

Testování spolehlivosti čtení dat z CD pomocí digitálního testeru

Petr URBAN

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 30. 05. 2005

.....

jméno diplomanta

Abstrakt

V této diplomové práci jsme měřili digitální chyby kompaktních disků na digitálním testeru. Kompaktní disky jsme vystavili působení nežádoucích vlivů, se kterými mohou během běžného používání přijít do kontaktu. Kompaktní disky jsme vystavili vlivu působení zvýšené teploty prostředí, vody, lihu a UV záření. Dále jsme zjišťovali vliv přehrávání, kopírování a mechanického poškození na kvalitu CD. Sledovali jsme snížení kvality kompaktního disku nebo jeho znehodnocení.

In this master thesis we measured the digital errors of the compact disc by a digital tester. We exposed the compact disc an influence of hight temperature, water, methyl-alcohol and UV radiation. Then we found influence of playing, copying and mechanical injuries. We watch reduced qualitty or destruction of kompakt disc.

OBSAH

ÚVOD	6
1 TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 HISTORIE	7
1.2 POLYKARBONÁTY (PC)	8
1.2.1 Výroba polykarbonátů	8
1.2.2 Vlastnosti polykarbonátů	11
1.2.3 Zpracování a použití polykarbonátů	12
1.3 POPIS KOMPAKTNÍHO DISKU	13
1.4 ČTENÍ Z DISKU	13
1.4.1 Rychlost čtení	16
1.4.2 CLV a CVA	16
1.4.3 Opravy chyb	17
1.5 STRUKTURA DAT NA CD	19
1.5.1 Kapacita kompaktního disku	19
1.6 KOMPAKTNÍ DISKY	20
1.6.1 Výroba lisovaných CD	20
1.6.2 Výroba CD-R	23
1.6.3 Zápis na CD-R	24
1.6.4 CD-RW	29
1.6.5 Zápis na CD-RW	29
2 PRAKTICKÁ ČÁST	33
2.1 STANOVENÍ CÍLŮ A METODIKA PRÁCE	33
2.2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	35
2.2.1 Použité zařízení	35
2.2.2 Popis měřených chyb	37
2.2.3 Použité kompaktní disky pro měření digitálních chyb	39
2.2.4 Postup měření	41
2.2.5 Statistika digitálních chyb u lisovaných CD	41
2.2.6 Vliv působení teploty okolí	44
2.2.7 Vliv působení vody	49
2.2.8 Vliv působení lihu	56
2.2.9 Vliv čištění	60
2.2.10 Vliv působení UV záření	61
2.2.11 Vliv působení přehrávání	62
2.2.12 Vliv kopírování	65
2.2.13 Vliv překrytí části kompaktního disku klínem	69
2.2.14 Simulace mechanického poškození	71
2.3 DISKUSE VÝSLEDKŮ	75
ZÁVĚR	78
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	81
SEZNAM OBRÁZKŮ	82
SEZNAM TABULEK	83

ÚVOD

V současné době, kdy osobní počítače zasahují do všech oblastí našeho života, se setkáváme s různými formami záznamu dat či hudby.

Nejrozšířenější a nejpoužívanější formou pro záznam a uchovávání dat a hudby jsou kompaktní disky. Můžeme použít lisovaných kompaktních disků, nebo si pro zálohování našich dat můžeme zvolit zápis dat na zapisovatelné kompaktní disky CD-R a nebo na přepisovatelné kompaktní disky CD-RW.

Při běžném používání se může kompaktní disk dostat do kontaktu s mnoha vlivy, které mohou snížit jeho užité vlastnosti nebo ho znehodnotit.

Některým vlivům zabránit nedokážeme, jiné může eliminovat, pokud budeme s kompaktními disky zacházet obezřetně a řídit se pokyny výrobce.

Zajímalo nás, zda uváděné nežádoucí vlivy mají za následek výrazné snížení kvality kompaktního disku. K tomuto účelu máme k dispozici zařízení. Digitální tester je schopen zaznamenat pokles kvality kompaktního disku, kdežto běžný uživatel zaznamená změnu, až když nemůže data z CD načíst nebo se při přehrávání hudby vyskytují nepříjemné zvuky. V tomto stádiu je už kompaktní disk zničen.

Při manipulaci nám může CD spadnout do horké vody, dále se může stát, že kompaktní disk v létě zapomeneme v na slunci vystavenému automobilu, kde může teplota ovzduší dosáhnout až 70°C. Nebo po vyndání z počítače nebo přehrávače nezaložíme kompaktní disk do boxu a necháme ho vystavený působení vlivu slunečního záření nebo usazování částecek prachu. V případě znečištění je třeba kompaktní disk očistit. Na trhu je mnoho druhů čističů na bázi alkoholu. Proto otestujeme, jak takový čistič kompaktních disků funguje a zajímá nás také jaký bude mít vliv na užité vlastnosti kompaktního disku pokud jej ponoříme do lihu.

Dále nás zajímá, jaký vliv má kopírování na kvalitu kopií a zda se přehráváním kompaktního disku snižuje jeho kvalita.

Další výrazný problém představují škrábance, které vznikají při vládání nebo vyjímání kompaktního disku do či z čtecí mechaniky. Zajímá nás, jak velký škrábanec a v jakém směru na záznamové ploše kompaktního disku má za následek jeho znehodnocení.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Historie

Vývoj kompaktních disků začal na konci šedesátých let. Tehdy se James T. Russel pokoušel vyvinout technologii, která by umožňovala reprodukci hudby bez šumu a bez ztráty kvality při neomezeném přehrávání. Přišel na myšlenku záznamu a reprodukce zvuku bezdotykově, předáváním informací pomocí světla. Využil tehdy známého principu digitálního záznamu. Ten tvořily v jeho případě 'body' světla a tmy, každý o průměru 1 mikrometr. Jako světelný zdroj použil laser, světlo a tmu potom převáděl pomocí počítače na elektrický signál, který byl viditelný nebo slyšitelný. Vytvořil tak záznam ,který se nikdy neobehraje. Na tento vynález obdržel 26 patentů. I když tento vynález mnohokrát úspěšně předváděl, investorům i vědcům se investice zdály moc vysoké a zisky příliš vzdálené. Bylo tomu tak až do roku 1980, kdy výrobní práva koupily společnosti Sony a Philips. Tyto společnosti provedly některé úpravy systému, aby podpořily masový prodej a rozšíření do domácností. V roce 1981 dosáhly Philips a Sony souhlasu 35 elektronických firem s jejich standardem. Tehdy se začaly vyrábět první přehrávače kompaktních disků a první kompaktní disky, které byly vzájemně kompatibilní. Na rozšíření měl vliv i příchod poměrně levných laserových LED diod .

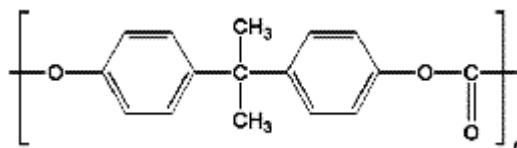
Začaly se také hledat vhodné plasty, které by byly vhodné jako základní materiály pro výrobu CD. Bylo vyzkoušeno několik typů plastů, které by mohly vyhovovat extrémně vysokým požadavkům jako jsou vysoká transparentnost, extrémní čistota, tepelná odolnost, dobré elektroizolační vlastnosti, biologická nezávadnost, snadná recyklace, výborná zpracovatelnost, dobrá rozměrová stálost, a také nízká cena. Konečnou volbou byl polykarbonát, jehož mimořádné vlastnosti z něho udělali úspěšné záznamové médium. Polykarbonát je i dnes jediným materiálem používaným při výrobě audio CD i novějších výrobků jako jsou CD-ROM (Read Only Memory) a DVD (Digital Versatile Disc). Dnešní postupy výroby CD se od původních v mnohém liší, zlepšily se stroje, nástroje a technologické procesy. Byly vyvinuty nové druhy polykarbonátů a proces výroby se zkrátil z původních 20 sekund na méně než 3,5 sekundy.

Původně Philips navrhoval průměr CD 11,5 cm a hrací dobou 60 minut, ale výrobci CD se rozhodly změnit průměr na 12 cm s hrací dobou 74 minut. Hlavním důvodem byla nedostačující délka pro některé nahrávky .

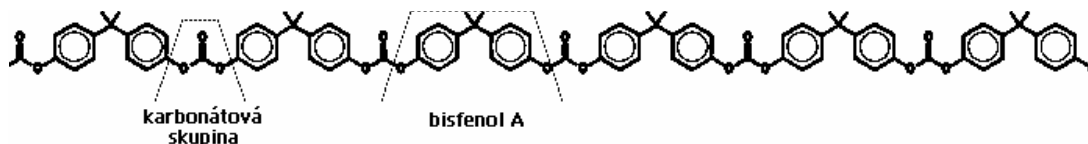
Vývoj směřuje rychle dopředu přes zapisovatelné CD-R až po DVD a na trh se dostávají optická záznamová média se stále větší kapacitou a nižší cenou. Jedna věc ale zůstává stejná a to je, že polykarbonáty jsou v současné době nejlepší materiál pro všechny optické záznamové média na trhu. (2), (3), (4).

1.2 Polykarbonáty (PC)

Polykarbonáty jsou polyestery kyseliny uhličité a vícemocných fenolů. Nejvýznamnějším se stal polykarbonát na bázi bisfenolu A



Obr. 1. Obecný vzorec polykarbonátu



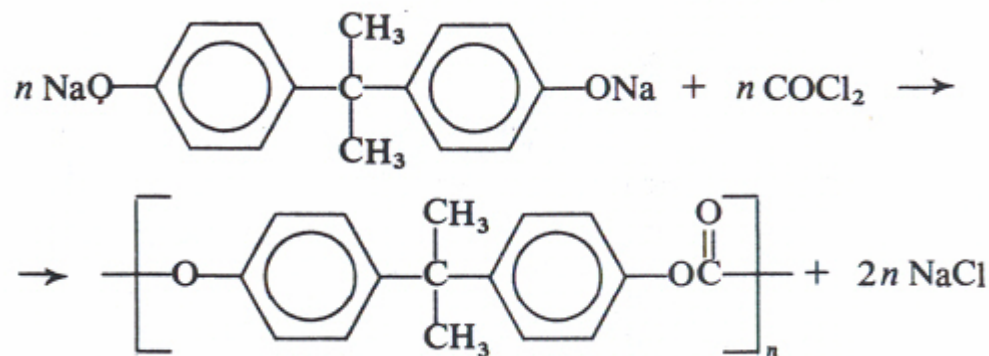
Obr. 2. Schéma řetězce polykarbonátu

1.2.1 Výroba polykarbonátů

Nejčastěji se polykarbonáty vyrábí na bázi 2,2-bis(4-hydroxyfenyl)-propanu (dianu, bisfenolu A). Připravují se buď fosgenací nebo reesterifikací.

Výroba fosgenací dianu

Při fosgenaci probíhá reakce dianu s fosgenem za přítomnosti látek, které vážou uvolňovaný chlorovodík. Většinou vodný roztok NaOH nebo pyridinu.



Obr. 3. Schéma chemické reakce – fosgenace dianu

Do roztoku dianu ve vodném prostředí NaOH se za přítomnosti methylenchloridu (rozpuštědlo pro polykarbonát i fosgen) při 20 – 30°C za současného míchání a chlazení uvádí větší než teoretické množství fosgenu. Exotermickou reakcí na hranici fází vznikne oligomer s koncovými skupinami --OCOCl , který se přidavkem katalyzátoru, jako jsou kvartérní amoniové báze nebo terciární aminy, převede na vysokomolekulární polyester. Protože se jedná o reakci ve dvoufázovém systému, je důležité dobré promíchávání. Molekulová hmotnost se reguluje přidavkem monofunkčního fenolu.

Vzniklý roztok polykarbonátu se od solného roztoku odděluje a promývá vodou. Polyester lze izolovat odpařením rozpuštědla nebo srážením nerozpuštědlem (acetonem nebo methanolem).

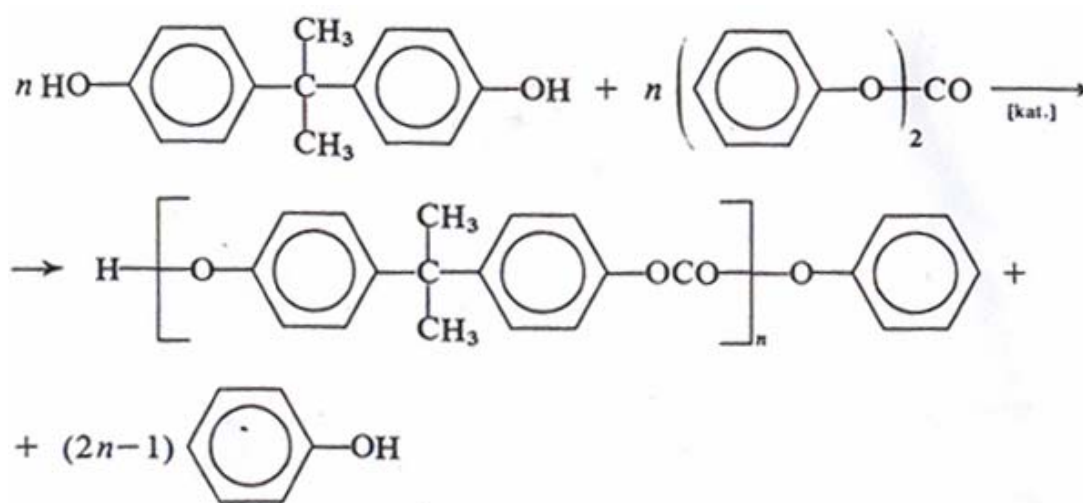
Polykarbonát připravený srážením a sušením má malou sypnou hmotnost a obtížně se zpracovává. Konečným odpařením rozpuštědla ve vyhřívaných extrudérech nebo ve vakuu se dostaneme k tavenině, která se vytlačuje a granuluje. Výhodné je dispergovat methylenchloridový roztok polykarbonátu ve vodě a za míchání a zahřívání vydestilovat methylenchlorid. Tím se získá produkt, který je vhodný pro další zpracování bez granulace. Poslední zbytky chloru vázané na koncích řetězců --OCOCl by způsobovaly nestabilitu, proto se odstraňují zahříváním s vodou nebo propařováním vodní párou. Výsledný produkt se suší při 120 – 140°C, většinou vakuově.

Při fosgenaci za přítomnosti pyridinu působí pyridin jako akceptor vodíku, jako rozpuštědlo i katalyzátor. Část pyridinu, která působí jako rozpuštědlo, lze nahradit jiným rozpuštědlem, například methylenchloridem.

Na molekulovou hmotnost výsledného produktu připravovaného fosgenací mají vliv čistota dianu, rychlost přidávání fosgenu, reakční teplota, množství vody, nečistoty a dokonalost míchání. (3), (5), (6), (7).

Výroba reesterifikací dianu

Při reesterifikaci se ekvimolární množství dianu reesterifikuje difenylkarbonátem bez přístupu vzdušného kyslíku.



