard (10 Mbit/s). **100Base-T** väljaarendajaks on *Grand Junction Networks*. **Fast Ethernet**-i puhul on kiiruse piir nihutatud saja megabitini sekundis, kusjuures nõutavad muudatused kaabelduses pole kuigi suured. See **Ethernet**-i variant ei erine oluliselt **10BaseT**-st. Kasutatakse peamiselt kolme võimalikku kaabeldusskeemi:

- **T4** — neljast varjestamata keerdpaarist koosnev;
- **TX** — kahest varjestatud või varjestamata keerdpaarist koosnev (kõige levinum, kuna tal on hea ühilduvus **10Base-T Ethernet** standardiga, kasutab sama **Category 5** keerdpaarkaablit ja sama **RJ45** pistikut);
- **FX** — kahesoonealise valguskaabliga.

100 Mbit/s võrgukaardid kasutavad 32 bitist **PCI siini**, kuna **ISA siin** on liiga aeglane. Enamik 100 Mbit/s kaarte suudab aga töötada ka aeglasemate 10 Mbit/s võrkudega.

#### 4.2.5. Gigabit Ethernet

Kõige uuem **Ethernet**-i versioon, mis toetab andmeedastuskiirust kuni 1 Gigabit/s (1000 megabitti sekundis). **Gigabit Ethernet**-i standardid, mis koosnesid esialgse **Ethernet**-i ja uue **ANSI X3T11 Fibre Channel** standardite segust ja kirjeldasid võrgu füüsilist kihti, kinnitati 1999 aastal:

- **1000Base-X** standard põhineb *Fibre Channel Physical Layer* standardil ja defineerib tööjaamade, superarvutite, mäluseadmete ning välisseadmete omavahelist ühendamist, kasutades klaaskiudkaablit või erineva pikkusega varjestatud **STP** (*Shielded Twisted Pair*) vasest keerdpaarjuhtmeid.
- **1000Base-T** on **Gigabit Ethernet**-i standard, mis kasutab vasest varjestamata keerdpaarjuhtmega **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*) kaableid.

**Gigabit Ethernet** kasutab **IEEE 802.3** kaadriformaati, mida kasutavad ka tema eelkäijad 10 Mbit/s ja 100 Mbit/s standardid, mistõttu on võimalik kohtvõrgu **marsruuterite** (*router*) või **kommutaatorite** (*switch*) abil lihtsalt ühendada erineva kiirusega võrgud.

### 4.3. Arvutivõrkude riistvara

Arvutivõrgud koosnevad nii riist- kui ka tarkvarast. Võrguriistvara kindlustab füüsilise ühenduse **võrgusõlmede** (*nodes*) vahel ning koosneb järgmistest komponentidest:

- Igasse arvutisse paigaldatavad **võrgukaardid NIC**.
- Erinevad võrguseadmed - **jaoturid** (*hub*), **kommutaatorid** (*switch*), **marsruuterid** (*router*) ja **sillad** (*bridge*) - mille ühiseks ülesandeks on ühendada omavahel erinevaid võrguosi ehk **segmente** ning kindlustada infopakettide saatmist ettenähtud aadressile.
- **Võrgukaablid** (nii vask- kui ka klaaskiudkaablid), mis ühendavad võrgukaarte jaoturite või kommutaatoritega.

#### 4.3.1. Võrgukaardid

Võrgukaardi **NIC** abil toimub arvuti **füüsiline võrkuühendamine**. Võrgukaart kindlustab füüsilise ühenduse võrgukeskonna ja arvuti välissiini vahel, pakkudes juurdepääsumetodit võrgule **OSI** mudeli **esimese** ja **teise kihi** tasemel.

Enamus võrgukaarte on ette nähtud töötamiseks kindlaksmääratud **võrgutüübi**, **protokolli** ja **keskkonnaga**, kuid mõned neist suudavad teenindada ka mitut erinevat võrku. Võrgukaardid on tavaliselt ehitatud selliselt, et nad suudavad toetada mitut võrgustandardit. Näiteks toetavad kaasaegsed **Fast Ethernet** (kiirusega 100 Mbit/s) võrgukaardid ka varasemat kiirusega 10 Mbit/s **Ethernet** standardit, kusjuures kiiruse ümberlülitamine toimub automaatselt. Lisaks tavalisele ühendusele kasutatakse ka *full-duplex* meetodit, mille puhul võrgukaardi eriline ühendusviis **kommutaatoriga** võimaldab kahekordset töökiirust.

