Marie Louise Samuelsson

Lagra information på CD-R för framtiden

SP RAPPORT 1999:26

Abstract

This report is written for those who want to use CD-R as an archival medium for information to be kept for the future, i. e. for many decades or even for hundreds of years.

In the report the following topics are discussed:
- permanence of information on digital media
- optical discs and the CD-family
- cyanine and phthalocyanine dyes
- standards
- recording on CD-R
- reading CD-R and error detection and correction
- defects
- evaluation of quality according to the coloured Books
- results from research work on quality and permanence
- life expectancy
- copying, migration and emulation
- storage
- marking

Information has been collected from different sources, books, statements from manufacturers, scientific literature and a vast amount of articles published on the Internet.

The longevity of documents in digital form is dependent on the availability of soft- and hardware for interpretation of the bit stream of ”0” and ”1” retrieved from the CD. Since both soft- and hardware become obsolete after a few years, the archivists have to rely on an unbroken chain of migration steps, where the information is converted by a program to a new medium. The intervals between these migrations may be short, five to ten years or even less.

The longevity of CD-R is considered to be good enough for a medium that has to be copied or migrated to a new medium within five to ten years. The initial quality of the CD is extremely important. A high-quality CD has a much better chance of succeeding in the recording process. There are, however, combinations of CD-Rs, recorders and readers which do not work well together.

Key words: CD-R, CD-recordable, quality, longevity, permanence

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
SP Rapport 1999:26
ISBN 91-7848-784-6
ISSN 0284-5172
Borås 1999

SP Swedish National Testing and Research Institute
SP Report 1999:26

Postal adress:
Box 857, S-501 15 BORÅS
Sweden
Telephone: +46 33 16 50 00
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se
Internet: www.sp.se

Innehåll

	Innehållsförteckning	**3**
	Förord	**5**
1	**Bakgrund**	**6**
2	**Beständighet**	**7**
2.1	Definition	7
2.2	Fysisk och teknologisk livslängd	7
2.3	Kompatibilitet	8
2.4	Viktigt för informationens livslängd	8
3	**Skivtyper**	**9**
3.1	CD-familjen	9
3.2	Andra typer av optiska skivor	9
4	**Den optiska skivan**	**10**
4.1	Allmänt	10
4.2	WORM	10
4.3	MO	11
4.4	CD-ROM	11
4.5	CD-R	12
4.6	CD-RW	13
4.7	DVD	13
5	**Vilken digital lagringsteknik är bäst?**	**15**
5.1	Magnetisk lagring	15
5.2	Optisk lagring	15
6	**Färgämnet**	**17**
7	**Lasern**	**18**
8	**Standarder**	**19**
8.1	De färgade böckerna	19
8.2	Internationella standarder	19
8.3	Standarder om beständighet	19
8.4	Standarders beständighet	20
9	**Inspelning på CD-R**	**21**
9.1	Digital lagring	21
9.2	Inspelningsprocessen	22
9.3	Brännaren	23
9.4	Inspelningshastigheten	24
9.5	Sju regler för lyckad hembränning	24
9.6	Namngivning	25
10	**Läsning**	**26**
10.1	Problem	26
10.2	Felkorrigering	27
10.3	Att läsa en oläslig skiva	28
11	**Vad kan gå snett?**	**29**
11.1	Tillverkningsfel	29
11.2	Hanteringsdefekter	30
11.3	Sabotage!	30
11.4	Läsfel	31

11.5	Kompatibilitetsproblem	31
11.6	Ålderskrämpor	32
11.7	Förvaringsmedlet	32
11.8	Det oväntade felet….	32
12	**Utvärdering av kvalitet enligt de färgade böckerna**	**34**
12.1	Digitala tester	34
12.2	Analoga tester	35
12.3	Egenskaper som bör kontrolleras	35
12.4	Testutrustningar	36
12.5	Kvalitetskontroll	37
13	**Resultat från undersökningar av CD-R**	38
13.1	Kodak	38
13.2	Andra tillverkare	39
13.3	Ljusbeständighet	39
13.4	Doculabs undersökning av kompatibilitet mellan media, skrivare och läsare	40
13.5	Media Sciences kvalitetskontroll av CD-skivor	41
13.6	Resultat från en jämförande studie av CD-R vid JPL	43
13.7	Resultat från accelererad åldring vid VTT	44
13.8	Kommentarer	45
14	**Uppskattningar av livslängd**	**46**
14.1	NML	46
14.2	Tillverkare	47
14.3	Kommentarer	48
15	**Kopiering, konvertering och emulering**	**49**
15.1	Kopiering	49
15.2	Konvertering	49
15.3	Emulering	49
15.4	Strategi för bevarande	49
15.5	Arkivfiler	51
16	**Summering**	**52**
16.1	Mediet	52
16.2	Informationens beständighet	52
16.3	Destruering	53
16.4	Vad säger experterna	53
16.5	Särskilt arkivexemplar?	54
16.6	Arkivera på CD-R?	55
17	**Vad kommer sedan?**	**56**
18	**Litteratur**	**57**

Bilagor

Bilaga 1	Definitioner och ordförklaringar	Bilaga 6	Märkning
Bilaga 2	Grönt eller guld?	Bilaga 7	En tänkvärd historia
Bilaga 3	Lasern	Bilaga 8	Strategi vid utvärdering av livslängd
Bilaga 4	Standarder	Bilaga 9	Felkorrigering
Bilaga 5	Förvaring	Bilaga 10	Analog och digital lagring

Förord

Detta projekt, att utvärdera CD-R-skivors beständighet, tillkom på initiativ av Göteborgs Stadsarkiv. Projektet har finansierats av Stadsarkivet, som sedan den 1 mars 1999 ingår i Regionarkivet, och SP. Ursprungligen fanns tankar om ett enkelt test av CD-skivor för att utröna deras läsbarhet på lång sikt. Under projektets gång har frågorna kring den tekniska beständigheten kommit att flätas samman med en övergripande filosofi angående ett långsiktigt bevarande av datamängder.

Rapporten bör kunna ge värdefull information till dem som skall välja hårdvara för arkivändamål, men också tjäna som inspiration åt dem som skall besluta om strategi för bevarande av digitaliserad information.

I denna andra utgåva har smärre justeringar gjorts i texten men innehållsmässigt är den identisk med den första utgåvan.

Bo Thalén
Regionarkivet

Marie Louise Samuelsson
SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

1 Bakgrund

Möjligheten att arkivera information på optiska skivor har diskuterats i många år. Kommersiella system har funnits tillgängliga och anammats i många olika sammanhang, framför allt där det har rört sig om stora mängder data.

I våra arkiv finns enorma mängder information på papper och mikrofilm. Rutinerna för hantering, vård och tillhandahållande är väl etablerade. Arkiven ställs nu inför nya utmaningar eftersom utvecklingen av digitala lagringsmedier leder till att arkiven måste ta hand om stora datamängder som inte skrivs ut på papper och som inte heller lämpar sig för detta eftersom systemen som skapar dessa data inte primärt är konstruerade för utskrift.

Eftersom vissa delar av denna information skall bevaras för framtiden blir det arkivens uppgift att lagra data på ett sådant sätt att informationen är läsbar under några tiotals år eller kanske ännu längre. I arkiven lagras ofta data i form av arkivfiler (flata textfiler i 8-bitars format enligt ISO 8859-1), som är väl strukturerade enligt ett mönster som arkivet bestämmer, t. ex. med avseende på positioner och postlängder. Det finns flera fördelar med att lagra sådan information på optiska skivor jämfört med den konventionella lagringen av pappersdokument. Givetvis vinner man utrymme men framför allt har man en snabb och enkel tillgång till en mängd information och återsökningen är både snabbare och fysiskt mindre ansträngande. Data kan dessutom bearbetas på ett enkelt sätt.

En fördel med den optiska skivan är att tekniken ger oss möjligheter att lagra data, bild och ljud på samma medium. För att information av sådan blandad typ skall kunna läsas i framtiden ställs mycket höga krav på arkivinstitutionerna. Nya kunskaper och rutiner måste tillföras för att tillgodose behovet av möjlighet att ta del av informationen på både kort och lång sikt.

*

Detta projekt innefattar inte någon undersökning av beständigheten hos skivorna. En vetenskaplig undersökning med syfte att ta fram ett vederhäftigt underlag för beräkning av hur länge skivorna håller är ett mycket omfattande och dyrt arbete. Det kostar kanske miljontals kronor och fordrar specialutrustning som ligger utanför våra möjligheter att anskaffa. Arbetet har i stället inriktats på att skaffa kunskap för att kunna bedöma de arbeten andra har utfört och de slutsatser som har dragits utifrån dessa arbeten.

Det finns många olika slag av optiska skivor, både när det gäller storlek, material, teknik och användningsområde. Denna rapport behandlar i huvudsak skivor av CD-typ för ”hembränning” för lagring av information som skapas i dator i form av text, diagram och liknande. Scanning av befintliga dokument omfattas inte av projektet och inte heller ”pressade” skivor, CD-ROM.

Andra optiska skivor behandlas kortfattat.

2 Beständighet

2.1 Definition

Beständighet kan betyda olika saker i olika sammanhang. När det gäller arkivering av information har vi vana från papper och mikrofilm att tänka i termer av fysisk förvaring och att definiera arkivbeständighet som möjligheten att bevara informationen under 500 år, för framtiden eller på liknande sätt. Detta fungerar bra för information som kan tydas av ögat.

Information som är lagrad i elektroniskt format måste tydas av maskiner och program för att kunna förstås av människan. Vi måste alltså tänka på såväl mediets som teknologins livslängd.

Arkivbeständighet borde då definieras som

möjligheten att återskapa en exakt kopia av originalet innan det har försämrats eller teknologin för att läsa det har utgått.

Det kan betyda konvertering med fem till tio års mellanrum.

2.2 Fysisk och teknologisk livslängd

Utvärdering av förutsättningarna för att lagra information under mycket lång tid måste alltså delas upp i två olika delar:

- den fysiska beständigheten hos lagringsmediet

- den teknologiska beständigheten hos information som är avhängig lagringstekniken för mediet, d v s tillgången på mjuk- och hårdvara.

Den fysiska livslängden hos digitala medier anges vara från något eller några år upp till ett par hundra. Beständigheten hänger intimt samman med problemet med utgående mjuk- och hårdvara. Förväntad livslängd för hårdvara är ca fem år. Mjukvara kommer i nya versioner så gott som varje år. Detta är definitivt ett problem för den som är ansvarig för att information skall finnas tillgänglig långt in i framtiden.

Att lagra text enligt ASCII-format (American Standard Code for Information Interchange), inklusive utökad ASCII-tabell för att tolka t. ex. tecknen för å, ä och ö, ses av många som en garanti för att data kommer att kunna tydas oberoende av mjuk- och hårdvara. Tyvärr är det en osäker garanti. Även om ordbehandlare och system för att hantera databaser har en funktion för att överföra data till standardiserade utbytesformat, så kodas struktur och innehåll ofta i programmen i egna, upphovsrättsskyddade format. Allteftersom produkter ändras sker förändringar också i kodning och äldre varianter utgår.

De flesta filer innehåller data som är meningsfulla enbart tillsammans med mjukvaran som skapade filen. Man kan säga att en fil inte är ett dokument i sig, den beskriver ett dokument som uppstår när filen tyds av det program som skapade den (eller en likvärdig mjukvara). Eftersom alla CD-skivor innehåller massvis av fel finns ett avancerat felkorrigeringssystem som varvar ”ettor” och ”nollor”, som representerar information, med kontroller av att dessa är korrekta (se 9.1 och bilaga 9). Om dokumentet består av en enkel följd av tecken och man känner till principerna för hur kodningen är uppbyggd kan

det gå att tyda innehållet genom att försöka om och om igen. Är innehållet komplicerat är chansen att lyckas liten.

2.3 Kompatibilitet

Är det nödvändigt att använda just det program som användes när filen skapades för att kunna läsa den? I vissa fall kan liknande mjukvara tyda informationen hjälpligt, men det är naivt att tro att varje dokument kommer att förbli läsbart av framtida mjukvara under mer än några få år. Nya sätt att hantera data tillkommer som skiljer sig helt från sina föregångare.

2.4 Viktigt för informationens livslängd

egenskap/aktivitet	**behandlas i avsnitt**
mediets kvalitet från början	6, 12, 13.5, 16, bilaga 2
mediets långtidsegenskaper	6, 13, bilaga 2, bilaga 8
hantering före inspelning	9.2
mjukvara för inspelning	9.2
brännare	9.3
inspelningsprocessen	7, 9.2, 9.3, 9.4
kompatibilitet mjukvara/ brännare/skiva	13.4.2, 13.6
hantering av inspelad skiva	11.2, 11.3
märkning	bilaga 6
förvaring	11.7, bilaga 6
mjukvara vid läsning	15, 16.2
avspelningsutrustning	7, 10
kompatibilitet mjukvara/avspel-ningsutrustning/skiva	10, 11.5, 13.4.3, bilaga 7
beredskap för konvertering	15, 16.6
arkivexemplar	16.5
felkorrigering	9.1, 10.2, bilaga 9

3 Skivtyper

En förteckning över de vanligaste termerna finns i bilaga 1. Följande översikt tar upp de vanligaste slagen av skivor och är inte avsedd som en komplett genomgång av skivor på marknaden.

3.1 CD-familjen

CD-ROM	står för Compact Disk-Read Only Memory
CD-WORM	står för Compact Disk Write-Once-Read Many
CD-R	står för Compact Disk Recordable
CD-E	Compact Disk Erasable. Beteckningen kommer förhoppningsvis inte att användas. I stället anges
CD-RW	Compact Disk Rewritable för de omskrivbara skivorna
DVD	betyder Digital VideoDisc (eller Digital Versatile Disc)
CD-MO	Compact Disc-Magneto-Optical

Alla skivor med förleden CD har samma storlek, 120 mm diameter (men det finns skivor med 80 mm diameter som ibland också kallas CD och som fungerar på samma sätt - storleken har ingen betydelse eftersom skivan läses från centrum och utåt).

De hittills vanligaste typerna är CD-ROM och CD-R.

3.2 Andra typer av optiska skivor

WORM betyder Write-Once-Read Many.

WORM finns i storlek 5,25” (130 mm), 12” eller 14”. WORM används liksom CD-R för direkt inläsning av information. Det finns flera olika typer, både när det gäller ljuskänsligt skikt och storlek. CD-R kan sägas vara en typ av WORM. Den synliga skillnaden är storleken.

MO står för Magneto-Optical disk.

MO skiljer sig från WORM när det gäller inspelning. Både laser och ett magnetfält behövs för att spela in information. MO är omskrivbar.

Varken WORM eller MO kan läsas av CD-ROM-spelare.

4 Den optiska skivan

4.1 Allmänt

Lagring av tätpackad information har blivit möjlig sedan materialtekniken utvecklats så att man kan tillverka mycket tunna skikt. Tillsammans med laserstrålen med dess koncentrerade ljusstråle kan man åstadkomma mycket hög tätpackning med väl avgränsade ”minnesceller”.

Den principiella funktionen är den samma för alla optiska skivor med ett dataskikt lagt på ett substrat och avläsning med en laser. Optiska skivor är i allmänhet tillverkade av polymerer och metaller. Ett skikt av ”databärare” ligger på en skiva av polykarbonat (eller glas) som ofta benämns substratet. CD-ROM, CD-R och MO-skivor har dessutom ett reflekterande skikt. Det databärande skiktet har i sig ”hål” (CD-ROM) eller ”bulor” (WORM), som reflekterar eller sprider ljusstrålen, eller magnetiska regioner (MO) som påverkar ljusstrålen från lasern.

Slarvigt uttryckt lagras informationen i plast.

4.2 WORM

WORM skiljer sig från CD i flera avseenden

- struktur
- lagringsteknik
- jämn rotationshastighet
- mindre standardiserad

Det finns många olika tekniker för att lagra information på WORM:

* inbränning av hål
* formförändringar som ger bubblor
* fasförändringar
* interferens
* strukturförändringar
* magnetisering
* reversibel fasomvandling

Det är därför svårt att ge en generell beskrivning av vad som är skivornas svaga punkter, men alla ändringar av optiska egenskaperna hos det databärande skiktet kan medföra felläsning eller dataförlust.

De skivor som förväntas ha högsta livslängden är de vars dataskikt utgörs av hål i metallegeringar, men det finns skillnader också inom denna grupp. Skivor där hålen tillkommer genom smältning av bimetalliska legeringar anses ha högre livslängd än de där hålen bildas genom ablativa metoder där förångat material kan avsätta sig på disken och ändra den optiska karaktären hos tidigare skrivna ”bits”.

Tekniker som utnyttjar fasändring i metallegeringar har sin begränsning i stabiliteten hos den amorfa fasen och de som använder organiska färgämnen eller polymera system begränsas av färgämnets stabilitet.

4.3 MO

Trots att den magneto-optiska skivans databärare utgörs av magnetiskt material har den mycket litet gemensamt med magnetband. MO har på substratet ett skikt av magnetiskt material. Datalagringen görs med hjälp av lokala magnetfält som vrider polariseringen hos det inkommande ljuset från laserstrålen.

Basen för tekniken är att det krävs ett magnetfält av mycket låg intensitet för att ändra riktningen på det magnetiska fältet i ett material över en viss temperatur. Vid inspelning värmer laserstrålen upp magnetskiktet lokalt och en magnet i inspelningsutrustningen orienterar fältet just i den uppvärmda punkten.

MO är reversibel.

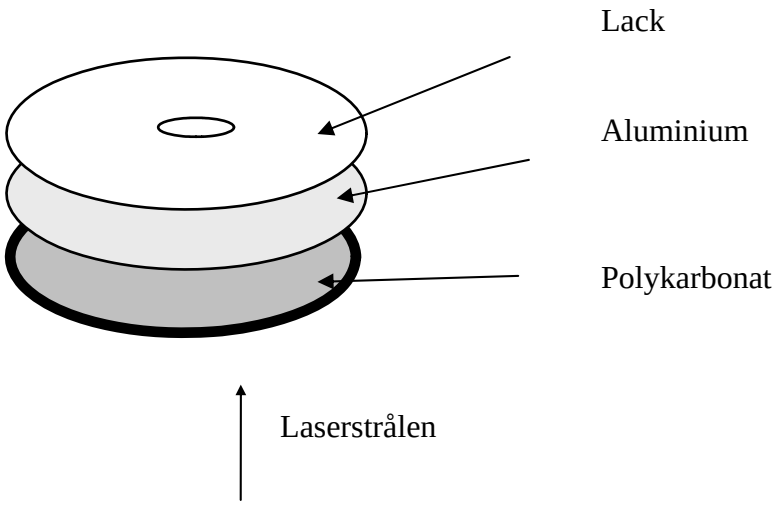
MO är inte speciellt ömtålig för magnetfält så länge temperaturen är under den kritiska för det magnetiska materialet. Eftersom det då är frågan om ca 150 °C är risken liten för att normalt förekommande magnetiska eller elektriska fält skall ”avmagnetisera” skivan.

De flesta problem med beständighet hos MO-skivor hänger samman med nedbrytning av det metalliska skiktet, som är känsligt för korrosion. Detta har gjort att man tidigare ansett att MO-skivorna har ganska dålig beständighet.

Magnetskiktet kan vara ganska sprött. Varierande temperatur och luftfuktighet kan resultera i sprickor i magnetskiktet.

4.4 CD-ROM

CD-ROM är ”pressade” skivor från massproduktion. Skivorna skapas genom att först ordna data på magnetband som sedan används för tillverkning av en master, en metallmatris. Skivorna, av polykarbonat, gjuts från mastern och data finns lagrade som gropar i polykarbonaten. Skivan täcks med ett mycket tunt aluminiumskikt (ca 1 μm, en tusendels millimeter) och förseglas med lack.



Bredden på en grop är ca 0,6 μm och längden 0,8 - 3,0 μm. Att det går att avläsa data beror på att ljusstrålen reflekteras med olika intensitet från gropen, ca 30 % av full intensitet, mot närmare 100 % från omgivningen.

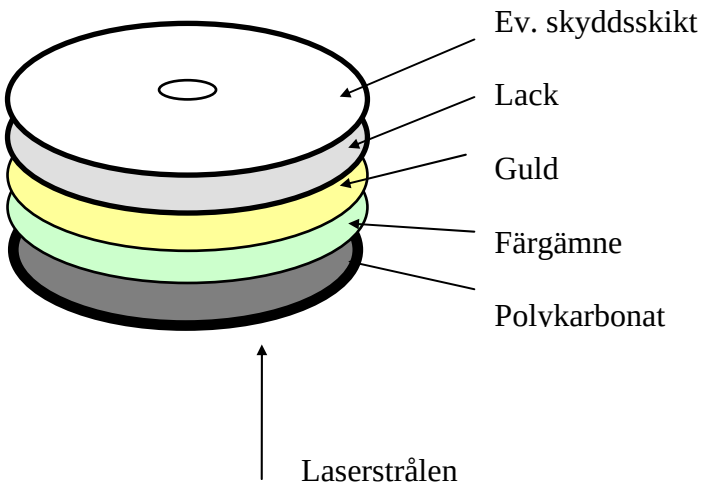
4.5 CD-R

CD-R tillverkas i enstaka exemplar, ”hembränning”. CD-RW och DVD har samma användningsområde.

CD-R liknar CD-ROM men skivorna är belagda med ett skikt som innehåller organiska färgämnen, ovanpå detta ett metallskikt (vanligen guld) och sedan ett lackskikt.

Större delen av CD-skivan består av en klar och hård plast, ofta polykarbonat. Ingjuten i polykarbonaten finns en spiralformad kanal, ca 5 km lång, som styr laserstrålen vid inspelning och läsning av skivan. Kanalen innehåller ett sinusformat mönster som behövs bl. a. för att bestämma skivans rotationshastighet. Datasektorerna ligger nämligen i en följd på CD med samma tätpackning längs hela spåret (CLV), inte fragmenterade som på andra typer av skivor. Det gör att rotationshastigheten måste anpassas efter läget på skivan.

CD-skivan är fysiskt indelad i ett eller flera spår (tracks). En ljudskiva innehåller en ”sång” per spår. En CD-ROM, som enbart innehåller dokument, har ett enda spår.



Vad är det som gör att lasern kan ”se” någonting alls på denna skiva?

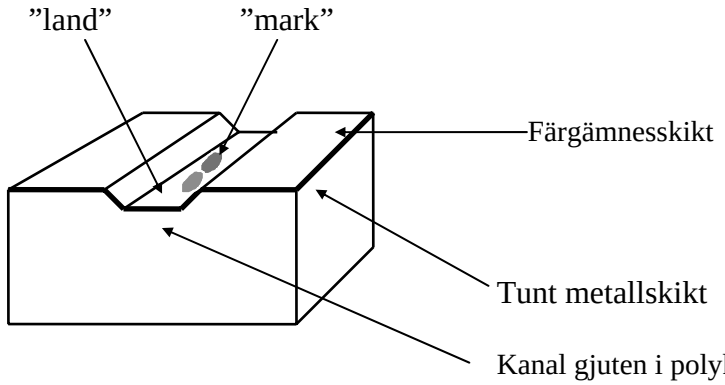
När laserstrålen vid inspelning fokuseras mot kanalen med en viss intensitet sker förändringar där färgämnet upphettas av laserstrålen så att färgämnet ändras kemiskt och fysiskt. På skivan syns detta som en missfärgning eller mörk fläck i färgskiktet och eventuellt en viss fysisk förändring . ”Hålen” som man tror att man bränner in i skivan är alltså inte alls några hål men lasern uppfattar ändringarna på samma sätt som de verkliga intryckningar som finns på en CD-ROM. Små variationer i reflekterat ljus (från lasern) översätts i läsaren till ”ettor” och ”nollor”.