Obr. 4. Schéma chemické reakce – reesterifikace dianu

Reakce bývá urychlována reesterifikačními katalyzátory, osvědčily se natriumbisfenolát a butoxyhlinitan hořečnatý. V první fázi se bez přístupu vzduchu směs dianu zahřívá s difenylkarbonátem na 200 – 230°C při tlaku 2,6 kPa, až se oddestiluje asi 90 % teoretického množství fenolu. Poté se teplota zvýší na 290 – 300°C a tlak se sníží pod 0,13 kPa. Pokračující reakcí roste molekulová hmotnost a zvyšuje se viskozita taveniny. Vzniklá tavenina se nakonec z reakčního autoklávu vytlačí dusíkem ve formě pásků, které se sekají.

Molekulová hmotnost je při reesterifikaci omezena vysokou viskozitou taveniny v poslední fázi reakce. Výhodný je také počáteční nadbytek difenylkarbonátu, který zajišťuje rychlejší a úplnější reakci dianu. Neesterifikovaný dian se totiž rozkládá už při teplotách nad 180°C. Nadbytečný difenylkarbonát se ve druhé fázi vydestiluje. Tento postup má menší význam

než mezifázová polykondenzace, ale používá se v praxi i v kontinuálním uspořádání s řadou autoklávů. Místo difenylkarbonátu se používá i dimetylkarbonát. (3), (5), (6), (7).

1.2.2 Vlastnosti polykarbonátů

Polykarbonáty jsou transparentní, s propustností světla 85 % a mají vysoký index lomu ($n_D^{20} = 1,587$). Jsou dobře rozpustné v chlorovaných uhlovodících a v cyklohexanu, špatně rozpustné v esterech, ketonech a aromatických uhlovodících. Pro vstřikování a vytlačování se používají typy s molekulovou hmotností 20.000 – 40.000. Typy s molekulovou hmotností 60 000 – 150 000 nejsou pro vysokou viskozitu taveniny vhodné pro zpracování z taveniny a zpracovávají se z roztoku (nejčastěji pro lití fólií).

Polykarbonáty také vynikají vysokou rázovou houževnatostí i za nízkých teplot. Jsou rozměrově stabilní až do 140°C, mají dobré elektroizolační vlastnosti, vysokou mechanickou pevnost (zvláště v tahu), nízká absorpce vody, odolnost proti UV-záření, stálost proti oxidaci až do 120°C a dobrá odolnost proti hydrolýze. Odolávají roztokům zředěných kyselin, uhličitanu sodného a mýdel, alifatickým uhlovodíkům, a také alkoholům. Poměrně špatná je jejich odolnost proti dlouhodobému působení vroucí vody a páry. Dlouhodobé působení methanolu také způsobuje jejich degradaci.

Pro výrobu CD se používají polykarbonáty (PC) s velmi nízkou viskozitou taveniny. Výborný tok umožňuje přesný obraz struktury matrice. (3), (6), (8).

Optické vlastnosti

Kvalitu kompaktního disku z hlediska optických vlastností určuje dvojlom. V různých částech CD je dvojlom různý. Aby se CD dalo číst, musí být zpoždění laserového paprsku menší než 50 nm. Na dvojlom mají vliv především podmínky při vstřikování. Aby byl dvojlom co nejmenší, měl by být to v dutině formy axiálně symetrický. Další příčinou dvojlomu může být molekulová orientace na povrchu nebo ve střední části polykarbonátového výlisku.

Tento problém už byl vyřešen technologicky, ale stále je potřeba lépe porozumět, co určuje zbylý dvojlom a jak může být kontrolován. (3), (6).

1.2.3 Zpracování a použití polykarbonátů

Polykarbonáty se zpracovávají běžnými technikami jako ostatní termoplasty. Formují se z taveniny v rozmezí teplot 220 – 320°C. Rozhodující význam má předsušení, polykarbonáty reagují v tavenině i s malým množstvím vody za snížení molekulové hmotnosti (max. 0,01% vody). Proto se dodávají v dobře utěsněných obalech a při zpracování se dbá na ochranu proti vzdušné vlhkosti, nebo se předsuší při 120°C a hned se zpracují.

Polykarbonáty se nejvíce zpracovávají vstřikováním při teplotách 280 – 310°C. Formu je třeba vyhřívat na 80 – 120°C. Vstřikováním se vyrábějí hlavně technické dílce určené pro použití za vyššího mechanického a tepelného namáhání.

Vytlačováním na jednošnekových strojích se vyrábějí trubky, tyče, profily a tlusté folie.

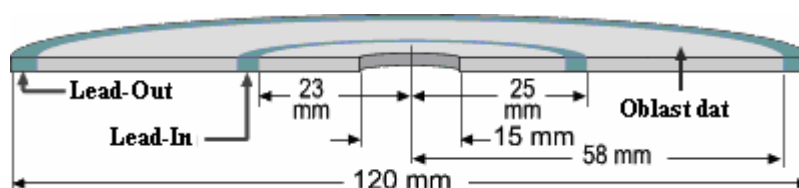
Litím z roztoku v methylenchloridu se připravují fólie a filmy. Toto rozpouštědlo se však velmi rychle vypařuje, tím dochází k ochlazení povrchu, a to může vést ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a ke vzniku zakaleného filmu. Tomu se dá zabránit prací v suchém prostředí nebo v atmosféře nasycené methylenchloridem. Fólie se používají jako elektroizolační materiál (fólie Makrofol, firma Bayer z Německa).

Polykarbonáty se dají dobře třískově opracovávat, svařovat horkým vzduchem (při teplotě 315°C) a lepit roztokem PC v methylenchloridu. Používají se také k výrobě kompaktních disků. Polykarbonáty se dají mísit v tavenině s termoplasty (tzv. legování). Významné jsou slitiny z PC a ABS, které kombinují vlastnosti obou polymerů (tvarová stálost za tepla, vrubová houževnatost, odolnost proti UV-záření). Uplatňují se nejvíce jako vnitřní součásti automobilů, v elektrotechnice a u kancelářských strojů.

Nejvíce PC se spotřebuje v elektronice a elektrotechnice, na výrobu desek, v automobilovém průmyslu a ve strojírenství. Nejznámější produkty jsou Makrolon (Bayer, Německo), Lexan (General electric, USA), Merlon (Mobay, USA). (5), (6).

1.3 Popis kompaktního disku

Kompaktní disk (dále jen CD) je disk o průměru 120mm a tloušťce 1,2mm, který má v centrální části otvor o velikosti 15mm a vyrábí se z polykarbonátů. Hmotnost CD bez obalu je 18g. Aktivní oblast, kde se ukládají data začíná 23 mm od středu a končí 58 mm od středu. Oblast mezi 23-25 mm se nazývá zaváděcí oblast (lead in) a oblast od 58 mm se nazývá ukončovací oblast (lead out).



Obr. 5. Schéma umístění zaváděcí a ukončovací oblasti na CD

Data jsou na disku zapsána směrem od centra ven v dlouhém řetězci pitů zapsaných spirálovitě na CD. Okraje pitů odpovídají binární jedničce. Oblasti mezi pity (jamkami, prohlubněmi) se nazývají landy (plošiny, výstupky). Každý pit je přibližně 0,5 μm široký, 0,8- 3 μm dlouhý a 0,15 μm hluboký. Vzdálenost stop od sebe je 1,6 μm . Z toho vyplývá, že hustota stop je větší než 16000 stop/palec (např. u diskety je to 96 stop/palec). Kdyby se stopa ve spirále natáhla, měřila by asi 7 km . (2), (9), (10).

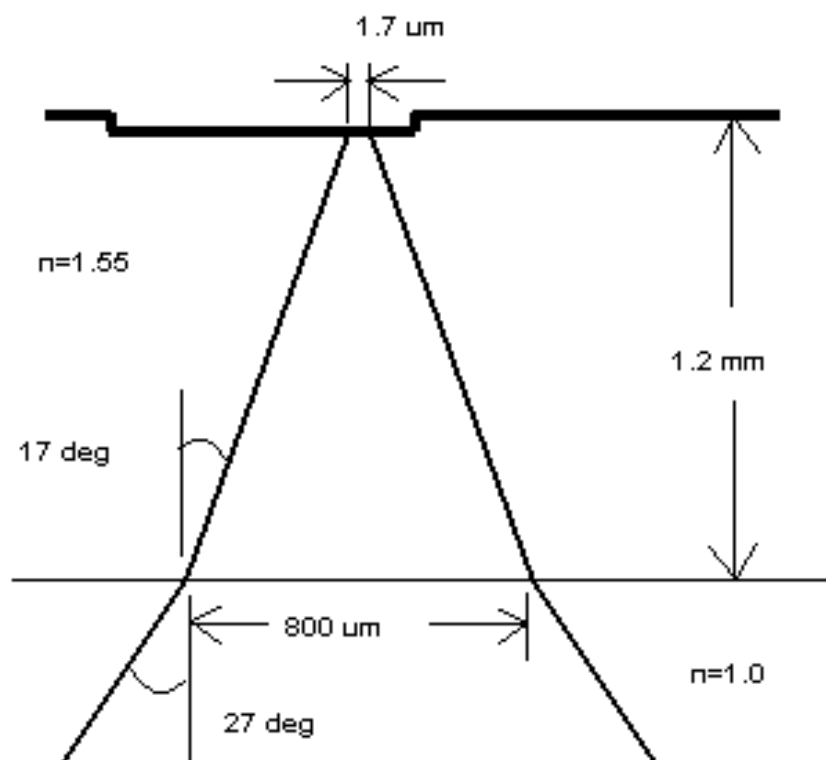
1.4 Čtení z disku

Pokud nebereme v úvahu technologii opravy chyb, je CD-ROM mechanika velice podobná klasickým CD přehrávačům. Údaje jsou uloženy stejně na hudebním i datovém CD (2352 B sektory tvořící jedinou spirálu). Při čtení z disku se informace získávají čtením pitů a landů. Soustavou čoček se laserový paprsek (780 nm) vede na povrch kovové vrstvy, od kterého se odráží. Světlo se odráží od povrchu disku a přes hranol je odkloněné na fotodiodu, která mění intenzitu světla na různě velká elektrická napětí. Při vyhodnocení se používá fakt, že pit má hloubku (při pohledu na polykarbonátovou vrstvu shora) přibližně o $\frac{1}{4}$ vlnové délky větší oproti landu. Tím je docíleno toho, že světlo odražené od pitu je $\frac{1}{2}$

($\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$) vlnové délky opožděno od vlnové délky světla odraženého z landu. Vlny odražené od pitu mají opačnou fázi než vlny odražené od landu. Dochází k interferenci a útlumu signálu (u landů dochází k dokonalému odrazu, u pitů se světlo rozptýlí).

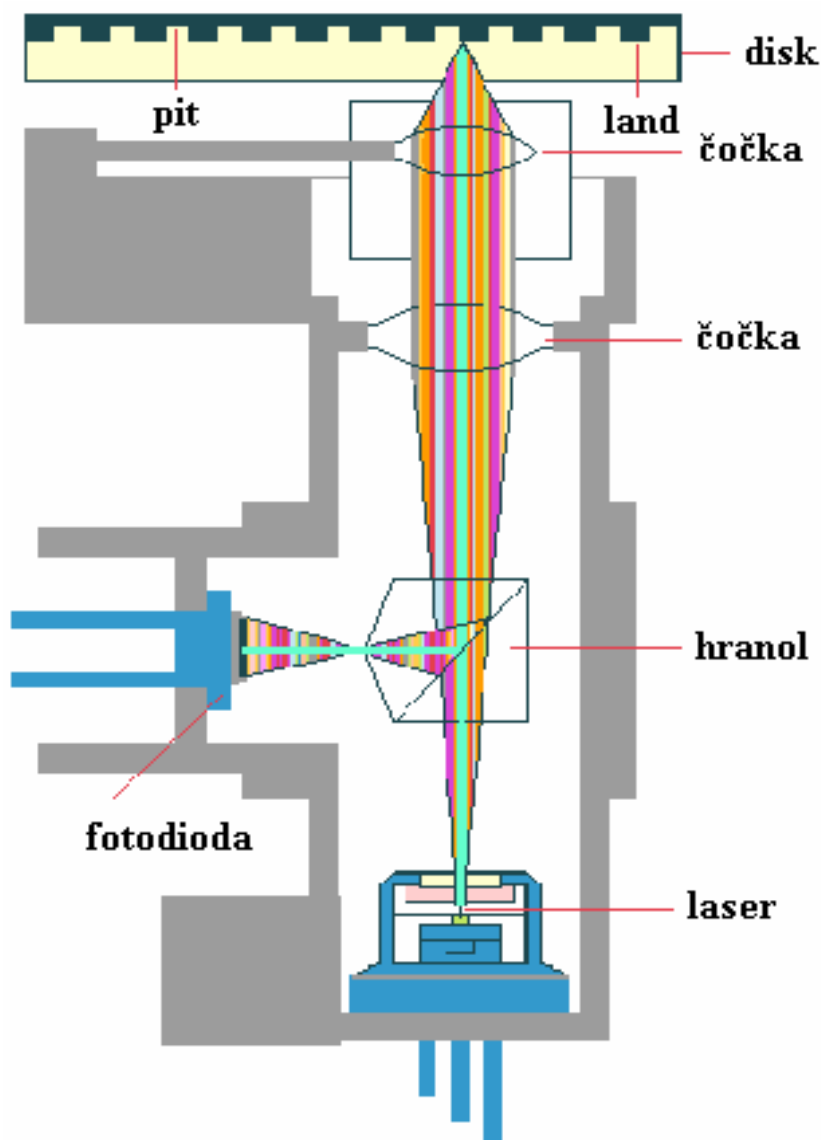
Změny napětí se interpretují jako 1, konstantní napětí odpovídá logické 0. Přechod z výstupku na prohlubeň nebo z prohlubně na výstupek generuje jedničku, následují-li za sebou dvě prohlubně nebo dva výstupky, odpovídá to 0. Při přehrávání hudebních CD se tento signál ještě převádí na analogový v DAC převodníku.

Aby se zabránilo výkyvům disku při rotaci, je vyslaný louč rozdělený na tři paralelní louče, které jdou rovnoběžně a porovnává se jejich intenzita. Když se nemění, je všechno v pořádku, když se změní, dojde k vychýlení čočky optiky a odchylky se vyrovnají. Vertikální vychylky jsou řešeny tak, že fotodiody snímající přicházející signál je umístěná ve středu mezi ohnisky louče. Když dojde k výkyvu, výsledný louč má eliptický tvar a čočka se posune nahoru nebo dolů, aby se nepřesnosti vyrovnaly.



Obr. 6. Detail čtecího laseru

Na obrázku 6 je znázorněno schéma poměrů čtecího laserového paprsku k rozměrům pitu a landu při průchodu ze vzduchu do polykarbonátu při čtení z CD. Vzduch má index lomu $n=1$, použitý polykarbonát přesně $n=1,55$. Při průchodu ze vzduchu do polykarbonátu (na rozhraní) se laserové světlo láme ke kolmici více než na vzduchu. A tak původně $800\text{ }\mu\text{m}$ široký paprsek dopadne na odrazovou vrstvu širokou pouze $1,7\text{ }\mu\text{m}$.