### 4.3.2. Jaoturid ja järgurid

**Jaotureid** (*hub*) ja **järgureid** (*repeater*) kasutatakse kahe või enama ühesugust keskkonda kasutava **segmenti** (võrguosa) omavaheliseks ühendamiseks. Ühest sõlmest teise liikuv signaal nõrgeneb kaablis, muutudes kasutamiskõlbmatuks segmenti maksimumpikkuse ületamisel. **Järgurid** võimendavad signaali, võimaldades ühendada sõlmi, mille omavaheline kaugus ületab segmenti maksimaalse pikkuse.

**Passiivsed jaoturid** signaali ei võimenda, nad ainult edastavad ühest pordist (sisendist) saadud andmepakette kõigile ülejäänud portidele (väljunditele). Üldjuhul on kõik pordid omavahel ühtviisi ühendatud, mistõttu portide jaotamine sisenditeks ja väljunditeks on suhteline (üks ja seesama port võib olenevalt olukorrast olla kas sisend või väljund).

**Aktiivsed jaoturid**, mida nimetatakse ka **mitmepordilisteks järguriteks** (*multiport repeater*), täidavad ühtlasi ka **järguri** funktsioone (võimendavad signaali).

Jaotureid kasutatakse näiteks tähekujuliselt ühendatud **10BaseT** võrkudes, võimaldades **keerdpaarjuhtmete** abil omavahel ühendada ühte võrku mitu kahest sõlmest koosnevat segmenti. Kahest sõlmest koosneva segmenti üheks sõlmeks loetakse tööjaama ja teiseks sõlmeks jaoturit ennast. Kui selline jaotur ühendada põhivõrguga, siis kõik selle jaoturiga ühendatud arvutid on põhivõrguga ühenduses.

**Jaoturid** ja **järgurid** võimaldavad ainult **jagada** võrku kasutajate vahel. **Jagatud võrk** (*shared Ethernet*) tähendab seda, et kõik selle võrgu kasutajad peavad võitlema omavahel võrgu kasutusõiguse pärast, sest saatjaks saab üheaegselt olla ainult üks sõlm. Kui mitu kasutajat üritavad üheaegselt andmeid võrku saata, siis tekib kokkupõrge, mille tulemusena kasutajad katkestavad andmete saatmise ning üritavad mõne aja pärast uuesti saata. **Jagatud võrku** nimetatakse ka **kokkupõrgete domeeniks** (*collision domain*). Seega saavad jagatud võrgus olevad kasutajad igaüks endale ainult mingi osa terve võrgu ribalaiusest. Erinevates **Ethernet-i** võrgutüüpides võimalik sõlmede arv ja

võrgukaabli maksimaalne kogupikkus ühes segmendis on toodud järgmises tabelis:

Võrgu tüüp	Maksimaalne sõlmede arv segmendis	Maksimaalne kaabli kogupikkus segmendis
10BaseT	2	100m
10Base2	30	185m
10Base5	100	500m
10BaseFL	2	2000m

**Järgurid** ehk signaalivõimendid võimaldavad suurendada vahekaugust võrgusõlmede vahel, kuid nad ei luba suurendada võrkuühendatud sõlmede arvu. **Sillad, marsruuterid ja kommutaatorid** võimaldavad võrku palju efektiivsemalt laiendada.

### 4.3.3. Sillad

**Sillad** (*bridge*) ilmusid müügile 1980-ndate algul. Siis oli nende ülesandeks üksikute ühesuguse ehitusega (homogeensete) võrkude omavaheline ühendamine. Näiteks võimaldas sild ühendada omavahel **Ethernet**'i ja **lubaringi** (*Token Ring*) võrgud. Sillad töötavad **OSI** mudeli **teisel** ehk **lülikihil**.

Sild jätab meelde igas võrgusegmendis olevate **sõlmede aadressid** ja võimaldab ainult vajalike andmete liiklust läbi silla. Kui sild saab andmepaketi, siis ta kontrollib saatva ja vastuvõtva sõlme aadressi. Kui saatja ja vastuvõtja asuvad ühes segmendis, siis andmepaketti ei edastata (pakett **filtreeritakse**), vastasel korral aga pakett läbib silla. Sild ei edasta ka vigaseid pakette.

Silda nimetatakse ka **salvestavaks ja edastavaks** (*store-and-forward*) seadmeks, sest enne edastamist või filtreerimist kontrollitakse üle terve pakett. Pakettide filtreerimine ja edastatavate pakettide värskendamine (*regenerating*) võimaldab silla abil jaotada suurt võrku üksikuteks **kokkupõrgete domeenideks** ning sellisel viisil saab kasutada pikemaid vahemaid ja rohkem järgureid.