Guldet (eller silvret) tjänstgör som reflekterande skikt. Det är mycket tunt och det lönar sig knappast att försöka återvinna om man inte har tusentals skivor.

Lacken, som täcker guldskiktet, har en mycket viktig roll. Den skyddar de informationsbärande delarna, färgämnet och guldet, från yttre påverkan. Om lacken skadas kan skivan betraktas som förstörd.

Vissa fabrikat har ett skyddsskikt ovanpå lacken som ett ytterligare skydd mot ovarsam hantering.

Färgämnet behandlas i avsnitt 6.



”Land” är den engelska beteckningen för opåverkade områden i kanalen. ”Mark” eller ”pit” betecknar de märken eller hål som åstadkoms av laserstrålen.

Kanal gjuten i polykarbonaten för att styra laserstrålen vid inspelningen. Spåret är spiralformat och börjar i centrum av skivan. Antalet spår är olika beroende på skivtyp, men det rör sig om flera hundra spår per millimeter

4.6 CD-RW

Den omskrivbara skivan inom CD-familjen är på gång. Den har en metallegering i stället för färgämne som databärande skikt. Vid inspelning sker en fasändring som ändrar skiktet från kristallint tillstånd, där ljuset från laserstrålen reflekteras bra av metallskiktet, till icke kristallint, där ljuset absorberas. Den liknar alltså MO men för inspelning och avspelning av dessa skivor är inget magnetfält inblandat.

CD-RW känns igen på sin metalliskt gråa färg. Metallegeringen, som ofta består av en blandning av silver, indium, antimon och tellurium, har mycket lägre reflektionsförmåga än dataskikten hos CD-R och CD-ROM. Läsaren måste därför ha ett system för att justera lasereffekten så att den reflekterade ljusstrålen kan tydas korrekt.

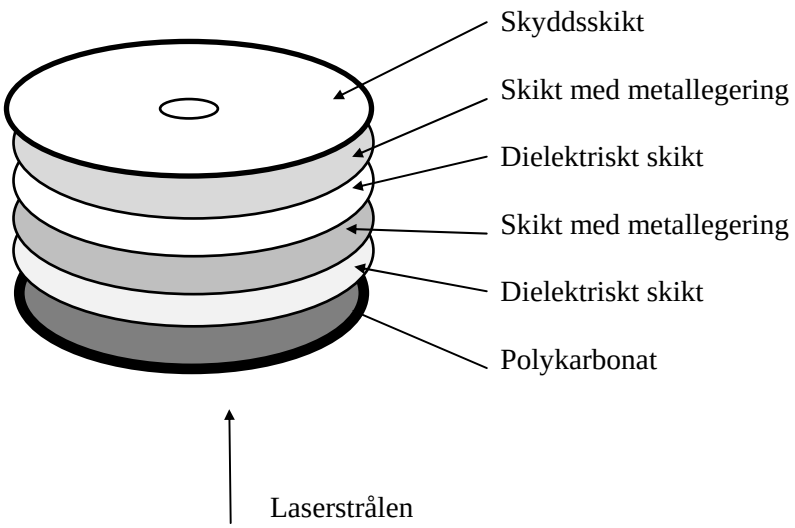
Många ser CD-RW som ersättning för magnetband eller magnetskiva och inte som ett egentligt arkivmedium.

CD-RW kan inte spelas på existerande CD-ROM-läsare. Multiread-läsare kan däremot användas.

4.7 DVD

DVD har samma storlek som CD-R men har mycket större lagringskapacitet, 4,7 GB per sida, ungefär 7,5 gånger så mycket som en CD. Den planerade versionen med dubbla lager ger 8,5 GB per sida. Spåren ligger mycket tätare än på en CD och spårets bredd och längden på ”hålen” är mindre. Dessutom är det skillnader i hur data kodas så att en större andel av utrymmet är tillgängligt för datalagring.

Det är främst nöjesindustrin som efterfrågar skivor med längre speltid t ex för att få plats med en hel spelfilm på en skiva.



Spelare för DVD förväntas kunna läsa CD-ROM, CD-R m. m. Däremot kan man inte läsa DVD i spelare för CD-ROM och CD-R.

5 Vilken digital lagringsteknik är bäst?

Det finns inget generellt svar på frågan vilken lagringsteknik som är bäst. Varje teknik har sina fördelar och användningsområdet styr helt valet av teknik.

5.1 Magnetisk lagring

Hårddisken är överlägsen alla andra lagringsmedier när det gäller hastighet och kapacitet. Den är omskrivbar och har mycket kort accesstid. Nackdelarna är att den inte bör flyttas eftersom den är känslig för stötar. Kostnaden per MB för lagring är hög.

Magnetband är fortfarande ett aktuellt lagringsmedium i många sammanhang och kommer troligen att finnas kvar under många år. En nackdel jämfört med skivor är att hela bandet måste spolas fram och åter och att bandhuvudet då ligger an mot bandet. Det är oundvikligt att det uppstår slitage och skador på magnetband.

MO-skivor har funnits under många år och kommer troligen att finnas kvar för vissa tillämpningsområden där man behöver MOs höga kapacitet och omskrivbarhet. Accesstiderna är längre än de för magnetdiskar men är ändå ganska kort. MO lämpar sig för användning ”nära on-line” och i nätverk.

Lagringskapaciteten för 5,25” MO väntas fördubbla sig vartannat år.

Standardiseringen av MO är inte alls utvecklad på samma sätt som för CD-skivor.

5.2 Optisk lagring

Den kraftiga ökningen av användningen av CD-R beror i hög grad på en väl utvecklad standardisering och att skivorna kan läsas i CD-ROM-läsare. WORM-formatet är däremot inte standardiserat tillfredsställande och det finns få läsare.

CD-R liknar magnetband i lagringssätt. Man skriver i separata sessioner, hela sessionen på samma gång. CD-R har ett spiralformat spår och ger inte verklig ”random access”. Det gör mediet lämpligt för arkivering men inte för lagring under arbetets gång.

CD-R är bra för lagring av bilder.

Mediakostnaden är låg vilket gör CD-R (eller CD-ROM) till det bästa alternativet för att distribuera information. CD-R kan också användas som backup.

En av de stora fördelarna med optisk skiva jämfört med magnetband är att både inspelning och avspelning sker beröringsfritt.

En nackdel med inspelning på CD-R är att data inte alltid verifieras under inspelningsfasen. För kontroll av att inläsningen skett korrekt måste hela skivan läsas i efterhand av ett speciellt program. Många mjukvarupaket innehåller inte denna viktiga funktion.

WORM är intressant för lagring av bilder och för dokumentlagring av mycket stora filer, speciellt om det finns legala aspekter på innehållet.

WORM har en liten del av marknaden och andelen förväntas minska ytterligare. En bild av framgången för CD-R kan vi få genom att titta på antalet träffar vid sökning på Internet. Från 1986 fram till 22 augusti 1997 erhölls ca 15 500 träffar. Från den dagen fram till 6 november 1997 hade drygt 14 000 tillkommit. För WORM var motsvarande siffror

ca 17 500 respektive 324. Den övervägande delen av dessa träffar är reklam av varierande slag. Det går dock att hitta mycket intressant information via Internet.

Rapporten handlar i fortsättningen mest om CD-R. ”Hembränd” DVD behandlas inte.

6 Färgämnet

Färgämnet hos CD-R anses av många vara den viktigaste beståndsdelen, eftersom det står för lagringen av information vid inspelningen. Andra anser att diskussionen om beständighet fokuserats alltför mycket på valet av färgämne och att andra parametrar har väl så stor betydelse för möjligheten att bevara informationen.

När färgämnet träffas av ljus absorberas energi som omvandlas till värme i färgämnesskiktet. Upphettningen leder till en förändring av färgämnet (och eventuellt till en fysisk deformation) så att det blir opakt och reflekterar ljuset sämre. Denna förändring är inte reversibel.

Färgämnets funktion vid inspelning och avspelning är att absorbera ljus. Det finns alltså skäl att misstänka att ljus kan påverka inspelade skivor på ett icke önskvärt sätt. Orange Book del II (se avsnitt 8.1) innehåller därför en specificering av den mängd ljus som en skiva måste tåla. Provning utförs genom att belysa skivan med ljus av högre intensitet än det vid normal förvaring. Provningen skall efterlikna det som händer om skivan med färgämnessidan (den blanka sidan) placeras inomhus innanför ett fönster i indirekt solljus ”två meter från ljuskällan”, en obegriplig instruktion som antagligen betyder två meter från fönstret. Skivan skall tåla detta under två år utan att en specificerad nivå på felfrekvensen uppnås.

Även om det visats att CD-skivor har god ljusbeständighet måste det anses vara onormalt att lagra skivorna så att de utsätts för ljus mer än under mycket begränsad tid. Krav på så hög ljusbeständighet är därför knappast relevant. Ändå har tillverkarna ägnat mycket arbete åt att visa att kravet är uppfyllt.

Två typer av färgämnen dominerar marknaden, cyaniner och ftalocyaniner. Trots att namnen är så lika rör det sig om två helt olika färgämnen och inom varje grupp finns flera varianter. Det finns ytterligare en typ, metallazofärgämnen, med något andra egenskaper. Både cyanin och ftalocyanin är syntetiska, organiska färgämnen med komplicerad molekylstruktur.

Undersökningar av skivor med både ftalocyanin- och modifierade cyaninfärgämnen visar att kravet på ljusbeständighet enligt Orange Book är uppfyllt mer än väl.

Skivor med färgämnet ftalocyanin, ”guldskivor”, är mindre känsliga för ljus och värme än de med cyanin, ”gröna skivor”. Så långt är alla överens. Däremot går meningarna isär när det gäller vilket färgämne som är bäst i andra avseenden. De gröna skivorna är tolerantare mot variationer och avvikelser i lasereffekt och många anser att det är större chans att de skall vara kompatibla med de flesta brännare, speciellt om brännarens funktion inte är optimal. Ett ytterligare argument för att välja gröna skivor är att de stämmer bäst överens med specifikationerna i de färgade böckerna (avsnitt 8.1), som är baserade på de tidiga skivorna med cyaninfärgämne.

Det finns uppgifter om att ftalocyanin är optimerad för användning i brännare med höga hastigheter (4 eller 6X) och att ”hålen” i cyaninskivorna inte är tillräckligt tydliga vid inspelning vid hög hastighet. Förändringen i färgämnesskiktet är större rent fysiskt för ftalocyanin eftersom upphettningen då laserstrålen träffar färgämnet vid inspelningen medför att polykarbonaten utvidgar sig och ”fyller i” färgämnesskiktet. Det behöver inte betyda att den ena typen är bättre än den andra för långtidslagring av information. Det kan finnas andra faktorer än färgämnets åldrande som påverkar skivornas livslängd.

Mer om färgämnen finns i bilaga 2.

7 Lasern

Vid avspelning används en laser med samma våglängd som vid inspelningen. Varför åstadkommer inte denna en motsvarande deformation så att skivans egenskaper ändras?

När skivan spelas in används en laser med mycket högre intensitet än den som finns i skivspelaren. Det är alltså en gradskillnad snarare än en artskillnad mellan de två lasrarna.

Den laser som har använts hittills och som är dominerande i skivspelare idag har våglängden ca 780 nm och är osynlig för ögat . Den blå lasern med våglängd 650 alternativt 635 nm har börjat användas för den nya generationen CD-skivor.

Det kommer nya CD-skivor som är inspelade med blå laser och som kan rymma dubbelt eller fyrdubbelt så mycket information som de nuvarande. CD-R(OM)-spelare klarar inte denna nya teknik. Vi måste alltså köpa nya skivspelare för att hänga med i utvecklingen. Detta beror inte primärt på laserns färg. CD-R-spelare kan inte läsa skivor med dubbla lager av informationsbärande skikt.

Måste man konvertera alla gamla CD-skivor till nya nu? När en CD avsedd för laser med våglängden 780 nm avläses med en laser med våglängden 650 nm reflekterar skivan inte tillräckligt mycket ljus för att data skall kunna läsas. De nya utrustningarna med blå laser förses därför med dubbla läshuvuden. Så länge detta görs kan man läsa gamla skivor i nya läsare. Den grundläggande standarden för alla CD-skivor är fortfarande Orange Book och så länge den följs utlovas kompatibilitet bakåt i tiden.

Mer om laser finns i bilaga 3.

8 Standarder

En väl utvecklad standardisering har haft en avgörande betydelse för CD-skivans enorma framgång. Tack vare att Sony och Philips 1980 kom överens om ett standardiserat format för ljudskivor och gjorde detta tillgängligt för andra tillverkare kan vi idag blanda CD-skivor och spelare av olika märken utan begränsningar, åtminstone i teorin.

Alla efterföljande standarder, både ”färgade böcker” och ISO-standarder som behandlar CD, bygger på Sonys och Philips överenskommelse. De behandlar både fysiska och logiska egenskaper. De senare kan omfatta hur innehållet är ordnat och eventuellt också innehållet i sig.

8.1 De färgade böckerna

De färgade böckerna är industristandarder, som anger specifikationer för CD-familjen:

Red Book	fysiskt format för ljud-CD
Yellow Book	fysiskt format för data-CD
Green Book	fysiskt format för CD-i (inter active)
Orange Book	fysiskt format för CD-Recordable (CD-R) Part I: CD Magneto-Optical (CD-MO) Part II: CD-Write-Once (CD-WO) Part III: inspelning på CD-RW
White Book	dataformat för VideoCD
Blue Book	CD+, CD Extra för interaktiva CD

Orange Book behandlar enbart skivorna, inte inspelnings- eller läsutrustningarna. Utrustningar kan därför använda t. ex. något olika laserstyrka. Det saknas alltså en bok för CD-R-spelare.

Orange Book tillåter olika fysiska metoder för att överföra data till skivorna.

8.2 Internationella standarder

Det finns flera internationella standarder för optiska skivor. De som har betydelse för CD-R är:

- ISO 9660 för CD-ROM, logiskt format
- ISO 13490 för CD-R (mer flexibel än ISO 9660, tillåter bl. a. långa filnamn)

För CD-R var tillkomsten av ISO 9660 viktig, men standarden har också ställt till många problem. Den är gjord så att den skall kunna användas för alla operativsystem. Det innebär att det finns utrymme för tolkningar och detta har utnyttjats för att göra anpassningar och utvidgningar.

8.3 Standarder om beständighet

Det finns en amerikansk standard som behandlar utvärdering av beständighet,

ANSI/NAPM IT9.21 Life Expectancy of Compact Discs (CD-ROM) - Method for Estimating, Based on Effects of Temperature and Relative Humidity.

Standarden gäller endast för CD-ROM. En utförlig beskrivning av processen vid utvärdering av livslängd (LE) enligt denna standard finns i bilaga 8.

8.4 Standarders beständighet

Så länge man följer Orange Book skulle allt vara bra men ändrar man t. ex. färgen på lasern ändrar man väl en grundläggande princip i standarden?

Fortfarande följer man Red Book för ljud-CD och efterföljande böcker för andra typer av CD-skivor, men den de facto-standard som skapades 1980 är ändå mogen för ändring.

Det kommer naturligtvis nya modifieringar. Det dröjde ca 15 år innan laserns våglängd förändrades. Man kan nog gissa att det inte kommer att dröja lika länge innan nästa modifiering kommer.

Det är alltså viktigt att inse att standardisering inte innebär att specifikationer låses för all framtid. Standarder revideras ständigt. Alla internationella standarder (ISO) skall t. ex. revideras vart femte år. Ofta innebär detta bara ändringar av formuleringar och några stora faktiska ändringar brukar inte förekomma i standarder. Nya tekniker eller produkter behandlas i stället i nya standarder. Tiden för arbetet med en ny ISO-standard har hittills varit ganska lång men ambitionen är numera att begränsa tiden från start till färdig standard till 2 - 3 år. Ambitionen är god men det fungerar nog inte i praktiken. Den långa tid det tar att färdigställa en standard innebär att olika tillverkare hinner utveckla olika produkter eller system som skall sammanföras i en standard, vilket leder till att olika varianter kan förekomma trots att de följer samma standard.

Mer om standarder finns i bilaga 4.

9 Inspelning på CD-R

Att spela in på en CD är en komplicerad process. Flera delar skall passa ihop för att inspelningen skall fungera:

- mjukvara (tillverkas ofta i USA)
- hårdvara (tillverkas ofta i Japan)
- skiva (tillverkning i Japan, Indien, övriga Asien, Mexiko, USA)

Mjukvara och hårdvara måste passa ihop. Många problem vid inspelning skylls på programmet, men det kan lika gärna vara hårdvaran som inte fungerar helt i överensstämmelse med Orange Book.

Inspelningen är kanske den viktigaste och den känsligaste fasen i skivans liv. Det ställs högre krav på renhet och försiktig hantering av skivan före inspelning. Allt som kan påverka laserstrålen på vägen till färgämnesskiktet kan medföra fel. Om någon nyser på en skiva före inspelningen skall man kasta den. Har man tänkt använda en etikett som inte täcker hela skivytan skall man vänta med att anbringa etiketten till efter inspelningen.

Skivan skall alltid ha samma temperatur som omgivningen när den spelas in.

9.1 Digital lagring

Digital lagring innebär att information lagras på ett alldeles speciellt sätt. Man pratar, egentligen helt felaktigt, om ettor och nollor.

010010111010101001

Vi kan lika gärna säga nej ja nej nej ja ……

eller, som det ser ut på en CD-ROM slätt grop slätt slätt grop o s v

Det viktiga är att det som finns på lagringsmediet ser ut på ett helt annat sätt än det som vi lagrade och det som vi hoppas få ut från mediet någon gång i framtiden. I bilaga 10 görs en jämförelse mellan analog och digital lagring och principen för att överföra analogt ljud till digitalt.

Det finns olika sätt att åstadkomma dessa kodord ”ett” och ”noll”. Inspelning på CD-R sker genom en direkt överföring t. ex. från PCn, där ju allt redan finns lagrat i digital form.

Alla skivor har massor av defekter. Läsligheten bygger på att det finns ett system för att upptäcka och korrigera fel (CIRC). Bits (ettor och nollor), utöver de som representerar information, ingår i strömmen av bits och upptar ca 25 % av diskutrymmet (jfr bilaga 9). Strömmen av bits skrivs dessutom inte in i ”naturlig” ordning på skivan så som på en magnetdisk. I stället är data ordnade i block om 24 bytes, som kompletteras med s. k. parity bytes som gör att ett block omfattar 32 bytes, och dessa sprids sedan ut över ett större område på skivan skivan tillsammans med symboler från andra block.

9.2 Inspelningsprocessen

Hur lagrar man data på den skrivbara CDn?

Det görs inte fortlöpande som på en diskett. Där kan man ju lagra stycke för stycke, man kan skriva ett avsnitt, lagra, avsluta dokumentet, ta fram det igen, ändra i tidigare text, lägga till o s v många gånger. Man avslutar i regel inte det dagliga arbetet med att säkerhetskopiera det man åstadkommit under dagen till en CD-R (undantaget är mycket stora mängder data i nätverk).

CD-R fungerar helt annorlunda än en diskett. Innehållet skapas först i en dator och överförs sedan i en följd till skivan.

9.2.1 Skivans struktur

Skivan är uppdelad i flera delar:

	PCA	PMA	Lead in	Program area	Lead out

Skivans
centrum

- PCA används för kalibrering av laserns styrka (vid bränning)
- PMA anger start och sluttider för respektive spår
- Lead in innehåller TOC, innehållsförteckningen
-

Dessa funktioner är vitala för avläsningen.

På skivan upptar 2048 bytes en sektor och det går 75 sektorer på en sekund. För en 74 minutersskiva betyder det att det finns plats för 74*60*75*2048 bytes = 681984000 bytes. Kapaciteten anges som ca 650 MB.

9.2.2 Sessioner

Varje gång man spelar in på en CD kallas det en session. Man kan välja mellan olika varianter

- Disc at Once (single session) - alla data lagras samtidigt, inspelningen avslutas med en fixering (lead in och lead out skrivs in)
- Track-at Once - liknar single session men lagringen av data, lead in och lead out sker i en annan ordning
- Multisession - data lagras och fixeras, skivan kan läsas, nya data kan läggas till o. s. v.
- Multivolume Multisession, Linked Multisession - liknar multisession men alla innehållsförteckningar måste läsas (speciell läsutrustning krävs)
- Track Multisession (Multitrack) - data överförs till skivan allt eftersom de blir tillgängliga
- Packet Writing, Incremental writing - en del åt gången spelas in, t. ex. från en bildscanner. Varje inspelningsomgång avslutas med fixering

Alla utrustningar och program är inte lämpade för lagring eller läsning av alla dessa sätt att lagra data. Single session och multisession är vanligast för ”hembränning”. Skivor som skall användas som underlag för massproduktion bör lagras i single session. Disc at Once är den mest tillförlitliga tekniken.

Packet writing har den fördelen jämfört med multisession att man inte förlorar utrymme mellan sessionerna.

Ursprungligen kunde CD-R bara spelas in single session, d v s hela skivan samtidigt, eftersom multisession inte var kompatibelt med CD-ROM-läsare. Det finns nu en de facto standard, initierad av Kodak, som behandlar läsning av multisession. Möjligheten att spela in multisession innebär att man kan lägga till nya data på en redan inspelad skiva i efterhand. På så sätt kan man ju spara utrymme men det kan skapa många problem. Både utrustning och program måste vara avsedda för multisession och man måste alltid bestämma i förväg att skivan skall spelas in multisession för att innehållsförteckningen skall bli korrekt. Viss mjukvara lämnar ett avstånd mellan sessionerna och avstånden genererar icke-korrigeringsbara fel. Problemet undviks enklast genom att spela in skivan single-session.

Om man väljer att spela in i multisession är det oerhört viktigt att den sista sessionen spelas in rätt. Att skivan rymmer 650 MB betyder inte att hela utrymmet är tillgängligt för inspelning av data och för varje session minskar det tillgängliga utrymmet med ca 13,5 MB. Hela inspelningen måste fungera perfekt och man får absolut inte riskera att den sista sessionen inte ryms på skivan. Om den inte gör det avslutas inte fixeringen som är nödvändig för att skivan skall kunna läsas.

Äldre CD-ROM spelare kan inte läsa skivor som är inspelade multisession och det finns nyare läsutrustningar som bara kan läsa den första sessionen.

En god regel är, åtminstone för arkivändamål, att inte utnyttja möjligheten att spela in multisession.

”multisession = multi headache”

9.3 Brännaren

När CD-R introducerades var skivorna designade för att passa en viss brännare. Så småningom tillkom gemensamma specifikationer med cyaninskivor som de regelgivande.

Det är stora skillnader mellan brännare. Utformningen av Orange Book ger gott om utrymme för skillnader. Laserintensiteten får vara 4 – 8 mW (milliwatt), vilket betyder att utseendet på märkena, ”hålen”, på den färdiga skivan kan variera.

