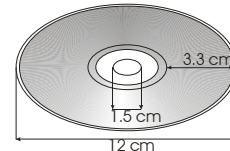


CD

Esimene CD (*Compact Disc*) ehk kompaktplaat ilmus turule 1982. aasta lõpuks. Loomulikult oli see Philipsi ja Sony poolt väljatöötatud kompakt-heliplaat (CD-DA, *Compact Disc Digital Audio*), mille standardis olid Sony ja Philips kokku leppinud juba 1980. aastal. Arvutite maailma jõudis CD 1985. aastal, kui samad firmad avaldasid oma “Kollase raamatu”.

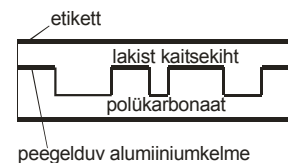
CD ehitus

Pealtnäha on CD 12cm diameetriga 1,2mm paksune läikiv kettake, millel on keskel 1,5cm diameetriga auk, mis kaalub umbes 18 grammi ja mille ühele küljele on tavaliselt trükitud värviline etikett.



Kui plaadi sisemusse tungida, avastame kolm erinevat kihti.:

- Alumine kiht (st läikiv, ilma trükisteta pool) on ülitugevast polükarbonaadist (plastik, millest toodetakse veel näiteks mootorrataste tuuleklaase ja politsei kaitsekilpe). Selle alumise kihi pealispinnas on ka salvestusjalg.
- Keskmiseks kihiks on õhuke metallkelme (tavaliselt alumiiniumist) mille ülesandeks on laserikiire peegeldamine.
- Kõige peal on kaitsev lakist kattekiht, millele kantakse kompakt-plaadi etikett (tavaliselt siiditrükis). Kui plaadi alumine pool on, tänu materjali vastupidavusele, igasuguste mehaaniliste vigastuste eest hästi kaitstud, siis läbi pealmise kihi võib andmeid juba isegi tavalise pastapliiatsi abil kahjustada.



Kuidas on andmed füüsiliselt plaadile salvestatud?

Andmete salvestusjalg kujutab endast pikka augukeste spiraali. Augukesed on $0.12\mu\text{m}$ sügavad ja $0.6\mu\text{m}$ laiad, nende pikkus on $0.9 - 3.3\mu\text{m}$, mis vastab jämedalt bakteri suurusele. Spiraali keerdude vahe on $1.6\mu\text{m}$. Arvestades, et andmete jaoks jäetud piirkonna laius on 33mm , saame spiraali keerdude arvuks

$$33\text{mm} / (0.6\mu\text{m} + 1.6\mu\text{m}) = 15000.$$

Spiraali kogupikkus on umbes 5,7 kilomeetrit.

Iga keerd koosneb seega augukestest (*pit*) ja maast (*land*) nende vahel. Üleminekud augukeste ja maa vahel (lihtsamalt augukeste seinad) tähistavad ühtesid ning augukeste põhjad ning maa aukude vahel tähistavad, sõltuvalt oma pikkusest, proportsionaalset nullide jada.



Arusaadavalt jääb sellisel viisil andmeid salvestades iga kahe ühe vahele vähemalt üks null, kuna puhtfüüsilistel põhjustel pole võimalik kahte ühte üksteise järele salvestada. Et sellest takistusest mööda pääseda, kasutatakse andmete CD-le salvestamisel kavalat teisendust (*eight to fourteen modulation* ehk EFM), mis meie kaheksast bitist koosnevad baidid ilusasti neljateistkümnebitisteks teeb. Kuna võib juhtuda veel ka see, et üks bait lõppeb ja teine algab ühega, siis lisatakse iga kahe baidi vahele veel kolm täiendavat nulli. Meie kaheksast bitist saab seega seitseteist. CD-lugeja püsimalle on salvestatud vastav tabel, mille abil teisendatakse andmed taas kaheksabitisteks.

Näide selle tabeli kohta:

Väärtus	8 bitine kood	14 bitine kood
0	00000000	01001000100000
1	00000001	10000100000000
2	00000010	10010000100000
3	00000011	10001000100000
...255	11111111	00100000010010

Teiseks põhjuseks, miks sellist teisendust vaja on asjaolu, et paljud väärtused nagu näiteks 00001000 annaksid CD-t lugedes vaid väga väikese impulsi, mida on raske märgata. Et impulsid oleksid kergemini märgatavad, teisendataksegi andmeid nii, et ühtesid oleks rohkem.

Andmespiraal algab vastupidiselt grammofoniplaadile plaadi keskelt. Igas sekundis loetakse 75 sektorit, mis 60-minutilise CD korral annab $60 \times 60 \times 75 = 270000$ sektorit.