Obr. 7. Schéma zařízení pro čtení z optického disku

Na obrázku 7 je zobrazeno schéma zařízení pro čtení z optického disku. Laserový paprsek je veden přes soustavu čoček na pokovovaný povrch disku, odráží se a přes hranol je odkloněn na fotodiodu. (2), (9), (12).

1.4.1 Rychlost čtení

Při otáčení a čtení z disku je spirálová stopa snímána laserovým paprskem. Protože je stopa tvořena stejně velkými sektory, je zřejmé, že laserový paprsek při jednom otočení disku přejede u jeho vnějšího okraje více sektorů než v blízkosti středu. Rychlost čtení je tedy u vnitřních stop menší než u vnějších stop (například u rychlosti 24x jsou rychlosti pro vnitřní stopy 10,3x, pro vnější stopy 24x). Rychlost přenosu dat mechaniky CD-ROM je přímo závislá na rychlosti otáčení disku. U novějších CD-ROM mechanik je přenosová rychlost dat zvyšována použitím více čtecích laserů. Při nižších otáčkách je tedy přeneseno více dat a zároveň se sníží hlučnost. Například sedmi laserový šesti rychlostní systém umožňuje 42x rychlost přenosu dat. Paprsek z laseru je veden přes difrakční mřížku, na které se rozdělí na 7 svazků, které vedou přes kolimační (linearizační) čočku, kde se paprsky seřadí do řady a přes čočku se směřují na disk. Paprsky odražené od sedmi stop se vedou do multipaprskového fotočlásku na vyhodnocení. (2), (9), (12).

1.4.2 CLV a CVA

První mechaniky CD-ROM byly postaveny na základě klasických audio CD přehrávačů. Využívaly konstantní rychlost čtení z disku CLV (Constant Linear Velocity), co spolu s opravou chyb dává 150 kB/s. A protože je při okrajích disku více sektorů jak u středu, musí se také měnit rychlost otáčení disku. Změnu rychlosti otáčení disku zabezpečuje motor mechaniky (tzv. servo motor). Je to kontrolováno vnitřní pamětí, která se udržuje stav naplnění 50%. V případě odchylky od této hranice se vyšle signál pro zpomalení nebo zrychlení motoru mechaniky.

Na rozdíl od audio disků, není u CD-ROM limit čtení dat pouze jednorychlostní. S vývojem technologie, rostla i rychlost čtení (otáčení). To klade vysoké nároky na kvalitu motoru, softwaru, který řídí jeho otáčky, a schopnost čtecí hlavy správně se přesunout na požadovanou pozici.

V roce 1996 přišla firma Pioneer s mechanikou, která kombinovala CLV s technologií konstantní úhlové rychlosti CAV (Constant Angular Velocity). U technologie CAV rotuje disk stálou rychlostí, při přenosu různého objemu dat. Systém řízení CAV se aplikuje u CD-ROM i DVD s rychlostmi nad 12ti násobek základní rychlosti. (2), (9), (12).

1.4.3 Opravy chyb

Data zaznamenaná na kompaktní disk jsou připravena tak, aby se dala opravovat. A to i přesto, že jsou před, v průběhu i po vylišování testována a kontrolována. Chyby se mohou ale vyskytnout při přehrávání. Jsou způsobeny poškrábáním povrchu, nečistotami, prachem, nepravidelnostmi v polykarbonátové vrstvě, atp. Každý typ disku je tedy proto vytvořen tak, aby bylo možné provádět jeho samoopravy. Ovšem ne všechny úrovně korekcí jsou používány. To závisí na aplikacích na disku.

Kompaktní disky používají kombinovaný způsob detekce a opravy chyb. Jako ideální pro detekci chyb a pro navrácení chybných bytů do původního stavu se ukázala základní verze CIRC (Cross-Interleaved Reed Solomon Code). CIRC je samoopravný kód vyvinutý speciálně pro kompaktní disky. Je implementován do každé audio CD a CD-ROM mechaniky. Díky tomu jsou tyto přehrávače schopné detekovat a opravit chybný bit ve 4 000 bitech dat. CIRC se hodí zejména pro "vyčištění" sekvencí chyb, které vznikají poškrábáním povrchu disku.

Použití základní formy CIRC, se zvýšila možnost výskytu jednoho chybného bitu na 1 000 000 000 (10^9). Znamená to možnost výskytu asi pěti chybných bitů na jednom CD. Tento výskyt chyby se dá ještě připustit pro Audio Disky, neboť většina chyb je tak malých, že nejsou sluchem zaznamenatečné. V nejhorším případě se projeví jako cvaknutí.

Chyby na audio discích mohou být také kompenzovány interpolací dvou sousedních hodnot, nebo ztlumením zvuku na místě krátké poruchy.

CD-ROM sektor obsahuje data, ale také sekundární korekční schéma nazývané vrstvená EDC/ECC (Error Detection Code/Error Correction Code), jež je silnější verzí CIRC kódu. Výskyt chybného bitu se díky tomuto schématu zvyšuje na jeden na 10 000 000 000 000 (10^{13}). Znamená to jeden chybný bit na zhruba 2 000 kompaktních disků.

Oba kódy (CIRC a EDC/ECC) přidávají další (redundantní) informaci k originálním datům, která jsou nahrávána (premastering). Tato data jsou organizována tak, aby dekodér v CD-ROM přehrávači byl schopen určit, nalézt a opravit chyby, jež analyzuje pomocí přidané informace.

Předpokládejme, že máme tato data: 23, 2, 9, 27

Když jsou tato data jako originál kódována pro CD-ROM, můžeme je umístit do dvou řad se dvěma sloupci. Na konci každého sloupce a řádku provedeme součet. Do pravého dolního rohu zapíšeme součet součtů sloupců a řádků. Tento přidaný sloupec a řádek se nazývají kontrolní součty a jsou onou přidanou informací k originálním datům.

Zde jsou tedy zapsané informace:

			součet
	23	2	25
	9	27	36
součet	32	29	61

Při přehrávání CD dochází k novému sčítání a porovnávání vypočtených hodnot s kontrolními součty zapsanými na CD. Pokud dojde ke změně jednoho čísla, okamžitě se to projeví v nesouhlasu vypočtených a zapsaných kontrol, přičemž stačí kontrolovat pouze součet v pravém dolním rohu (součet součtů). Zjistí se tak, že došlo k chybě. Předpokládejme, že se změnilo druhé číslo v prvním řádku 2 na 8. Kontrolní součet součtů má pak hodnotu 67 a ne 61. Zjistili jsme, že někde vznikla chyba.

Přečtená data:

			součet
	23	8	31
	9	27	36
součet	32	35	67

Dekodér zjistí porovnáním kontrolních součtů řádků a sloupců, že nesouhlasí součet prvního řádku a druhého sloupce. Došlo k chybě ve druhém sloupci prvního řádku. Zbývá tedy opravit chybnou hodnotu na správnou. Chybný součet součtů byl 67. Originál 61. $67 - 61$ je tedy 6. Správné číslo je tedy $8 - 6 = 2$.

Nyní tedy dekodér vyšle opravená data: 23, 2, 9, 27

(2), (13).

1.5 Struktura dat na CD

Pro ukládání dat se používá pulzně kódová modulace (PCM). Každému bitu neodpovídá jeden pit, to by se na médium vešlo mnohem méně informací. Ke změně profilu stopy dochází vždy při změně signálu z 0 na 1 nebo z 1 na 0. Protože by se špatně rozlišovalo, jestli nepřerušená stopa znamená souvislou řadu nul nebo jedniček, je zvolen takový způsob kódování, který souvislou řadu jedniček vylučuje. Osmibitový základní signál se přemění na čtrnáctibitový: kódování EFM (Eight to Fourteen Modulation). Překódováním do 14-ti bitové formy se zajistí tyto podmínky:

1. Logická jednička může znovu přijít nejdříve po dvou logických nulách.
2. Nejpozději po jedenácti nulách musí být opět zapsána jednička.

Při čtení dat z CD se z každého 14-bitového slova zase vytvoří původní 8-bitové slovo. Tento postup má výhodu i v tom, že mohou být použity obvyklé systémy detekce chyb, které jsou určeny pro běžný 8-bitový kód. I přes tato opatření může při spojení dvou 14-bitových slov v některém případě stále ještě dojít ke vzniku nežádoucího sledu bitů. Z tohoto důvodu se ještě mezi dvě datová slova vkládají takzvané spojovací bity (merge bits). Jsou to tři samostatné bity, jejichž hodnota může být jak 0, tak 1 podle toho, zda musí být splněna první nebo druhá podmínka. Při čtení dat z CD jsou tyto spojovací bity automaticky odděleny.

Záznam je na hudebním CD i datovém CD-ROM uspořádán téměř stejně. Každá minuta záznamu se dělí na šedesát sekund, každá sekunda na 75 bloků číslovaných 0 až 74. Každý blok má 2352 bitů. U hudebního CD je celá tato kapacita využita pro data, u datového CD-ROM (Mode 1) je 2048 bytů využito pro uložení vlastní informace a zbytek (304 bitů) je použit pro synchronizaci a opravu chyb. (2), (9), (12).

1.5.1 Kapacita kompaktního disku

Klasické hudební CD má velikost 74 minut, to znamená, že se na něj vejde celkem 74 minut hudby. Stále častěji se objevují také CD s 80 minutami, které používají hustší metodu zápisu, ale ty se používají spíše pro data.

Velikost, která se udává v megabajtech, má však v počítačové terminologii několik významů. Může jít o klasické tisícínásobky (1 kB = 1000 bajtů, 1 MB = 1000 kB), může jít také o vyjádření určité mocniny čísla 2 (to je odvozeno z dvojkové soustavy, která má pouze nuly a jedničky). Zde je 1 kB vyjádřením mocniny dvou, tedy $2^{10} = 1024$ v desítkové soustavě. Podobně 1 MB může být 1024 kB. Takto vyjádřený 1 MB = 1048576 bajtů ($1024 * 1024$).

Většinou se udává, že 74 minutové CD má kapacitu 650 MB. Zde jsou myšleny MB ve smyslu dvojkové soustavy, tedy $650 * 1024 * 1024 = 681574400$ bajtů. Fyzicky je však na médiu 681984000 bajtů, tedy 650,4 MB.

V režimu Mode 1 je na CD uloženo 2048 bajtů. Každou sekundu přehraje klasický hudební CD přehrávač 75 těchto sektorů $\Rightarrow 75 \text{ sektorů} * 2048 \text{ bajtů} * 60 \text{ sekund} * 74 \text{ minut} = 681984000 \text{ bajtů}$. (2).

1.6 Kompaktní disky

Podle způsobu zápisu dat rozdělujeme kompaktní disky do dvou druhů:

- lisované
- vypalované

Princip CD-R médií je stejný jako u lisovaných CD. Data jsou uložena pomocí malých prohlubní, na které když posvítí laser tak se paprsek rozptýlí a mechanika z toho pozná, že zde je něco zapsáno. Pokud paprsek na žádné data nenarazí, odrazí se od reflexní fólie zase zpět k čtecí hlavě. Tato fólie se vyrábí ze zlata nebo stříbra. Výrobci dovedně kombinují materiály a tloušťky. (2), (14).

1.6.1 Výroba lisovaných CD

Výroba formy

Proces začíná výrobou skleněné matrice a matričního CD-R (dříve matriční pásky). Matrice je skleněná deska o průměru 300 mm s rovným a leštěným povrchem, která je pokryta vrstvou světlocitlivého materiálu (photoresistu). Tato deska se po použití recykluje. Před opětovným použitím dochází k odstranění světlocitlivé vrstvy, k čištění a nakonec se deska omyje de-ionizovanou vodou. Následuje sušení, leštění, obalení tekutou

fotocitlivou vrstvou a nakonec “upečení“. Matrice je potom připravená na vystavení vlivu laseru.

Přípravě matričního CD-R předchází příprava dat, indexování, testování (simulace) a vytvoření “image“ (tato fáze se nazývá ISO-level kódování). Vytvořený “image“ (obraz) potom projde fází CD-level kódování. Tato část výroby se skládá se slití “image“ s adresami sektorů, hlavičkou, synchronizace, opravy a detekce chyb. Takto vznikne jeden ISO9660 soubor, který se používá při procesu výroby. Dříve byly data pro tvorbu matrice uloženy na pásce, po nástupu CD-R se začaly používat tyto disky.

Do vrstvy světlocitlivého materiálu jsou laserem zapsány informace z matričního CD-R a vznikne model. Matriční CD-R obsahuje informace, které budou zapsány na disku. Zápis probíhá v laserovém rekordéru (laser beam recorder), který je připojen k počítači se zdrojem dat. Využívá se modrý (případně fialový) laserový lúč, který je modulovaný elektromagnetickým proudem. Při vystavení světlocitlivé vrstvy účinku laseru dochází k rozpuštění této vrstvy a vzniku pitu. Důležité je udržet stálou rychlost rotace matrice a kontinuální posun zapisovací hlavy, aby byla vytvořena správná struktura rozestupu stop. Data se zapisují od středu ve spirálové stopě směrem k okraji disku.

Po nahrání se odstraní světlocitlivá vrstva, která byla vystavena působení laseru, omytím v roztoku hydroxidu sodného. Matrice se poté umístí do vakuové komory, kde se na její povrch nanese tenká vrstva stříbra.

Takto upravená matrice vstupuje do fáze elektrického formování. Při tomto elektrochemickém procesu je nanesen další kov na stříbrnou vrstvu. Dochází k pokrytí vrstvou niklu v nádrži s roztokem sulfátu niklu.

Když je vrstva kovu dostatečně tlustá, většinou několik milimetrů, je oddělena od skleněné matrice. Tento kovový reverzní obraz dat na disku se nazývá ‘otec‘.

Tento pokovovací proces je poté zopakován na otcí. Z otce se obvykle vytvoří 3-6 kladných kovových otisků než se kvalita sníží na nepřijatelnou. Tyto otisky se nazývají ‘matky‘. Jsou to přesné obrazy dat na disku.

Pokovovací proces je dále opakován na matkách. Z každé matky se obvykle vyrobí 3-6 negativních kovových otisků, nazývaných synové. To už jsou konečné otisky. Před konečnou fází lisování se musí tyto otisky důkladně otestovat. Ověřují se správné rozměry,

musí se vyrazit středová dírka a strana, která přiléhá k formě se leští. Polykarbonát se poté použije k vstříknutí CD disků.