CD-brännare för CD-R har två lägen på ljusintensiteten, en hög intensitet för inspelning och en låg för avläsning.

CD-brännare för CD-RW har tre lägen för laserintensiteten, den högsta effekten för att skriva, ett mellanläge för att radera och den lägsta effekten för att läsa.

Under inspelningen kan lasern, utan att man kan kontrollera det, utföra en ”termisk rekalibrering”. När temperaturen i omgivningen ändras kommer skivan att ändra storlek. Laserstrålen måste ju följa ett visst spår men om avvikelsen från det normala läget blir alltför stor görs en automatisk korrigering. Oftast tar den bara några sekunder men det kan ändå medföra att det uppstår ett avbrott i dataströmmen, buffer underrun, om bufferten av data är för liten. Vissa tillverkare har löst detta problem så att utrustningarna inte utför termisk rekalibrering under dataöverföring eller att bufferten läggs på hårddisken under tiden. Ett enkelt sätt att undvika problemet borde vara att hålla jämn temperatur vid inspelningen. Eftersom det alstras värme bör man se till att ventilationen vid utrustningen är god.

9.4 Inspelningshastigheten

En 650 MB CD-R tar 74 minuter att spela in med brännare med hastigheten 1X. Med 2X tar det 37 minuter, 4X 19 minuter o. s. v. Därtill kommer ett par minuter för att ”fixera” data.

2X och 4X är för närvarande den vanligaste hastigheten hos utrustningar. 1X tycks vara utgående. Enligt Media Sciences[1] kan det uppstå problem med brännare vid inspelning med hastigheten 4X eller högre. Orsaken ligger i den energi som lasern ger i en viss punkt på skivan.

Det är inte nödvändigt med samma hastighet vid inläsning och avläsning. Inspelning kan göras med 6X och skivan kan läsas i en spelare med hastigheten 4X.

Det finns ingen undersökning av om läsligheten på sikt kan skilja sig åt vid olika inspelningshastighet, men det är inte uteslutet att hastigheten kan ha betydelse för läsligheten. Utrustningarna för 6X roterar ju snabbare och lasern måste då upphetta färgämnet kraftigare.

Vilken hastighet är bäst?

Det finns skivor med färgämnen som inte lämpar sig för högre hastigheter. Å andra sidan har äldre brännare för 1X ställt till många problem.

Snabbare är inte bättre vid inspelning. 2X rekommenderas av flera experter, speciellt för ”hembrännaren”. Snabbare brännare kommer och inspelningshastigheter på 12 – 15X är inte omöjliga.

Är 63 minuter bättre än 74?

På 63 minutersskivan är märken och avståndet mellan dem större och det betyder möjlighet till bättre upplösning. Några undersökningar har visat att 63 minutersskivor är bättre på sikt än 74. Dessutom är 63 minutersskivan mer lik CD-ROM. Den högre tätpackningen på 74 minutersskivan kan ställa till bekymmer och flera oberoende institut rekommenderar 63 minutersskivan.

Det finns skivor för 80 minuter. En expert avråder från användning av sådana skivor: ”bättre med två skivor som kan läsas i de flesta läsare än med en skiva som bara kan läsas i några få”.

9.5 Sju regler för lyckad ”hembränning”

Det är ju mycket stora datamängder som skall hanteras. Den dator som används för att skapa det som skall spelas in måste ha hög. Eftersom data måste överföras kontinuerligt till skivan måste den vara snabb, speciellt om inspelningen görs vid hastigheten 2X eller kanske ännu snabbare.

Avbrott i dataströmmen, buffer underrun, är det vanligaste och dyraste problemet vid inspelning. Om data inte tillförs tillräckligt snabbt och dataströmmen avbryts är skivan förstörd. Det finns hjälpmedel men det är inte säkert att de fungerar i alla system.

---

[1] Media Sciences är ett amerikanskt provningslaboratorium och forskningsorgan för datalagringsindustrin.

De vanligaste orsakerna till buffer underrun är

- filerna är fragmenterade
- filerna är komprimerade - använd inte komprimerade filer
- det finns bakgrundsprogram som gör att dataöverföringen går för långsamt

Alltför många små filer kan också skapa problem vid vissa typer av inspelning. Program för ”premastering” kan underlätta.

Åsikterna om vad man kan göra för att undvika problem vid inspelningen varierar men det finns ett antal åtgärder som bidrar till ökad säkerhet:

1 - defragmentera hårddisken - det tar för lång tid att hitta alla delar av en fil som ligger utspridd på hårddisken

2 - reservera ett område på hårddisken för lagring av det som skall överföras till skivan

3 - gör en ”verklig” avbild av skivan och inte bara en tabell med adresser till de filer som skall överföras (spela inte in ”on the fly”)

4 - kontrollera <u>före</u> överföringen att allt kommer att få plats på skivan genom att göra skrivtest

5 - stabilisera systemet (inte för många extra prylar, nyheter o. s. v.). Om det uppstår nya problem bör man fundera över vilka systemändringar som gjorts

6 - stäng alla andra applikationer inklusive skärmsläckare, automatsparande, uppkopplingar till faxar o. s. v. Det enda aktiverade programmet skall vara mjukvaran för att skriva till skivan

7 - märk skivan och prova att den fungerar direkt medan allt är förberett i datorn för att göra om överföring till en annan skiva, om den första inte fungerar

9.6 Namngivning

Utöver de sju reglerna bör man akta sig för långa filnamn. Enbart bokstäverna a - z, siffrorna 0 - 9 och understrykningstecken, ”_”, kan användas.

10 Läsning

Både inspelning och läsning är sofistikerade processer som kräver en hög grad av precision. Våglängden hos lasern som avläser skivan är större än gropens bredd. Det betyder att man opererar på gränsen till vad de fysikaliska lagarna tillåter.

”Pickupen” skall följa det spiralformade spåret både horisontellt och vertikalt då skivan rör sig och

- behålla fokuseringen inom 4 µm
- följa spåret
- kontrollera rotationshastigheten
- hantera de ”tidssignaler” som är knutna till läsningen av data

Servosystemen, som bl. a. styr rotationshastigheten, är känsliga och fungerar bara inom ett visst område. Toleranserna är snäva och det är naturligt att det kan uppstå störningar.

10.1 Problem

Det är ganska vanligt med läsproblem. Orsakerna kan vara t. ex.:

- fel hastighet vid inspelningen
- felaktig OPC (Optimum Power Calibration) av lasern
- skrivstrategin
- skivans inspelningssekvens

Höghastighetsspelare är känsligare för tillverkningsfel hos skivor som dålig spårning, fel på färgämnessammansättning eller på substratet än spelare med lägre hastighet. SIGCAT[2] anser att kvalitetskontrollen vid tillverkning av media för hög hastighet behöver förbättras.

CD-spelare kan hamna utanför de gränser som specificeras i Red Book av många orsaker:

- motorn som styr laserstrålen slits så att lasern inte kan följa skivans spår korrekt
- laserdelen kan hamna ur läge, antingen genom normalt slitage eller därför att man stöter till den med spårningsproblem som följd
- damm som ansamlats stör lasern och leder till spårningsfel. Detta händer med tiden även om man aldrig öppnar luckan på utrustningen
- om spelaren står på en plats med dålig luftväxling kan elektroniska komponenter upphettas så att de reagerar på ett inte avsett sätt
- lasern kan ”slitas ut” så att den förlorar i styrka och läser allt sämre

SIGCAT[2] rekommenderar industrin att ta fram specifikationer för CD-R-läsare som tar hänsyn till de avvikande specifikationerna i Orange Book jämfört med Red Book. Man skriver: ”sådana läsare är kanske av föga intresse på konsumentmarknaden men kommer att vara extremt viktiga för offentliga sektorn som kommer att ta fram millioner arkivexemplar av CD-R under resten av århundradet”.

Om skivan inte ”fixerats” av mjukvaran i samband med inspelningen kan CD-ROM läsaren inte läsa skivor inspelade i flera sessioner, eftersom den då inte hittar innehållsför-

[2] SIGCAT, Special Interest Group on CD/DVD Applications & Technology, med medlemmar i 75 länder, arbetar för att hjälpa både offentlig förvaltningar och privat verksamhet att förstå och förbättra användningen av CD- och DVD-baserad teknik.

teckningen på rätt ställe. Det kan också uppstå problem med vissa äldre CD-ROM läsare eftersom de inte är kalibrerade för att läsa från den inspelade ”ytan” på CD-R, som ju skiljer sig markant från CD-ROM. En källa anger att det är bättre att använda en CD-R-enhet än en CD-ROM läsare. En annan säger att man inte skall ”slita ut” sin CD-R-enhet genom att använda den som läsare. Köp i stället en ny CD-ROM läsare.

10.2 Felkorrigering

På en grammofonskiva, ”vinyl”, finns spår som innehåller berg och dalar. När grammofonnålen följer spåret uppstår svängningar som omvandlas till elektriska signaler. Förstärkaren tar in dessa och skickar till högtalarna som ger oss ljudet. Tekniken är enkel men har den nackdelen att alla defekter återges.

Ljud-CD läses av med en laserstråle som ”styrs” av kanalen där informationen lagrats. Den infångade signalen är inte speciellt upphetsande. Vi kan varken höra eller se den, men om vi tänker oss att den hördes skulle den bestå av ett enda tonläge avbruten av tystnad av varierande längd.

När ljud lagras på CD behövs ett mycket stort antal punkter för att åstadkomma samma mängd av information som på en ”vinyl”. Denna information måste sedan hanteras av programvara innan signaler skickas till högtalarna. Utan inbyggda system för behandling av data inklusive felkorrigering skulle det inte gå att läsa eller lyssna till CD-skivor. Minsta vibration skulle medföra förvrängning av bild och ljud. För ljud-CD fylls skavankerna i med hjälp av matematiska beräkningar och vi hör inte att det finns någon defekt.

Vid lagring av data är det inte lika enkelt att korrigera fel som på ljud-CD. Informationen skulle helt kunna förvrängas om ett fel fylldes i med uppgifter sammansatta av den information som ligger vid sidan om felet. I stället finns system för att detektera och korrigera data, dels på bit-nivå (en enda ”1” eller ”0”), d. v. s. isolerade defekter, och dels för att sprida ut effekten av fel som omfattar en följd av bits. Ett enkelt exempel på felkorrigering finns i bilaga 9.

CD-ROM och CD-R är kodade enligt CIRC (Cross-Interleaved Reed-Solomon Code). Koden är till för att fördela data på skivan så att felen sprids och har också beredskap för att korrigera felen. Felkorrigeringen reducerar den tillgängliga kapaciteten för datalagring med ungefär 25 %. Detta är helt nödvändigt eftersom inte ens de bästa skivorna, inspelade under ideala förhållanden, är felfria.

Det finns två nivåer för CIRC:

- C1 korrigerar små, slumpmässiga fel
- C2 korrigerar större fel och ”burst errors”

Vid utvärdering av kvalitet förekommer flera beteckningar för dessa korrigeringsbara fel. Förenklat kan man säga att de betyder:

- E11 - en felaktig byte som korrigeras på C1-nivå
- E21 - två felaktiga bytes som korrigeras på C1-nivå
- E31 - tre felaktiga bytes. De kan inte korrigeras på C1-nivå men efter behandling skickas de vidare till C2-nivå för korrigering
- E12 - en felaktig byte som korrigeras på C2-nivå

E32 - fel är oacceptabla. De betecknas som icke-korrigeringsbara. Ett E32-fel indikerar att man är på väg att tappa data. Nästa skada kan avgöra skivans öde.

Kvaliteten på det i läsaren inbyggda felkorrigeringssystemet varierar mellan läsare. Det är inte alla tillverkare som förser sina läsare med den mest avancerade mjukvaran för felkorrigering. Det finns läsare som kan korrigera E32-fel, men det är ingen garanti att de klarar alla fel.

10.3 Att läsa en oläslig skiva

Om en skiva inte kan läsas i en läsare skall man börja med att prova
1 - i en annan läsare
2 - i en läsare av annat fabrikat
3 - vid lägre hastighet

Det kan vara stora skillnader i kvalitet mellan läsare. Företag som utför kvalitetsanalyser av skivor kan ha tillgång till läsare av hög kvalitet.

11 Vad kan gå snett?

Att tillverka optiska skivor är en komplicerad process och tillverkarna behåller ofta kunskaperna för eget bruk. Det gör att det är svårt att hitta uppgifter om hur man skall gå tillväga för att tillverka skivor på bästa sätt.

Optiska skivor består av polymerer och en metallfilm. Polymererna kan deformeras och brytas ned. Metallfilmen är känslig för korrosion, delaminering och sprickbildning. Metallegeringar kan övergå i icke-legerad form.

Vid avläsning av de typer av skivor, t ex CD-R, där laserstrålen måste passera substratet (jfr figur i avsnitt 4.5) kan allt som ändrar reflektionsförmågan eller andra optiska egenskaper hos ”databitsen” resultera i felläsning.

Tekniken för att tillverka skivor har förbättrats och många anser att korrosion inte längre är något problem. CD-R med guld (eller silver) som reflektor är mindre känsliga än skivor med aluminium (ljud-CD och CD-ROM).

Trots att det finns massor av rapporter som berättar om hög kvalitet och suverän beständighet finns det defekter hos CD-R-skivor. Det visar inte minst de undersökningar som redovisas i avsnitt 13.

Ett fel beror inte nödvändigtvis på en fysisk defekt. Antalet fel är snarare ett mått på hur väl hela systemet, skiva + skivspelare, fungerar.

I detta avsnitt behandlas brister som har anknytning till hantering och arkivering av skivor. I nästa avsnitt redovisas egenskaper som är knutna till kvaliteten vid tillverkning och inspelning.

11.1 Tillverkningsfel

Det är avsevärda skillnader i kvalitet mellan skivor från olika tillverkare. Om man vill ha skivor av god kvalitet skall man undvika de tunnare skivorna och de billigare skivorna. Med ökande produktionshastighet har man observerat nya problem som t. ex. plötsliga hopp mellan spåren på skivan. Det har visserligen funnits en specifikation för ”radial acceleration” men tidigare testutrustningarna har inte kunnat utvärdera detta.

Det som främst kan orsaka fel är ”hålens” geometri och fysiska defekter hos skivan. Hålen karaktäriseras genom djupet, bredden, längden och väggarnas sluttning. På CD-R finns inga hål, bara en färgskillnad, men lasern läser detta som ett hål som skall ha de specificerade egenskaperna.

Fysiska defekter kan vara
- pinholes (mycket små hål i skikten)
- svarta fläckar i skivan
- bubblor i plasten
- repor

Alla dessa defekter kan medföra att spelarens servomekanismer inte kan läsa data rätt. Andra typer av defekter knutna till tillverkningen är
- problem med tryckbara skyddsskikt
- repor som uppstår vid etikettering
- skivorna kan inte spåra ända ut till skivans yttre del

11.2 Hanteringsdefekter

Laserstrålens diameter är ca 1 μm och ”hålet” ca 0,6 μm. Avståndet mellan två spår är ca 1,6 μm och det ryms ca 600 spår per millimeter (ett hårstrå täcker ungefär 50 spår). Finns det någonting på skivans blanka sida som kan störa laserstrålen kan det leda till datafel. Repor, damm och skador på grund av fukt är de vanligaste farorna vid hantering.

På motsatta sidan av CD-skivan finns ett skyddsskikt som kan vara mycket tunt. En repa i skyddsskiktet kan få mycket allvarliga konsekvenser, eftersom det är detta skikt som skyddar de känsligaste delarna av skivan från att exponeras för omgivningen. En repa här kan medföra att hela skivan blir förstörd.

Märkningen av CD-skivan, som måste göras på den känsligaste sidan, är ett annat faromoment. Självklart måste man kunna märka skivan men det måste ske på rätt sätt. Fel märkningsmetod sägs vara den vanligaste orsaken till att information går förlorad. Märkning behandlas i bilaga 6.

En vanlig orsak till att fel uppstår på CD-ROM är ändring i reflektionsförmåga hos aluminiumskiktet till följd av oxidation, korrosion eller delaminering. Om skyddsskiktet, som utgörs av akrylat- eller nitrocellulosalack, bryts ned blir aluminiumskiktet känsligt för oxidation och korrosion.

På vissa skivfabrikat finns silverskikt som missfärgas av svavelföroreningar i luften.

Fel kan också uppstå på grund av nedbrytning av substratet (polykarbonaten) eftersom det är känsligt för krackelering. Detta medför att optiska klarheten minskar.

11.3 Sabotage!

I en artikel från Kodak Digital Science beskrivs sex sätt att effektivt förstöra en CD:

- skriv på den med en kulpenna eller en blyertspenna
- utsätt den för solljus
- riv av etiketten
- tvätta med lösningsmedel
- utsätt för damm och smuts
- tag i skivan på den blanka ytan och på etiketten

Det finns en mycket rolig beskrivning av Norman Desmarais som handlar om hur man skall förlänga livet för en CD-ROM. Han rekommenderar bl. a. att man skall förvara skivorna i frysen tillsammans med bikarbonat, som neutraliserar sura ångor. När man skall använda skivan måste den värmas upp till rumstemperatur innan den läggs i läsaren. Uppvärmningen kan visserligen göras i mikrovågsugnen men detta rekommenderas inte, med undantag av den fjärde juli. Ett annat sätt är att använda brödrosten eller en liten kastrull eller stekpanna.

Tro honom inte!

11.4 Läsfel

Läsfel kan innebära att skivan inte alls kan läsas eller att det är problem att läsa skivan i vissa utrustningar. Läsfel kan uppstå av många skäl. Egenskaper som är viktiga för kvalitet på ”mikronivå” behandlas i nästa avsnitt. Här behandlas några orsaker på ”makronivå”.

Läsaren

- problem med servomekanismen som skall se till att spåret följs
- OPC (optimum laser control), laserkalibreringen, fungerar inte riktigt

Lasern kalibreras mot skivan. Inspelningen kan ha misslyckats i att skriva korrekt till det område på skivan där kalibreringen skall göras. Problem kan också uppstå både på grund av att lasern åldrats och på att ljuset som reflekteras tillbaka från skivan inte är perfekt.

- skrivstrategin ger jitter och asymmetri (eller β-värde) och peak shift som tillsammans ger hög felfrekvens (ofta mätt som BLER, block error rate)

Dataskiktet kan drabbas av

- korrosion, sprickbildning, delminering
- ändring av fysiska egenskaper: ändring i optisk reflektion, ändring av magnetiska egenskaper (MO-skivor)

Substratet (dvs skivans bas) kan ändras:

- dimensionsändring som medför att spårets läge ändras
- minskad optisk klarhet (repor, sprickor, angrepp av kemiska ämnen)
- spänningssprickbildning, stör ljusstrålen

Skyddsskiktet

- kan förstöras så att dataskiktet inte skyddas mot omgivningen

Filnamn

- alltför långa filnamn kan medföra att skivan blir oläslig i många system. Enligt ISO 9660 finns två nivåer med olika tillåten namngivning. Nivå 1 tillåter bara 8+3 tecken medan nivå 2 accepterar 32 i stället för 8. De vanliga reglerna för namngivning gäller, använd inte å, ä, ö och vissa andra tecken t. ex. /.

11.5 Kompatibilitetsproblem

När vi hittar en skiva som inte går att läsa tror vi alltid att det är skivan som är defekt. Pröva en annan läsare! Ofta visar det sig att det löser problemet. Skivan kan ha en svaghet som gör att vissa läsare inte kan läsa den medan andra läsare tolererar denna defekt. Det är inte säkert att resultatet blir samma varje gång. Pröva den första läsaren igen!

Drivenheten måste vara sådan att den kan använda feldetekterings- och felkorringeringskoderna på skivan. Olika läsare har olika mjukvara och olika kapacitet att läsa skadade skivor.

Det har skrivits och tyckts mycket om möjligheten att spela in och att läsa skivor av olika fabrikat i olika utrustningar. Undersökningar från åren kring 1994 visar att det då fanns många problem.

Eftersom det måste ligga i branschens intresse att förbättra kompatibiliteten för att öka intresset för CD-R bör man kunna förvänta sig att åtminstone de stora tillverkarna arbetar för ökad kompatibilitet. Fortfarande rapporteras dock att vissa kombinationer av skrivstrategi, skrivhastighet och mediatyp kan ge dåliga resultat.

11.6 Ålderskrämpor

Erfarenheten av tidens inverkan på optiska skivor är begränsad. Ljud-CD har ju bara funnits i ca 20 år. Optiska skivor är som praktiskt taget alla andra produkter, de åldras med tiden även om de förvaras vid goda förhållanden.

1990 kom larmrapporter om ”röta” som drabbade ljud-CD och som orsakade mycket diskussion kring beständigheten hos ljudskivorna. Intresset fokuserades på två delar av tillverkningsprocessen. Eftersom en CD läses av med hjälp av en laserstråle som passerar in genom det klara basskiktet och reflekteras mot metallskiktet är allt som kan påverka reflektionen av intresse. Rötan som drabbade CD-skivorna orsakades av att lacken i skyddsskiktet inte täckte sidorna på CD-skivan. Otät lack medförde att metallskiktet oxiderades och därmed förlorade i reflektionsförmåga. Ett annat skäl till att skivor förstördes var knutet till märkningen av skivorna. Lacken i skyddsskiktet reagerade med produkter som användes vid tryckningen på lackskiktet så att det reflekterande skiktet påverkades. Detta resulterade också i läsproblem.

11.7 Förvaringsmedlet

Som för många andra databärare kan förvaringsmedlet utgöra en fara för den lagrade informationen. Omslaget skall vara mekaniskt stabilt och tillverkat av ett material som är oskadligt för skivan. Det skall dessutom ge ett gott skydd mot damm och annan smuts.

De askar av klar plast, som skivorna levereras i, används vid arkivering om de är mekaniskt stabila. Det finns askar som är gjorda av tunnare material än de normala och som man inte bör använda

Askarna kan innehålla etiketter och liknande instuckna i askens lock eller botten. Om de inte ligger emot skivan kan de ligga kvar. Alternativt kan man förse askarna med egna ”försättsblad”.

Man bör kontrollera att skivan sitter stadigt i hållaren så att skivan inte hamnar snett i asken och repas. Detta är särskilt viktigt om skivan skall flyttas.

I vissa askar är mittdelen, det som håller fast skivan, utformat så att det är svårt att få loss skivan. Det medför att skivan böjs när man försöker ta den ur asken. Sådana upprepade böjningar är inte nyttiga för skivan. Dessutom händer det ibland att en ”tagg” lossnar. Om den får ligga kvar i asken kan den repa skivan.

Skivor skall aldrig förvaras i mjuka plastomslag eller i pappersfickor.

11.8 Det oväntade felet ….

Det händer ofta saker som man inte förväntar sig, trots alla undersökningar som utförs för att förutsäga hur material förändras med tiden. Vi kan jämföra med det som inträffat med

mikrofilm på acetatbas, där det nu kommer larmrapporter om kraftig nedbrytning av basen. Fenomenet, som inte borde ha kommit som en överraskning, har fått namnet vinägersyndromet. Det handlar om att ättiksyra frigörs vid den naturligen förekommande nedbrytningen av cellulosaacetat. Att det luktat ättiksyra när man öppnat filmburkar har man känt i många år men inte uppmärksammat som en allvarlig fråga.