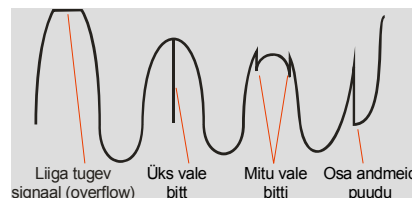
Teiseks eripäraks, võrreldes grammofoniplaadiga, on see, et CD pöörleb konstantse joonkiirusega, mistõttu pöörde arv peab pidevalt muutuma. Jämedalt hinnates teeb plaat 200 - 530 pööret minutis.

Veaparandus

Kuna augukesed CD-l on kaduvväikesed, siis ei suuda ükski tehnoloogia ega EFM tagada, et mõni bitt andmeid kaotsi ei lähe. Üks bitt võib olla väga tähtis (näiteks kui ta tähistab suure arvu märki), seetõttu peab olema võimalus kaduma läinud andmete taastamiseks.

Veaparandussüsteemide ees seisab kaks probleemi:

- kuidas vigu avastada;
- kuidas vigu parandada.



Kõige tavalisem vea märkamise (*error detection*) meetod on *parity computation*. Iga arvu tähistavate bittide jada lõppu lisatakse üks bitt, mis näitab kas tegemist on paaris või paaritu arvuga. Kui andmeid lugedes lisatud bitt ei sobi arvuga kokku, siis on midagi valesti läinud. Selline meetod töötab hästi digitaalses telefonivõrgus ja teistes sarnase kvaliteediga süsteemides kuid ei suuda tõsisemaid vigu korralikult kindlaks teha.

Digitaalsalvestustest lähevad aeg-ajalt kaotsi suured andmeplokid (kriimustused CD pinnal jms). *Parity computation*'i abil selliste vigade leidmine on õnneasi. Keerukamate vigade leidmiseks ja parandamiseks rakendatakse andmetele mitmesuguseid matemaatilisi arvutusi, millede tulemused lisatakse salvestuse andmetele teatud intervallide järel. Sellist meetodit tuntakse nimega CRCC (*Cyclical Redundancy Check Code*). Süsteem jälgib kas kontrollarvud vastavad salvestatud andmetele.

Kui avastatakse viga, peab süsteem selle kompenseerima. Et võimaldada vigade kompenseerimist, salvestatakse andmed keerukamas järjekorras. Salvestuses pole andmeplokid järjestatud mitte tavajärjekorras vaid näiteks:

1;5;9;13;17;21;25;29;2;6;10;14;18;22;26;30;3;7;15;19;27 jne

Sellise skeemi korral, kui kaotsi läheb näiteks 8 andmeplokki, siis pole andmetest puudu mitte üks pikk lõik vaid pisikesed tükid erinevatest kohtadest. Sellist kadu CD-audio puhul praktiliselt ei märgataks. CRCC suudab selliseid pisemaid puuduvaid andmeplokke täpselt asendada. Suuremate kadude korral võib süsteem kasutada eelnevaid ja järgnevaid andmeid puudevate rekonstrueerimiseks.

Erineva keerukusega vigade kompenseerimise tase on peamine veaparandussüsteemide hinda kujundav aspekt.

ISO 9660 ajalugu

“Kollane raamat” määras ära arvutite jaoks kasutatavate CD-de füüsilise formaadi. Loogilise formaadi jaoks jäi esialgu standard kehtestamata, mistõttu kõik antud tehnoloogiaga tegelevad firmad kasutasid oma formaati, mida polnud teiste firmade süsteemidega võimalik lugeda. Arusaadavalt viis selline segadus kaoseni CD-maailmas.

1985. aasta novembris kutsusid **Bela Havatny** ja **Parke Lightbown** kokku kõikide tol ajal aktiivselt CD-ROMide tootmise ja väljatöötamisega tegelevate firmade esindajad. Kohtumisel High Sierra kasiinos, Nevadas, USA-s, osalesid inimesed firmadest TMS Inc., DEC, Microsoft, Hitachi, LaserData, Sony Corp, Apple Computer, Philips, 3M, Videotools, Reference Technology ja Xebec. Moodustasid komitee, mida hakati nimetama High Sierra Grupiks (HSG).