Enamik sildu on **iseõppivad**, see tähendab et nad koostavad kasutajate võrguaadresside määramiseks segmendis tabeli selle

põhjal, kuidas paketid võrku läbivad. Kahjuks suurendab iseõppimise võime **võrgusilmuste** (*loop*) arvu nendes võrkudes, mis sisaldavad palju sildu. **Võrgusilmus** sisaldab üksteisele vasturääkivaid andmeid aadresside kohta mingis segmendis ja sunnib silda edastama kõiki teda läbivaid pakette.

1990-ndate keskel tekkisid **kommutaatorid** (*switch*), mis asendasid Internetis töötavaid sildu. Kommutaatorite läbilaskevõime ja portide tihedus oli suurem ja hind pordi kohta madalam, mistõttu hakati kasutama kommutaatoreid sildade asemel.

#### 4.3.4. Marsruuterid

**Marsruutimist** (*routing*) hakati kasutama 1980-ndate keskel seoses Interneti tekkimisega. **Marsruutimine** tähendab informatsiooni saatmist läbi Interneti algpunktist lõpp-punkti. Seda vastandatakse silla tööle, mis kujutab endast analoogilist operatsiooni. Peamiseks erinevuseks nende kahe vahel on asjaolu, et **sild** töötab **OSI** mudeli **teisel** ehk **lülikihil**, **marsruuter** aga **kolmandal** ehk **võrgukihil**. See tähendab, et sillad ja marsruuterid kasutavad informatsiooni juhtimiseks algpunktist lõpp-punkti erinevat informatsiooni ja töötavad erineval viisil.

**Marsruuterid** (*router*) kasutavad igas paketi sisalduvat informatsiooni paketi saatmiseks ühest kohtvõrgust teise ja suhtlevad omavahel ning jagavad informatsiooni, mis võimaldab neil määrata **parim tee** läbi paljudest kohtvõrkudest koosneva keeruka laivõrgu. Selle ülesande täitmiseks ehitavad ja säilitavad **marsruuterid marsruuditabeleid** (*routing table*), mis sisaldavad mitmesugust infot sõltuvalt sellest, millist algoritmi konkreetne seade kasutab. Näiteks **sammhaaval sihtpunkti leidmise** (*destination/next hop*) **assotsiatsioonid** ütleavad **marsruuterile**, et optimaalse tee vajaliku sihtpunktini võib leida läbi teise **marsruuteri**, mis omakorda pakub samal viisil välja järgmise sammu pikal sihtkohta viival teel. Kui **marsruuter** saab sisen-disse andmepaketi, siis ta loeb sellest välja sihtpunkti aadressi ning püüab seda seostada järgmise sammu aadressiga.

### 4.3.5. Kommutaatorid

Kohtvõrgu **LAN kommutaatorid** (*switch*) on seadmed, mis asendavad sildu. Nad töötavad **OSI** mudeli **teisel** ehk **lülikihil**, mis juhib andmevoogu, käsitleb ülekandevigu, teostab füüsilist (mitte loogilist) adresseerimist ja juhib juurdepääsu füüsilisele võrgukeskkonnale. **Kommutaatorid** täidavad neid funktsioone, kasutades erinevaid lülikihi protokolle – **Ethernet-i**, **Token Ring-i** ja **FDDI** protokolle – mis dikteerivad erinevaid andmevoogu juhtimise, veakäsitluse, adresseerimise ja võrgukeskkonna algoritme.

Kohtvõrkude kommutaatorid suudavad ühendada omavahel nelja, kuute, kümnet või enamat võrku. Nendes kasutatakse kahte peamist arhitektuuritüüpi: *cut-through* ja *store-and-forward*. Esimene neist on kiirem, sest seal kontrollitakse enne edasisaatmist ainult paketi sihtkoha aadressi. Teine meetod loeb läbi terve paketi ja analüüsib seda enne edasisaatmist.

Terve paketi kontrollimine võtab rohkem aega, kuid ta võimaldab ühtlasi leida vigu ning mitte lasta vigaseid pakette ringlusesse. 1990-ndate lõpus õnnestus teist meetodit kasutavate kommutaatorite tööd oluliselt kiirendada, mistõttu vahe erinevate meetodite kiiruste vahel polnud enam märgatav. Kaasajal kasutatakse ka kommutaatoreid, mille arhitektuur kujutab endast mainitud kahe arhitektuuri segu.