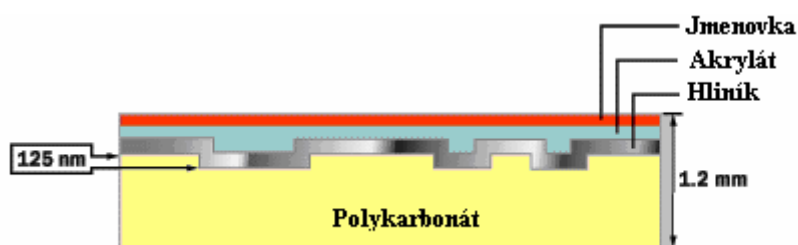
Lisování kompaktních disků

Pro lisování CD se používají dvě metody: klasické vstřikování, nebo vstřikování s dolisováním. Při vstřikování s dolisováním je tavenina vstříknuta do ne zcela uzavřené formy. Při vstřikování s dolisováním je minimalizováno zbytkové napětí, ale lisovací cyklus trvá delší dobu. Tenký kovový otisk (syn), který obsahuje data, která mají být na CD, je součástí formy při metodách.

Pro výrobu CD se používají vysoce přesné vstřikovací stroje, u kterých je možné dobře kontrolovat výrobní proces. Uzavírací síla musí být přibližně 600 kN. Forma je vybavena studeným vtokovým kanálem a stroj má dlouhou vstřikovací trysku. Teplota taveniny polykarbonátů používaných pro výrobu kompaktních disků bývá 320-350°C.

Jakmile jsou disky vylisovány, povrch disku se pokryje kovovou vrstvou. Tato vrstva musí být z opticky přijatelného materiálu s dobrou odrazivostí. Vhodné materiály jsou hliník, zlato, měď a stříbro. Zlato je příliš drahé a měď vykazuje zvláštní příznaky. Nejvíce se proto používá hliník a stříbro.

Na tuto vrstvu kovu se dále nanáší tenká vrstva plastu (1-30 mikronů). Ta bývá většinou z polyakrylátu. Důležité je, aby byl pokryt celý povrch disku, jinak by docházelo k oxidaci reflexní vrstvy. To by způsobilo problémy se čtením disku nebo jeho znehodnocení.



Obr. 8. Průřez lisovaným kompaktním diskem

(2), (14), (15).

1.6.2 Výroba CD-R

Výroba probíhá v klimatizovaném prostředí, kde teplota kolísá maximálně o 0,1°C a vlhkost o 1%. Technologický proces výroby CD-R disků začíná u průhledných granulí polykarbonátu, ty se nejprve vedou potrubím k dosušení, a poté dalším potrubím k tavicímu zařízení. Tam se zahřeje na teplotu 300°C a je vstříknut do formy. Vytvoří se výlisek s předlisovanou drážkou, která při vypalování vede paprsek laseru. V této drážce jsou zaznamenány některé informace jako například ATIP (typ barviva, výrobce, nominální délka, rychlost zápisu, typ disku, informace o algoritmu nahrávání pro každou rychlost, absolutní čas začátku disku, poslední adresa na kterou je možné zapsat data, poslední adresa pro poslední lead out), které slouží pouze pro vypalovačky. Následuje ochlazení na 60-100°C, vyjmutí výlisku z formy a přenesení na chladicí pás, kde se dochlazuje na 25°C. Tento proces chlazení trvá přibližně 20 minut.

Poté se nanáší světlocitlivá vrstva. Nejčastěji se používají barviva cyanin, pthalocyanin a materiál nazývaný AZO (má větší odolnost proti UV). Barviva mohou mít různé odstíny, popřípadě mohou být i průhledná. Barva CD-R závisí na použitém barvivu a na použitém materiálu odrazivé (reflexní) vrstvy (Au,Ag). Hliník, který tvoří odrazovou vrstvu u lisovaných CD, se nedá použít, protože ho barviva korodují.

Tabulka I. Použitá barviva, majitelé patentu a barva barviva

Barvivo	Majitel patentu	Barva
Cyanine	Taiyo Yuden	Modrá
PthaloCyanine	Mitsui Toatsu Chemicals	Transparentní
Metallized Azo	Verbatim/Mitsubishi	Modrá
Advanced PthaloCyanine	Mitsui Toatsu Chemicals	Transparentní
Hybrid Cyanine/PthaloCyanine	Kodak Japan Limited	Světle zelená

Tabulka II. Barva CD-R při použitém barvivu a materiálu odrazivé vrstvy

Barvivo	Odrazivá vrstva	
	Zlato	Stříbro
Cyanine	Zelená	Zelená/modrá
PhthaloCyanine	Zlatá	-
Metallized Azo	-	(tmavě) modrá
Advanced PthaloCyanine	Zlatá	-
Hybrid Cyanine/PthaloCyanine	Zelená	-

Barvivo se na polykarbonátový výlisek nanáší v hnízdě, kam je přiváděno dutou jehlou a vstřikuje se na rotující výlisek. Odstředivou silou dochází k rovnoměrnému rozlití barviva po ploše CD. Přebytečné barvivo se odstříkne do krajů, čistí se, upravuje a znovu se vrací do výroby.

Proces nanášení barviva je velice složitý a závisí na otáčkách CD, kdy a kam se vstřikuje, doba po kterou se médium otáčí a jak rychle brzdí.

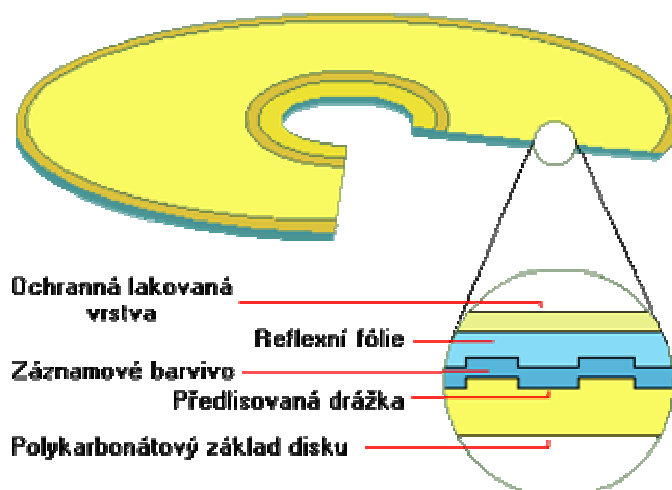
Dalším krokem je omývání barviva z vnějších okrajů. Důvodem je izolace barviva od okolního, agresivního prostředí (například pot z prstů). Média, kterým zasahovala světlocitlivá vrstva až na okraj, začínaly po čase jakoby ‘hnít’ od okrajů.

Po omytí barviva z okrajů následuje kontrola některých CD spektrofotometrem. Kontroluje se vyrovnanost vrstvy barviva, jeho dostatečnost, zda se na médiu nenachází mapy či jiné optické nedostatky. Měří se také kompatibilita s vlnovou délkou, kterou se bude z média číst nebo na něho zapisovat.

Zahřátím CD na 90°C dochází k vysušení barviva a odpaření všech rozpouštědel. Je to jeden z hlavních vlivů na životnost CD. Potom se nanáší odrazivá vrstva, což se provádí v tzv. metalyzéru. Částičky stříbra se v něm ze stříbrného monolitu (tzv. targetu) pomocí argonu ‘odstřelí’ a napráší na barvivo. Nakonec se takto postříbřené médium přelakuje UV lakem, který se pod UV lampou vytvrdí. Ještě před odebráním média z linky se provádí kontrola pokovení a laku, jeho homogenita, zda v laku nejsou bublinky a konečná kontrola světlocitlivé vrstvy. (16), (17).

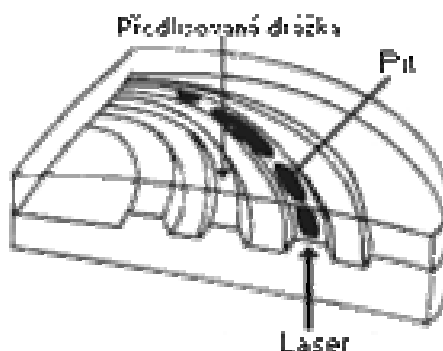
1.6.3 Zápis na CD-R

Jak je patrné z řezu médiem skládá se CD-R, jako lisovaný CD-ROM ze tří základních vrstev. Vrchní ochranné lakované (většinou) vrstvy, střední vrstvy z reflexní zlaté fólie. Zlato bylo vybráno proto, že nereaguje s barvivem a koroduje mnohem méně, než kterýkoliv jiný kov. Zlato je navíc velmi reflexní. Používá se 24 karátové zlato. Dnes se již také velmi často setkáte se stříbrnou fólií, která sice nevykazuje tak dobré vlastnosti jako zlato, je však podstatně levnější a pro spotřební použití naprosto vyhovuje. A organického barviva. Tato organická sloučenina je vlastním záznamovým médiem.



Obr. 9. Průřez CD-R diskem

V polykarbonátové (spodní) vrstvě CD-R média je již ve výrobě vytvořena spirálová drážka (obr.x.), sloužící jako vodítko pro laser CD-R mechaniky, čímž je umožněno velmi přesné nahrání dat na disk.



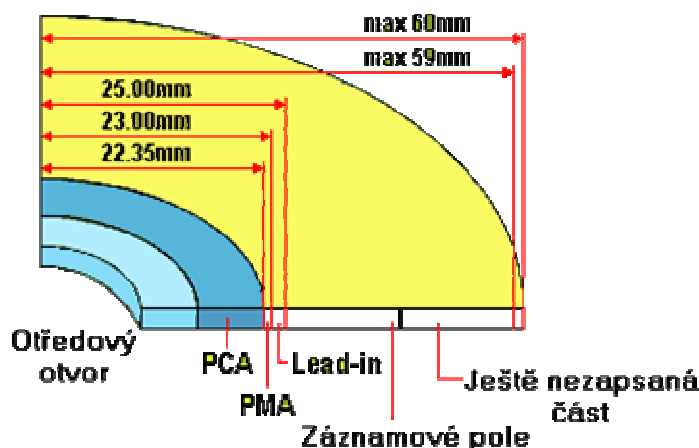
Obr. 10. Řez CD-R diskem s vyznačenou předlisovanou drážkou

Vypálené CD-R médium má, na rozdíl od CD lisovaného, nepravidelné okraje. Rovněž vypálený pit je poněkud mělčí než pit lisovaný. Při vypalování se právě toto organické barvivo zahřeje, což způsobí jeho fyzickou změnu. Vypalovací paprsek tak vytváří miniaturní kopečky. Přestože se vypálený pit - onen zmíněný kopeček od pitu lisovaného fyzikálně liší, i nadále se hovoří o pitu. Kopeček zvaný pit mění odrazivost od zlatého podkladu. Rozdíl mezi lisovaným a vypáleným pitem je důvodem, proč na některých starších CD-ROM mechanikách není možné vypálená CD přečíst. Aby to možné bylo, museli výrobci u mechanik upravit algoritmus ostření a vyhodnocování logických úrovní.

Rozměry CD-R jsou shodné s lisovanými, tedy celková šíře je 1,2 mm a průměr činí 12 cm s centrálním otvorem 1,5 cm. CD váží bez obalu 18 gramů. Na CD, se stejně jako na klasickou vinylovou desku, zapisuje do jedné spirální stopy. Data jsou do této stopy zaznamenávána digitálně pomocí stupňů (land) a děr (pit). Díra je 0,12 mikrometru hluboká a 0,6 mikrometru široká. Jedno CD jich obsahuje kolem dvou biliónů. Délka díry je mezi 0,83 a 3,3 mikrometru, což je pro srovnání velikost bakterie. Mezera mezi jednotlivými sousedními stopami je 1,6 mikrometru. Znamená to, že CD se záznamovou šíří 3,3 cm obsahuje: 0,6 mikrometru šíře stopy + 1,6 mikrometru mezi stopami = 2,2 mikrometru 33 mm / 2,2 mikrometru = 15 000 závitů. Celková délka stopy je 5 km.

Na rozdíl od LP desky se CD čte od vnitřku k okraji a zatímco LP používá konstantní rychlost otáčení (konstantní úhlová rychlost - CAV), u CD je konstantní rychlost obvodová (CLV). Znamená to tedy, že se rychlost otáčení CD mění od 200 do 530 ot./min. podle typu mechaniky a značky. Pro zajímavost, hustota záznamu je na CD 16 000 tpi (track per inch - stop na palec). Floppy disk má hustotu 96 tpi a pevný disk průměrně 400 tpi. Aby čtecí (nebo vypalovací) paprsek mohl správně sledovat spirálu s daty, mají lisovaná, CD-R i CD-RW disky již z výroby vylišovanou tzv. vodící spirálu, na kterou řídící mechanismus čtecího (nebo zapisovacího) laseru zaostřuje.

CD rekordéry se od obyčejných přehrávačů a CD-ROM mechanik velmi liší. Především proto, že používají speciální laser. Tento laser musí být schopen pracovat v několika úrovních, aby byl schopen docílit fyzické změny stavu barviva na CD-R médiu (land) a také CD-R číst, aniž by došlo k jeho poškození. CD-R mechanika musí také umět požívat velké množství formátů. A protože zápis je jak z hlediska hardware, tak i software mnohem složitější proces, je rychlost zápisu CD rekordérů mnohdy podstatně nižší než rychlost jejich čtení.



Obr. 11. Schéma oblastí na CD-R disku

Pro čtení vystačí laser s poměrně nízkým výkonem (0,5 mW), ale pro zápis CD-R je již třeba energie mnohem větší. Pro zápis jednoduchou rychlostí vystačí 4-8 mW, pro dvojnásobnou rychlost je již třeba 8-10 mW (obr.5.), čtyřnásobnou 10-12 mW a šestinásobnou pak až 14 mW! Této energie je třeba k tomu, aby se v místě, kde má dojít ke změně barviva, dosáhlo teploty 250° až 400°C!



Obr. 12. Výkon laseru při čtení a zápisu na CD-R

Schopnost CD-ROM mechaniky číst CD-R (zvláště), nebo CD-RW média, je také do značné míry závislá na kvalitě nejen média, ale i samotné vypalovačky (přepisovačky?). Nahrávací mechanika může totiž pro nahrávání používat příliš nízký, nebo naopak vysoký výkon laseru, nebo dokonce může výkon laseru oscilovat (při vypalování CD-R třeba v rozmezí 8-10 mW). Nízký výkon bude znamenat příliš mělké pity (nečitelné) a velký výkon bude naopak způsobovat slévání pitů dohromady (příliš zkreslená informace).

Zatímco drtivá většina CD-ROM mechanik je v současné době konstruována jako IDE, u CD rekordérů stále převládá SCSI. Důvodů hovořících pro SCSI je mnoho, ale uvedu dle

mého jen ty nejhlavnější. SCSI sběrnice je oproti IDE rozhraní rychlejší, má větší průchodnost dat, méně zatěžuje samotný procesor a dá se říci, že je i spolehlivější (i když v poslední době nacházíme v prodeji stále více CD rekordérů i s IDE rozhráním, především pro stále se zvětšující výkon počítačů). Hlavně souvislý tok dat v potřebné šíři je pro nahrávání naprosto nezbytný. Jakékoliv přerušení toku dat při vypalování vede ke zničení CD-R média. Aby bylo sníženo toto riziko na minimum, umísťují výrobci CD rekordérů do mechanik potřebnou vyrovnávací paměť (512kB až 4MB). CD rekordéry mají tedy až o několik řádů větší vyrovnávací paměť.