See komitee asus defineerima CD-ROMile loogilist formaati, mis:

- Lähtuaks “Kollasest raamatu” poolt defineeritud füüsilisest formaadist, kuid oleks samal ajal üldisem, kuna “Kollase raamatu” omanikud Philips ja Sony võivad seda kellegagi konsulteerimata muuta.
- Kasutaks ära fakti, et CD-ROM on ainult lugemiseks mõeldud infokandja (oli sel ajal).
- Võtaks arvesse pikka pöördusaega ja püüaks seetõttu otsingute arvu miinimumi viia.
- Oleks ühilduv CD-I tehnoloogiaga.
- Oleks tõhus ja kergesti kasutatav kõigi põhiliste operatsioonisüsteemidega (MS-DOS, UNIX, Macintosh ja VMS).
- Oleks rahvusvaheline, st toetaks kõiki tähestikke, kaasa-arvatud kanji (Jaapani).
- Sisaldaks võimalust laiendamiseks kirjutatavale meediale. Mõeldud on “üks kord kirjuta, palju kordi loe” plaate (*Write-Once, Read-Many* ehk WORM, praegune CD-R) ja ülekirjutatavaid plaate (praegune CD-RW).

High Sierra Grupi ettepanekud pandi kirja dokumendis “*Working Paper for Information Processing—Volume and File Structure of Compact Read-Only Optical Discs for Information Interchange*.”, mis sisuliselt defineeris loogilise formaadi ja failistruktuuri, mille alusel andmeid CD-ROMile salvestada.

Standard võeti paljude CD-ROMi tootjate poolt kiiresti vastu ning Rahvusvaheline Standardite Organisatsioon (ISO) kehtestas selle nime all ISO 9660.

ISO 9660 sisu

Andmed CD-ROMil on jagatud sektoritesse, millede suuruseks ISO 9660 määrab 2^{n+1} baiti. See muudetav suurus n on praegu seatud nulliks, mistõttu sektori suuruseks saame 2048 baiti (teoreetiliselt võib n olla mistahes täisarv). Igal loogilisel sektoril on oma “Loogilise Sektori Number” (*Logical Sector Number*, LSN), numeratsioon algab nullist.

Loogilise sektori allüksuseks on loogiline blokk (*logical block*) suurusega 2^{n+9} baiti. Kuna blokk ei saa olla sektorist suurem, siis võib n siin olla vaid 0, 1 või 2, mis annab bloki suuruseks 512, 1024 või 2048 baiti. Blokid on tähistatud “Loogilise Bloki Numbritega” (*Logical Block Number*, LBN). Selline blokkideks jaotamine on mõeldud selleks, et näiteks 1000 baidiseid faile salvestusruumi raiskamata CD-le paigutada. Tavaliselt on bloki suuruseks määratud 2048 baiti.

Standardis on kindlaks määratud kolm erinevat failide salvestamise ja nimetamise taset (*Levels of Interchange*), mis sisalduvad üksteises (st tase 1 sisaldub tasemes 2 ja tase 2 sisaldub tasemes 3).

- **Tase 1** lubab faili salvestada vaid ühes tükis, ühe katkematu baitide jadana. Kehtivad DOSi failinimed ja laiendid, kuid sümbolid “&” ja “\$” pole lubatud.
- **Taseme 2** ainsaks piiranguks on faili ühes tükis salvestamise nõue.
- **Tase 3** ei oma mingeid piiranguid.

Kuna mõned operatsioonisüsteemid ei toeta kõiki ettenähtud võimalusi (siin on arvestatud kõiki kolme taset), siis näeb ISO 9660 ette kahte standardi täitmise taset (*Levels of Implementation*). Esimene neist lubab osa võimalusi kõrvale jätta, teine tase seevastu nõuab kõike. Arusaadavalt ei toeta teist taset praegu mitte ükski olemasolev operatsioonisüsteem.

Üksik CD-ROMi plaat on defineeritud kui “köide” (*volume*). Kui failide kogumik või lausa üksik fail ei mahu ühele CD-le ära, siis võib seda laiendada nii mitmele CD-le, kui tarvis (loogilise bloki suurus peab sellisel juhul kõikidel plaatidel sama olema). Standardi esimene täitmise tase ei luba kasutada sellist mitme CD kogumit.

Kuna CD-ROMi esiisaks on CD-heliplaat, siis kirjeldatakse neid tihti minutite ja sekundite abil. Seetõttu märgistatakse asukohti CD-ROMil sageli järgmiselt: 00:00:00 (minutid:sekundid:sektorid).

“Kollane raamat” näeb ette salvestusruumi kahe esimese sekundi kõrvalejätmist. Kogu ülejäänud ruum jääb loogiliste sektorite salvestamiseks ja on jagatud kaheks osaks: süsteemipiirkonnaks ja andmepiirkonnaks.