Erfarenheten från förvaring av optiska skivor är kort jämfört med de mycket långa livslängder som skivorna sägs ha. Det kan inte uteslutas att det uppstår problem i framtiden som ingen tänkt på idag.

12 Utvärdering av CD-skivors kvalitet enligt de färgade böckerna

Hur definierar man kvalitet hos en skiva?

Alla (eller praktiskt taget alla) skivor har läsfel, men det inbyggda systemet för att upptäcka och korrigera fel tar hand om läsfelen upp till en viss nivå så att användaren upplever innehållet som läsligt.

För användaren är naturligtvis läsligheten det primära, men den beror ju på så mycket mer än skivan:

- mjukvaran som skapar det som överförs till skivan
- brännaren
- läsaren
- mjukvaran som tolkar innehållet
- felkorrigeringen

Kvaliteten hos skivorna från början är avgörande för kompatibiliteten skiva + läsare. När skivan åldras ökar antalet fel. Risken finns då att det blir svårt eller omöjligt att hitta en lämplig läsare.

De krav, som alla är överens om skall gälla för CD-R specificeras i Orange Book, som bygger på Red Book. I den finns ett stort antal parametrar specificerade med tillhörande krav i form av maximivärde, minimivärde eller tillåtet intervall. Inom gruppen skivor som uppfyller kraven kan finnas stora skillnader i kvalitet.

De flesta skivor, åtminstone de av ”erkända” fabrikat, sägs uppfylla specifikationerna i Orange Book. Det kan finnas undantag för någon enstaka egenskap, där man anger att avvikelsen är acceptabel för vissa namngivna skrivare/läsare. Undersökningar utförda av oberoende institut har dock visat, att inte alla skivor uppfyller specifikationerna.

Följande sammanställning redovisar ett urval av de parametrar som används vid kvalitetskontroll av skivor.

12.1 Digitala tester

Digitala tester upptäcker fel i strömmen av data som avläses av ”laserpickupen”. Vissa av parametrarna utvärderas efter det att felen rättats av felkorrigeringssystemet.

<u>BLER (BLock Error Rate)</u>

Det totala antalet 24-bytesblock, som innehåller fel som tas om hand av C1-dekodern. Resultatet presenteras som fel per sekund, beräknat som medelvärde över 10 sekunder.

BLER är korrigeringsbara slumpmässiga fel. Red Book tillåter 220 fel per sekund. En bra skiva har färre än 10 fel.

Närvaron av BLER behöver inte påverka läsligheten. I princip kan en skiva med BLER = 5 vara oanvändbar (om alla felen är icke-korrigeringsbara). Ändå används BLER som ett mått på kvalitet vid utvärdering av beständighet, speciellt vid accelererad åldring (jfr bilaga 8). Låg BLER tyder på att systemet i sin helhet fungerar väl och att hålens geometri (jfr 11.1) uppfyller kraven.

BLER ger alltså information om antalet dåliga block per sekund, men säger inget om hur allvarliga felen är.

BRST (Burst Error)

BRST är en koncentrerad grupp av saknade data, som kan orsakas t ex av en dammpartikel eller en repa.

E32

E32 är skivans icke-korrigeringsbara fel, d v s totala antalet block som innehåller tre felaktiga tecken. Felen upptäcks i C2-dekodern. Antalet anges per sekund. Ett enda E32-fel medför att skivan anses oanvändbar.

12.2 Analoga tester

Analoga tester är till för att upptäcka problem med den fysiska strukturen hos ”hålen” i skivan. Olika aktörer lägger olika stor vikt vid olika detaljer. Det följande beskriver ett urval av viktiga egenskaper.

ITOP

ITOP är ett mått på signalstyrkan vid avläsning. Det finns specifikationer för skillnaden mellan baslinjen och toppvärdet hos den signal som uppfångas.

SYM (Symmetry)

Hänger samman med jämnheten i de gropar och dalar som utgör basen för den digitala lagringen.

RN (Radial noise)

Ett mått på hur mycket systemet som skall hålla kvar ljusstrålen måste röra sig i sidled för att kunna följa spåret av gropar.

PP (Push-pull magnitude)

Push-pull är ett mått på styrkan hos den spårande signalen. Såväl max som minvärden finns angivna.

Cross-talk

Cross-talk är ett mått på närliggande spårs inverkan på signalen.

Jitter

Jitter är ett mått på överensstämmelsen i tid mellan övergången mellan ”hål” och ”land” och ett angivet riktvärde.

12.3 Egenskaper som bör kontrolleras

I Red Book finns fler än 50 parametrar specificerade och alla måste kontrolleras om man skall vara säker på att skivan är korrekt. Det är ett omfattande arbete och ett enklare sätt

är att mäta felfrekvensen (error rate). Detta är en effektiv metod eftersom alla allvarliga problem påverkar felfrekvensen.

Åsikterna om vad som skall kontrolleras varierar. Vissa experter anser att alla de parametrar som anges i Red Book skall kontrolleras för nya skivor. Andra inriktar sig på läsligheten, eventuellt kopplad till accelererad åldring. I de undersökningar som redovisas i avsnitt 13 har laboratorierna lagt olika vikt vid olika egenskaper.

Ett av de amerikanska professionella provningslaboratorierna anger att följande egenskaper bör kontrolleras hos nya skivor:

Parametertest
- reflektans
- radiell spårning (PP)
- excentriskhet
- radiellt brus (RN)
- I3 och I11
- symmetri (SYM)
- cross-talk

Feltest
- BLER
- BRST
- E11, E21, E31, E12, E22 och E32

Visuella och mekaniska tester
- mitthålets centrering
- ytterkanten
- defekter
- skador

Det är ju en omfattande lista som innehåller de flesta viktiga egenskaperna hos skivan. Möjligen borde den kompletteras med skivans planhet. Praktiskt taget alla skivor är något skeva. Om skevheten överstiger en viss nivå kan skivan inte användas för inspelning vid hög hastighet.

12.4 Testutrustningar

Det finns testutrustningar på marknaden som är avsedda för kontroll av överensstämmelsen med specifikationerna i de färgade böckerna. De är enkla att använda men det krävs kunskap och erfarenhet för att göra korrekta utvärderingar av resultaten.

Flera olika typer av fel kan mätas, digitala fel (BLER, BRST, icke-korrigeringsbara fel), analoga fel (kvaliteten hos den analoga signal som går till dekodern) och formatfel eller logiska fel, fysiska fel som påverkar driften, avstånd mellan spår, jitter, hastighet och längd hos ”hål” .

Testutrustningar för CD-ROM används för att utvärdera CD-R. Det är ju logiskt eftersom båda bygger på specifikationer i Yellow Book.

Olika testutrustningar ger olika resultat. Detta är välkänt från undersökningar av CD-ROM. En jämförelse av två testutrustningar av samma fabrikat men olika modeller visade att värden på spåravstånd, excentricitet, angular deflection och reflektivitet varierade med 10 - 20 %. Ett antal andra parametrar däribland BLER och antal permanenta fel

varierade med ca 5 %. Denna skillnad ansågs vara acceptabel när det gäller att skilja mycket bra skivor från mycket dåliga. Det har också inträffat att testutrustningar har rapporterat permanenta fel på skivor, d v s fel som inte kan korrigeras av programvaran, men skivan har ändå kunnat läsas.

Det är också viktigt att notera att vissa skivor som gett goda resultat vid provning i testutrustningar inte kunde läsas i vissa läsare. Skivor som passerat testprogrammet utan anmärkning gick inte att läsa i CD-ROM-spelare.

JPL[3] gör försök att modifiera vanliga CD-ROM-spelare så att de kan visa BLER och jitter-värden. Speciella testutrustningar skulle då inte behövas och skivorna skulle dessutom läsas på ”normalt” sätt.

12.5 Kvalitetskontroll

Alla tillverkare har någon form av kvalitetskontroll. Utformning och omfattning varierar troligen avsevärt. Eftersom testutrustningar ger så olika resultat är det knappast meningsfullt att jämföra resultat som olika tillverkare tagit fram i sina testutrustningar. Undersökningar av alla de parametrar som specificeras i Red Book ingår troligen inte i rutinkontroller. Produktionskontroll inriktar sig normalt på att producera skivor med jämn kvalitet (så fort som möjligt).

Det primära målet med kvalitetskontroll bör vara att tillgodose kravet på läslighet. Testutrustningar ger resultat som inte stämmer överens inbördes och som inte heller ger en korrekt bild av läsligheten. Denna beror mer på läsutrustningen än på testutrustningens bedömning. En bättre förståelse av samspelet mellan media, inspelning och läsning är nödvändig för att kunna framställa pålitliga CD-R.

OSTA (Optical Storage Technology Association) i USA arbetar med att ta fram specifikationer för

- viktiga parametrar
- testutrustning
- kalibrering av testutrustning
- hur resultaten skall användas

Den sista punkten kan låta förbryllande men det är inte självklart att tillverkarna kommer att vilja offentliggöra sina resultat. Det är komplicerat att utvärdera den stora mängden av data som kan tas fram i testutrustningar och att utifrån resultaten försöka avläsa vilka medier och utrustningar som fungerar bäst tillsammans.

En standard, som behandlar verifiering av data lagrade på optiska skivor, är under utarbetande (f. n. som förslag, ISO/DIS 12142).

[3] JPL, Jet Propulsion Laboratory, USA, är ett statligt finansierat forsknings- och utvecklingsinstitut under NASA.

13 Resultat från undersökningar av CD-R

Flera tillverkare har genomfört undersökningar som underlag för uppskattning av livslängd hos CD-skivor. De flesta publicerar resultaten enbart som antal år vid en viss förvaringstemperatur och ger inga detaljer om experimentella förhållanden.

Det är troligt att undersökningarna utfördes mer eller mindre i enlighet med standarden för utvärdering av livslängd hos CD-ROM (jfr bilaga 8), även om de flesta gjordes innan standarden fastställdes.

Utvärderingsmetoden är central vid uppskattning av livslängd. Enligt standarden är kravet att skivornas maximala BLER skall vara mindre än 220. Om inget annat sägs har troligen detta kriterium använts vid utvärderingen.

13.1 Kodak

Den tillverkare som har publicerat mest detaljer kring sina undersökningar är Kodak. Här återges därför en summering av Kodaks metodik och resultat.

13.1.1 Livslängdsuppskattning

Omfattande undersökningar genomfördes av Kodak 1993 - 1994, bl. a. med syfte att utvärdera livslängden hos Kodaks produkter.

Kodaks undersökning genomfördes samtidigt som arbetet med den amerikanska standarden ANSI/NAPM IT9.21 pågick. I huvudsak stämmer Kodaks metodik överens med den färdiga standardens men det finns en markant avvikelse. Standarden anger att den accelererade åldringen skall utföras vid 60, 70 och 80 °C medan Kodaks undersökning omfattar åldring vid högre temperaturer, 80, 90 och 100 °C.

Resultaten från undersökningen, baserat på Arrhenius modell för livslängdsuppskattning, tydde på att

”med 95 % sannolikhet kommer 95 % av korrekt inspelade skivor, förvarade under arkivförhållanden (24 °C och 40 % relativ luftfuktighet) att ha en livslängd på mer än 219 år”.

Detta resultat måste kopplas till det valda kriteriet för kassering. Kodak valde att studera ändringen av BLER med tiden. Egentligen borde resultatet presenteras enligt följande:

> ”Resultaten från undersökningen visar att, med 95 % sannolikhet, 95 % av korrekt inspelade skivor inte kommer att ha uppnått BLERmax = 50 efter 219 år.”

Det finns flera intressanta detaljer i Kodaks rapport. Valet av maximala värdet för BLER som kriterium för bestämning av livslängd diskuteras liksom den acceptabla nivån för BLERmax. Enligt Kodaks uppfattning är korrelationen mellan BLERmax och icke-korringeringsbara fel acceptabel. Samma åsikt hade den expertgrupp som utarbetade ANSI-standarden. Däremot skiljer sig Kodaks val av kasseringskriterium, BLERmax > 50/sekund, från standardens > 220/sekund. Skälet till att Kodak har valt ett strängare krav är att sannolikheten för att det skall uppstå icke-korringeringsbara fel ökar med ökande BLER. Med ett värde på 50 BLER är sannolikheten för att det skall uppstå ett fel av typ E32 mindre än 10 %. Med kriteriet 220 ökar denna sannolikhet till 100 %.

Det är alltid osäkert att översätta resultat från accelererad åldring vid hög temperatur till det som händer vid ”normala” förhållanden (och osäkerheten ökar med temperaturskill-

naden mellan den normala förvaringen och den experimentella). I Kodaks rapport finns tre förbehåll:

- metodiken kan bara förutsäga livslängder som är beroende av samma defektskapande mekanismer som de som uppträder vid de förhållanden som användes vid experimentet
- mindre bra inspelnings- eller avspelningsutrustning kan minska den upplevda livslängden drastiskt
- förutsägelsen är korrekt enbart om Arrheniusmodellen är giltig över hela temperaturområdet från 100 °C till 25 °C (jfr bilaga 8)

13.1.2 Hantering

Utöver det ”rena” åldrandet finns det många andra faktorer som avgör om skivan är läsbar. Den kanske viktigaste faktorn, hanteringen, är svår att kvantifiera och helt omöjlig att översätta till livslängd.

Skivans känslighet för repor undersöktes av Kodak i ett annat projekt. Underlaget för utveckling av en metod för att undersöka skivans tålighet utgjordes av ett antal använda CD-ljudskivor. Antalet repor och djupet på reporna bestämdes.

Det var gott om repor på skivorna. De flesta var < 1,5 μm (0,0015 mm).

Nästa steg i undersökningen var att åstadkomma repor i provmaterialet, som utgjordes av inspelade och väl karaktäriserade skrivbara skivor. Repor gjordes med en safirspets som belastades så att repor med olika djup erhölls. Över en viss belastning erhölls repor som medförde lokala, icke-korrigeringsbara fel (E32s). Vid ännu högre belastning fick man problem med spårningen, d. v. s. laserstrålen hittade inte rätt spår vid avläsningen.

Dessa problem var gemensamma för CD-R, ljud-CD och CD-ROM. För CD-R uppträdde ytterligare en defekt. Delaminering av de informationsbärande och reflekterande skikten och av skyddsskiktet gjorde att skivorna blev oanvändbara och all information gick förlorad.

Undersökningen visade att skivor med ett extra skyddsskikt var betydligt tåligare än de med enbart ”vanlig ” lack.

13.2 Andra tillverkare

Många tillverkare har genomfört undersökningar som liknar Kodaks. Både åldringsklimat och kriterier för att bestämma livslängden varierar. De flesta undersökningar uppges visa förväntade livslängder på 70 år eller mer vid förvaring vid ca 25 °C.

13.3 Ljusbeständighet

Det finns många undersökningar av skivors beständighet mot ljus. Mycket arbete har lagts ned på jämförelse av ljusbeständigheten hos de två färgämnestyperna cyanin och ftalocyanin.

Kodak undersökte beständigheten mot ljus (solljus innanför fönsterglas) både för nyinspelade skivor och skivor som först förvarats vid hög temperatur (55 °C) under två veckor. Ljusbeständigheten för Kodaks skivor med ftalocyaninfärgämne var god. Skivor från en annan tillverkare med cyaninfärgämne hade däremot betydligt sämre ljusbeständighet.

Tillverkare av skivor med cyanin som färgämne har utfört provning enligt Orange Book och visat att deras skivor uppfyller kravet.

Det finns undersökningar där cyanin och metallstabiliserad cyanin har jämförts och där man visat att den metallstabiliserade cyaninen har mycket bättre ljusbeständighet än cyanin. Detta är inte speciellt förvånande eftersom det är välkänt att cyanin är mycket instabilt.

13.4 Doculabs[4] undersökning av kompatibilitet mellan media, skrivare och läsare

13.4.1 Undersökningens innehåll

En mycket intressant undersökning har genomförts av Doculabs. Undersökningen är upplagd på ett annat sätt än de undersökningar som utförs av tillverkare.

Doculabs använde
- brännare av sju olika märken med olika inspelningshastighet
- skivor av åtta olika fabrikat
- läsare av åtta olika fabrikat med hastigheter från 1x till 8x

Skivor av alla fabrikat spelades in med samma information på de sju brännarna. Innehållet var varierat, allt från text till video och programfiler. Det fanns dessutom ”träd och grenar” med många nivåer.

Det som gör denna undersökning extra intressant är att den, förutom den vanliga utvärderingen av olika typer av fel med hjälp av testutrustningar, också redovisar kontroll genom ”manuell” läsning. Läsbarheten kontrollerades både före och efter accelererad åldring.

Det parametrar som undersöktes med hjälp av testutrustning var följande:

Parameter	**Gränsvärde för acceptans**
PushPull	0,04 - 0,09
BLER	< 220
I11	> 0,6
WAWM*	> 10 %

* Weighted Average Windows Margin, en kombination av 36 uppmätta parametrar, som skall förutsäga den marginal decodern har för att klara av spelar-relaterade fel.

13.4.2 Resultat från inspelningsfasen

Vid provning i testutrustningen registrerades många fel, olika för skivor framställda i olika skrivare. Det är intressant att notera att skivorna ändå kunde användas i alla provade läsare.

Kompatibiliteten mellan skivorna och brännarna var god. Rapporten anger att alla skivor kunde läsas oavsett vilken brännare som användes. För några skivor anges ”Buffer underrun”, d. v. s. att tillförseln av data till skivan vid inspelningen varit alltför långsam så att

[4] Doculabs är ett amerikanskt företag som arbetar med forskning och rådgivning avseende teknik för informationslagring.

inspelningen inte fullbordats (gällde vissa skivmärken och var inte knutet till inspelningshastigheten). Sådana skivor är inte läsbara.

En av brännarna gav skivor med större andel registrerade fel vid undersökning i testutrustning än de övriga. Den svarade för ca en tredjedel av fall där specifikationerna inte var uppfyllda.

Beteckningen N/A, som finns för några skivor förklaras inte i rapporten men betyder troligen att testutrustningen inte kunnat läsa skivorna. Dessa skivor har dock använts vid den fortsatta undersökningen och har kunnat utvärderas i testutrustningen efter åldring.

13.4.3 Resultat efter åldring

Efter åldring (80°C, 85 % RH under 750 timmar) undersöktes läsbarheten på nytt. Stora skillnader mellan fabrikaten erhölls. Skivor av märkena Avery (tillverkade av TDK men med Averys etikett), TDK och Taiyo Yuden var inte läsbara. HPs skivor var helt läsbara och Mitsuis i det närmaste problemfria. Av Kodaks och Verbatims skivor var två oläsbara och för några andra skivor var det vissa typer av filer som inte kunde läsas fullt ut. Skivor av märket Ricoh, inspelade i fyra brännare, var problemfria men hälften av skivorna från två andra brännare var oläsliga.

Vid undersökning med testutrustning bekräftades resultaten från manuell avläsning.

En summering av resultaten ger följande:

- efter accelererad åldring kunde bara en mindre andel av ”gröna” skivor läsas i någon av läsarna
- nästan alla ”guldskivor” var läsbara

Det bör noteras att undersökningen inte utförts i enlighet med den procedur som anges i ANSI/NAPM IT9.21 (bilaga 8). Dels har ett enda åldringsklimat använts och dels har undersökningen omfattat ett för litet antal skivor. Man har därför inte kunnat göra försök att uppskatta livslängden för de undersökta skivorna. Den enda slutsats man kan dra är om en skiva är acceptabel eller inte efter den utförda åldringen.

Det finns flera avvikande resultat som ger upphov till nya frågor. Ett exempel är BLER, som ju är basen för utvärderingen enligt ANSI/NAPM IT9.21, och som för en av skivorna (en Kodakskiva) var högre före åldringen (481 före och 449 efter). Det är knappast troligt att felen ”lagar sig” vid åldring. Beror skillnaden på osäkerhet i testutrustningen? Ett annat exempel är Ricohs skivor, som alla utom en är oläsbara i en eller två läsare efter åldring, men som har BLER som ligger klart under gränsvärdet 220 (de andra undersökta parametrarna ligger däremot utanför specifikationen).

13.5 Media Sciences kvalitetskontroll av CD-skivor

Media Sciences har genomfört en studie av kvaliteten hos skivor från olika tillverkare. Undersökningen omfattade enbart nya skivor. Ingen utvärdering av inverkan av accelererad åldring utfördes.

Enligt Media Sciences är de egenskaper som specificeras i de grundläggande standarderna för CD-R avgörande för kvaliteten både på kort och lång sikt. Det finns inte någon standard för läsare och olika läsare kan vara känsliga för avvikelser hos skivor på olika sätt. Flera av läsarens funktioner styrs av laserstrålen och olika kvalitet eller defekter hos skivorna tolereras mer eller mindre bra av olika läsare. Enbart läslighet i några läsare

eller frånvaron av skivor som inte fungerar ansågs därför inte vara bra kriterier för bedömning av kvalitet.

Ett ytterligare motiv för att undersöka alla de nämnda egenskaperna i stället för att enbart utvärdera läslighet är att felkorrigeringssystemet maskerar många defekter. Den använda utvärderingsmetodiken anges förutsäga skivornas kvalitet (med avseende på möjlighet att läsa i olika utrustningar under lång tid) på ett korrekt sätt.

Följande egenskaper undersöktes:

Itop (reflektivitet)	Avvikelser i längd
Radiell spårning	Radiell contrast före
Radiellt brus (RN)	BLER
I11/Itop	E22
I3/Itop	E32
Asymmetri	Burst Errors
Jitter	

Resultaten presenteras inte enbart som ”ja eller nej”. Man har valt att lägga till en klass med resultat ”på marginalen” för att skilja de bra skivorna från de som ligger på gränsen och kan vara i farozonen i framtiden.

13.5.1 Material och resultat

Grupp A	23 skivor med 74 minuters speltid från sju olika tillverkare: ■ färgämne cyanin med guld eller silverskikt från Denon, Verbatim, Taiyo Yuden och TDK ■ färgämne ftalocyanin med guldskikt från Kodak, Mitsui Tatsu och Ricoh	Tio skivor uppfyllde alla de valda kriterierna, sex låg på gränsen och sju skivor uppfyllde inte kraven.
Grupp B	12 skivor med 74 minuters speltid från sex olika tillverkare, ”generally from the Asia-Pacific region”: ■ färgämne cyanin från Anton, CMC, KAO, Lead Data, Mega Media och Ritek	En skiva uppfyllde alla krav, sju var gränsfall och fyra uppfyllde inte kraven.
Grupp C	Sex skivor med 63 minuters speltid från ■ Mitsui Toatsu och TDK	Alla sex uppfyllde kraven.

Alla skivor var läsbara vid normala hastigheter.

13.5.2 Utvärdering

Det var avsevärda skillnader i kvalitet hos skivorna. De bästa skivorna gav goda resultat vid båda hastigheterna 2X och 4X och kan förväntas uppfylla krav på både kompatibilitet och tillfredsställande åldringsegenskaper.

De flesta svagheterna orsakades av antingen defekter i färgämnesskiktet eller i den kanal där data lagras.

Skivorna med sämst egenskaper var läsbara i läsare av god kvalitet men kan ställa till problem i andra. Förändringar som uppstår vid hantering och förvaring kan medföra att de sämsta skivorna blir oläsliga medan de bättre fortfarande fungerar.

Man fann ingen kvalitetsskillnad mellan typ av färgämne eller metallskikt. Däremot var skillnaden mellan 63 och 74 minuters speltid tydlig.