Datové pole disku obsahuje kalibrační programové pole (PCA). Pomocí tohoto pole a inicializačního testu dojde ke kalibraci záznamového laseru pro tento disk. Další částí je Program Memory Area (PMA) jenž obsahuje počet tracků, a jejich začáteční a koncový bod. Dále pak přichází Lead-In Area, jenž je připravena pro zápis popisu obsahu celého disku poté, co dojde k jeho kompletnímu nahrání. Po dokončení zápisu je na konec stopy zaznamenáno Lead-Out Area, jenž upozorní přehrávač, že je konec CD, aby se mohl zastavit.

Zápis na zapisovatelné CD může být proveden najednou (v jedné session- singlesession), kdy jsou všechny tracky zapsány v jednom svazku (volume). Disk se uzavírá zápisem obsahu (Table of Contents) a Lead-Out Area. Tento disk může být čten na jakékoliv CD mechanice. Při singlesession záznamu se TOC (Table of Contents) vytváří ihned po nahrání dat. Tím dochází (jak se v branži říká) k "uzavření" disku. Dále již není možné na disk cokoliv nahrát.

Multisession naopak nechává disk otevřený a TOC se zapisuje až po nahrání poslední session. Tím dojde opět k "uzavření" disku. U neuzavřených disků to pro čtecí mechaniku znamená, že musí být schopna postupně od poslední session rekonstruovat souborovou strukturu celého CD. Vytváří si vlastně TOC, která ještě na CD není nahrána. Je-li vaše mechanika vybavena schopností číst multisession, nepoznáte de-facto, zda je CD nahráno jako multisession, nebo singlesession.

Způsob zápisu dat na disk, kde při každém dokončení stopy (tracku) je vypnut zapisovací laser (i když se bude okamžitě zapisovat další stopa) se nazývá Track at Once. Při zapínání a vypínání laseru se zapisují bloky run in a link out. Nejmenší délka stopy je 300 bloků (4 sekundy - 700 kB). Maximální počet stop je 99.

Naopak způsob, kdy dojde k celému nahrání CD bez vypnutí laseru, označujeme jako Disc at Once. (18), (19).

1.6.4 CD-RW

CD-RW médium a zařízení pro mnohonásobný (1000x až 10000x) záznam a neomezenou reprodukci na nosič CD-RW. Dle výrobců je životnost CD-RW dimenzována na 1000x až 10000x násobný záznam.

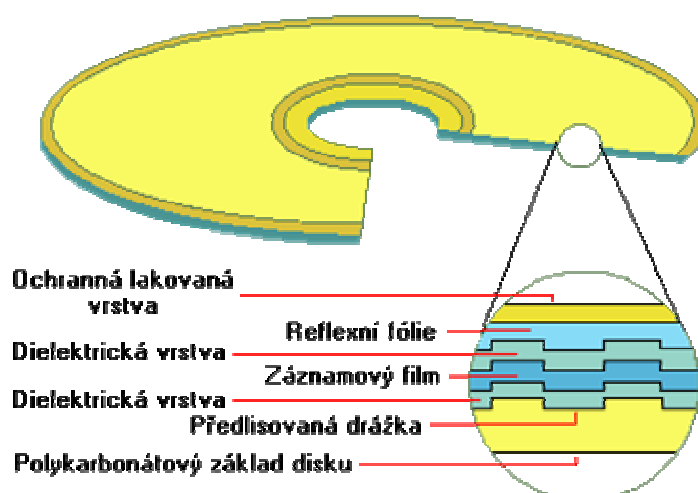
V místě kde je vypáleno (pity) je barvivo nekrystalické (amorfní) - paprsek se zde odráží méně než kde je nevypáleno (landy) - barvivo je krystalické. Pro vypálení pitu je potřeba teplota 600°C, landu 200°C. (12)

1.6.5 Zápis na CD-RW

CD-RW médium je konstruováno na podobném základu jako médium CD-R. Také obsahuje polykarbonátovou vrstvu a předlisovanou vodící spirálu pro vedení laseru. Ale na rozdíl od CD-R má několik vrstev navíc.

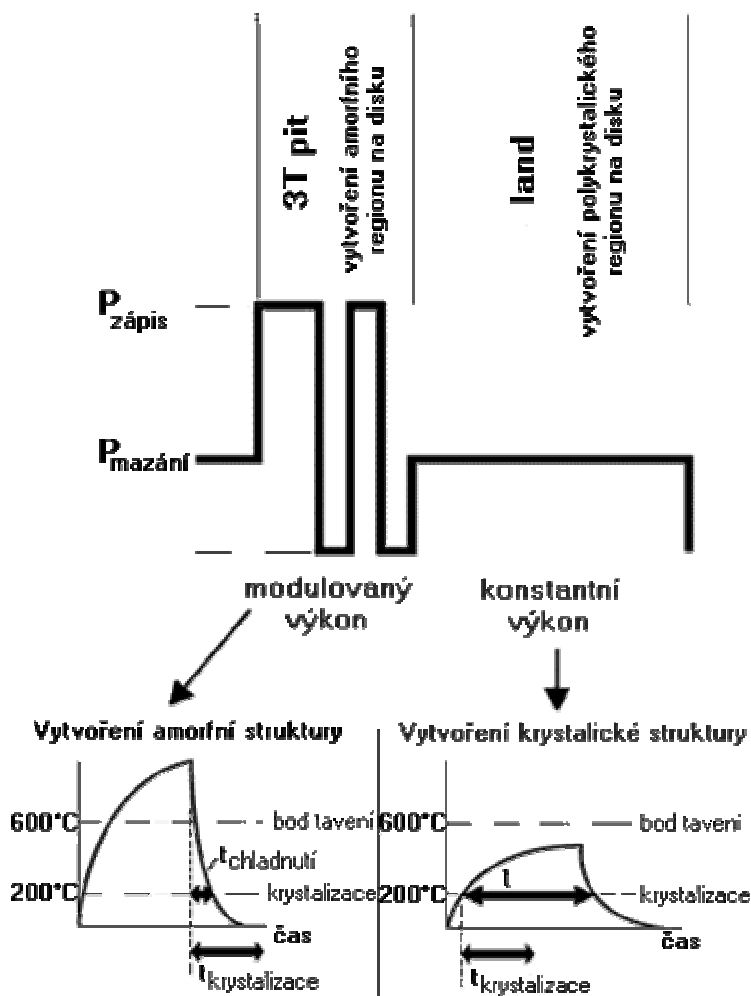
Vrstva pro záznam je z obou stran obklopena vrstvou dielektrika (sloučenina silikonu, kyslíku, zinku a síry). Tyto vrstvy mají čtyři hlavní úkoly:

- modifikovat odezvu optického média, aby poskytovalo čistý signál
- zvýšit účinnost laseru pro dosažení žádoucí teploty na záznamové vrstvě
- působit jako tepelná izolace mezi substrátem, předlisovanou drážkou a odraznou vrstvou
- sloužit jako mechanická brzda záznamového média, aby nedocházelo k jeho posunu vlivem odstředivých sil.



Obr. 13. Průřez CD-RW diskem

Záznamové barvivo je však jiné než u CD-R. Při nahrávání CD-R totiž dochází k nevratné změně tohoto barviva. CD-RW používá technologii fázové změny. Namísto vytváření deformací v barvivu média využívá změnu struktury materiálu z krystalické do amorfní formy. K tomu slouží speciální chemická sloučenina (je to čtyřsložková sloučenina stříbra, india, antimonu a teluru), která mění působením energie svůj stav (krystalický - vysoce odrazivý a amorfní - s nízkou odrazivostí) a je se schopná rovněž působením energie vrátit do původního stavu.

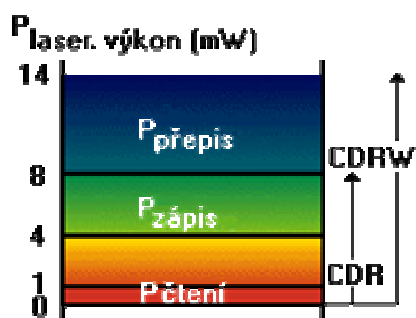


Obr. 14. Schématický popis zápisu a mazání na CD-RW disk

Tak jako se vlivem teploty může změnit voda v led nebo páru, existují chemikálie, které mění svoji strukturu nejen působením tepla a jsou i teplotně relativně stálé. Mohou se také do původního stavu vrátit působením jiného procesu. Materiál použitý v CD-RW médiích má tu vlastnost, že když je zahřátý na jistou teplotu a pak ochlazen, dochází k jeho krystalizaci, zatímco dojde-li k jeho vyššímu zahřátí a opětovnému ochlazení, přejde do nekystalického - amorfního stavu (tuto vlastnost můžeme vidět i u mnohých kovů a používá se i při zušlechťování oceli). Krystalický stav odráží více světla než stav amorfní, a tím je docíleno kýženého dvoustavového efektu, který je nezbytný pro přenos informace. Krystalický stav tedy vytváří již dobře známý land a amorfní stav zase pit. Použije-li se tedy laser se dvěma energetickými stavy, máme tu nástroj pro záznam i mazání CD. K zápisu tedy dochází již zmíněnou změnou fáze (stavu) záznamové vrstvy. Vodičí spirála a

ostatní struktura je shodná s CD-R, rozdílný je pouze fyzický způsob zakódování jedniček a nul

CD-RW mechaniky musí mít ještě silnější laser, neboť pro změnu fáze média (do amorfního stavu) musí být dosaženo teploty až 600°C. Lasery CD-RW mechanik se svým výkonem blíží 20mW. Pro přechod do krystalického stavu pak již stačí 200°C, a tudíž výkon asi 4-8mW. Laser tedy při záznamu CD-RW média neustále pulzuje podle potřeby mezi vyšším a nižším výkonem (na rozdíl od CD-R mechanik, kde vystačí pouze se stavem zapnuto-vypnuto).



Obr. 15. Výkon laseru při čtení, zápisu a přepisu na CD-RW

Všechny ostatní věci, jako je fyzický nebo logický formát platí pro CD-RW naprosto stejně, jako pro CD-R. (2), (19), (21), (22).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Stanovení cílů a metodika práce

Kompaktní disky se během své životnosti dostávají do kontaktu s mnoha nežádoucími vlivy. Tyto vlivy mohou mít za následek snížení kvality kompaktního disku nebo jeho úplné zničení. Snížení kvality kompaktního disku se projeví zhoršeným načítáním zaznamenaných dat.

Před nežádoucími vlivy, se kterými může kompaktní disk přijít do styku, varuje výrobce v pokynech na každém obalu ke kompaktnímu disku.

Kompaktní disk by neměl:

- být vystavován teplotám nebo skladován při teplotách okolí mimo interval použitelnosti, který výrobce uvádí od -5°C do 55°C
- uložen tak aby docházelo k usazování prachových částic na záznamovou plochu
- být používán nebo skladován v prostorách o relativní vlhkosti vzduchu mimo rozsah od 5% až do 95%
- přijít do přímého kontaktu s vodou
- být vystavován působení přímého slunečního světla
- být popisován na záznamové ploše
- při manipulaci přijít do kontaktu s prsty na záznamové ploše
- být mechanicky namáhán

Během běžného používání však zjistíme, že některé z výše uvedených varování výrobce mnohokrát porušíme a na kompaktním disku změnu nepozorujeme a nezaznamenáme změnu ani při načítání dat nebo při přehrávání audio záznamu.

Zajímalo nás, zda výrobcem uváděné varování má za následek výrazné snížení kvality kompaktního disku. Jako uživatelské kritérium kvality kompaktního disku bereme schopnost čtení dat z kompaktního disku. Jelikož máme pro testování schopnosti čtení digitálních dat z kompaktního disku k dispozici zařízení, rozhodli jsme se, že některé vlivy nežádoucího působení na kompaktní disky, otestujeme.

Testování schopnosti čtení dat z kompaktního disku budeme provádět pomocí digitálního testeru QC-CDD40.

V této diplomové práci budeme převážně testovat hudební kompaktní disky (CD-DA), které používáme téměř denně a proto jsou vystavovány nežádoucím vlivům nejvíce.

Na hudební kompaktní disky není kladen tak velký důraz na kvalitu při výrobě je tomu u datových kompaktních disků (CD-ROM).

Vlivy působící na kompaktní disky budeme hodnotit z uživatelského hlediska. Hodnotit budeme výskyt digitálních chyb, resp. jejich narůstání způsobené působením nežádoucích vlivů. Hodnotit budeme především průměrné hodnoty chyby BLER, což je součet chyb první korekce. Dále budeme hodnotit vyskytnuté průměrné hodnoty chyby E12, což značí jednu chybu druhé korekce, a výskyt chyb E42, což jsou chyby neopravitelné.

Vzniklé neopravitelné chyby se u hudebních kompaktních disků projeví buď zvukovou prodlevou, nebo jiným zvukem (syčení, praskání, lupkání atd.). Z tohoto důvodu jsme se rozhodli, jako kritérium použitelnosti hudebního CD, vzít v úvahu výskyt chyby E42.

V této diplomové práci se budeme zabývat vlivy několika faktorů mající za následek výskyt digitálních chyb u datových ale převážně u hudebních kompaktních disků, které mohou být:

- **počet chyb na lisovaných CD pro hudební nosiče** – cílem tohoto experimentu je zjištění skutečné digitální kvality nově pořízeného CD
- **vliv působení teploty na užitnost CD** – cílem je zjištění vlivu působení prostředí (vzduchu) o určité teplotě a po určitou dobu na lisované CD
- **vliv působení vody na užitnost CD** – cílem je zjištění vlivu působení vody o určité teplotě a po určitou dobu na lisované CD a kopie
- **vliv působení lihu na užitnost CD** – cílem je zjištění vlivu působení lihu po určitou dobu na lisované CD a kopie
- **vliv čištění** – úkolem je zjistit jaký má vliv čištění prostředkem na bázi alkoholu na kvalitu čtení dat z kompaktního disku
- **vliv působení UV záření na užitnost CD** – cílem je zjištění vlivu působení UV záření po určitou dobu na lisované CD a kopie

- **vliv přehrávání na užitnost CD** – cílem je zjistit zda má přehrávání kopie kompaktního disku vliv na jeho kvalitu
- **vliv kopírování CD na kvalitu** – cílem je zjistit, zda se kopírováním kompaktních disků digitální chyby přenášení na kopie
- **vliv mechanického poškození** – úkolem je zjistit s jak velkým škrábancem na záznamové ploše lze data z kompaktního disku načíst

Při vytváření nežádoucích vlivů působících na kompaktní disky, jsme se snažili vytvořit podmínky, co nejvíce podobné běžnému uživatelskému prostředí.