### 4.3.6. Saatjad-vastuvõtjad

**Saatjat-vastuvõtjat** (*transceiver* ehk *transmitter-receiver*) kasutatakse võrgusõlmede ühendamiseks **Ethernet-i meediumiga** ehk **võrgukeskkonnaga**. Enamus võrgukaartidest sisaldab sisseehitatud **10BaseT** või **10Base2** (kaasajal **100Base-TX**) **saatjat-vastuvõtjat**, mis võimaldab otsest võrguühendust ilma välise saatja-vastuvõtjata.

Vanemad **Ethernet-i** seadmed kasutasid **AUI** (*Attachment Unit Interface*) tüüpi **pistikühendust**, mis võimaldas tarbijat ühendada välise saatja-vastuvõtja abil. **AUI** pistikühendus

koosnes 15 kontaktiga **D-tüüpi pesast** arvuti poolel ja **pistikust saatja-vastuvõtja** poolel.

Kaasaegsed **Fast Ethernet**-i võrgud kasutavad uut keskkonnast sõltumatut **MII** (*Media Independent Interface*) liidest, mis võimaldab kiirusega 100 Mbit/s ühendust. **MII** on laialdaselt kasutusel selleks, et ühendada vaskühendusi kasutavad **Fast Ethernet**-i seadmed **100Base-FX** klaaskiudkaabelvõrguga.

### 4.3.7. Võrgukaablid

Juba 1985 aastal asuti arendama ühtset kaabeldusstandardit, mida saaks kasutada kõigis võrgusüsteemides, mis omavad ühist topoloogiat, ühesuguseid kaableid ja pistikühendusi.

Esimesed tulemused saadi 1987 aastal, kui hakati **Ethernet**-i võrkudes kasutama keerdpaar-telefonikaablit ning see vormistati 1990 aastal **standardina IEEE 802.3I Ethernet 10BaseT** (siin täht **T** tähistab sõnu *Twisted pair cable*).

1991 aastal töötati välja tööstuslik standard **Category 3 UTP** (*Unshielded Twisted Pair cable*), mis kujutas endast kaitsekihi-ga varjestamata keerdpaarkaablit. Veel samal aastal töötati välja suuremat kiirust võimaldavad standardid **Category 4** ja **Category 5**. Ülevaate võrgukaablite standarditest 2000 aasta lõpu seisuga annab järgmine tabel:

Tüüp	Iseloomustus
Category 1	Kasutatakse telefonisides, ei sobi andmete ülekandeks
Category 2	Võimaldab andmete ülekannet kiirusega kuni 1 Mbit/s
Category 3	Kasutatakse 10BaseT võrkudes ja võimaldab ülekannet kiirusega kuni 16 Mbit/s.
Category 4	Kasutatakse Token Ring võrkudes kiirusega kuni 20 Mbit/s.
Category 5	Võimaldab andmete ülekannet kiirusega kuni 100 Mbit/s.

Seoses **Gigabit Ethernet**-i kasutuselevõtuga töötati välja uus standard "**Enhanced Category 5**", mis võimaldab andmete ülekannet kiirusega kuni 1000 Mbit/s.

**Standard 802.3** lubab kasutada järgmisi kaablitüüpe:

- Ühenduskaabel **10Base5** ehk **Thick Ethernet**-i jaoks oli **jäme koaksiaalkaabel**, mille külge ühendati **MAU** (*Media Attachment Unit*), mis omakorda ühendati võrgukaardiga eritüüpi kaabli ja 15 kontaktiga pistikühenduse (**AUI port**) abil.
- Standard **10BaseT** kasutas **tavalist keerdpaarkaablit**. Füüsiline ühendus oli tehtud tähekujuliselt, kõik sõlmed olid ühendatud kaabli ja **RJ45** pistikühenduse abil keskse **jaoturiga** (*hub*).
- Standard **10Base2**, mida kutsuti ka *Thin Net* või *Cheaper Net*, kasutas **peenemat ja odavamat koaksiaalkaablit**, mis ühendati **T-kujuliste BNC pistikühenduste** abil otse võrgukaardiga. Erinevalt standardist **10Base5** oli siin **saatja-vastuvõtja** võrgukaarti sisseehitatud.
- **Fast Ethernet 100BaseT** vastab standardile **IEEE 802.3u** ning töötab järgmiste vaskaablitega:
  - a) **100BaseTX** kasutab 2 paari **Category 5 UTP** kaablit,
  - b) **100BaseT4** kasutab 4 paari **Category 3 UTP** kaablit.
- **10BaseF** ja **100BaseFX** kasutavad klaaskiudkaablit, mis on kallim, kuid ka häirekindlam ning võimaldab pikemaid (kuni 2 km ilma vahevõimendita). Kasutatakse peamiselt magistraalliinide ehitamisel.