13.6 Resultat från en jämförande studie av CD-R vid JPL

Skivor från olika tillverkare provades i fyra olika brännare. Vissa kombinationer gav mycket höga BLER jämfört med genomsnittet. Det bör påpekas att detta gällde ett fabrikat och att inspelningen gjordes med hastigheten 1X. Resultaten kan dessutom vara inaktuella redan när de publicerades (1995) eftersom utvecklingen går mot bättre utrustning och bättre kompatibilitet.

Följande resultat har hämtats från en preliminär rapport, publicerad 1995. För dittills provade 136 skivor erhölls följande resultat:

Egenskap	Riktvärde	Resultat
Start lead in (mm)	<46	Alla skivor uppfyllde kravet
Start of program (mm)	46,6 - 50,0	Fem skivor hade för låga värden. Alla var inspelade på en viss utrustning
Max info diameter (mm)	113	Alla skivor överskrider riktvärdet
Scanning velocity (m/s)	1,2-1,4	Sex 74 minuters och tre 63minutersskivor utanför riktvärdet
Track pitch (microns)	1,55-1,70	En skiva utanför specifikationen
Eccentricity (microns)	<40	Alla skivor uppfyller specifikationen
Push pull	0,045-0,090	18 skivor från en viss tillverkare låg utanför specifikationen
Cross talk (%)	<50	Alla skivor uppfyller specifikationen
Deviation (mm)	±0,20	Tre värden överstiger; beroende av testutrustningen
Angular Deflection (deg)	1,6	Alla skivor uppfyller kravet
BLER (avg)	<50	Sex skivor ligger högre. Alla var inspelade på en viss utrustning
BLER (max)	<100	Tolv skivor ligger högre varav nio var inspelade på en viss utrustning
Reflectivity (%)	>70	Mycket få skivor ligger över 70
Symmetry (%)	±15	Alla skivor uppfyller kravet
Radial noise (nm)	<15	Tjugofyra skivor uppfyller inte kravet. Tjugoen var inspelade på en viss utrustning
Burst error length	7	Nitton skivor uppfyller inte kravet
Burst error GT than limit	0	Tjugofyra skivor uppfyller inte kravet
E32Tot	0	Fjorton skivor har permanenta fel varav åtta inspelade på en viss utrustning

Genomgående anges skivornas kvalitet vara god. Genomsnittliga BLER är lägre än för CD-ROM.

I rapporten diskuteras skillnader mellan 63 och 74 minuters speltid och mellan cyanin och ftalocyanin. BLER för 74-minuters skivor var i genomsnitt dubbelt så hög som för 63-minuters skivor, men om man bortser från en brännare som avvek från de andra var antalet BLER lägre för 74- än för 63-minuters skivor.

Vid jämförelse av skivor inspelade i utrustningar med olika hastighet visade det sig att färgämnestypen var viktig. Skivor med cyaninfärgämne fungerade bättre än de med ftalocyanin i spelare med hastighet 1X. Vid högre hastighet, 4 - 6 X var skivorna med ftalocyanin bättre.

JPL konstaterar att, utgående från erhållna resultat, det går att formulera en kravspecifikation, men den måste inkludera modell och version av den brännare som kommer att användas.

13.7 Resultat från accelererad åldring vid VTT[5]

VTT undersökte 1995 beständigheten hos fyra olika fabrikat av CD-R genom att mäta ändringen i BER (Byte Error Rate) efter en, två och tre månaders accelererad åldring vid 50, 60 och 70 °C i värme utan fukttillförsel. Luftfuktigheten var därför mycket låg. Åldring utfördes också vid 80 °C och 65 % relativ luftfuktighet, men resultaten kunde inte användas vid utvärderingen eftersom antalet fel ökade mycket kraftigt så att det inte gick att läsa två av de fyra skivfabrikaten i testutrustningen. Undersökningen skiljer sig alltså från den procedur som beskrivs för CD-ROM i ANSI/NAPM IT9.21, där fukt tillförs vid samtliga åldringstemperaturer.

Utvärderingen har gjorts med en variant på bestämning av BLER. I stället för att direkt bestämma antalet BLER har VTT baserat sin utvärdering på antalet BER.

Behandlingen av data har gjorts enligt Arrhenius-modellen, som i princip stämmer överens med ANSI/NAPM IT9.21 med undantag av att fuktens inverkan inte beaktats.

Beräknade livslängder för tre av skivfabrikaten var 10 - 58 år eller 6 - 44 år beroende på val av kasseringskriterium (BER $\leq 1432*10^{-6}$ enligt Red Book eller $500*10^{-6}$ enligt NIST). Ingen uppskattning redovisas för det fjärde skivfabrikatet, eftersom resultaten inte tillät statistisk behandling.

För det bästa skivmärket anges livslängden till minst 22 år (med 95 % sannolikhet). Det bör observeras att dessa beräkningar är baserade på åldring i torrt klimat och alltså borde gälla normal förvaring vid 0 % luftfuktighet.

Inverkan av vatten och ljus undersöktes också. Antalet BER ökade men inte så att specifikationerna i Red Book överskreds. Känsligheten för vatten och ljus varierade mellan skivmärkena.

Livslängderna som erhölls vid denna undersökning är avsevärt kortare än de som rapporterats från andra undersökningar. Om skivorna ändras så mycket på mindre än tio år att de inte är användbara är detta ett mycket alarmerande resultat. Man måste dock komma ihåg att både BER, som utvärderats här, och BLER, som normalt utvärderas, är korringeringsbara fel och att läsligheten inte är direkt kopplad till antalet korrigeringsbara fel.

[5] VTT, Statens Tekniska Forskningscentral, Finland.

13.8 Kommentarer

De undersökningar som presenteras ovan har behandlat olika egenskaper hos CD-skivor:

- livslängdsuppskattningar baserade på ändring av BLER (eller BER)
- undersökning av reptålighet
- undersökning av ljusets inverkan på beständigheten, mätt som BLER
- undersökning av kombinationen brännare/skiva/läsare, mätt som BLER men också utvärderad genom läsning före och efter accelererad åldring
- undersökning enligt Red Book och av läslighet

Varför har undersökningarna utförts?

Skälet är naturligtvis att man inom både privat och, framför allt, offentlig verksamhet vill ha garantier för att det lagringsmedium man väljer är säkert och att tillgänglighet kan utlovas framåt i tiden.

Tillverkarna har inriktat sig på att visa att skivorna är beständiga under flera tiotals år. Nya skivor marknadsförs som uppges ha ännu längre livslängd än de tidigare. Beständigheten är naturligtvis en viktig aspekt men det är inte enbart livslängden som avgör om skivan är ett bra arkivmedium.

Flera neutrala laboratorier har inriktat sig på provning av hela komplexet av medium och utrustning. Det viktigaste med dessa provningar är, enkelt uttryckt, att bestämma om det finns ett problem. Sedan kan man börja leta efter orsakerna:

- dåliga skivor
- inkompatibilitet brännare/skiva/läsare
- mjukvara vid inspelning
- o. s. v.

Undersökningarna har inte visat på några större läsproblem trots ökad felfrekvens med tiden. Sammantaget ger dessa undersökningar en positiv bild av CD-skivornas beständighet, åtminstone för skivor av etablerade fabrikat. Däremot är det vissa svagheter när det gäller kompatibiliteten med utrustningar. Det framgår klart att alla kombinationer av skivor och utrustningar inte är lika bra.

Utvärdering av läskvalitet hos skivorna, som ju är den intressanta aspekten, beror i hög grad på brännare och läsare. I princip kan man säga att undersökningarna har visat att det (nästan) alltid har varit möjligt att hitta en läsare som fungerar tillsammans med skivan.

14 Uppskattningar av livslängd

Livslängdsuppskattningar har många likheter med uppskattning av bilars bensinförbrukning - det beror på hur man mäter.

Livslängden hos en inspelad skiva avgörs i stora drag av
- skivans ursprungliga kvalitet
- hur mycket den används
- hur den hanteras
- förvaringsmiljön

Det finns många åsikter om vilken livslängd en CD-R skiva förväntas ha. Omfattande undersökningar utförda av tillverkare tyder på livslängder för CD-R på flera tiotals år under förutsättning att förvaring och hantering sker på lämpligt sätt.

I det följande presenteras ett urval av uppgifter från olika typer av källor.

14.1 NML[6]

NML har gjort en sammanställning av uppgifter om livslängd hos produkter. Uppgifterna är hämtade från olika källor, datablad, information från tillverkare, i tidskrifter och från NMLs egna undersökningar. NML garanterar inte riktigheten hos uppgifter från andra källor än de egna undersökningarna.

Tabellen visar ett utdrag av uppgifterna i NMLs sammanställning (magnetiska material och andra typer av optiska lagringsmedia har uteslutits):

Material	**LE vid 15 °C, 30 % RH**	**LE vid 20 °C, 40 % RH**	**LE vid 25 °C, 50 % RH**
CD-ROM			
alla	10	5	2
de bästa	100	50	20
CD-R			
alla	2	2	1
de bästa	50	30	15
Papper av god kvalitet (låg ligninhalt)			
alla	5	2	0,5
de bästa	20	10	2
Papper (buffrat)			
alla	200	100	50
de bästa	500	500	100
Mikrofilm av arkivkvalitet			
alla	100	100	50
de bästa	500	200	100

I NMLs sammanställning anges korta livslängder för flera lagringsmedier. Uppgifterna har feltolkats i amerikansk press och lett till att NML hotat med att inte publicera liknande uppgifter på Internet. Det intressanta med NMLs sammanställning är att livs

[6] NML, National Media Laboratory, är ett kommersiellt amerikanskt laboratorium som har som syfte att stödja offentlig verksamhet vid utveckling och utvärdering av tekniker för informationslagring.

längd anges vid olika förvaringsförhållanden. NML hävdar att det viktigaste budskapet är just att man kan påverka livslängden genom att välja förvaringsmiljö.

Vad är det som är så kontroversiellt?

Uppgifterna har misstolkats så att det bara är ett fåtal som räknas som ”de bästa”. Livslängderna som anges för ”alla” har redovisats som representativa för materialtypen.

Livslängden för CD-R i ovanstående tabell är mycket kortare än den som anges i andra sammanhang, t. ex av tillverkare. Anmärkningsvärt är att CD-ROM anges ha högre livslängd än CD-R, vilket motsägs av andra källor. Det skall dessutom poängteras att uppgifterna är sammanställda 1995 och bedömningen är troligen en annan idag.

De livslängder som anges t. ex. för papper och mikrofilm stämmer väl överens med allmänna uppfattningar.

14.2 Tillverkare

14.2.1 Kodak

Kodak anger att vid max. 25 °C och 40 % relativ luftfuktighet är skivornas livslängd 200 år, i kontorsmiljö 100 år. Förutsägelsen baseras på mycket omfattande undersökningar, utförda i princip enligt standarden för utvärdering av livslängd hos CD-ROM.

14.2.2 TDK

TDK anger livslängder på i storleksordningen 100 år för inspelade skivor och 5 - 10 års lagring före inspelning.

14.2.3 3M

3M har angett 25 år, men uppgiften inkluderar förvaring vid varierande temperatur vilket skulle kunna tillgodose förvaring i jämn rumstemperatur under 100 år.

14.2.4 Ricoh

Ricoh har lanserat en ny skiva med platinaskikt i stället för guld. Skivan sägs vara extremt motståndskraftig mot ljus, värme och fukt. Livslängd på mer än 200 år anges.

14.2.5 Mitsui

Mitsui anger livslängden 100 år. Uppgiften baseras på accelererad åldring vid 80 °C och 85 % relativ luftfuktighet under mer än 1000 timmar, vilket uppges motsvara mer än 100 år under normal användning. Baserat på dessa resultat lovade Mitsui 3 års garanti, vilket man angav var den längsta på marknaden.

14.2.6 SONY

Sony har publicerat en uppgift om att CD håller i ungefär tio år.

14.3 Kommentarer

Är det intressant att veta om skivorna håller i 70 eller 200 år? Skivorna kommer ju att kopieras eller konverteras inom mindre än 10 år (jfr avsnitt 15).

Det viktigaste är att skivorna är av bra kvalitet från början och att inspelningen görs med en utrustning som passar till skivan. Då finns det goda förutsättningar för att framtida läsare skall kunna ta del av informationen fram till den inte alltför avlägsna dag när den skall konverteras. Om man antar att konvertering görs vart femte år är livslängder på mer än 10 år ointressanta. Å andra sidan kan det komma att utvecklas system för att emulera utgången mjuk- och hårdvara så att konvertering bara behöver göras för att framställa arbetskopior. Den ursprungliga skivan, eller en kopia av den, skulle då utgöra säkerhetsexemplar och arbetsexemplar skulle bara framställas vid behov. I det fallet kan det vara av intresse att veta att skivan har en livslängd på 20 - 30 år. Några färdiga lösningar för emulering finns dock inte (se avsnitt 15).

15 Kopiering, konvertering och emulering

15.1 Kopiering

Om man vill bevara digitalt lagrad information mycket länge är det väl bara att kopiera skivan? Digitalt lagrad information kan ju kopieras hur många gånger som helst utan att informationsinnehållet förändras - sägs det. Många som prövat intygar att verkligheten inte stämmer med teorin.

Nej, det är inte alls så enkelt. För att tyda innehållet i raden av ettor och nollor måste man använda mjuk- och hårdvara. Kopiering förlänger informationens livstid bara så länge *samma* mjuk- och hårdvara som skapade den ursprungliga skivan finns kvar. När den inte finns tillgänglig längre har man ingen nytta av en extra skiva.

15.2 Konvertering

När tekniken ändras handlar det inte längre om *kopiering*. Informationen måste i stället *konverteras* till en ny form. Konvertering är inte alls samma sak som kopiering. Data som lagrats i ett system med hjälp av ett program skall tolkas och omformas till ett annat system (och eventuellt en ny typ av databärare). Denna procedur är långt ifrån enkel och erfarenheten av hur detta skall gå till över långa tidsperioder är av naturliga skäl begränsad.

Vad skiljer kopiering från konvertering (eller migration som är den engelska termen)? Kopiering kan vara en ”rak” överföring av all information inklusive uppgifter om layout, tabeller, ljud, bilder o. s. v. Konvertering innebär ofta att dokumentens utformning inte stämmer överens med originalens. Man måste avgöra vilka egenskaper hos informationen som är viktiga. Grundläggande är att autenticitet, sökbarhet och presentationen av data måste bevaras så att framtida läsare kan ta del av informationen, helst på samma sätt som den ser ut i original. Hur komplicerad konverteringsprocessen blir beror på vilken typ av information som finns lagrad på den ursprungliga skivan.

Konvertering utförs i allmänhet av en mjukvara som ändrar data från ett format till ett annat. Man är beroende av tillgången till källkoder (för den ursprungliga mjukvaran) och lämplig mjukvara för konverteringen. I ett arkiv med skivor framställda vid olika tidpunkter kan detta bli en komplicerad procedur. Konvertering är dessutom ingen engångshändelse. Varje gång den senast använda mjuk- och hårdvaran är på väg att försvinna från marknaden måste ny konvertering genomföras.

15.3 Emulering

Utrustningar och programvara för att emulera kan vara ett sätt att komma åt information någon eller några generationer senare. Emulering innebär att man skapar en ”avbild” av den ursprungliga mjuk- och hårdvaran. En förutsättning för att det skall fungera är att man har bevarat all nödvändig mjukvara, tillsammans med fullständiga och lättolkade specifikationer för nödvändig hårdvara. Det är därför oerhört viktigt att denna information är tillgänglig för den som har ansvar för information som skall sparas länge (men man har i allmänhet inte detta).

15.4 Strategi för bevarande

För att bevara information under längre tid kan alltså olika typer av åtgärder behövas:

- uppfräschning - data kopieras till en ny databärare av samma slag. Det kan vara aktuellt för skivor som används frekvent
- överföring - kopiering till en stabilare databärare utan att datastrukturen ändras
- migrering - data modifieras (konverteras) till en nyare alternativt en mer allmänt accepterad form
- emulering - mjukvara skapas som kan efterhärma den ursprungliga mjukvaran eller operativ-systemet

Alla dessa procedurer kan komma ifråga för att digitala dokument som skapas i dag skall kunna hanteras av datorer och förstås av människor i framtiden. Den snabba tekniska förändringen medför att nuvarande mjuk- och hårdvara, som är nödvändiga förutsättningar för att vi skall kunna ta del av informationen, kommer att vara ersatt av andra inom några få år. Speciellt i datavärlden blir tidsintervallen mellan nya generationer eller nya tekniker allt kortare. Innehållet på skivan måste troligen överföras till nytt medium långt innan skivan förändrats så att innehållet förvanskats.

Erfarenheten av konvertering är genomgående att det är en process som kräver mycket arbete, det är dyrt och det finns risk att man förlorar eller förvanskar informationen. I litteratur som behandlar migration anges att avsaknad av klara specifikationer för ”source and target environments” kan vara en viktig källa till höga kostnader och låg pålitlighet. Problemet är ofta att både källa och mål är skyddade av äganderätten till mjukvarorna.

Kan man komma runt problemet med konvertering genom att spara utrustningar och mjukvara? Det kan fungera en tid men inte på lång sikt eftersom utrustningar åldras, också rent fysiskt, och inte kommer att vara användbara efter några år.

Vad gör man om man missat att konvertera och alla gamla utrustningar har havererat? Emulering kan vara en möjlig utväg. Om man inte måste ha samma mjuk- och hårdvara som den ursprungliga skulle skivorna kunna läsas under mycket lång tid och mycket arbete med konvertering skulle undvikas. Tekniska lösningar som gör detta möjligt på ett säkert sätt kan komma i framtiden. Om det blir möjligt är det viktigt att bevara metadata, information om hur alla skivor kommit till, inklusive mjukvaran (eller tillräcklig information för att återskapa mjukvaran).

Åsikterna om möjligheten att förlita sig på emulering som ett led i strategin för ett långsiktigt bevarande går isär. Det finns de som anser att det är denna väg man måste gå för att alls kunna hantera bevarandet av digitalt lagrad information. Andra är skeptiska, både arkivarier och dataexperter, och anser att emulering aldrig kommer att bli en livsduglig teknik. Vissa experter menar att diskussioner om emulering uppmuntrar ett farligt önsketänkande och att den enda gångbara strategin, åtminstone i dag, för att bevara digitalt lagrade dokument är att konvertera = migrera.

Hur länge kan man vänta med att konvertera data som skall bevaras under lång tid? Det är dyrt att konvertera, även om mediet i sig är billigt, och man vill naturligtvis vänta så länge som möjligt.

Vilket tidsperspektiv? Det är omöjligt att säga. Modifieringar och nyheter kommer så snabbt att det kan röra sig om några få år innan man måste konvertera. Vänta 5 år? 10 år? Det beror på hur och var informationen skall användas. Möjligheten att hålla ett befintligt system vid liv måste bl. a. bero på typen av organisation och hur mycket ”omvårdnad” denna är beredd på att satsa. Arkivering handlar ju mycket om tillgänglighet. Om man i sitt dagliga arbete behöver använda flera CD-skivor med olika generiskt ursprung får det inte vara så att detta ställer till besvär.

Konvertering är en procedur som måste upprepas flera gånger under informationens livstid. En rimlig tid mellan konverteringar kan vara ca 5 år.

15.5 Arkivfiler

Mycket av den information som lagras i arkiven är av sådan typ att den lämpar sig väl för lagring i textfiler med fasta postlängder, där strukturen är given. Det är möjligt att utveckla system speciellt avsedda för arkiv som är mindre känsliga för omgivningsvariabler (i datamiljön) än de kommersiella dokumenthanteringssystemen. Arkiven har ofta inte behov av många av de finesser som tillhandahålls på marknaden, t.ex. höga datahastigheter och små sektorer. Om data lagras i enklast möjliga form minskar behovet av sofistikerad mjukvara. Då kan den digitalt lagrade informationen överföras till nya, på varandra följande, teknologiska generationer i ett ”mjukvaruberoende” format, t.ex. ASCII textfiler eller som flata filer med enkla, enhetliga strukturer. Denna strategi fungerar väl för vissa typer av digital information där innehållet, inte layouten, är det viktiga.

16 Summering

16.1 Mediet

CD anses hålla längre än andra digitala lagringsmedier. Om man hanterar och förvarar skivorna på rätt sätt och inte utsätter dem för extrema förhållanden bör innehållet vara stabilt under många år. Det är en allmän uppfattning att ”gröna” skivor har livslängder på 75 år och ”guldskivor” 100 år.

Grönt eller guld? Om skivorna skall användas för distribution och man då inte vet vilka extrema förhållanden de kan utsättas för kan det vara fördelaktigt att använda de mer robusta guldskivorna. Å andra sidan fungerar de gröna skivorna bättre i äldre brännare och om man inte vet vilken typ av läsare som kommer att användas kan de gröna vara att föredra eftersom de tolererar större variationer i skriv- och läsutrustning.

Även om CD-skivorna massproduceras är tillverkningen en komplicerad process. Antalet tillverkare har varit litet och alla (de flesta?) har lagt ned ett seriöst arbete på att tillverka bra produkter och att verifiera att skivorna uppfyller kraven i Orange Book. Det finns nu nya tillverkare och det finns skivor som helt saknar uppgift om tillverkare eller andra identitetsuppgifter. En god regel är att enbart köpa skivor där tillverkarens namn anges. Det är dock inte säkert att kvalitetskraven uppfylls av alla tillverkare eller att skivornas kvalitet utvärderas i enlighet med Orange Book. Snarare kan man förvänta sig att det kommer nya skivor som inte håller måttet, speciellt vid höga inspelningshastigheter. I det läget kan frågorna om skivornas beständighet få ny aktualitet.

Det är inte självklart att alla skivor från en tillverkare håller samma kvalitet. Specifikationerna i Orange Book tillåter variationer och vissa skivor kan fungera mindre bra. Om detta visar sig redan i inspelningsfasen kan skivan ersättas men det kostar tid att göra om.

God kvalitet från början gör att det som lagrats på skivan har bättre förutsättningar att förbli läsligt på lång sikt, men det finns inga felfria skivor och förr eller senare träffar man på en skiva som man inte kan läsa, delvis eller i sin helhet.

Det finns utrustningar för att undersöka kvaliteten hos oinspelade skivor och mjukvara för att jämföra inspelade data med de ursprungliga. Utöver kontroll av läslighet bör man även mäta antalet BLER. Skivorna bör kontrolleras efter inspelning och därefter stickprovsvis i analogi med kontrollen av säkerhetsexemplar av mikrofilm.

16.2 Informationens beständighet

Data som lagrats på de flesta digitala medier kommer att försvinna långt innan det som skrivits på papper av god kvalitet är borta. Men långt innan data försvunnit rent fysiskt kan data ha blivit otillgängliga därför att tekniken har ersatts av nya, icke-kompatibla format.

Teknologin är det som avgör informationens beständighet. När det kommer nya generationer av program och läsare utlovas oftast ”bakåtkompatibilitet”, d. v. s. att de nya generationerna kan läsa de äldre skivorna. Det kan ju låta betryggande men hur länge kommer det att gälla? Det kommer en dag då denna möjlighet inte längre finns. Dagens datorer och operativsystem kommer att vara föråldrade om mindre än 20 år.