2.2 Experimentální část

2.2.1 Použité zařízení

Digitální CD tester

K testování kompaktních disků jsme použili digitální CD tester QC-CDD40 od firmy ADIVAN High tech, Switzerland. Základem digitálního testeru je osobní počítač s procesorem intel pentium 400 MHz, 128 MB RAM a CD-RW mechanikou Plextor PX-40TS připojenou přes SCSI PCI controller Adepter AHA-2940AU. Tester je vybaven softwarem, který je schopen registrovat digitální chyby, které běžné CD-RW mechaniky v průběhu čtení dat automaticky opravují. Tester je navržen pro rychlou kontrolu CD-R a CD-ROM. Digitální data mohou být měřena rychlostmi 1x, 2x, 4x, 8x, 20x a 40x

Digitální tester nabízí:

- měření chybových parametrů E11, E21, E31, BLER, C1-BERL, E12, E22, E32 a E42 (podrobný popis jednotlivých chyb v kapitole 2.2.2)
- grafické i tabulkové zobrazení naměřených hodnot, jak v celku, tak jednotlivě
- ukládání naměřených dat k jejich možnému budoucímu využití
- tisk naměřených dat v tabulkové i grafické formě

- nastavení individuálních limitů u měřených testů – jsou to hodnoty maximálně povoleného množství digitálních chyb uvedených v s^{-1}



Obr. 16. Digitální tester QC-CDD40

Vodní lázeň

Pro zajištění stálé teploty vody, při vystavování kompaktních disků vlivu vody o zvýšené teplotě, jsme použili vodní lázeň HUBER. Vodní lázeň je sestavena z řídicí jednotky Polystat cc3, vany s integrovanou vzduchem chlazenou jednotkou a můstkem. Lázeň je vybavena tlačným čerpadlem včetně adaptéru o výkonu 10 l/min. Lázeň je použitelná v rozmezí teplot od -25°C až do 200°C .

Sušárna

Pro vysušení kompaktních disků byla používána horkovzdušná sušárna BINDER ED 53, bez nucené cirkulace s digitálním regulátorem. Sušárna má horní hranici teploty 300°C , dolní hranice je 5°C nad teplotu okolí. Prostorová odchylka při 70°C je 2°C , při 150°C je $3,5^{\circ}\text{C}$. Časová odchylka je $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$.

Přehrávač kompaktních disků

Při zjišťování vlivu přehrávání na kvalitu CD byl použit přehrávač kompaktních disků DEAWOO AMI-308R.

Vypalovací mechaniky

Pro vytváření kopií byly používány dvě vypalovací mechaniky a to DVD-RW SAMSUNG SPO812N a DVD-RW SONY DW-D22A

2.2.2 Popis měřených chyb

Všechny chyby E (ERROR) jsou chyby digitální. Oprava chybných dat probíhá ve dvou korekčních stupních značených jako C1 a C2. Mezi tyto dva stupně je vložen další stupeň tzv. Interleaving, kde jsou jednotlivé vzorky dat přerovnány do jiné struktury. Působením všech těchto korekčních struktur je zabezpečeno, že je možné znovu zrekonstruovat poškozený signál mnoha datových bloků. Korektury C1 a C2 jsou založeny na Reed Salomonovu algoritmu rekonstrukce dat tzv. CIRC (Gross Interleaved Reed Salomon Code).

Chyby první korekce:

E11 – E31 chyby první korekce, tyto chyby jsou opravitelné

Korekce C1 zahrnuje tyto kroky:

E11 – naměřená hodnota vyjadřuje kolik bylo jednotlivých datových vzorků opraveno za 1s.

E21 – naměřená hodnota vyjadřuje kolik bylo po sobě jdoucích dvou datových vzorků opraveno za 1s.

E31 – množství těchto chyb značí, že po sobě následovaly tři nebo více chyb, které nejsou opravitelné v první korekci. Jsou proto přesunuty z první korektury do druhé, aby byly opraveny.

První korektura tedy umožňuje opravovat na základě kontrolních součtů chyby E11 a E21 a jestliže došlo k většímu shluku chyb, jsou tyto chybná data označena a poslána do druhé korekce.

Mezi první a druhou korekturou je zařazen tzv. Interleaving, který přerovnává data, jsou na vstupu i výstupu první korekce, prochází tzv. Interleaving procedurou a na vstupu do druhé korekce jsou v pořadí, v jakém jsou čteny z disku, tedy vzorky po sobě následující tak, jak byly navzorkovány. Tím dochází k přeskupení vzorků a shluky chyb se na vstupu C2 objeví přerovnané a rozptýlené tak, aby nedocházelo k jejich kumulaci.

Chyby druhé korekce:

E12 – E42 chyby druhé korekce, tyto jsou kromě chyby E42 opravitelné

Korekce C2 zahrnuje tyto kroky:

E12 – první korektura druhé korekce značí, že byla opravena jednotlivá chyba

E22 – první korektura druhé korekce značí, že byly opraveny dvě po sobě jdoucí chyby

E32 – první korektura druhé korekce značí, že byly opraveny tři po sobě jdoucí chyby

E42 – nebylo možné opravit chybu v druhé korekci (maximálně je možné opravit tři chyby)

V praxi se udávají ještě další hodnoty, které nám dávají lepší přehled o kvalitě měřeného média. Jsou definovány takto:

BLER (Block Error Rate) je součet chyb první korekce $E11 + E21 + E31$

C1 BERL – je součet chyb $E21 + E31$, ukazuje na shluky po sobě jdoucích vzorků v první korekci

C2 BERL – je součet chyb $E22 + E32$, ukazuje na shluky chyb po sobě jdoucích vzorků ve druhé korekci

Průměrné hodnoty všech výše uvedených chyb se vypočítají podělením příslušné chyby délkou CD v sekundách.

Maximální hodnoty jednotlivých digitálních chyb znamenají maximální množství jednotlivých chyb naměřené za jednu sekundu záznamu. V Grafické podobě je maximální hodnota jednotlivé chyby zobrazena peakem.

Maximální hodnoty pro naměřené digitální chyby by měly být stanoveny podle RED BOOK STANDART. V době jejího vzniku však předpokládala jiný korekční mechanismus než ten, který se používá v dnešních CD přehrávačích a CD-ROM mechanikách. V RED BOOK není např. vůbec uvažována korektura E32. Nepočítala také s velkým zvýšením rychlosti čtení, a tedy i testování. Proto se již dnes výhradně používá vylepšený Reed Salomonův algoritmus. Kvůli vylepšení algoritmu se tedy změnily i limitní hodnoty naměřených digitálních chyb pro praxi.

Tabulka III. Maximální hodnoty chyb pro hudební CD

chyba	maximální povolené množství chyb [s^{-1}]
E11	100
E21	80
E31	40
BLER	220
C1-BERL	120
E12	80
E22	50
E32	20
C2-BERL	70
E42	0

2.2.3 Použité kompaktní disky pro měření digitálních chyb

Všechny kompaktní disky, které jsme použili k testování, jsou uvedeny v tabulce IV.

Pro zjišťování vlivu působení teploty byly použity CD1, CD2, CD3, CD4, CD5, CD6 a CD7. Pro zjišťování vlivu působení vody byly použity CD8, CD9, CD10, CD15 a CD16. Pro zjišťování vlivu UV záření byly použity CD7, CD8, CD16 a CD19. Pro zjišťování vlivu lihu byly použity CD1 a CD22. Pro zjišťování vlivu kopírování byly použity CD3, CD11-24. Pro zjišťování vlivu přehrávání bylo použito CD11. Pro zjištění vlivu čističe kompaktních disků bylo použito CD16.

Tabulka IV. Kompaktní disky použité pro testování

CD	název CD	druh CD	formát CD	délka CD [s]	množství počátečních chyb BLER [s ⁻¹]
1	A6	lisované	CD-ROM	2288	2,77
2	B5	lisované	CD-ROM	2129	0,46
3	B6	lisované	CD-ROM	2129	0,48
4	Abit	lisované	CD-ROM	2389	4,11
5	A1	lisované	CD-ROM	2288	2,01
6	B2	lisované	CD-ROM	2129	0,42
7	C2	lisované	CD-ROM	4208	1,02
8	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,80
9	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,85
10	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,70
11	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,70
12	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,60
13	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,60
14	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,70
15	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,70
16	GZ PB2408 CD55116	lisované	CD-DA	4542	0,60
17	CZ OC0111 IMP04/2003	lisované	CD-DA	2282	-
18	CD-R BenQ 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4519	4,30
19	CD-R BenQ 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4519	4,55
20	CD-R BenQ 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4519	4,40
21	CD-R BenQ 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4519	4,50
22	CD-R BenQ 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4519	4,30
23	CD-R BenQ 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	4,15
24	CD-R Noname 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	6,35
25	CD-R Noname 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	9,45
26	CD-R Maxell 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	1,80
27	CD-R Maxell 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	1,80
28	CD-R Sony 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	5,85
29	CD-R Sony 48x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	1,45
30	CD-RW Verbatim 10x 700MB/80min	kopie	CD-DA	4542	0,70
31	CD-RW AMS 4x	kopie	CD-DA	4542	4,80

2.2.4 Postup měření

Všechna měření na digitálním testeru probíhala za normálních laboratorních podmínek. Všechny testy byly prováděny dvakrát za sebou, abychom mohli vyloučit případnou náhodnou vybočující hodnotu. Pouze testování kompaktního disku, na kterém se provádělo měření vlivu přehrávání, bylo prováděno třikrát.

Už při počátečních testech jsme se snažili eliminovat všechny vedlejší vlivy. Při manipulaci s kompaktními disky byla dodržována zásada, že CD se dotýkají pouze prsty a to pouze za vnější okraj. Dále bylo každé CD před testováním zbaveno nečistot z povrchu kosmetickým kartáčkem a během manipulace s disky se nemluvílo, aby se na povrch nedostaly kapénky.

2.2.5 Statistika digitálních chyb u lisovaných CD

Lisované kompaktní disky byly testovány při rychlosti čtení 4x, čemuž odpovídá datový tok 600KB/s.

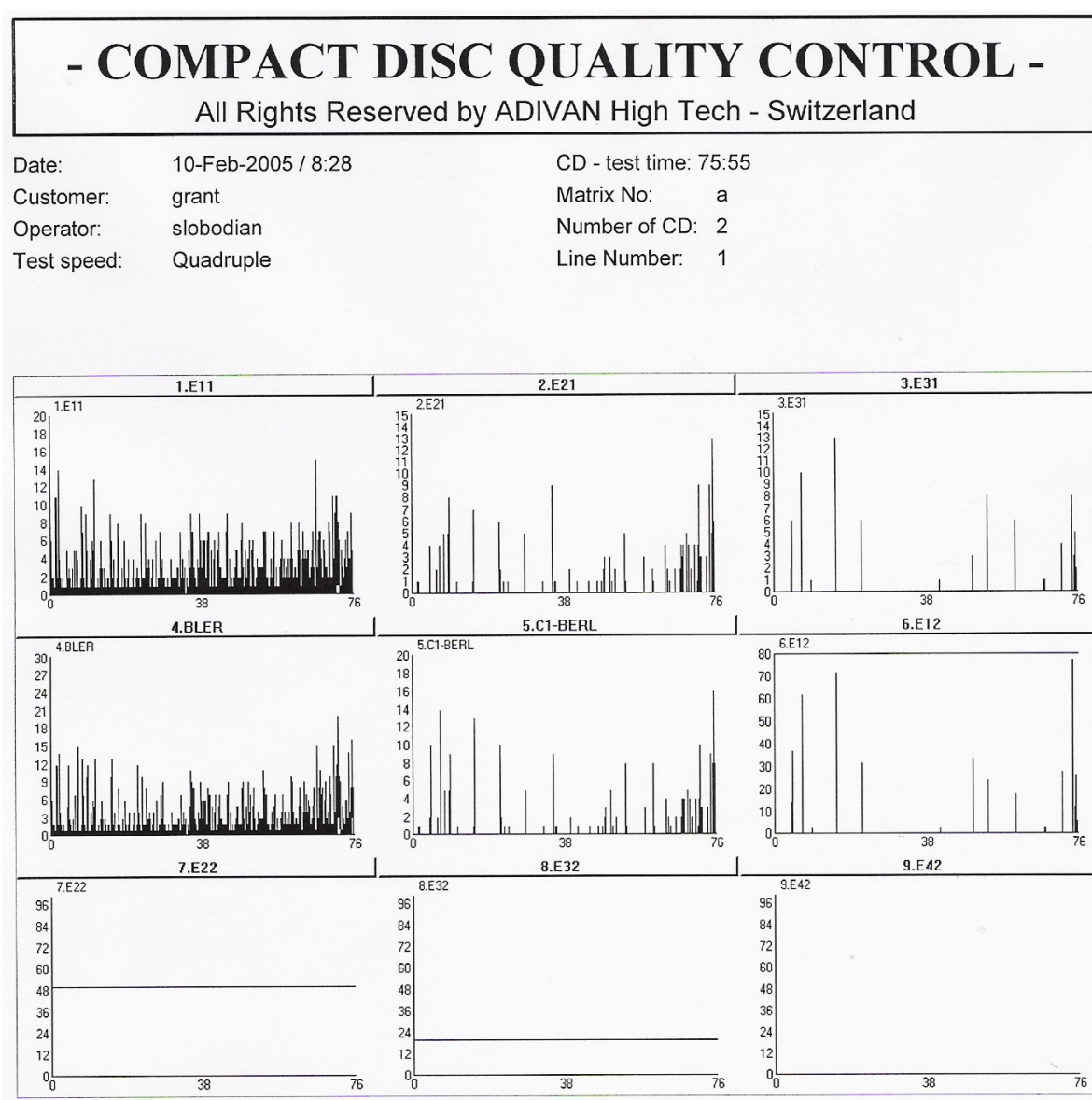
Testované lisované kompaktní disky byly všechny vyrobeny na jednom lisovacím stroji za sebou. Všechny CD byly otestovány dvakrát. V tabulce uvádíme aritmetický průměr z naměřených hodnot při dvou měřeních.

Tabulka V. Počet jednotlivých chyb u lisovaných CD a jejich průměr

CD	E11	E21	E31	BLER	C1-BERL	E12	E22	E32	E42
8	0,70	0,10	0,00	0,80	0,15	0,20	0,00	0,00	0,00
9	0,60	0,10	0,10	0,85	0,20	1,55	0,10	0,00	0,00
10	0,60	0,00	0,00	0,70	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,60	0,00	0,00	0,70	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
12	0,60	0,05	0,00	0,60	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
13	0,60	0,00	0,00	0,60	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
14	0,60	0,10	0,00	0,70	0,10	0,25	0,00	0,00	0,00
15	0,60	0,00	0,00	0,70	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
16	0,60	0,00	0,00	0,60	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Ø	0,61	0,03	0,00	0,68	0,10	0,11	0,00	0,00	0,00

Výrazně vybočující hodnoty u CD2 jsme ze statistických výpočtů vyloučili.

Uváděné hodnoty chyb BLER jsou přepočtené na délku CD. U testů provedených v minulosti u datových lisovaných kompaktních disků byla průměrná hodnota chyb BLER $0,41 \text{ s}^{-1}$. Námi naměřené hodnoty tedy potvrzují předpoklad, že při výrobě hudebních kompaktních disků není kladen tak velký důraz na kvalitu jako při výrobě datových kompaktních disků. Důvodem je fakt, že hudební CD jsou přehrávána většinou na přehrávačích, které jsou jednorychlostní s rychlostí čtení 1x. Možný výskyt chyb E42 se u hudebních CD projeví špatným signálem, kdežto u datových CD by mohlo dojít ke ztrátě dat.