Väljatöötamisel on kaablistandardid **Category 6** ja **Category 7**, kuid 2001 aasta alguseks polnud need veel kinnitatud.



## 4.4. Arvutivõrgud kodudes

Arvutivõrkude jõudmist kodudesse 1990-ndate lõpus põhjustasid mitmed asjaolud: arvutite hinnad langesid järsult, Internetiühendus muutus järjest populaarsemaks, võimaldades otseühendust pankade ja internetipoodidega ning suhelda E-maili abil kaugelasuvate sõprade ja tuttavatega.

Järjest rohkem tuleb juurde kodusid, kus on rohkem kui üks arvuti ja loomulik oleks ühendada need arvutid võrku. Peamised tegurid, mis soodustavad võrkude tekkimist kodudes on järgmised:

- Võimalus üheaegselt kasutada kiiret Internetiühendust läbi modemi, mis võib olla **ADSL** (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*) või püsiliiniga ühendatud kaabelmodem.
- Välisseadmete jagamine – printerite, modemite ja teiste seadmete ühine kasutamine.
- Failide ja rakendusprogrammide jagamine – langeb ära vajadus kasutada diskette või CD plaate failide ülekandeks ühest arvutist teise, saab kasutada läbi võrgu teises arvutis olevaid rakendusprogramme.
- Meelelahutused – järjest kasvab nende arvutimängude arv, mida saab mängida kollektiivselt läbi arvutivõrgu.

Samal ajal kui suurenesid tarbijate vajadused koduse arvutivõrgu järele, ületati ka tehnoloogilised barjäärid, mis varem takistasid arvutivõrkude kasutamist koduses keskkonnas. Selleks et kodused arvutivõrgud leiaksid laiema leviku, peavad nad olema lihtsalt paigaldatavad ja kasutatavad. See tähendab, et koduste arvutivõrkude tehnoloogia peab olema tarbijale läbipaistev.

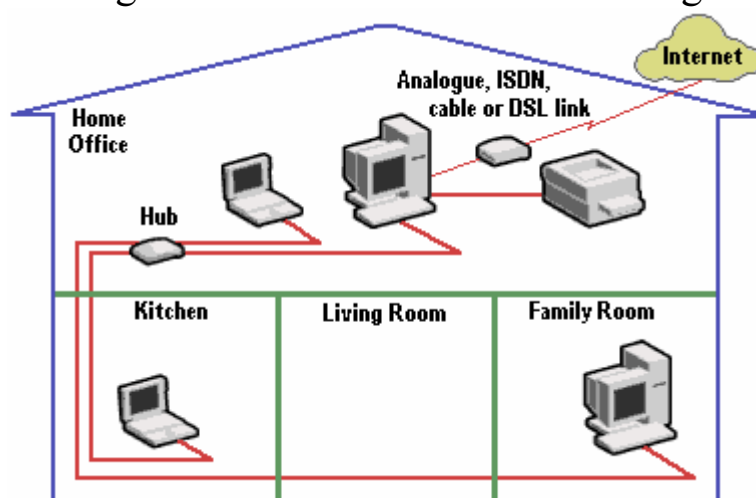
2000-ndate aastate alguseks oli olemas mitmeid variante koduse arvutivõrgu ehitamiseks. Kaabelvõrgud võisid olla kas traditsioonilised **Ethernet**-i võrgud, tavalist **telefoniliini** või **elektrijuhtmeid** kasutavad võrgud. Levinud on ka **traadita võrgud**, mis kasutavad erineva lainepikkusega elektromagnetilisi laineid: infrapunast kiirgust või raadiolaineid.

## 4.4.1. Ethernet-i võrgud

Selleks et paremini täita tarbijate soove, töötati välja spetsiaalsed **komplektid koduvõrkudele**, mis koosnesid odavast **võrgukaardist**, lihtsast **jaoturist** (*hub*) ning **võrgukaablitest**.