Süsteemipiirkond hõlmab 16 sektorit, st piirkonna 00:02:00 kuni 00:02:15 (LSN0 kuni LSN15). ISO 9660 jätab selle kõik CD-ROMi tootja käsutusse ja sinna võib:

- Luua süsteemipiirkonna.
 - Salvestada krüpteerimiskoodi, et piirata andmetele ligipääsu.
 - Salvestada andmeid, mida mingi operatsioonisüsteem nõuab.
- On jäetud ka võimalus tulevikus kasutusalasid juurde defineerida.

Andmepiirkond algab füüsilise aadressiga 00:02:16 ja võib okupeerida kogu ülejäänud salvestuspiirkonna. Esimesena on sinna salvestatud kirjeldus, kuidas failid on organiseeritud. Selleks sisaldab CD-ROM kahesuguseid struktuure:

- “Köite sisukorra (*Volume Table of Contents* ehk VTOC) struktuurid”, mis sisaldavad kogu “köite” kohta käivat infot ja mida kirjeldavad “köite kirjeldajad” (*Volume Descriptors*).
- “Kataloogi- ja failistruktuurid”, mida kirjeldavad “faili ja kataloogi kirjeldajad (*File and Directory descriptors*) ning “failitee tabel” (*Path Table*).

“Köite kirjeldajad” (*Volume Descriptors*) on ainsad andmed, mille jaoks ISO 9660 määrab ära nii asukoha, kui ka salvestusviisi (*mode*) (vt. allpool), kuna nad sisaldavad andmeid, mis võimaldavad operatsioonisüsteemil üldse konkreetset CD-ROMilt midagi lugeda ja viimane otsib kõigepealt neid. Nad salvestatakse järjestikustesse sektoritesse alates sektorist LSN16 ja neil on fikseeritud pikkus 2048 baiti ehk üks sektor.

“Köite kirjeldajate komplektis” (*Volume Descriptor Set*) on täpselt nii palju “kirjeldajaid”, kui on tarvis kõigi CD-ROMi struktuuride kirjeldamiseks.

Olemas on viis erinevat tüüpi “köite kirjeldajaid”, mis kõik algavad ühesuguste väljadega, näiteks: kirjeldaja tüüp ja CD salvestamisel kasutatud standard (antud juhul ISO 9660).

Ülejäänud väljad on igal tüübil erinevad. “Köite kirjeldajate” tüübid on:

- **Primaarne kõite kirjeldaja** (*Primary Volume Descriptor*), mida võib “kõite kirjeldajate komplektis” olla vaid üks. Sellesse kirjeldajasse salvestatakse selline info nagu “kõite” nimi, “kõite” suurus (loogiliste blokkide arv), loogilise bloki suurus, jne aga ka andmete ettevalmistaja nimi, andmete viimase muutmise aeg jms.
- **Täiendav kõite kirjeldaja** (*Supplementary Volume Descriptor*), mida on vaja, kui operatsioonisüsteem lubab teistsuguseid failinimesid kui ISO 9660 või veel hullem; failide nimed on kirjutatud mõnes erilises tähestikus (näiteks Jaapani kanji). See kirjeldaja sisaldab infot, mida on vaja tähestiku ümberkodeerimiseks.
- **Kõite osa kirjeldaja** (*Volume Partition Descriptor*) on vajalik, kui andmete piirkond on jagatud mitmeks osaks, mis võivad toetada erinevaid platvorme (Apple Macintosh, PC) või olla salvestatud erinevas formaadis (CD-ROM, CD-Audio). Igal osal on sellisel juhul oma kirjeldaja, milles on kirjas, millise operatsioonisüsteemi jaoks või millises formaadis see on.
- **Süsteemikirje** (*Boot Record*), mille abil saab arvutile teatada, millise süsteemi algladimist saab teha. Näiteks toimub CDTV algladimine alati CD-ROMilt, DOSi arvutile on see aga võimatu. See kirjeldaja on vajalik vaid siis kui CD-ROM peab ka süsteemikettana toimima.
- **Kõite kirjeldajate komplekti lõpetaja** (*Volume Descriptor Set Terminator*) peab alati kuuluma komplekti lõppu.

Teise struktuuride liigina sai nimetatud “kataloogi- ja failistruktuurid”. Failid on CD-l jagatud kataloogidesse ja alamkataloogidesse sarnaselt DOSile. Kuigi igal kataloogil võib olla kuitahes palju alamkatalooge, lubab ISO 9660 vaid **kaheksa-astmelist** kataloogihierarhiat.

Failide jaotus kataloogidesse on vaid virtuaalne, kuna füüsiliselt võivad nad CD-le hoopis teise korra järgi paigutatud olla.