Det är viktigt att man inser att informationens beständighet inte är liktydig med mediets beständighet. Det är inte *information* som lagras på ett digitalt medium. En fil är inte ett

fristående dokument. Filen beskriver bara ett dokument som existerar först när filen tolkats av ett program, d. v. s. när mjukvaran har tolkat en följd av ”ettor” och ”nollor”.

De flesta filer innehåller information som är meningsfull bara för den mjukvara som skapade filerna.

Livslängden för utrustningen är begränsad. Ny utrustning och reservdelar, som är knutna till ett visst system, tillverkas under begränsad tid. Men utrustningen är inte allena saliggörande. ”Det enda hårdvaran klarar av på egen hand är att förbruka elektricitet. Hårdvaran behöver mjukvara för att veta vad den skall göra.”

Bara under förutsättning att det finns system för avläsning och konvertering långt framåt i tiden är den fysiska beständigheten hos den optiska skivan intressant. Om man inte tror på en logisk fortsättning är livslängder på mer än 10 år, kanske inte ens så länge, ointressanta. Informationens beständighet beror mer på sund arkivhantering, inklusive ”vård” av informationen, än på mediets livslängd.

Digitala lagringsmedier kräver en strikt disciplin i motsats till dokument som är direkt läsbara. Den snabba utvecklingen leder till en kontinuerlig ändring i teknologin som man inte kan ignorera under alltför lång tid.

En arkivinstitution kan troligen, genom att bevara utrustning och programvara, vänta med konvertering av skivorna till nytt medium en längre tid än den som skall använda information i det dagliga arbetet, där system byts ut med några få års mellanrum.

16.3 Destruering

Hur gör man för att förstöra en skiva som innehåller känsliga data?

Allt som man skall undvika för att förlänga skivans livslängd bör kunna användas för att destruera den:

- trycka fast tejp på skivans etikettsida och snabbt rycka bort den
- göra kraftiga repor i lacken som går ända ned till färgämnesskiktet
- borra ett större hål i centrum så att innehållsförteckningen förstörs
- bryta sönder den

Det mest drastiska sättet är att lägga skivan i en mikrovågsugn på full effekt några sekunder. Se till att ventilationen fungerar. Det gnistrar och sprakar och det finns ingen garanti att ugnen fungerar sedan.

16.4 Vad säger experterna?

Det finns ju olika typer av experter, dels de som är enbart intresserade av att kunna bevara information och dels de som ägnar sin tid åt att utvärdera tekniken i sig. Man måste alltid ha i minnet att arkivering för många innebär tider på mindre än 10 år och många uttalanden om mediets användbarhet för arkivering baseras på - i arkivsammanhang - korttidsförvaring.

Det som främst nämns som skivornas stora förtjänst är möjligheten att spara blandad information, text, ljud och bild, i en sammanhållen enhet. Utskrifter på papper eller på mikrofilm ses i sådana fall inte som något alternativ till digital lagring. Däremot kommer dokument i direkt läsbar form att finnas som komplement till digitalt lagrad information.

Lagring av information i digitaliserad form ger många fördelar. Det är en förutsättning för att kunna söka i stora datamängder och bearbeta data snabbt och enkelt. I valet mellan CD-R och magnetband föredrar man generellt CD-R.

Den enorma arbetsinsatsen som kommer att behövas i framtiden för att konvertera till nya tekniker diskuteras alltmer. Intervallen mellan konverteringarna anses vara ca 5 år. Regler för dokumentation av system, mjukvara, hårdvara m. m. som måste finnas för att möjliggöra konvertering eller emulering tas fram på många håll.

Osäkerheten inför den nya tekniken är stor. Presidenten för ICA, den internationella arkivorganisationen, säger till och med att ”1990-talet kan bli det sämst dokumenterade årtiondet under 1900-talet på grund av den elektroniska lagringen.”

En amerikansk utredning, the Task Force on Digital Archiving, som bestod av representanter för industri, arkiv, bibliotek och offentlig förvaltning, konstaterade:

> ”The variety of encoding techniques both within and across forms -- even the creeping obsolescence as encoding techniques change and improve -- exemplifies the tremendous vitality of the digital world as an emerging information medium. In the face of this vitality, the preservation challenge is to find ways to migrate information structure and content into the future effectively through the maze of competing digital encoding systems. A call to create or use standards simply will not prove effective at a time when the standards themselves are subject to the same dynamic of change and obsolescence as the encoding systems they are trying to organize. Enduring standards may emerge. In the meantime, the successful migration strategies will be those that recognize and respond to, rather than resist, the substantial variation in encoding schemes.”

16.5 Särskilt arkivexemplar?

De livslängder som anges av tillverkare och av provningsinstitut gäller skivor som förvaras under lämpliga förhållanden och som inte utsätts för hantering så att de blir repiga och smutsiga. Den höga tätpackningen av data gör att varje liten defekt kan medföra att informationen inte kan återvinnas. Det är oundvikligt att skivorna slits vid användning. Ett särskilt arkivexemplar, som förvaras korrekt och enbart används för att framställa nya läsexemplar, är en grundsten för att kunna spara information för framtiden. Alternativt kan data sparas i mer än en form, i vissa fall i analog form på papper eller mikrofilm. Det senare är dock bara aktuellt för den traditionella typen av information i form av text och ”stillastående” bilder.

En god regel är att ha minst två exemplar med samma innehåll på skivor av olika fabrikat. Det kan då vara lämpligt att välja en ”grön” och en ”guld”. Skivorna bör förvaras på olika ställen.

Arkivexemplaret bör inspekteras regelbundet så att man kan upptäcka eventuella defekter och kan vidta åtgärder innan det är för sent.

16.6 Arkivera på CD-R?

CD-R innebär en möjlighet att lagra ljud, bild, rörliga bilder, text o. s. v. på ett sammanhållet sätt. CD-R ger oss också en möjlighet till snabb återsökning i mycket stora informationsmängder.

CD-R är ett utmärkt komplement till konventionella lagringstekniker som papper och mikrofilm. Arkivering av information på CD-R under mycket lång tid ställer dock helt andra krav på den organisation som har ansvaret för informationen.

Kan man arkivera på CD-R?

Ja visst, men man måste inse att CD-skivor inte är ett ”evigt” medium! Det kommer att fordras mycket arbete i framtiden för att hålla informationen vid liv.

Vad är det som skiljer i rutinerna för arkivering av digitala medier från papper och film?

Det behövs striktare disciplin - eller snarare väl fungerande rutiner för hantering av hela systemet, från inspelning till vård av arkiverade dokument:

- det måste finnas någon med ansvar för bevakning av vad som händer inom området, ”på marknaden”, så att man inte överraskas av att teknologin utgår
- det måste finnas ett medvetande om att lagringstekniken inte kan jämställas med de medier vi är vana att hantera
- resurser måste kunna frigöras - datortid, pengar, persontid - för konvertering. Detta kan behöva ske med kort varsel, inte för att det kommer nyheter men därför att det plötsligt kan vara så att någon annan beslutar att hela systemet skall bytas ut på en arbetsplats
- arkiverade skivor måste inspekteras med avseende på förändringar som kan uppstå med tiden

17 Vad kommer sedan?

Både magnetband och optiska skivor utvecklas mot en ökad tätpackning. Detta är negativt ur beständighetssynpunkt. Ökad tätpackning medför mindre storlek på ”bits” och större känslighet för dataförluster orsakade av någon typ av defekt t. ex. damm, repor, korrosion. Även om defektens fysiska storlek är densamma som för mindre tätpackad information ryms ju så mycket mer inom samma area och informationsförlusten blir så mycket större.

Man har pratat om holografi som morgondagens teknik för informationslagring i många år men ännu har man inte kommit så långt att det finns praktiska kommersiella tillämpningar i stor skala. En av fördelarna med holografisk lagring är att lagringsmediet är stillastående vid läsning. Detta är en egenskap som man eftersträvar eftersom problemet med slitage försvinner. Den stora fördelen är dock lagringskapaciteten. 10 MB kan rymmas på ett knappnålshuvud och läshastigheten kan ökas så att det går tusen gånger snabbare jämfört med dagens medier.

Den tekniska utvecklingen har inte avstannat hittills. Varför skulle den stanna vid dagens CD-R, CD-DVD, PD och andra kända bokstavskombinationer? Vi har sett enorma förändringar de senaste årtiondena och intervallen mellan nya metoder/medier o. s. v. har blivit allt kortare.

Idag tycker vi att enorma mängder information lagras på en optisk skiva. Ett märke på skivan är mindre än en tusendels millimeter långt. Kan det göras mindre? Är nästa steg att hitta en teknik för att lagra nollor och ettor i enskilda atomer eller molekyler i stället för i dagens stora samling av molekyler? Det lär finnas sådan teknik redan men inte i kommersiell tillämpning.

Det kommer andra tekniker som ersätter dagens. Varför fundera över om en CD-skiva håller 30, 70 eller hundra år när vi vet att vi kommer att ha en helt annan teknik inom några årtionden?

18 Litteratur

Vetenskapliga artiklar, tidskrifter, böcker, informationsmaterial m. m. i pappersform:

Titel	Författare	Tidskrift eller liknande	Nr
A Rainbow Of Standards	Dana J. Parker	CD-ROM Professional	May 1993, pp. 151-154
An Operating System Independent WORM Archival System	Guido Russo, Stefano Russo and Benôit Pirenne	Software-Practice and Experience	Vol. 25(5), May 1995, pp. 521-531
An Overview of Optical Disk Standards	D I Williams	Storage and Recording Systems, 5-7 April 1994, Conference publication No 402, © IEE 1994	pp. 134-136
Being There	Stephen Lawton	Inform	oct 91 pp 25-27
Blue-Green Laser Diodes	Akira Ishibashi		pp. 6-7
CD - Recordable. The Evolution Continues	John Harney	INFORM	Febr. 1995, pp 21-24
CD-R growing Pains	Hugh Bennet	CD-ROM Professional	April 1995, pp. 29-35
CD-ROM Professional's CD-Recordable Handbook - The Complete Guide to Practical Desktop CD Recording	Dana J. Parker and Robert A. Starret	ISBN 0-910965-18-8	Wilton, CT 1996
CD-R Media Incompatibility	Ash Pahwa	CD-ROM Professional	Feb 1995, pp 85-86
COM and COLD - The Stae Of The Art	Mason Grigsby	Inform	March 1995, pp. 24-25,68-78
Electronic Records: Too Ephemeral?	Lisa Weber	Inform	Febr. 1992?, pp 32-36
Ensuring the Longevity of Digital Documents	Jeff Rothenberg	Scientific American	Jan 95 pp 42-47
Hur bevara elektronisk dokument?	Mats G. Lindquist	Tidskrift för dokumentation	Volym 51, 1996 pp. 35-45
ICA Committee on Electronic Records, Second Meeting	John McDonald		Dec 1994
Implementing CD-R As A Digital Archival Medium	Kirti Vashee	Computer Technology Review	
is there a CD-R media problem?	Katherine Cochrane	CD-ROM Professional	February 1996

Titel	Författare	Tidskrift eller liknande	Nr
Joint Study in Digital Preservation - Report:Phase I	Anne R. Kenney and Lynne K. Personius	The Cornell/Xerox/ Commission on Preservation and Access	1992
KODAK Writable CD Media with INFOGUARD Protection System	Kodak		
Lifetime of Kodak Writable CD and Photo CD Media	Kodak	Kodak Memo 828-58	July 20, 1994
Managing Records in the Modern Office - The Experience of the National Archives of Canada	John McDonald	National Archives of Canada	October 1994
Measuring System for Optical Disk Mechanical Characteristics	Takashi Yoshizawa and Shigeji Hara	IEICE Trans. Electron.	Vol. E77-C, No. 10, October 1994
Microimaging at Theshhold of the 21st Century	Michael J. Iadarola	International Journal of Micrographics & Optical Technology	Vol. 13, No. 1, pp. 13-15, 1995
New Recordable Compact Disc with Inorganic Material, AgOx	Junji Tominaga, Susumu Hartani, Kenji Uchiyama ans Suguru Takayama	Jpm. J. Appl. Phys.	Vol. 31, pp. 2757-2759, Part 1, No. 9A, September 1992
One-Offs: Dyeing To Be Read	Tom Benford	CD-ROM Professional	Apr 1995, pp 76-78
Optical Disk Storage Is on a Roll	Tsuyoshi Asaeda	Photonics Spectra	August 1995, pp. 74-76
Optical Disk-Based Storage: Rewritable, WORM, CD-Recordable, or All Three?	Arsenio R. Batoy	Advanced Imaging	April 1994, pp. 63-64
Optical memory and blue lasers	Sai K. Renukunta and David H.Wells	IEEE Potentials	October/November 1994 pp 14-18
Optical realities, political illusions	Amanda Kirby	PACE	June ’95, pp. 34-38
Optical Storage: Technology and Applications	13th IEEE Symposium on Mass Storage Systems	Wilfried Lenth	Digest of Papers - IEEE Symposium 1994, p. 20
Out With The Old, In With The New - Why CD-ROM May Have A New Standard	Frederick P. Meyer	CD-ROM Professional	sept 1992, pp 150-152

Titel	Författare	Tidskrift eller liknande	Nr
PD Optical Disk Format Combines Large Memory Capacity, Quicker CD Reading	Anon.	Journal of Electronic Engineering	Vol. 32, No. 341, May 95, p 32
Quadruple Density CD-ROM	Toshiaki Hioki	Optoelectronics - Devices and Technologies	Vol. 10, No. 3, pp. 381-392, September 1995
Recording Mechanism of Overcoated Metallized Dye Layers on Polycarbonate Substrates	A. H. M. Holtslag, E. F. McCord and G.H. Werumeus Buning	Jpn. J. Appl. Phys.	Vol 31 (1992) pp 484-493
Rewritable Optical Closes In on CD-ROM	Mark Ferelli	Computer Technology Review	Vol. 14, No. 9, September 1994, pp. 34, 38
Signing Off CD-R One-Offs	Matthew R. Leek	CD-ROM Professional	April 1995
Stability and Durability of Kodak CD-Writable Media	Kodak		
Standardization of Testing Methods for Optical Disk Media Characteristics and Related Activities at NIST	F. L. Podio, R. Ornyshczak and E. S. Villagran	Optical Information Systems	July-August 1990, pp 175-178
The Chemistry of Optical Disk Materials	Henry and Elizabeth Urrows	Optical Information Systems	Sept.-Oct. 1988, pp 202-215
The Gold Standard	Dana J. Parker	CD-ROM Professional	pp 69-71
The Optical Storage Alternative	Anna M. Long		pp. 1185-1194
Unconventional Wisdom: CD Imaging for Archival Storage	John Batterton	International Journal of Micrographics & Optical Technology	Vol. 12, No. 4, pp 161-167, 1994
Undersökning av CD-skivors beständighet	Caj Södergård, Jari Martovaara och Jouko Virtanen	Rapport från VTT Kemisk teknik Datateknik	1.11.1995
Vidoedisk and compact disk techologies: an overview	Jane Williams	Information Technology	
Will a Good Disc Last Forever?	Matthew Leek	CD-ROM Professional	November 1995, pp. 102-110
Will Holograms Tame the Data Glut	James Glanz	Science	Vol. 265, August 1994, pp. 736-737

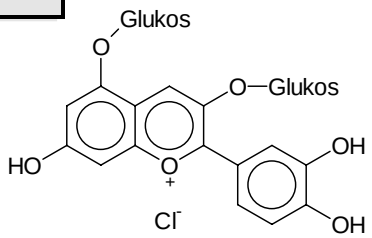
Titel	**Författare**	**Tidskrift eller liknan-de**	**Nr**
Översikt över digitala optiska skivor och skiv-system med inriktning på teknisk livslängd och standardisering	Karl-Magnus Drake	Riksarkivet, Rapport 1994:1	

Definitioner och ordförklaringar

BER	Byte error rate	Antalet felaktiga bytes. Har använts som mått på skivors kvalitet vid utvärdering av livslängd.
BIT (b)	BInary digiT	”0” eller ”1”.
BLER	Block error rate	De ”råa” digitala felen före korrigering. BLER mäts som summan av alla korrektioner som utförs i C1-dekodern, som lokaliserar och korrigerar upp till två bytes i ett CD-block. BLER är korrigerbara slumpmässiga fel och innebär inte informationsförlust.
BLERmax		Maximala tillåtna antalet BLER på en skiva. Industristandarden är 220/sekund. En skiva av hög kvalitet har < 10 fel/sekund.
Block		Data är ordnade i block som innehåller rubriker, data, feldetektering, felkorrigering, kontrollinformation m. m.
BRST	Burst error	En koncentrerad grupp av saknade data, orsakad t. ex. av en dammpartikel eller en repa.
Buffer un-derrun		Datorn hinner inte överföra data i tillräcklig hastighet till CD-R vid inspelningen.
Byte (B)		En grupp av bits som utgör en lagringsenhet. Vanligast i dag är åtta bits som representerar ett alfanumeriskt tecken.
CD	Compact Disc	Skiva med 120 mm diameter med substrat av polykarbonat, ett reflekterande metallskikt och ett skyddsskikt av lack.
CD-R	Compact Disc-Record-able	CD-R som har ett skikt av ett organiskt färgämne mellan substrat och metallskikt. Termen används såväl för tekniken som för utrustning, mjukvara och medium.
CIRC	Cross-Interleaved Reed-Solomon Code	System för felkorrigering.
CLV	Constant linear velocity	Skivan avläses med konstant hastighet längs spåret. Skivan roterar med olika hastighet beroende på var laserstrålen läser.
Cross-talk		Mått på störning från närliggande spår på CDn. Ökar då spåren packas tätare.

Cyanin		Färgämne som används för lagring av data på CD-R.
DVD	Digital VideoDisc	De nya skivorna som rymmer 8,5 GB.
E32		Totala antalet block som innehåller tre felaktiga tecken/sekund. Normalt icke-korrigeringsbara fel.
ECC	error correction code	Regler för konstruktion av kod som möjliggör återskapande av hela eller delar av budskap som innehåller fel.
EDC	error detection code	Kod som upptäcker fel i följden av data.
Ftalocyanin	(eng. phthalocyanine)	Färgämne som används för lagring av data på CD-R.
Gigabyte (GB)		1 073 741 824 bytes. Motsvarar ca 395 000 textsidor.
Jitter		Ett mått på överensstämmelse i tid mellan avläsningen av övergången mellan gropar och slätter och ett idealvärde, ”fönster”
LE	Life Expectancy	Förväntad livslängd. Uttrycks ofta som sannolikheten i procent för att en vissa andel av likadana skivor skall ”hålla” i ett visst antal år.
Lead in		Början av skivan, som innehåller TOC.
Megabyte (MB)		1 048 576 bytes, motsvarar ca 365 sidor text. Ryms på en HD-diskett.
Multisession		Data är inskrivna vid flera tillfällen på skivan.
Orange Book Part II		Specifikationen för skrivbara CD-skivor.
Pits och lands		En CD-ROM har släta områden med gropar i. Färgämnesskiktet på en CD-R har inga eller mycket små fysiska deformationer som lasern tolkar som gropar. Märken är en mer korrekt beskrivning eftersom det kan vara enbart en färgändring.

Grönt eller guld?



Cyaninklorid

För att det skall vara möjligt att lagra information på en CD-R måste det finnas ett ljuskänsligt material. Två typer av färgämnen dominerar på marknaden, cyanin och ftalocyanin. De har olika färg. Cyanin är blått/blågrönt och ftalocyanin ljust gulgrönt. Tillsammans med guldskiktet ger de skivornas mycket karakteristiska färger, grön- respektive guldglänsande.

Fyra typer av metaller är lämpade som reflektorer, guld, silver, koppar och aluminium. Guld är den vanligaste metallen idag. Det låter dyrt och exklusivt med ett lager av guld på skivorna. I själva verket är guldskiktet mycket tunt och färgämnesskiktet är den dyraste beståndsdelen.

Trots att färgämnenas namn är lika rör det sig om två olika typer av kemiska ämnen. Cyanin i sig är mycket ljuskänsligt och en ganska kortvarig ljusexponering räcker för att bryta ned det och därmed göra det obrukbart för sitt ändamål. Genom att modifiera färgämnet har man dock åstadkommit en substans som har god beständighet mot ljus (s k metallstabiliserad cyanin).

Det finns mycket tyckande och många felaktiga uppfattningar om dessa färgämnen. De gröna skivorna har uppfattats som bättre eftersom kontrasten är högre. Visst syns de bättre för ögat men lasern ”ser” bara ljus av våglängder runt 780 nm. Ur den synpunkten saknar färgen betydelse.

Färgämnet får inte vara alltför stabilt så att det inte påverkas av ljus från lasern vid inspelningen. Samtidigt skall det ha tillräcklig beständighet så att det tål ljus vid avläsning av skivan med samma laser (med lägre intensitet). Det skall också tåla dagsljus.

Det har tidigare funnits ett begränsat antal tillverkare av CD-R skivor:

Gröna skivor (cyanin)	Guldskivor (ftalocyanin)
Taiyo Yuden	Mitsui Toatsu Chemicals (MTC)
Ricoh	Eastman Kodak Company
TDK	
Mitsubishi	

Andra företag säljer dessa skivor under eget namn.

Utöver dessa välkända tillverkare finns det nu skivor som säljs utan uppgift om tillverkare/leverantör.

Det finns alltså flera tillverkare av de båda skivtyperna men färgämnet inom respektive grupp behöver inte vara identiskt. Tillverkarna experimenterar ständigt med nya färgämnesskikt, bl. a. för att förbättra beständigheten. Det som gäller för ett fabrikat behöver alltså inte vara allmängiltigt. Till och med olika batcher kan, trots strikt kontroll vid tillverkningen, ha olika egenskaper.

Skillnader i färgämnets ljusabsorption kan användas för att ta reda på vem som har tillverkat skivan om man har tillgång till andra skivor att jämföra med.

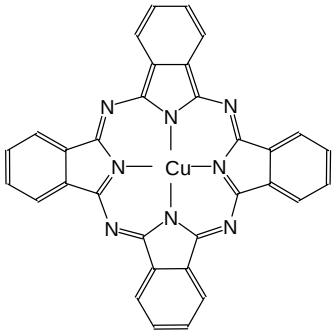
Utöver de gröna skivorna och guldskivorna finns ytterligare två typer. Mörkblå skivor har ett cyaninbaserat färgämne (metalliserat azofärgämne) med silverskikt i stället för guld. Dessa ganska nya skivor, som tillverkas av Verbatim, uppges ha mycket låga BLER-värden. De har ett ytskikt som skyddar mot repor och sägs vara mer tåliga mot ljus. Någon jämförelse med livslängden hos skivor med cyanin- och ftalocyaninfärgämnen finns ännu inte publicerad.

Nyligen har en skiva med platinaskikt i stället för guld lanserats.

Det är en viss skillnad i beständighet mellan cyanin och ftalocyanin. Varje tillverkare har naturligtvis goda argument för sitt val av färgämne. TDK, som använder metallstabiliserad cyanin, anger att ftalocyanin är något stabilare och att tillverkare av skivor med ftalocyanin därför kan ange livstider på 100 år i stället för de 70 som anges av TDK. Detta speglar nog den allmänna uppfattningen om färgämnenas beständighet.