Obr. 17. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu CD8

Z grafického záznamu testeru je patrné, že u testovaného kompaktního disku CD8, žádné z měřených chyb nepřesáhly normou stanovené maximální hodnoty chyb.

- COMPACT DISC QUALITY CONTROL -

All Rights Reserved by ADIVAN High Tech - Switzerland

Date:10-Feb-2005 / 8:28

Customer:grant

Operator:slobodian

Test speed:Quadruple

CD - test time: 75:55

Matrix No:a

Number of CD: 2

Line Number: 1

Total playing time: 75:42

Number of tracks: 12

Measure	Sum	Avg	Max at Time	Min at Time
1.E11	3140	0.7	15 66:32	0 0:01
2.E21	490	0.1	13 75:19	0 0:01
3.E31	193	0.0	13 15:38	0 0:01
4.BLER	3823	0.8	20 72:07	0 0:01
5.C1-BERL	683	0.2	16 75:19	0 0:01
6.E12	984	0.2	78 74:40	0 0:01
7.E22	0	0.0	0 0:01	0 0:01
8.E32	0	0.0	0 0:01	0 0:01
9.E42	0	0.0	0 0:01	0 0:01

Setup Values:

Measure	Max	Min	Max	Avg	Min	Avg
1.E11	100	No	No	No	No	No
2.E21	80	No	No	No	No	No
3.E31	40	No	No	No	No	No
4.BLER	220	No	No	No	No	No
5.C1-BERL	120	No	No	No	No	No
6.E12	80	No	No	No	No	No
7.E22	50	No	No	No	No	No
8.E32	20	No	No	No	No	No
9.E42	0	No	No	No	No	No

Obr. 18. Záznam z testeru – tabulka shrnující naměřené hodnoty při testování CD8

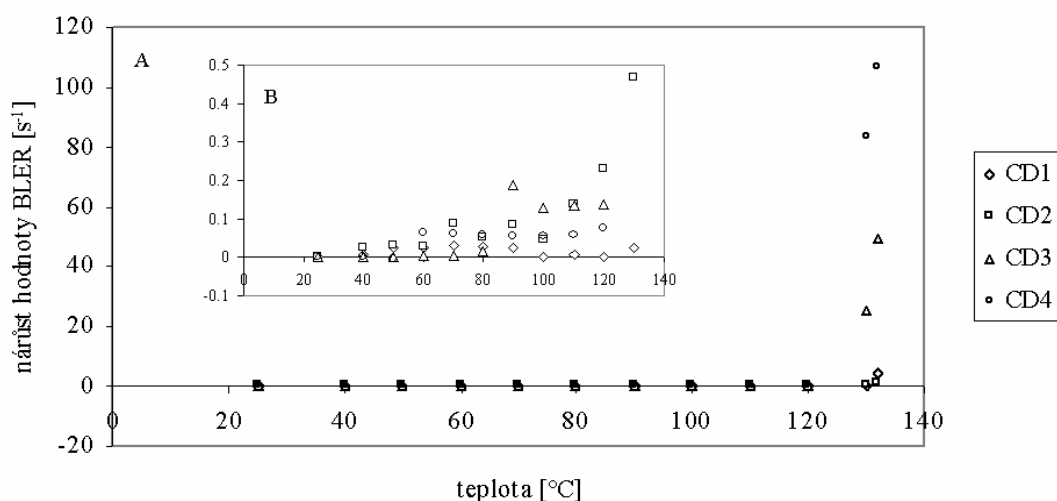
V Obr. 18. jsou uvedeny hodnoty naměřené při testování kompaktního disku CD8. Je zde uveden součet jednotlivých chyb, jejich průměrné hodnoty na délku kompaktního disku. Jsou zde dále uvedeny časy ve kterých byly naměřeny maximální a minimální hodnoty jednotlivých chyb.

2.2.6 Vliv působení teploty okolí

Test krátkodobé teplotní stability

Tento test krátkodobé teplotní stability byl prováděn na čtyřech lisovaných datových CD (1). Jednotlivé disky byly temperovány půl hodiny na jednotlivé teplotě a následně testovány na testeru. Poté byly opět temperovány na příslušné vyšší teplotě.

Graf č.1: (1) A) Závislost nárůstu hodnoty BLER (s^{-1}) na teplotě temperování pro lisované datové CD. B) Detail grafu v menším měřítku.



U všech CD bylo zjištěno stejné chování vývoje digitálních chyb. Pro lepší názornost jsou v grafu uvedeny rozdíly BLER (s^{-1}) (od naměřených hodnot BLER (s^{-1}) se odčítá počáteční chyba BLER (s^{-1})). Z grafu je patrné, že ztráta schopnosti číst data je s rostoucí teplotou nevýrazná. Od určité teploty nastane u všech CD prudký nárůst chyb a CD se stávají nečitelná. Tento jev je spojen s přechodem T_g polykarbonátové matrice CD a objevuje se přibližně 5-10°C pod T_g .

- COMPACT DISC QUALITY CONTROL -

All Rights Reserved by ADIVAN High Tech - Switzerland

Date: 20-Apr-2004 / 12:13

CD - test time: 35:27

Customer: grant

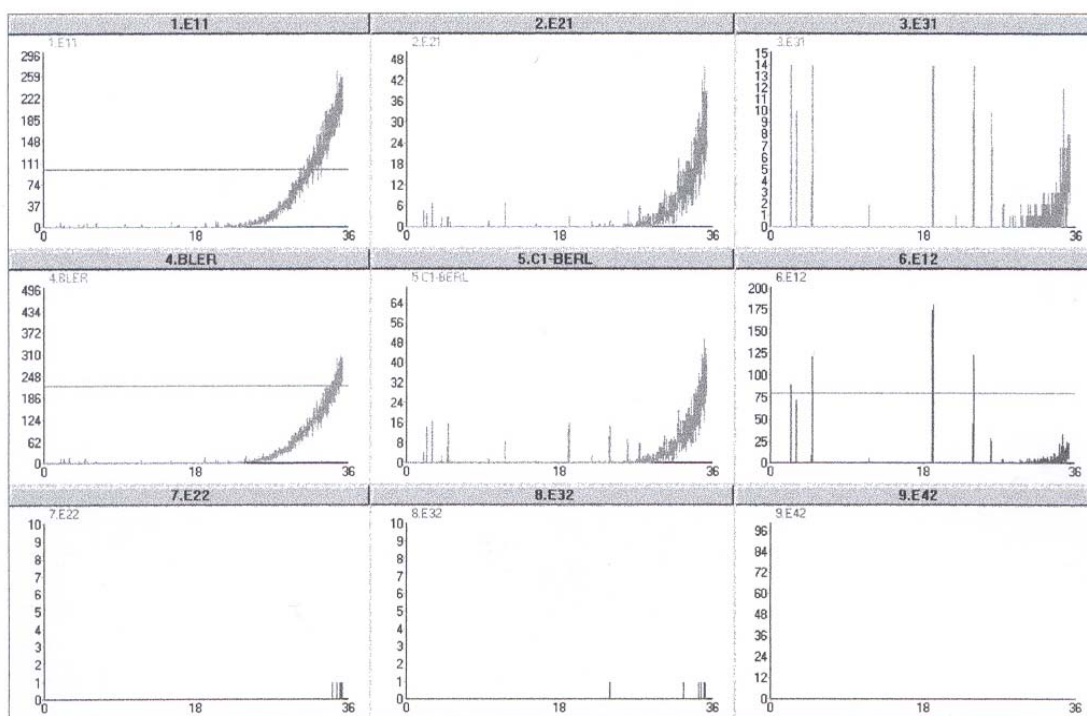
Matrix No: lupulus1

Operator: slobodian

Number of CD: 2

Test speed: 10-20x

Line Number: 1



Obr. 19. Záznam z testeru – grafické vyobrazení po konečné fázi vzestupné temperance po 30min na 130°C

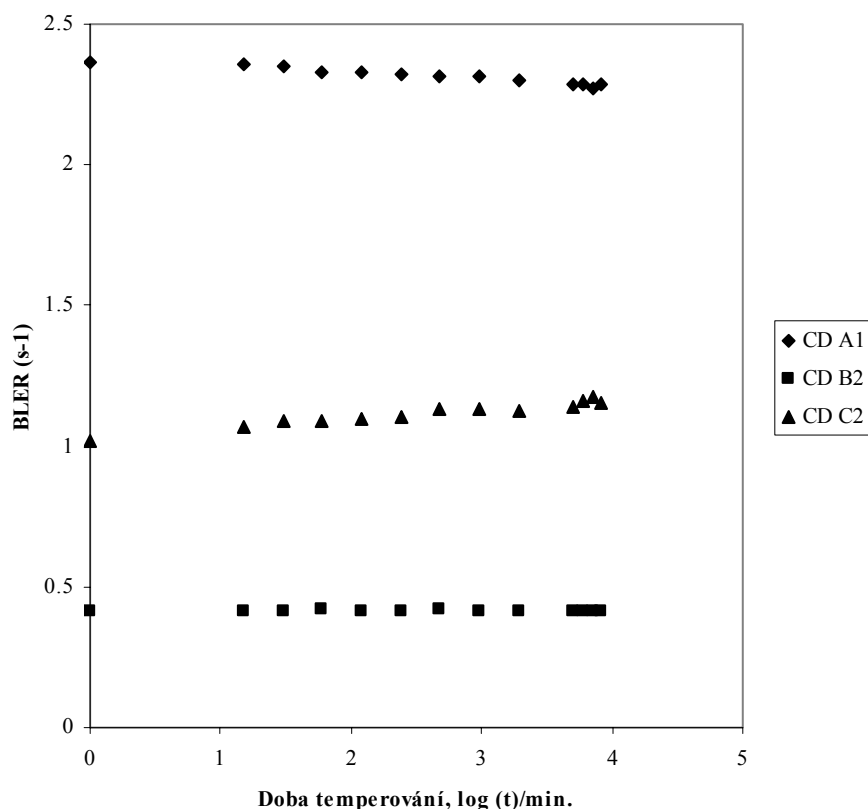
Z grafického záznamu testeru je patrné, že chyby narůstají dále od středu disku přičemž ve střední části jsme nezaznamenaly žádný nárůst počtu chyb. Ke strmému nárůstu chyb docházelo u testovaných disků mezi dvacátou třetí a třicátou minutou, což odpovídá vzdálenosti 40 – 45 mm od středu disku. Bylo zjištěno, že příčinou ztráty dat je zhoršení rovinnosti disků. Disky se vlivem zvýšené teploty symetricky prohnu směrem na stranu napařené vrstvy. Tento efekt nebyl pozorován u čistých PC matric, proto se usuzuje, že je způsoben vrstevnatou strukturou vlastního CD a odlišnými fyzikálními vlastnostmi PC matrice, napařené vrstvy a akrylátové krycí vrstvy. Vlivem prohnutí dochází k tomu, že se

laserový paprsek neodrazí zpět do fotodiody. Závěrem lze říci, že nárůst digitálních chyb v průběhu testu nebyl způsoben fyzickou změnou pitů a landů, ale ztrátou rovinnosti CD.

Test dlouhodobé teplotní stability

V tomto testu (1) byly lisované kompaktní disky temperovány na konstantní teplotě po dobu přibližně jednoho týdne. Graf č. 2 znázorňuje příklad výsledků těchto měření pro tři různé disky při kumulativní expozici CD na teplotě 70°C.

Graf č.2: (1) Závislost počtu chyb BLER (s^{-1}) na době temperance při 70°C.



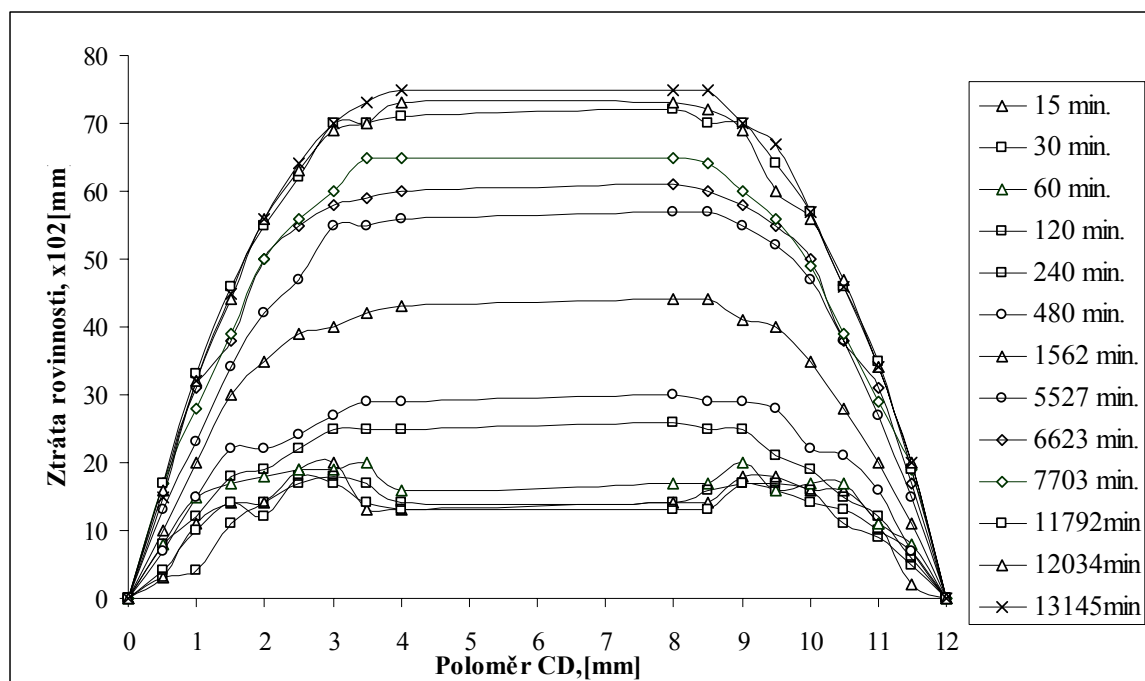
Tyto měření lze shrnout poznatkem, že CD jsou poměrně stabilní i při dlouhodobější expozici na teplotách vyšších jak 55°C, což je teplota nad kterou by se podle výrobců neměly tyto nosiče vystavovat. Z grafu č.2 je vidět že ani týdenní expozice na 70°C nijak výrazně nepoškozuje CD. Disky jsou schopny dlouhodobě odolávat i teplotám vyšším, např. až 1 týden teplotám do 115°C bez závažnějšího poškození, bráno z pohledu nárůstu digitálních chyb. Každé CD se však může chovat mírně odlišně, v závislosti na preciznosti

výroby CD. U některých nosičů docházelo ke skokovému nárůstu chyb či k náhlému znehodnocení nosiče po expozici na přibližně 90°C po dobu několika desítek hodin. Je nutno ovšem podotknout, že u převážné většiny disků k takovému poškození nedochází.. Na druhé straně, přibližně od teplot 70°C a uvedených dob expozice CD, je vždy pozorována ztráta rovinnosti disků.