Iga kataloogi ja faili jaoks eksisteerib kirje, kuhu on salvestatud vaid kõige olulisem info (füüsiline aadress jms.). Igas kataloogis on kõigepealt alamkataloogide kirjed tähestikulisel järjekorras ja seejärel failide kirjed, samuti tähestikulisel järjekorras.

Iga faili ning ka kataloogi (mis on ju ka fail) jaoks võib eksisteerida ka “laiendatud atribuutide kirje” (*Extended Attribute Record* ehk XAR), mille olemasolu kohta on faili või kataloogi kirjes märges, mis paigutatakse otse faili või kataloogi ette ja kuhu on salvestatud lisainformatsioon nagu kuupäevad jms. Põhjus, miks pole sellist infot salvestatud eespool nimetatud kataloogi või faili kirjesse, on imelihtne; arvestades CD-ROMi pikka pöördusaega püütakse kataloogid võimalikult väikesed hoida, et arvuti suudaks neid töö kiirendamiseks oma põhimälus hoida.

Andmetele ligipääsu kiirendamiseks on CD-l olemas “failitee tabel” (*Path Table*), kuhu on kirja pandud kõik hierarhiasse kuuluvad kataloogid koos oma füüsilise aadressiga (LBN abil) ja temast üks aste kõrgemal asuva kataloogi nimega. Kui nüüd on tarvis lugeda mingit faili kusagilt hierarhia alumiselt astmelt, saab ühe korraga liikuda õige kataloogi algusesse ja sealt vajalikku faili otsida.

Kuigi siin on toodud standardist ISO 9660 vaid lühike kokkuvõte, ei pea andmete salvestamisel CD-ROMile isegi seda kõike teadma. Vastav tarkvara teeb teie eest ära suurema osa tööst. Kõik loetletud struktuurid pannakse kokku praktiliselt teie sekkumata, teilt küsitakse vaid mõningaid andmeid (nimed jms.).

CD-ROM-i mahutavus

See, kui palju andmeid CD-ROM mahutab, sõltub salvestusviisist (*mode*). *Mode 1* on mõeldud programmide ja andmete salvestamiseks ning *mode 2* on mõeldud muusika ja graafika salvestamiseks. Et rääkida sellest, kui palju kummalgi juhul salvestusruumi on, tuleb alustada sellest, et tegelik sektori suurus on 2352 baiti, millest ISO 9660 määrab andmete jaoks 2048 baiti. ISO 9660 kuulubki *mode 1* alla (**NB!** ISO 9660 on vaid üks mitmest CD-ROMi standardist, tõsi küll, ta on kõige levinum ja tuntum.). *Mode 2* jätab andmete jaoks 2336 baiti.

Kuna algselt oli CD loodud muusika jaoks, siis mõõdetakse teda minutites. Muusika CD pikkuseks on tavaliselt 60 kuni 74 minutit. CD-ROMi mõõduks oli algselt vaid kuni 60 minutit, vahel ka 63 ja haruharva 74 minutit. Praegusel ajal on 74 minutit vägagi tavaline ning uuemad toorikud on kõik 80 minuti pikkused. Veel mõni aasta tagasi ei suutnud suur osa CD pressimise seadmetest plaadi välimist 5mm laiust ehk 14 minuti pikkust riba kvaliteetselt pressida ja paljudel CD-lugejatel oli raskusi selle lugemisega.

Arvestades, et loetakse 75 sektorit sekundis, saame lihtsa arvutusega minutid megabaitideks teisendada. 60 minutilise CD-ROMi mahutavuseks saame seega:

Mode 1: $60 \times 60 \times 75 \times 2048 = 552960000$ baiti ehk ümardatult 527 MB.

Mode 2: $60 \times 60 \times 75 \times 2336 = 630720000$ baiti ehk ümardatult 601 MB.

Samamoodi saame 74 minutilise plaadi mahutavuseks:

Mode 1: $74 \times 60 \times 75 \times 2048 = 681984000$ baiti ehk ümardatult 650 MB.

Mode 2: $74 \times 60 \times 75 \times 2336 = 777888000$ baiti ehk ümardatult 742 MB.

Siinkohal vastame kohe ka küsimusele, kui sektori suuruseks on tegelikult 2352 baiti ja sellest andmete jaoks on vaid 2336 või 2048 baiti, milleks kasutatakse ülejäänud ruumi? Ülejäänud baidid on ära kasutatud veakorrektsiooniks.