Varför används då cyanin av så många tillverkare? Enligt TDK beror detta på att cyanin är mycket mer tolerant mot variationer i laserns effekt. Ftalocyanin är känsligt för lasereffekt så att det acceptabla intervallet är mindre, 5 ± 0,5 mW, än för cyanin, 6 ± 1,0 mW[1]. Utanför dessa gränser ökar antalet BLER dramatiskt. Det kan tilläggas att specifikationerna i Orange Book baserades på de tidiga ”gröna” cyaninbaserade skivorna från Taiyo Yuden. Det anses vara ”lättare” att läsa gröna skivor i läsare med olika lasereffekt och läshastighet.

Om laserns uteffekt är exakt och om laserdioderna inte åldrades så att uteffekten ändras med tiden skulle detta inte vara något problem och ftalocyaninskivorna vara att föredra. I verkligheten är det inte ovanligt att nya CD-brännare ger en effekt som ligger utanför den som tillverkaren specificerar. Dessutom skall man inte förvänta sig att samma uteffekt gäller över hela skivans yta eller vid olika temperaturer.



Koppar-ftalocyanin

[1] Det förekommer litet olika sifferuppgifter om de korrekta intervallen. Generellt är att cyaninskivorna tål större avvikelser än ftalocyaninskivorna.

Lasern

Tillgång till laser är en av grunderna för utvecklingen av optisk lagring. En laser avger ljus av en enda våglängd. Det går att åstadkomma en mycket koncentrerad ljusstråle av hög intensitet. Lasrar finns med olika våglängd på ljuset. Man talar om laser med olika färger. Ju kortare våglängd desto tätare kan man komprimera data. Utvecklingen går naturligtvis mot högre tätpackning.

Ordet laser är en förkortning av Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Allt ljus som kommer från en laser har samma våglängd = samma färg och det är det som gör det möjligt att åstadkomma en mycket stark och mycket koncentrerad ljusstråle. Just möjligheten att skapa en mycket smal ljusstråle är en av de grundläggande förutsättningarna för att det skall gå att tätpacka information på det sätt som görs på optiska skivor.

De lasrar som har använts hittills i skivspelare för CD-ROM och CD-R har våglängder mellan 775 och 795 nm (1 nm är en miljontedels millimeter) och ljuset är osynligt för ögat. De kallas för röda lasrar (ibland infraröd laser) eftersom våglängden ligger i det infraröda området av ljusets spektrum.

Även om laserstrålen är mycket smal har den ändå en viss utbredning. Ljus är ju en ”vågrörelse” och naturen själv sätter gränser för hur smal ljusstrålen kan bli. Ju kortare våglängd desto smalare blir strålen.

Varför valde man runt 780 nm från början? Hade det varit bättre med en kortare våglängd? Det var troligen en prisfråga.

Den blå lasern med mycket kortare våglängd, 650 alternativt 635 nm, används för den nya generationen CD-skivor med större lagringskapacitet.

Vid inspelning kalibreras lasern mot skivan så att dess effekt är korrekt för den aktuella skivan och ger rätt storlek på märkena i färgämnesskiktet. På motsvarande sätt justeras lasereffekten vid läsning mot den inspelade informationen. Det är inte alltid detta fungerar med önskvärt resultat.

Lasern åldras så att effekten sjunker med tiden.

”The nice thing about standards is that there’s so many to choose from…”

(A.S.Tannenbaum)

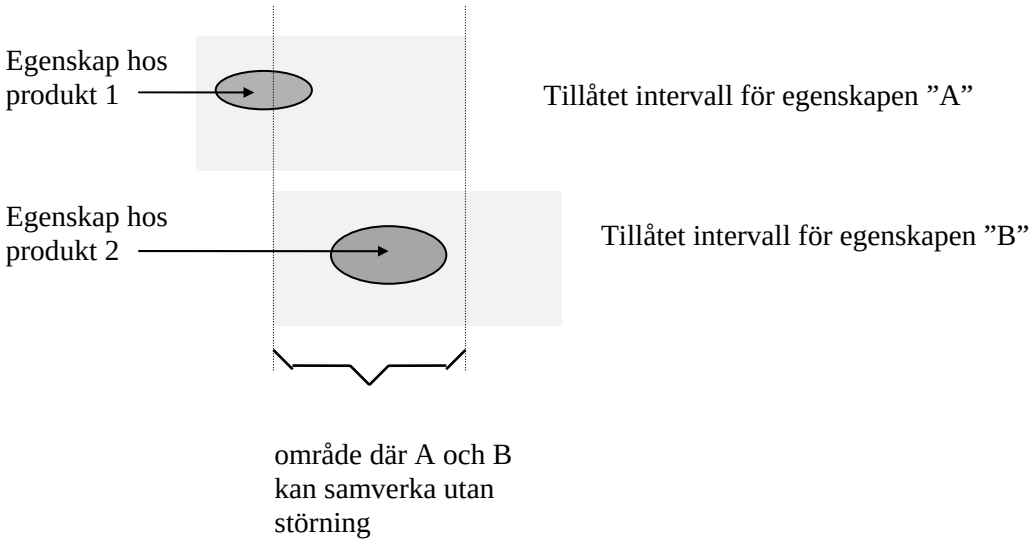
Standarder

Standardens roll

Alla pratar om standardiserade format, utrustningar o s v men vad har vi för nytta av det? Jo, en mycket viktig sak - om standarden tillämpas tillräckligt generellt får vi som användare en större valfrihet eftersom produkter från olika tillverkare är kompatibla.

När CD-R kom fanns det redan användbara spelare ute hos användarna eftersom CD-R kan utnyttja samma spelare som CD-ROM. CD-R var dessutom standardiserad på så sätt att den är en vidareutveckling av CD-ROM.

Nu är det inte så perfekt som det kan låta. Egenskaperna hos en viss produkt varierar mer eller mindre mellan olika exemplar. Standarder anger specifikationer för ett antal viktiga egenskaper i form av intervall, som minimivärden eller maximivärden. Det finns alltså ett visst spelrum, som ibland kan vara så stort att man kan ifrågasätta om det är meningsfullt att över huvud taget ange något värde.



Detta är det mindre problemet. Ganska snart visar det sig ju om två delar i ett system inte passar ihop och då kan man välja en annan kombination. Det större problemet med standardisering är ju att det kommer nya produkter och nya system som fordrar speciell behandling. Standarder ändras alltså när nya produkter utvecklas.

Olika typer av standarder

Det finns många olika slag av standarder:

- företagsstandarder

- branschstandarder

- nationella standarder

- internationella standarder

Vilket är bäst? Det går inte ge ett generellt svar. Det finns många som tycker att standardiseringen inom datavärlden var idealisk då IBM stod för alla regler. För ljud-CD skapades ett standardiserat format genom en överenskommelse mellan Philips och Sony. Om man hade avvaktat med att skapa en gemensam bas för CD-skivor av olika fabrikat hade vi kanske fått leva med många olika system och varit tvungna att ha flera skivspelare.

Ju fler parter som skall komma överens desto fler variationsmöjligheter brukar finnas inom standardens ram.

Internationella standarder

Från tillverkare framförs ofta att standarder är till hinder för utvecklingen och att man helst ser att standarder är så generellt formulerade att man har möjlighet att utveckla den produktvariant man själv önskar.

Den användare som vill att två delar skall passa ihop vill ju tvärtom att standarden skall ange så små toleranser som möjligt för att det inte skall uppstå problem när en för liten mutter skall skruvas på den för stora gängan.

Internationell standardisering löser alla sådana problem - eller???

Finns det standarder för optiska skivor? Ja, många, och dom är nog ganska bra. Det finns en väl utvecklad hierarki av standarder som täcker fysiskt format, filstruktur, spelare o. s. v.

Det har kommit några internationella standarder för optiska skivor:

- ISO 9660 för CD-ROM, logiskt format
- ISO 10149 för fysiskt format, feldetektering/felkorrigering m m
- ISO 13963 för 230MB 3,5 ” omskrivbar
- DIS 15041 för 640MB 3,5” omskrivbar
- ISO 13549 för 1,3GB 5,25” omskrivbar och WORM
- ISO/IEC 13490 för CD-R, möjlighet att lägga till information på inspelad skiva (multi-session)
- ISO/IEC DIS 14517 för 2,6GB 5,25” omskrivbar och WORM

(DIS är ett standardförslag som ännu inte är fastställt)

De färgade böckerna

Enbart ISO-standarderna räcker inte för att specificera egenskaperna hos optiska skivor och det var inte de som kom först. Grunderna för utvecklingen av CD-skivor finns i ett antal specifikationer som tagits fram av tillverkare. Eftersom amerikanska företag varit inblandade har dessa specifikationer fått något underliga namn, i detta fall efter färgen på böckernas omslag.

För CD finns ett antal specifikationer utanför officiell standardisering, Red Book, Orange Book, Yellow Book o. s. v. De har utvecklats från företagsstandard till branschstandard och har i praktiken samma status som ISO-standarder.

Red Book	fysiskt format för ljud-CD
Yellow Book	fysiskt format för data-CD
Green Book	fysiskt format för CD-i
Orange Book	fysiskt format för CD-Recordable (CD-R)
	Part I: CD Magneto-Optical (CD-MO)
	Part II: CD-Write-Once (CD-WO)
	Part III: inspelning på CD-E (CD-RW)
White Book	dataformat för VideoCD
Blue Book	CD+, CD Extra för interaktiva CD

Red Book kom först. Den kom till efter en överenskommelse mellan Sony och Philips och behandlar ljud-CD. Den definierar inspelningsformatet så att CD-spelare kan spela skivan och egenskaper hos spelaren för korrekt spelning. Den röda boken kan sägas vara grunden för CD-skivornas genomslag när det gällde att ersätta tidigare grammofonskivor. Att det blev så lyckat beror i hög grad på att tekniken var ny och att man inte behövde ta hänsyn till tidigare teknik.

De första CD-ROM tillverkarna använde patenterade mjukvaror och drivenheter och det fanns fem olika och inkompatibla filstrukturer. Så småningom enades man om en standard, ISO 9660. Tyvärr var den inte av samma goda klass som Red Book för ljud-CD eftersom den gav möjlighet att tyda specifikationerna på olika sätt. Det är ju enormt mycket mer komplicerat att ta fram en standard för digital lagring av data och bilder än för ljud.

Många problem löstes efter hand när det gäller standarder för CD-ROM. Med introduktionen av CD-R kom nya problem. ISO 9660 var snarare ett hinder än en hjälp för utvecklingen av CD-R.

Orange Book, också ett resultat av överenskommelse mellan Sony och Philips, är en specifikation för skrivbara medier och definierar standarder som skivorna måste följa men anger inte hur skivorna skall tillverkas. Varje tillverkare använder olika, ofta patenterade processer. Det är skillnader mellan hur väl olika skivmärken fungerar vid inspelning i olika tillverkares utrustningar. Det inträffar ofta att en skiva fungerar bra i en viss inspelningsutrustning men inte i en annan. ”All writers are not created equal” konstaterar ett amerikanskt institut, med en lätt travesti på Orwells Djurfarmen, och fortsätter med att vissa är bättre att spela in på än andra.

Orange Book definierar CD-R-mediet och därför delvis också hårdvaran som behövs för inspelning. Yellow Book anger de specifikationer som måste följas för att tillverka drivenheter för att CD-ROM skall kunna läsas. Båda dessa ”böcker” ger dock möjligheter till olika tolkningar när det gäller hur inspelning och avläsning skall gå till. Den gula boken säger inget om datastrukturen.

Standarder för CD anger krav som uttrycks som intervall, inte som absolutvärden. Olika inspelningsenheter använder lasrar med olika intensitet (inom det standardiserade intervallet) och det ger upphov till olikheter i de spår som bildas i skivorna från olika tillverkare och som kanske skiljer sig åt både beträffande det ljuskänsliga skiktets tjocklek och känslighet och geometrin hos det spår där ”1” och ”0” läggs in.

Ingen av de färgade böckerna handlar om spelare för CD-R. Många CD-ROM spelare är i överensstämmelse med specifikationerna i Red och Yellow Book men inte med Orange Book. Det kan vara detta som ställer till många av problemen med CD-R.

Branschstandarder

Även om de färgade böckerna har styrt utvecklingen av CD-tekniken är de inte verkliga branschstandarder. Sony och Philips äger många grundläggande patent och andra tillverkare måste betala avgifter för varje tillverkad skiva och utrustning.

I samband med utvecklingen av skrivbara DVD-skivor med större lagringskapacitet har olika grupper av tillverkare strävat åt olika håll. Det fanns fara för att konsumenterna skulle hamna i samma situation som gällde på videomarknaden under 1970- och 1980-talen då olika system tävlade med varandra.

OSTA, Optical Storage Technology Association, är en branschorganisation med säte i USA, som har tagit fram en specifikation för läsare som skall tillgodose bakåtkompatibilitet för alla typer av läsare, inklusive CD och DVD. Denna s. k. MultiRead specifikation anger egenskaper för att tillgodose att alla läsare skall kunna läsa ljud-CD, CD-ROM, CD-R och CD-RW. Dessutom skall DVD-ROM läsare kunna läsa CD-R. Läsare som uppfyller specifikationen får förses med märket ”MultiRead”.

ECMA, European Computer Manufacturers Association, är en sammanslutning av europeiska tillverkare som också utger standarder.

Förvaring

Människan är förmodligen det största och alldeles säkert det mest oförutsägbara hotet mot CD-skivornas beständighet.

När de första optiska skivorna kom för ca 20 år sedan presenterades de som under av tålighet. Det fanns inga krav på speciell förvaring - snarare tvärtom! Man kunde trampa på skivorna eller använda dem som underlägg för kaffekoppen. I dag har man en helt annan syn på hantering och förvaring.

Det finns ännu ingen allmänt accepterad standard som behandlar förvaring av CD-skivor. De mycket vida gränser, som anges av vissa tillverkare, t. ex. -5 - +60 °C och 10 - 80 % relativ luftfuktighet, har inget med god förvaringsmiljö att göra.

Rekommendationer

Förvara svalt, torrt, mörkt och rent!

För CD-skivor gäller i princip samma rekommendationer som för de flesta andra informationsbärare:

- ju svalare desto bättre
- ju torrare desto bättre

eftersom förändringar sker långsammare vid lägre temperatur och lägre fuktighet.

Det finns en rekommendation att man bör förvara skivorna vid 5 °C och 25 % relativ luftfuktighet om man vill spara dem så länge som möjligt. Sådana förhållanden är inte helt fria från problem. Om skivan flyttas direkt från 5 °C till ett varmare rum kondenserar vattnet i luften på skivan. Det måste undvikas. Förvaring vid något högre temperatur, ca 18 °C, är enklare att åstadkomma och att hantera. Att förvara i frys är varken nödvändigt eller praktiskt.

Vid låg luftfuktighet kan man få problem med damm. Arbetsexemplar av skivor bör därför inte förvaras alltför torrt. Arkivexemplaren, som förhoppningsvis förvaras i ett rent arkiv och hanteras med större omsorg, kan förvaras vid låg luftfuktighet.

Det viktigaste är att hålla jämn temperatur och jämn luftfuktighet. Variationer medför dimensionsändringar och eftersom materialen som bygger upp en skiva reagerar olika på ändringar kan variationer medföra att skivan blir skev eller, i värsta fall, att det uppstår defekter i kontakten mellan skikten. Därför kan det bästa vara att förvara skivor, som används aktivt, vid en temperatur som ligger nära den temperatur där de skall användas (men absolut inte över ca 40 °C).

Lämplig förvaring bör vara

- 15 - 20 °C med maximal dygnsvariation 2 %
- 30 - 50 % relativ luftfuktighet med maximal dygnsvariation 5 %

Om skivan förvarats vid lägre temperatur än den där den skall användas måste man se till att det inte uppstår kondens på skivan. Det enklaste sättet att undvika kondens är att lägga in skivan i en plastpåse (fryspåse) och försluta påsen. Detta gör man i arkivet. Skivan får sedan ligga i påsen i den lokal där skivan skall användas tills den har ungefär samma temperatur som omgivningen.

Förvara i mikrofilmarkivet?

CD-skivor kan förvaras vid samma temperatur som mikrofilm, d. v. s. ca 12 ± 2 °C eller som magnetiska databärare, ca 15 ± 2 °C band och vid samma luftfuktighet, 30 ± 5 %.

Kan man lägga skivorna i mikrofilmarkivet? Det beror ju på hur strikt man vill följa regeln att inte förvara ”främmande material” i filmarkivet. Om man inte vill ha skiva + ask, som ju är tillverkade av andra material än filmen, i samma lokal kan man arkivera skivorna i magnetbandsarkivet.

Hur hög temperatur tål en CD-skiva?

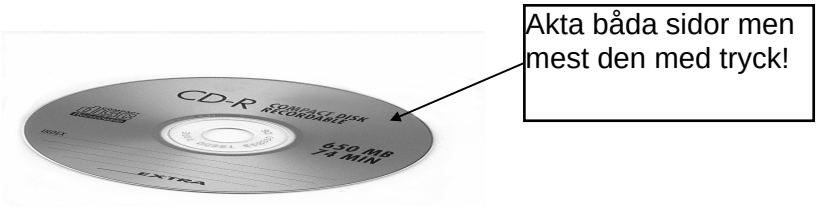
En varm sommardag när solen lyser på en skiva blir temperaturen så hög att skivan vrider sig. Om skivan deformeras permanent kan den vara svår eller omöjlig att läsa eftersom lasern är mycket känslig för avvikelser från det normala i avståndet till spåret på skivan. Upphettning vid brand ger samma effekt.

Hur hög temperatur är säker? Det kan nog variera mellan fabrikat av skiva och förvaringsask. En god regel kan vara att ha samma krav på temperaturskydd som för disketter och andra magnetiska material, d. v. s. högst 55 °C.

Handhavande

Lagra mörkt och i det hårda fodralet! Det finns uppgifter från användare som anger att antalet fel går upp som en raket om man lämnar en skiva med den blanka sidan upp i solen en eftermiddag(!). Lasern, som ju också är en ljuskälla, har låg ljusstyrka vid avläsningen och skadar inte skivan.

Hantera varsamt! Fatta skivan om ytterkanten (det är inte så lätt, visst blir det fingeravtryck på skivan). Kom ihåg att CD-skivans känsligaste sida är den med tryck, inte den blanka. En repa genom lacken på den tryckta sidan är en katastrof. Den blanka sidan är mycket starkare och tål mera men man skall naturligtvis vara rädd om hela skivan och se till att den skyddas från ovarsam behandling.



Böj inte skivan mer än 5 - 10°! Skivan sitter ofta fast ordentligt i hållaren och det är svårt att undvika att skivan böjs när man tar ut den från asken. Böjs skivan alltför mycket kan skikten spricka eller, i värsta fall, hela skivan ”explodera” i små vassa bitar.

Om skivan är dammig kan man torka av den försiktigt, t. ex. med linspapper. Torka från centrum mot kanten, inte runt i spårets riktning. Använd inte lösningsmedel. Oinspelade skivor skall hanteras extra försiktigt för att undvika att damm och annan smuts stör ljusstrålen vid inspelningen. Om skivan är skadad på något sätt - kasta den!

Lagra skivorna upprätt, inte i horisontell position.

Behöver man inspektera arkiverade skivor regelbundet? Ja, de rekommendationer som finns för mikrofilm bör följas.

Magnetfält påverkar inte CD-ROM, CD-R och WORM.

Varningar för lufttryck som avviker från det normala har förekommit tillsammans med rekommendationer om tillåtet under- och övertryck. Skälet till att detta diskuterats är troligen att de ”bubblor” som finns på vissa typer av WORM skulle kunna brista vid för högt eller för lågt yttre tryck. Avvikande lufttryck innebär ingen fara för CD-R.

Om det värsta har hänt…

Man kan behöva rengöra den blanka sidan. Däremot bör man undvika att göra något åt den sida som är försedd med tryck.

Vattenskada, rent vatten
- spola med rumstempererat destillerat vatten
- låt torka i rumsklimat eller använd luftavfuktare
- var mycket försiktig vid eventuell avtorkning.

Vattenskada, smutsigt vatten
- använd vatten med flytande tvättmedel vid rumstemperatur
- undvik att gnida skivan
- skölj med destillerat vatten
- låt torka i rumsklimat eller använd luftavfuktare

Havsvatten
- bada i kranvatten
- skölj med destillerat vatten och torka

Brand, upphettning
- en något skev skiva kan ändå gå att spela
- det går nog inte att göra något åt en mycket skev skiva

Rök, sot, damm och smuts
- dammsug eller borsta bort stora partiklar från skivans yta. Undvik att skrapa ytan!
- torka bort återstående damm eller sot med en duk fuktad med destillerat vatten. Borsta eller torka alltid från centrum ut mot kanten

Mögel och svamp
- dammsug
- borsta

Stötar
- en trasig skiva kan inte lagas

Tjuvar och vandaler

- använd den back-up som naturligtvis finns och som är sista utvägen i alla de fall som beskrivits ovan!

Repor

Det påstås att repade skivor kan putsas med tandkräm. Det gäller naturligtvis den blanka sidan och det är troligt att man inte rekommenderar tandborste.

Även om det ser ut som om en skada är reparerad är skivan defekt. Laserns ser skivan på ett annat sätt än det mänskliga ögat och känner av att man har putsat bort material så att skivan blivit tunnare. Olika tjocklek på skivans blanka del kan göra det svårt för lasern att fokusera rätt.

Man skall inte försöka laga repor genom att fylla i med lack eller lim. Det främmande materialet bryter ljuset från lasern på ett annat sätt än materialet i skivan och felet kan bli ännu värre än det var. Det går ju att läsa skivor med måttliga repor.

Skadade skivor

Om det går att läsa en skadad skiva bör man kopiera den och använda kopian som arkivexemplar. Nästa skada kan göra att skivan inte är läslig.

Märkning

Märkning av skivan kan låta som ett trivialt problem vid jämförelse med den komplicerade teknik som ligger bakom tillverkning och inspelning av en skiva. Ändå är märkning något som diskuteras mycket och det finns många olika tillbehör och tekniker för att märka.

Den CD-R man spelar in själv är helt anonym och måste märkas. Det är inte tillräckligt att märka omslaget eftersom det inte finns något som säger att skiva och omslag hör ihop.

Märkningen måste göras på den sida som inte är blank, d v s på den sida som är mest ömtålig för mekaniska skador. Man skriver naturligtvis inte på skyddslacken med en kulpenna eller med någon annan penna med en spets som kan ge fysiska skador på ytskiktet. Ett punkterat ytskikt är ju ödesdigert för informationen.

Skivor kan märkas på många olika sätt, t. ex.

- filtspetspenna
- självhäftande etikett
- bläckstråleskrivare
- silkscreentryckning
- torroffset
- skrivare för termoöverföring

För några av märkningsmetoderna behöver man exklusiva utrustningar till så hög kostnad att de måste anses vara avsedda enbart för kommersiellt bruk, men några av alternativen kan vara intressanta för en begränsad användning.

Vissa tillverkare har skivor med olika lackskikt som är avsedda för olika typer av märkning.

Filtspetspennor

Detta är pennor som vi brukar benämna spritpennor. Det är just det vi skall undvika! Erfarenheten har visat att det spritbaserade bläcket hos vissa typer av filtspetspennor kan tränga in genom skyddslacken till det underliggande guldlagret och förstöra den inspelade informationen. Slutsatsen är antingen att bläcket måste vara vattenbaserat eller att man bara kan märka inne i centrum av skivan där det inte finns någon information, d. v. s. inom 10 mm från skivans centrum.