Kaasajal on **Category 5 UTP** kaabel saadaval peaaegu kõigis arvuti- ja ehitusmaterjalide kauplustes ning paljudes uutes majades on samaaegselt elektri- ja telefonikaablitega paigaldatud ka võrgukaablid. Juhul kui **Ethernet-i** kaablid puuduvad, saab nende paigaldamisega peaaegu igäüks hakkama, probleeme võib tekkida ainult pistikühenduste paigaldamisega kaablite otstes.

Joonisel on koduse arvutivõrgu skeem. Igal arvutil on sisemine või väline **võrgukaart**. **Välisseadmed** (näiteks printer) on ühendatud ühega arvutitest ning jagatud võrgu abil teiste arvutitega. Arvutid on ühendatud **jaoturiga Category 5** kaabli abil. Internetiühenduse kõigile võrkuühendatud arvutitele tagab **modem**, mis on ühendatud ühega neist arvutitest. Võib kasutada tavalise telefoni-liiniga ühendatud **analoogmodemit** (kiirus kuni 56 Kbit/s), **ADSL**, **ISDN** või püsiliiniga ühendatud **kaabelmodemit**.

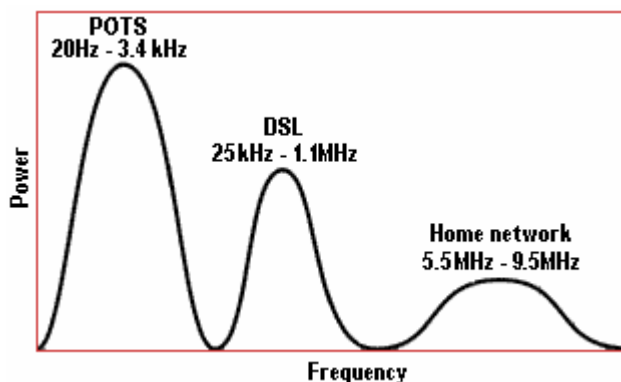


## 4.4.2. Telefoniline kasutatavad koduvõrgud

Koduse arvutivõrgu võib ehitada ka olemasolevaid telefoni-kaableid kasutades. Idee seisneb selles, et erinevad süsteemid kasutavad erinevat sageduspiirkonda: **analoogtelefon POTS** (*Plain Old Telephone Service*) sagedusriba 20 Hz – 3,4 KHz,

**Internetiühendus ADSL** või **ISDN** 25 KHz – 1,1 MHz ja **koduvõrk** veelgi kõrgemat sagedust 5,5 MHz – 9,5 MHz.

Tehnoloogiat, mis võimaldab üht kaablit kasutada erinevatel sagedustel erinevaks otstarbeks, nimetatakse **sagedusmultipleksimiseks FDM** (*Frequency Division Multiplexing*). See



tähendab, et kogu sagedusriba jagatakse sagedusfiltrite abil mitmeks piirkonnaks, mida nimetatakse **kanaliteks**. Esimene telefonikoduvõrgustandard **HomePNA** (*Home Phoneline Networking Alliance*) kirjeldus, mis põhines **Ethernet-i IEEE 802.3** standardil, kinnitati 1998 aastal ja ta võimaldas kasutada **Ethernet-i** võrku kiirusel **1Mbit/s** läbi telefoniliini. 1999 aasta lõpus kinnitati **HomePNA 2.0** kirjeldus, mis võimaldas juba andmeedastuskiirust **10 Mbit/s**.

Tavalises telefoniliini kasutavas koduarvutivõrgus ühendatakse arvutid eriliste võrgukaartide abil lähima telefonipistikupesaga. Printerid ja teised välisseadmed, sealhulgas ka Internetiühendust võimaldav modem, ühendatakse ühega võrku ühendatud arvutitest.

Selline võrk töötab hästi kodudes, kus arvutid asuvad erinevates tubades ühel liinil asuvate (sama telefoninumbriga) telefonipistikupesade läheduses.

## **Kirjandus:**

- 1) Väike käsiraamat Turbo Pascali praktikumiks.  
Koostajad: M. Kivistik, T. Taveter, J. Pääsuke, Eesti  
Merehariduskeskus, Tallinn 1994
- 2) Vello Hanson ja Arvi Tavast, Arvutikasutaja sõnastik  
inglise-eesti, AS Kirjastus Ilo, Tallinn 2001
- 3) Э. Клигман, Проектирование микропроцессорных  
систем, Издательство "Мир", Москва 1980 (tõlge  
inglise keelest)

## **Internetiaadressid:**

[HTTP://www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)

[HTTP://www.pctechguide.com](http://www.pctechguide.com)

[HTTP://www.arvutiweb.ee](http://www.arvutiweb.ee)