CD-d kasutavad vea leidmise ja veakorrektsiooni süsteemide kombinatsiooni. Ideaaltin-gimustes peaksid kõik vead saama avastatud ning kõik baidid esialgsel kujul taastatud kõige elementaarsema CIRC (*Cross-Interleaved Reed Solomon Code*) süsteemi poolt. CIRC on spetsiaalselt CD-de tarvis loodud veaparandussüsteem (*Error Correction Code* ehk ECC). See teostatakse riistvara poolt nii CD-plaadimängijates kui ka CD-lugejates ja on eriti hea just nende vigade puhul, mis on tingitud kriimustustest plaadi pinnal. Selle süsteemi korral jääb vigade sageduseks üks viga gigabaidi ehk kahe CD kohta. Selline vigade sagedus on lubatav muusika ja graafika korral, kus üks vigane bait ei tee suurt kahju.

Kuna üks viga programmis või olulistes andmetes võib palju pahandust kaasa tuua, siis CD-ROMi sektoritele on lisatud veel teine veakorrektsioonisüsteem EDC/ECC (*Error Detection Code/Error Correction Code*), mis on eelpool nimetatud süsteemi CIRC võimsam versioon. Selle süsteemi vigade sagedus on üks vale bitt ühe terabaidi, st 2000 CD kohta.

CD perekond

CD perekond jagatakse nn raamatuteks, mis kõik kannavad mingi värvi nime.

- **“Punane raamat”:** CD-DA (*Compact Disc Digital Audio*) on kõigile hästi tuntud muusika-CD. Selles standardis on igas sektoris ette nähtud 2336 baiti andmete jaoks ja

kogu plaat võib olla jagatud kuni 99-ks “rajaks” (*track*) ehk muusikaterminites “looks”.

- **“Kollane raamat”**: **CD-ROM** (*Compact Disc Read-Only Memory*).
- **CD-ROM XA** on “kollase raamatu” laienduseks. Tal on paremad audio ja video võimalused. Vorm 1 (*Form 1*) erineb väga vähe CD-ROMi *mode 1*-st ja jätab andmete jaoks 2048 baiti igas sektoris, kuid vorm 2 (*Form 2*) on mõeldud kokkupakitud audio, video või graafika salvestamiseks ning jätab igas sektoris andmete jaoks 2324 baiti.
- **“Roheline raamat”**: **CD-I** (*Compact Disc-Interactive*) on Sony ja Philipsi poolt juba 1986 aastal esitletud spetsiaalne multimeediumi-CD, mis saavutas edu alles 1991. aastal. CD-I lugeja on eraldiseisev arvuti/plaadimängija, mis ühendatakse televiisori külge. Standard on ISO 9660-le nii sarnane, et seda on nimetatud ka ISO 9660 supervariandiks.
- **“Oranž raamat”**: **CD-WO** (*Compact Disc-Write Once*) on standard, mis kirjeldab salvestatavat CD-d CD-R (*CD-Recordable*). Plaadid näevad välja nagu tavalised CD-ROMid, kuid polükarbonaadi ja peegelduva metallkelme (näiteks kullast) vahel on roheline salvestuskiht. Polükarbonaadi kihti on pressitud spiraal, mida salvestav laserikiir jälgib. Andmete piirkonna alguses on “kalibreerimispiirkond” (*Program Calibration Area* ehk PCA), kuhu on eelnevalt salvestatud testprogramm, mille abil laserikiir kalibreeritakse spetsiaalselt antud plaadi jaoks. Järgmisena on “mälupiirkond” (*Program Memory Area* ehk PMA), kuhu salvestatakse radade numbrid koos aadressidega ning seejärel veel “sissejuhatav piirkond” (*Lead-In Area*), mis jäetakse tühjaks, kuni CD on lõpuni salvestatud, siis salvestatakse sinna sisukord. Kui salvestamine on lõpetatud, siis paigutatakse kõige lõppu “lõpupiirkond” (*Lead-Out Area*), mis teatab CD-lugejale, et lugemine tuleb lõpetada.
- **Kodak Foto-CD** on spetsiaalne graafilise info salvestamiseks väljatöötatud standard. Üks foto-CD mahutab kuni sada kõrgekvaliteetset fotot ja võib olla salvestatud mitmes jaos.

Kui soovitakse oma programmide ja andmetega CD-l siduda ka muusikat, saab luua nn. “**mixed-mode**” CD. Üks CD võib olla jagatud kuni 99-ks rajaks (*track*) ning kõik rajad ei pea olema salvestatud sama salvestusviisiga (*mode*). Oma andmed ja programmid tuleb paigutada esimesele rajale (*track 1*) ning ülejäänud 98 rada saab ära kasutada muusika salvestamiseks (CD-DA).

Selliseid CD-sid saab maha mängida ka tavalisel CD-plaadimängijal, kuid siis tuleb esimene rada lihtsalt vahele jätta (uuema aja CD mängijad suudavad ise, automaatselt arvutiandmete raja vahele jätta).