Med en filtspetspenna kan man märka utan att trycka mot skivan. Bläcket måste naturligtvis vara sådant att skriften är beständig och inte smetas ut om man råkar ta på den.

En varning - det är inte säkert att alla filtspetspennor med vattenbaserat bläck är bra!

Självhäftande etiketter

Att sätta på en etikett på rätt sätt och precis där man vill ha den är inte alltid så lätt men det finns hjälpmedel, mallar och riggar, som underlättar när etiketten skall anbringas. Etiketten hamnar rätt, utan veck och luftbubblor, och trycks fast med jämnt och lagom tryck.

Det finns olika åsikter om det lämpliga i att använda etiketter på skivorna. Den värme som genereras när skivan snurrar i skivspelaren kan medföra att etikettens vidhäftning till skivan försämras. Det finns varningar för att etiketter kan lossna i hörnen och komma i kontakt med drivmekanismen i spelaren så att den skadas.

Om etiketten hamnar fel och man drar loss den riskerar man att skivan skadas så att guld- och färgämnesskikten separeras. Också delaminering av mycket små delar av etiketten, eller om man försöker ta bort en skadad etikett, kan orsaka bestående skador på skivans skyddsskikt. Det finns kommersiellt tillgängliga hjälpmedel för att placera etiketten på rätt sätt.

Eftersom problemet är väl känt finns det naturligtvis tillverkare som tagit fram etiketter med ”unika egenskaper” som sägs tåla den värme som uppstår i en spelare. En tillverkare anger att deras etiketter har ett häftämne som är specifikt framtaget för att undvika reaktion med skivans ytskikt. Häftämne i självhäftande etiketter har ofta en sammansättning som gör att komponenter i häftämnet tränger in i den yta där etiketten är applicerad. Uppvärmningen i spelaren kan göra att häftämnet mjuknar och ännu lättare kan tränga in i och förstöra ytskiktet. Det är naturligtvis detta som är det allra viktigaste att undvika.

En etikett i form av en halvmåne som placeras på skivan gör ju att skivans vikt inte är jämnt fördelad. Detta kan tänkas inverka på balansen när skivan snurrar i spelaren, speciellt vid höga hastigheter. Därför rekommenderar många att man inte skall använda etiketter som inte täcker skivan symmetriskt (två symmetriskt placerade halvmånformade etiketter eller en heltäckande).

Imation/3M rekommenderar att man <u>inte</u> använder självhäftande etiketter. Andra tillverkare säljer till och med avtagbara etiketter (för skiva med ”speciellt” ytskikt).

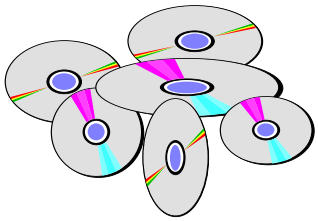
Bläckstråleskrivare direkt på skivan

Alla typer av ytskikt är inte lämpade för att skriva på direkt men med rätt lack går det att framställa skrift med skrivare av typen bläckstråleskrivare. Det finns enkla utrustningar för enbart en färg (det går att byta patron och skriva flera gånger) och avancerade utrustningar för framställning av tryck i professionell utformning.

Termotransfer

Etiketter kan förses med barkoder, serienummer m m. En tillverkare anger att systemet kontrollerar temperatur och tryck noggrant så att skivorna inte skadas och så att BLER inte ökar. Man försäkrar också att märkningen är beständig.

En tänkvärd historia



I en artikel i Scientific American (jan 1995) berättar Jeff Rothenberg[1] en saga om framtiden. Han berättar om när hans barnbarn år 2045 hittar en CD på vinden och ett brev som säger att skivan innehåller nyckeln till hans förmögenhet. Barnbarnen har aldrig sett en CD - utom på gamla filmer. Tack vare brevet inser dom att skivan är något som kan vara värt att försöka tyda. Vad skall dom göra?

Barnbarnen i historien om CD på vinden år 2045 kunde läsa det 50 år gamla brevet men nyckeln till farfars hemligheter på skivan var borta. För att läsa skivan behöver barnbarnen

- någon form av pickup med laseroptik
- en drivenhet, en skivspelare
- en metod för att uppfatta strömmen av signaler som reflekteras från skivan

När dom klarat av detta, och det borde inte vara alltför svårt, har dom fått ut en serie av ”1” och ”0”, som utgör basen för den information som dom vill komma åt. Det är nu det svåra börjar.

En ström av ”bits” kan representera vad som helst, t ex en följd av alfabetiska tecken eller en bild. En bestämd längd av en sekvens, en byte, kan vara koden för en viss bokstav, för ett tal eller för något annat.

För att tyda en bitström måste finnas nycklar - och nyckel för nästa nivå - och nästa.

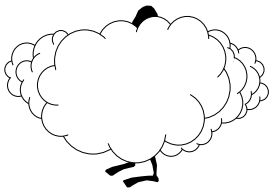
Barnbarnen kanske klarar detta, åtminstone så att de kan läsa texten. Om det finns en karta på skivan blir det besvärligare och risken finns att de inte hittar farfars förmögenhet trots sina ansträngningar.

Farfar borde ha lagrat all nödvändig mjukvara på skivan och skrivit fullständiga och lättolkade specifikationer av mjuk- och hårdvara i brevet.

Någonstans måste det finnas information som är direkt läsbar för människan.

Ändå har barnen tur som har fått en CD att tolka. Hade farfar använt ett magnetband hade de nog inte haft en chans att få fram några ettor och nollor eftersom bandet troligen hade klibbat ihop och inte gått att sära.

När farfar ändå skrev brev kunde han väl ha berättat där var skatten fanns!

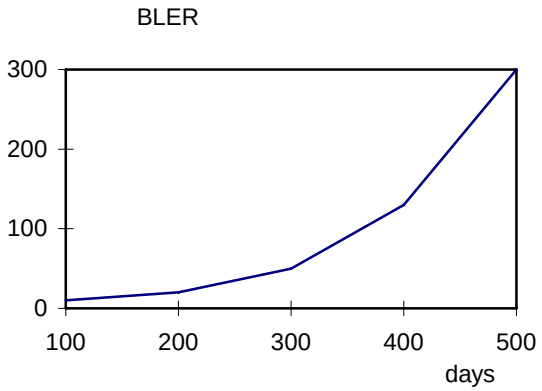


[1] Rothenberg är dataexpert och har vetenskaplig utbildning i artificiell intelligens.

Strategi vid utvärdering av livslängd

Majoriteten av utvärderingar av livslängd bygger på s k accelererad åldring, som ibland kallas konstgjord åldring, påskyndad åldring eller konstlad åldring.

Accelererad åldring kan, om den utförs med omsorg, ge resultat som sannolikt stämmer väl överens med verkligheten. Motsatsen kan också inträffa - resultat kan feltolkas så att beräknad livslängd inte har någon likhet med den verkliga.



Vid accelererad åldring utnyttjas det faktum att de flesta kemiska reaktioner går snabbare ju högre temperaturen är. Det finns emellertid fler parametrar än temperatur som måste beaktas. Luftfuktighetens inverkan liksom eventuella luftföroreningars bör undersökas vid utvärdering av livslängd.

Utöver materialets förändring med tiden finns yttre omständigheter som är minst lika viktiga som omgivningens inverkan. Förvaringsmiljön är av stor betydelse liksom hanteringen av skivan. En skiva som används ofta under sin livstid utsätts för större risker än den som används enstaka gånger. Ofta är det i samband med användning som de största riskerna finns.

Modell för livslängdsuppskattning

Alla åldringstester är baserade på modeller. Modellen kan användas för att förutsäga hastigheten hos en kemisk reaktion under vissa givna förhållanden. Vid accelererad åldring ökas hastigheten genom hög temperatur och tillsats av fukt. Beräkningar görs som förutsäger vad som skulle ha hänt under normala förhållanden, t. ex. i kontorsmiljö.

En livslängdsuppskattning baseras alltså på en uppsättning antaganden. Bara erfarenheten kan bekräfta eller motsäga dessa uppskattningar. Detta låter osäkert men detta är det enda hjälpmedel vi har för att hantera uppgiften att förutsäga livslängd. Det enda helt säkra sättet är att vänta och se.

Det är nödvändigt att använda temperaturer över de normala för att kunna genomföra undersökningen på rimlig tid, men temperaturen får inte vara så hög att skivorna påverkas på ett sätt som ger resultat som inte motsvarar det som händer i verkligheten. Detta är en kritisk fråga som inte alltid behandlas seriöst. Om det är olika mekanismer som styr ändringen vid försökstemperaturen och vid ”normala” förhållanden har förutsägelserna ingen relevans.

För att göra en livslängdsuppskattning måste man oftast göra vissa förenklingar och antaganden för att kunna prova och hantera resultaten från provningen på ett överkomligt sätt. Erhållna resultat skall kunna behandlas matematiskt och resultatet skall stämma överens med alla tidsberoende experimentella resultat för samtliga omgivningsförhållande. Det är inte självklart att alla erhållna data passar in i den matematiska modell man valt för utvärderingen.

För att praktiskt kunna genomföra en undersökning inom rimlig tid (storleksordning < 1 år) måste temperaturen vid provningen vara betydligt högre än den normala förvarings-

temperaturen. Inverkan av enbart temperaturen utvärderas genom att förvara material vid minst tre olika temperaturer, t ex vid 60, 70 och 80 °C och en viss luftfuktighet. Därutöver behöver man förvara material vid olika luftfuktighet vid dessa temperaturer. En någorlunda säker förutsägelse måste baseras på mätning av en (eller flera) egenskaper hos ett stort antal skivor.

Det praktiska arbetet tillgår så att alla skivor spelas in med samma information och den eller de egenskaper som skall användas för utvärderingen mäts. Därefter förvaras skivorna i klimatkammare eller motsvarande vid de förvaringsbetingelser som valts. Med vissa intervall plockas skivorna ut från klimatkammaren och egenskapen mäts. Om utvärderingen görs med hjälp av en ickeförstörande provning placeras skivorna på nytt i klimatkammaren o. s. v. Om provningen är sådan att skivan påverkas av provningen åtgår ett mycket större antal skivor eftersom de inte kan användas för fortsatt åldring men proceduren är annars densamma.

Många undersökningar baseras på resultat som erhållits vid accelererad åldring vid en enda temperatur. Sådana resultat kan inte användas vid utvärdering av livslängd om man inte känner materialets åldringsegenskaper ingående (så att man vet aktiveringsenergin).

Valet av egenskap som skall studeras kan vara av avgörande betydelse för resultatet vid beräkning av livslängd. Som exempel kan nämnas utvärdering av ett magnetband där den förväntade livslängden uppskattades till 30 år baserat på mätning av magnetiska egenskaper men där den verkliga livslängden kan vara 15 år eftersom bindemedlet inte är stabilt. Det är naturligtvis den svagaste länken som avgör hur länge materialet kan användas.

Egenskaper vid utvärdering

Det bästa kriteriet för ”end-of-life” vid utvärdering av livslängd borde vara informationsförlust. Tiden fram till det att en skiva inte längre kan läsas måste då bestämmas för ett mycket stort antal skivor. Det är mycket tidskrävande och opraktiskt att använda.

De allra flesta utvärderingar av livslängd hos optiska skivor baseras på ändringen med tiden av BLER eller någon liknande egenskap.

Det är inte säkert att hög BLER betyder att skivan inte går att läsa i alla skrivare. Motsatsen gäller också. BLER är ju framtaget i speciell testutrustning.

Före utvärderingen bestämmer man sig för vilket värde som skall användas som kriterium för att skivan är ”död”. Industristandarden är BLERmax = 220 men det finns utvärderingar av livslängd som bygger på ett lägre antal tillåtna fel. Ju hårdare krav desto kortare livslängder kommer att förutsägas.

Kriterier för ”end of life”

Livslängd är tiden från tillverkning fram till det att en av de viktiga parametrarna har försämrats till en nivå då skivan blir oanvändbar <u>eller</u> då en parameter som är mätbar har nått en nivå som man har bestämt på förhand.

Rapporterade värden på livslängder är inte användbara i sig. För jämförelse av olika uppgifter behöver man veta

- använd metod
- EOL-kriterier (EOL = end of life)
- statistisk signifikans hos erhållna resultat

- vilka omgivningsförhållanden som livslängden avser

Orange Book innehåller ingenting om accelererad åldring. BLERmax = 220 gäller för nya skivor.

Många tillverkare, men inte alla, använder ett lägre värde, BLERmax = 50, vid utvärdering genom accelererad åldring.

SIGCAT anger följande värden:

- BLER < 10
- inget E32
- inget ”Burst Error Greater than Limit”

Den amerikanska standarden ANSI/NAPM IT9.21 - 1996 anger BLER 220 som ett mått som kan användas vid uppskattning av livslängd.

Pålitlighet

När man utför en accelererad provning måste man ha i åtanke att det finns flera orsaker till att resultatet avviker från det som händer i verkliga livet:

- de komponenter som ingår i materialet måste ha samma fysikaliska tillstånd vid provningen som vid normal förvaring

- materialet förvaras oftast vid konstant temperatur och luftfuktighet. I verkligheten varierar klimatet och detta kan orsaka stresspåkänningar som i sig påskyndar nedbrytning av materialet. När det gäller de optiska skivorna kan detta leda till sprickbildning och andra defekter som inte uppträder vid den accelererade åldringen.

- vid den accelererade åldringen förvaras skivorna på annat sätt än normalt t ex med/utan förvaringsmedel.

- olika komponenter i skivan kan åldras med olika hastigheter.

- Batelle Class II FMG har använts av flera tillverkare. Metoden avser provning av beständighet mot korrosion och är inte relevant vid provning av CD-skivor.

- resultaten från accelererad åldring är inte mer pålitliga än den valda modellen för extrapolering och utvärdering

- alla data måste passa in i modellen. Om det konstateras en avvikelse vid ett visst åldringsförhållande betyder detta som regel att en annan mekanism styr förändringen.

Matematiska modeller

Ändringen med tiden kan vara linjär men den kan också följa någon annan typ av kurva. Vid den högsta temperaturen som används vid den accelererade åldringen når man förhoppningsvis den förutbestämda kasseringsnivån inom provningstiden. Vid de lägre temperaturerna måste man ofta extrapolera, d. v. s. man måste förlänga kurvan utanför erhållna resultat vilket i sig ger en viss osäkerhet.

Osäkerhet vid extrapolering

Livslängdsuppskattningar bygger på experiment som innebär accelererad åldring vid hög temperatur under en tid som är avsevärt kortare än den förväntade livslängden. Ju större skillnaden är i temperatur/tid mellan verkliga livet och experimentet desto större blir osäkerheten i förutsägelsen. Baserat på resultat från accelererad åldring under ett halvt till ett år görs förutsägelser om livslängder på flera tiotals år, kanske100 år eller ännu längre. Det finns självklart en stor osäkerhet i sådana förutsägelser.

ANSI/NAPM IT9.21 beskriver en modell för livslängdsuppskattning och förfarandet vid hantering av erhållna data. Inverkan av temperatur och luftfuktighet utvärderas. Andra viktiga egenskaper behandlas inte. Provningsprogrammet är mycket omfattande:

Serie	Temperatur °C	Relativ luft-fuktighet %	Antal skivor	Tid mellan kontroll av skivorna, timmar	Minsta totala tid, timmar
1	80	85	10	500	2000
2	80	70	10	500	2000
3	80	55	15	500	2000
4	70	85	15	750	3000
5	60	85	30	1000	4000

Översättning till livslängd

För detaljer om tillvägagångssätt hänvisas till ANSI/NAPM IT9.21.

Om resultaten är sådana att de går att behandla enligt de matematiska modeller som används vid undersökningen och resultaten i övrigt ansluter till den förväntade modellen brukar resultatet anges på följande sätt:

vid förvaring vid 25 °C och 50 % relativ luftfuktighet kommer, med 95 % sannolikhet, 95 % av den undersökta produkten att hålla i X år

Vad betyder det?

- det är troligt (men inte helt säkert) att 19 skivor av 20 kan läsas om x år
- det är troligt (men inte helt säkert) att 1 skiva av 20 <u>inte</u> kan läsas om x år

Mer precisa förutsägelser än detta kan man inte förvänta sig.

Observera att förutsägelsen gäller för den undersökta parametern. Andra egenskaper har inte utvärderats. Det kan visa sig att det inte är denna parameter som begränsar materialets livslängd.

Felkorrigering
- trolleri eller går det att förstå?

Felkorrigering av lagrade data är en avancerad process, som inte skall beskrivas här. I det följande illustreras med ett enkelt exempel hur man kan gå tillväga för att bygga in en kontroll av lagrade bits och hur man kan sprida riskerna så att större fel inte behöver leda till informationsförlust.

På bit-nivå

(Exemplet är hämtat från en CD-skiva från Kodak.)

Det som skall lagras är tecknen 1011. I en följd av sju positioner placeras de i positionerna 3, 5, 6 och 7. I de tre kvarvarande positionerna finns kontrollbitsen P1, P2 och P4, Parity bits.

1	0	1	1

P_1	P_2	1	P_4	0	1	1

Beräkning av P_1

alla udda bits summeras (obs, 1 + 1 = 0), summan skall bli 0:

P_1	P_2	1	P_4	0	1	1

$0 = P_1 + 1 + 0 + 1$. Alltså är $P_1 = 0$

Beräkning av P_2

Positionerna 2, 3, 6 och 7 summeras, summan skall bli 1:

0	P_2	1	P_4	0	1	1

Alltså är $P_2 = 1$.

Beräkning av P_4

Positionerna 4, 5, 6 och 7 summeras, skall bli 0:

0	1	1	P_4	0	1	1

Alltså är $P_4 = 0$ och resultatet blir

0	1	1	0	0	1	1

Kontroll av strömmen av bits

0	1	1	0	0	1	1

$E_1 = 0 + 1 + 0 + 1 = 0$

0	1	1	0	0	1	1

$E_2 = 1 + 1 + 0 + 0 = 0$

0	1	1	0	0	1	1

$E_4 = 0 + 1 + 1 + 0 + 0 + 1 + 1 = 0$

Alla är 0, felfritt.

Vad händer om det blir fel?

I stället för

0	1	1	0	0	1	1

läser utrustningen

0	1	1	0	1	1	1

Då får vi $P_1 = 1$
$P_2 = 0$
$P_4 = 1$

i stället för $P_1 = 0$
$P_2 = 1$
$P_4 = 0$

Med hjälp av systemet kan man dessutom lokalisera positionen där felet uppstått:

P_1	P_2	P_4
1	0	1

d.v.s. position nr 5 enligt det binära räknesättet.

Sedan är det bara att ändra tecknet i position 5.

Att sprida riskerna…..

Felkorrigeringssystemet för CD-R är mycket mer komplicerat än det enkla exemplet ovan visar. Det måste t. ex. kunna hantera defekter som består av flera felaktiga bits intill varandra. Det kan göras genom att sprida felet över ett antal ”bitsströmmar”. Exemplet nedan visar inläsning i tabell av orden ”-error-detection-correction-” i vertikal ledd

-	o	e	t	-	r	i
e	r	t	i	c	e	o
r	-	e	o	o	c	n
r	d	c	n	r	t	-

och lagring på skivan i horisontell

-oet-rierticeor-eoocnrdcnrt-

Om det blir en repa som täcker sex tecken finns det kvar:

-oet-rier -eoocnrdcnrt-

Om tecknen läses från tabellen

-	o	e	t	-	r	i
e	r					
	-	e	o	o	c	n
r	d	c	n	r	t	-

i normal ordning får vi fram orden

-e ror-de ect on- orr cti n-

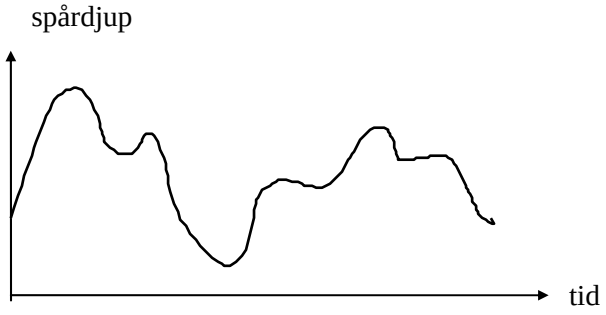
En stor defekt har omvandlats till enstaka slumpmässiga fel som kan korrigeras. Med hjälp av mycket mer avancerade system kan koncentrerade grupper av saknade data, upp till 4000 bits, repareras.

*

Det är alltså inte så enkelt att en ström av bits direkt kan översättas till bokstäver eller siffror, men om man har tillgång till de kodnycklar som använts bör man kunna lista ut innehållet i en löpande text. Det är betydligt mer avancerat att tolka information som är en blandning av bild, ljud, text, o. s. v.

Analog och digital lagring

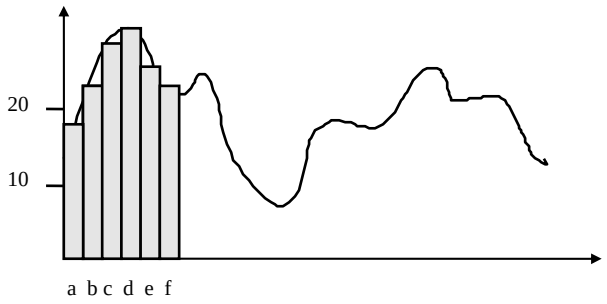
Principen för att spela in ljud med analog teknik är mycket enkel. Ljudet träffar ett membran som vibrerar. På membranet finns en nål vars spets ligger an mot det underlag där membranets rörelse skall registreras. Nålen ristar ett spår i det rörliga underlaget. Stora rörelser i membranet ger ett djupare spår.



Den vertikala axeln anger spårets djup och den horisontella anger positionen i spåret eller tiden.

När inspelningen avläses återskapas ljudet i ursprunglig form med hjälp av en nål, ett membran och litet elektricitet. Lagringen är alltså en direkt avbildning av verkligheten.

Processen för att spela in samma ljud digitalt är mer komplicerad. Det analoga ljudet måste först digitaliseras. Det kan man göra genom att avläsa spårets djup vid en viss tidpunkt. Spårets djup under perioden ”a” är 18, under perioden ”b” 23 o. s. v.



I stället för den direkta avbilden av membranets rörelse gör man alltså en bild som kan beskrivas med siffror. Detta första försök till avbildning skiljer sig avsevärt från den ursprungliga, men genom att göra staplarna mycket smala, vilket motsvarar att samla in data med korta tidsintervall, kan man skapa ett nytt stapeldiagram som är mycket likt den ursprungliga kurvan.

För att åstadkomma en bra avbildning av den analoga signalen behöver man alltså många mätpunkter. Varje mätvärde (= djup) översätts sedan till det digitala talsystemets ”0” och ”1” och tecknen lagras sedan i en följd eller enligt något annat mönster på en CD-skiva. Det krävs naturligtvis många ”0” och ”1” för att beskriva ljudsignalens utseende i detalj.

När ljudet skall spelas upp läser lasern en ström av ”0” och ”1”. Denna måste behandlas av ett program som rättar till alla fel och sedan översätter avlästa data till en signal som skickas till ett membran o. s. v. Om man använder ett program som tolkar strömmen av ”0” och ”1” på ett annat sätt än det som användes vid inspelningen kan resultatet bli mycket spännande.