Erinevad mõõdud

Loomulikult on olemas ka erineva suurusega CD plaate, lisaks 12 CM diameetriga plaatidele ka 8 cm plaadid. Viimased on kasutusel muusika singlite levitamisel aga ka arvutiandmete salvestamiseks, mahutavad nad 185 MB.

On toodetud ka erineva kujuga plaate. Pole tingimata vajalik, et plaat oleks ümmargune, pea-asi, et ta oleks tasakaalus.

Kogemused näitavad, et erikujulised plaadid tekitavad CD-ROM seadmes müra.



CD-ROMi valmistamine

Kõigepealt tuleb loomulikult suur töö ära teha ja panna kokku hulk andmeid, mida soovitakse CD-le salvestada. Seejärel võetakse appi spetsiaalne tarkvara, mis loob nn. “ISO kujutise” (*ISO image*). See on protsess (*ISO Image Origination*), mille käigus pannakse paika failide füüsiline järjekord andmespiraalil ning lisatakse “köite kirjeldajad” ja “failitee tabel” (vt. eespool).

Hea tarkvara võimaldab ka CD-simuleerimist, mis seisneb teesklemites, et andmed on juba CD-le salvestatud ja nende kujuteldavalt CD-lt lugemises. Simuleerimise käigus saab tulevase CD-ROMi füüsilist geograafiat optimeerida ja sellega viia failide otsimiseks kuluv aeg miinimumini.

Järgmise etapina sooritatakse andmete CD-ROMi jaoks kodeerimine (*premasting*), mille käigus lisatakse loogiliste sektorite aadressid, sünkroniseerimiskoodid ja veakorrektsioonisüsteemid ning toimub kaheksalt bitilt neljateistkümnele moduleerimine (EFM). Oma PC-ga ühendatud CD-salvestaja saab nüüd juba plaadi valmis teha.

Vabrikus võetakse nüüd täiuslikult lihvitud ning valgustundliku keemilise kihiga kaetud klaasplaat ja laserikiirega märgitakse ära kõik tulevased augukesed (CD-salvestajas toimuvad kodeerimine ja salvestamine (*mastering*) ühekorraga). Plaati töödeldakse keemiliselt, nagu fotoplaati ja saadakse CD “positiiv”. Et saada “negatiiv” (vajalik koopiaste pressimiseks) kaetakse plaat hõbedaga ja asetatakse nikli galvaaniga täidetud elektrolüüdivanni. Vannist lastakse läbi elektrivool, mille toimele nikkel ladestub plaadi pinnale. 1.6mm paksuse niklikihi tekkimine võtab aega kolm kuni kuus tundi.

Klaas eemaldatakse ja saadakse CD “negatiiv”, mida nimetatakse “isaks” (*father*). Kuigi “isa” abil saaks juba hakata CD-sid pressima, korratakse protsessi ja saadakse “ema” (*mother*), mis on taas “positiiv” ja mille abil tehakse üks või rohkem “poega” (*son*). Alles “poegadest” saavad matriitsid (pärast mehaanilist töötlust), mille abil hakatakse CD-sid pressima. Põhjus, miks “isa” ei kasutata CD-de pressimiseks, on lihtne; ühe “poja” vigastamine ei too kaasa liiga suurt kahju.

Edasi peab töö toimuma absoluutselt tolmuvabas keskkonnas, kuna väikseimgi tolmutera võib rikkuda sadu bitte andmeid. Protsess ise on väga lihtne; sula polükarbonaat valatakse matriitsi ja lastakse hanguda. Nii jäädvustatakse kuni 720 megabaiti infot vaid kaheksa kuni kümne sekundiga, mis muudabki andmete levitamise CD-l väga odavaks.

Lõpuks lihvitakse plaadi servad, stantsitakse keskele esialgne auk, salvestusega pool kaetakse peegelduva alumiiniumkelmega, mille peale kantakse lakist kaitsekiht. Kõige viimasena stantsitakse lõplik auk ja trükitakse etikett. Ongi valminud CD, nagu me seda tunneme.

Audio CD kopeerimiskaitse

CD kirjutajate levikuga on maailmas teravnenud piraatmuusika probleem (tegelikult ka piraattarkvara jms leviku probleem). Muusikatööstus on sellele reageerinud mitmesuguste kopeerimiskaitsete kasutamisega, mis takistavad CD-Audio plaatide mängimist arvuti CD-ROM seadmetes.

Praegused tehnoloogiad kasutavad ajavigu (*minute errors*) või andmete asukoha muutmist plaadil, mis ei lase neid plaate CD-ROM seadmetes mängida. Vähemalt teoorias saavad kõik tavalised CD-mängijad selliste vigade parandamisega hakkama, CD-ROM püüab lugeda rohkem andmeid ning ebaõnnestub.

Tavaliselt rikuvad praegused kopeerimiskaitsete CD sisukorda, vahel ka audio andmeid endid. Kõik CD seadmed, mis tunnevad ka CD-ROM plaate, satuvad selle peale segadusse ning näevad plaadil vaid üksikuid tavalisi faile.

Üheks meetodiks on CD-Audio plaadi lõppu lisada CD-Extra track ning see mingil moel rikkuda. CD-ROM seade püüab seda lugeda ning enamuses süsteemides ebaõnnestub selle peale kogu plaadi lugemine.

Teine võimalus on rikkuda audio andmeid. Andmetele lisatakse meelega rikutud plokkide, mida veaparandus (ECC) ei suuda parandada. Sellised rikutud ploki on analoogväljundile nähtamatud, sest nad on paigutatud kohtadesse, kus digitaalse veaparanduse saamatuse korral kasutatakse CD-mängijas interpoleerimist ning saavutatakse tulemus, mis praktiliselt vastab originaalandmetele (enne rikutud plokkide lisamist). CD-ROM seadmed ei suuda reeglina selliseid rikutud andmeid arvutile edastada ega suuda ka peita (*error concealment*). Mitmed uuemad ja kallimad CD-ROM seadmed aga suudavad vigu peita ja neid ei häiri nn kaitstud plaadid üldse.

Kopeerimiskaitse tehnoloogiad muudavad CD kopeerimise raskemaks kuid ei takista seda täielikult. Kvaliteetse Hi-Fi süsteemi analoogväljundist saadav signaal võib olla nii hea, et seda võib arvutiga salvestada ning näiteks mp3 failideks muuta.

NB! Ka CD-mängija digitaalväljundist (näiteks optilisest) saab samuti puhta signaali (olgu plaat kaitstud või mitte)!

Praegu on tuntud sellised tehnoloogiad nagu:

- "Cactus Data Shield", Midbar Tech, praeguseks omandatud firma Macrovision poolt, rikub CD sisukorra nii, et PC ei suuda plaati mängida. CD-le lisatakse mõningaid muudatusi, mis ajavad CD-ROMi plaadi kopeerimisel segadusse. Kopeerimisel näeb arvuti mõningaid võltsandmeid muusikana ning seetõttu kostab koopia mängimisel mitmesuguseid moonutusi.
 - "Cactus Data Shield 100" ei lase üldse PC-l mängida;
 - "Cactus Data Shield 200" laseb PC-l mängida kuid ei lase kõvakettale kopeerida;
 - "Cactus Data Shield 300" laseb CD-st teha koopia kõvakettale ning edaspidi seda kuulamiseks kasutada kuid ei lase edasiseid koopiaid teha;
- "Key1Audio" ja "Key2Audio", SONY
- "SafeAudio", Macrovision. SafeAudio lisab plaadile sampleid, mis kõlavad nagu staatikakrõpsud ning šifreerivad ECC (*error correction code*) andmed nii ümber, et see paistaks parandamatu veana. Audio CD-mängijad parandavad sellised vead mängimise ajal interpoleerimise abil ära, kuid CD-ROM ei saa sellega üldiselt hakkama. SafeAudio versioon 3 muudab muusikaandmeid juba biti tasemel vahetades murdosa plaadi miljardite nullide ja ühtede seast.

Paraku pole need meetodid soovitud tulemusi andnud. Mitmed CD-ROMi seadmed ei tee neist kaitsetest väljagi, loodud on mitmeid spetsiaalseid rippimisprogramme, mis neist tehnoloogiatest jagu saavad.

Räägitakse, et Cactus Data Shield 200 kaitsest sai mööda, kui CD plaadi äärel kaeti nõ rikutud track õhukese elektroonikatarbeks loodud kleeplindiga. Kaitstud CD-del on selgelt näha joon, kus lõppeb kasulik info, selle jooneni kaetigi plaadi välimine äär kinni, CD-ROM luges ja rippis!

Praegu on Philips asunud võitlusesse kopeerimiskaitsete vastu. Philips väidab, et selliste kaitsete kasutamine ei vasta CD-Audio standardile, kopeerimiskaitsega plaatide ümbrisel ei tohiks kasutada CD-DA logo ning neid ei tohiks nimetada CD-Audio plaatideks. Sony aga on

kasumijahil olles asunud kopeerimiskaitse tehnoloogiaid pooldama ja ka ise välja töötama, mis on tekitanud suurte tegijate vahel vastuolusid.