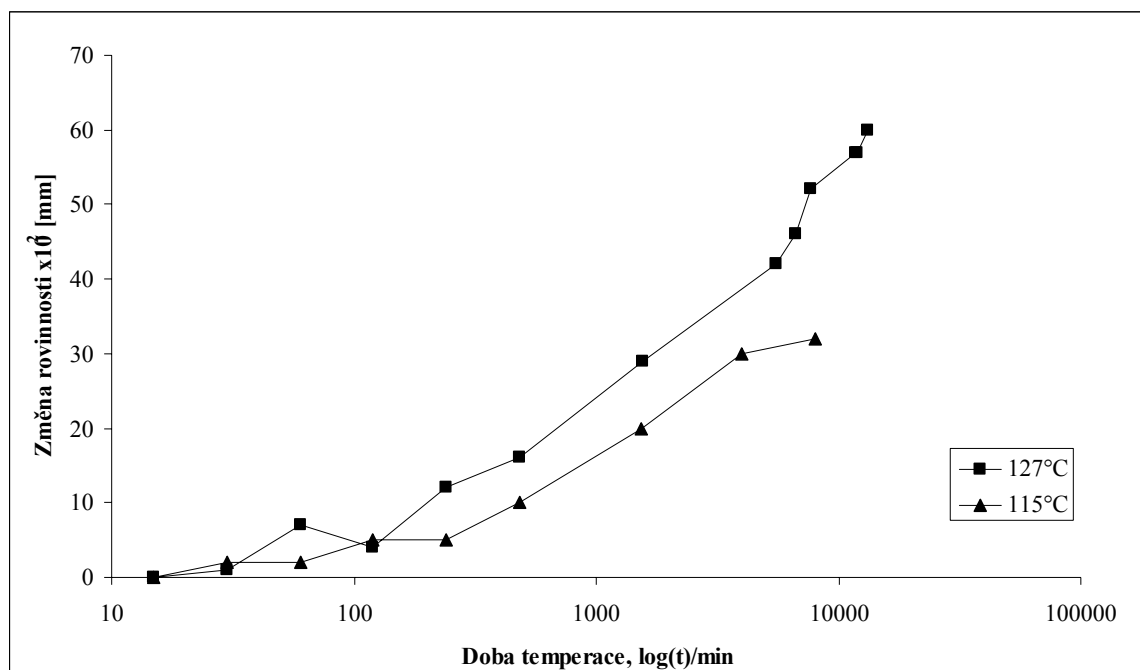
Vliv teploty na změnu rovinnosti

Při teplotě 115°C byla měřena časová závislost změny rovinnosti CD. Měření bylo prováděno v osmi polohách na disku. Měření se provádělo vždy po teplotě a to, kumulativně vzato, po 15, 30, 60, 120, 240, 480, 1562, 5527, 6623, 7703, 11792, 12034 a 13145 minutách. Stejným postupem se opakovalo měření CD temperované při teplotě 127°C.

Graf č.3: Vývoj ztráty rovinnosti CD po kumulativní expozici na 127°C.



V grafu č.3 je zaznamenán průběh ztráty rovinnosti kompaktního disku v jednotlivých místech při teplotě 127°C. Průhyb kompaktního disku měl cylindrický tvar a průhyb byl symetrický kolem středu kompaktního disku.

Graf č.4: Změna rovinnosti CD při teplotě při 115°C a 127°C

V grafu č.4 jsou uvedeny hodnoty změny rovinnosti naměřené v jednom z osmi měřených bodů. Z naměřených hodnot plyne, že při teplotě kompaktního disku při teplotě 127°C je změna rovinnosti výraznější než při teplotě 115°C. Průhyb kompaktního disku je pravděpodobně způsoben relaxací napětí. Z průběhu hodnot uvedených v grafu č.4 by bylo možné superpozičně stanovit časovou závislost prohnutí kompaktního disku.

2.2.7 Vliv působení vody

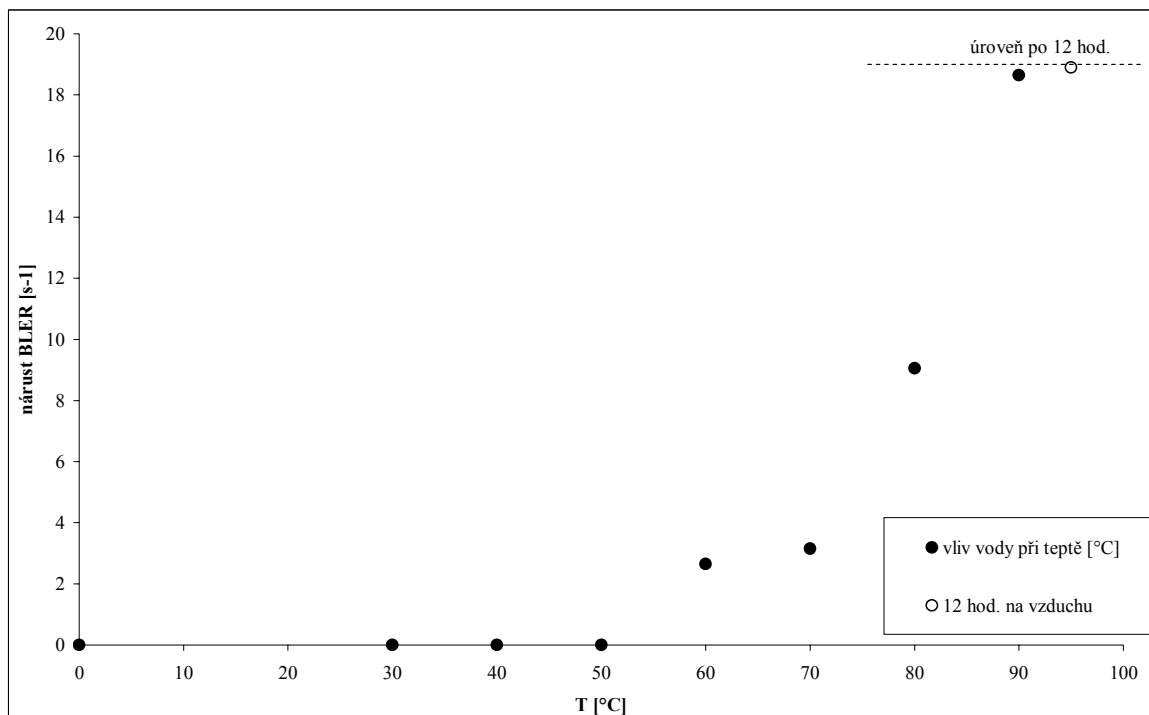
Test krátkodobé teplotní stability ve vodě

Lisovaný kompaktní disk, označený jako CD11, jsme nejprve otestovali, poté jsme ho vystavili působení vody o teplotě 30°C po dobu 15 minut. Po této době jsme kompaktní disk nechali osušit v sušárně po dobu 5 minut a nastavené teplotě 50°C. Následovalo testování disku. Po dvojnásobném testování jsem zvýšili teplotu vody o 10°C na 40°C. Následovalo další 15ti minutové působení. Proces jsme opakovali a to vždy se zvýšením teploty o 10°C až do teploty 90°C.

Při nastavování podmínek vlivu při tomto testu, jsme se snažili přilížit co nejvíce k běžným uživatelským podmínkám. Použitý kompaktní disk jsme před testováním nečistili.

Dvanáct hodin po ukončení testování tohoto vlivu jsme CD11 opět otestovali, abychom zjistili, zda proces není vratný. Např. se část absorbované vody se mohla opět odpařit. Rychlost testování kompaktního disku jsme zvolili 4x.

Graf č.5: Nárůst počtu chyb BLER při krátkodobém vystavení CD vlivu vody

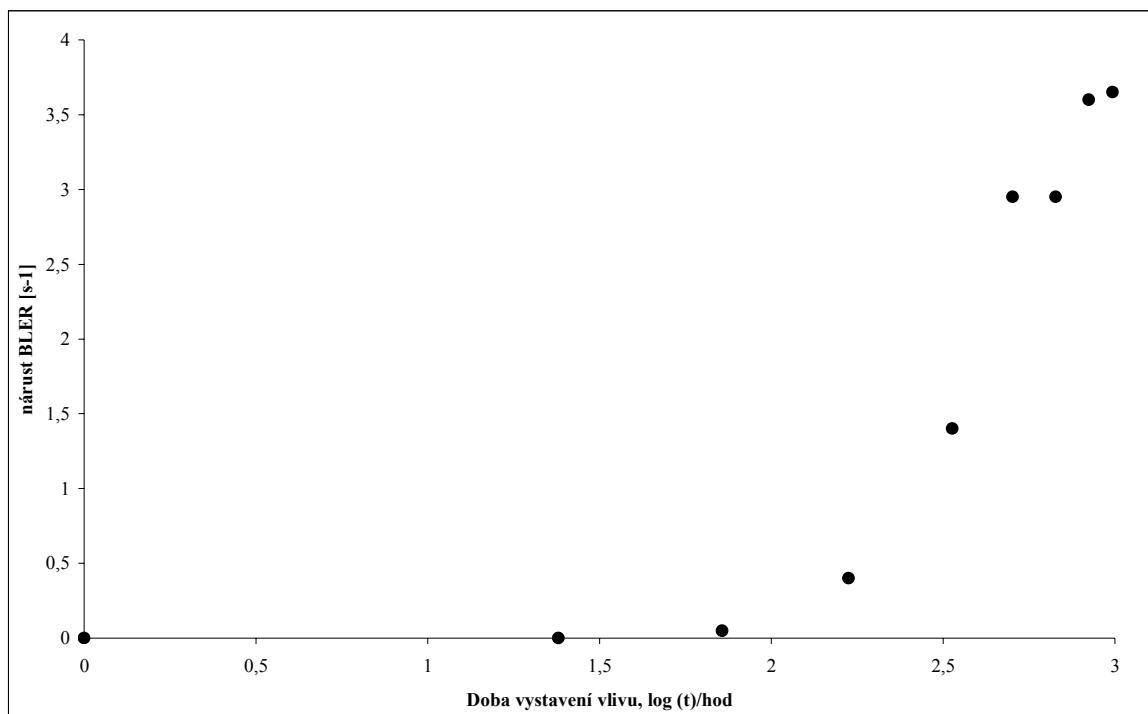


Při krátkodobém působení vody na CD se až do teploty 50°C nic nedělo. Při 60°C začaly chyby BLER, E12, E22 a E32 narůstat. Při vystavení vlivu působení vody o teplotě 80°C a 90°C vzrůstaly hodnoty chyb BLER, E12, E22 a E32 prudce. Při krátkodobém vystavení vlivu vody o teplotě 90°C se vyskytly chyby E42, což považujeme za hranici použitelnosti a takto poškozený kompaktní disk označíme jako nepoužitelný. Po dvanáctihodinovém odležení na vzduchu při laboratorní teplotě se počet chyb BLER téměř nezměnil, což ukazuje na trvalé poškození kompaktního disku vystaveného krátkodobému působení horké vody.

Test dlouhodobé stability ve vodě při pokojové teplotě

Vytvořenou kopii CD-R BenQ 48x 700MB/80min označenou jako CD21 jsme vystavili působení ve vodní lázni při pokojové teplotě. Po vytažení z vody jsme kompaktní disk očistili lihem, opláchli vodou a pět minut vysušili ve sušárně. Rychlost testování kompaktního disku jsme zvolili 4x.

Graf č. 6: Nárůst počtu chyb BLER při dlouhodobém působení vody



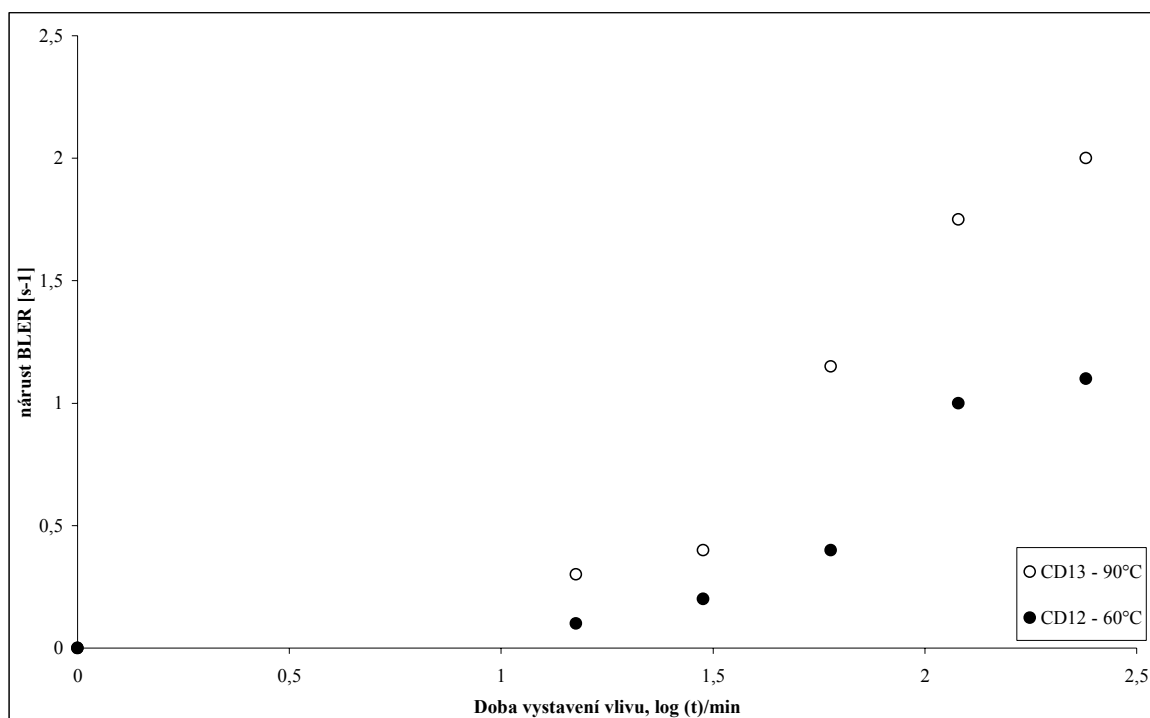
Na CD21 jsme během testování sledovali nárůst počtu chyb BLER. Už po sedmidenním vystavení vlivu vody o pokojové teplotě začaly chyby BLER narůstat. Po 840 hodinách,

což je 40 dnů, se u testovaného kompaktního disku vyskytly chyby E42, čímž se kompaktní disk znehodnotil.

Test stability lisovaných CD ve vodě při teplotě 60°C a 90°C

Lisované kompaktní disky jsme vystavili působení vody a to u CD12 60°C a u CD13 90°C. Po dobu 1, 15, 30, 60, 120 a 240 minut. Před každým testováním byly kompaktní disky očištěny lihem, opláchnuty vodou a vysušeny po dobu 5 minut v sušárně při teplotě 50°C. Rychlost testování kompaktních disků jsme zvolili 4x.

Graf č.7: Nárůst chyb BLER při působení vody teplotě 60C a 90C na lisované CD

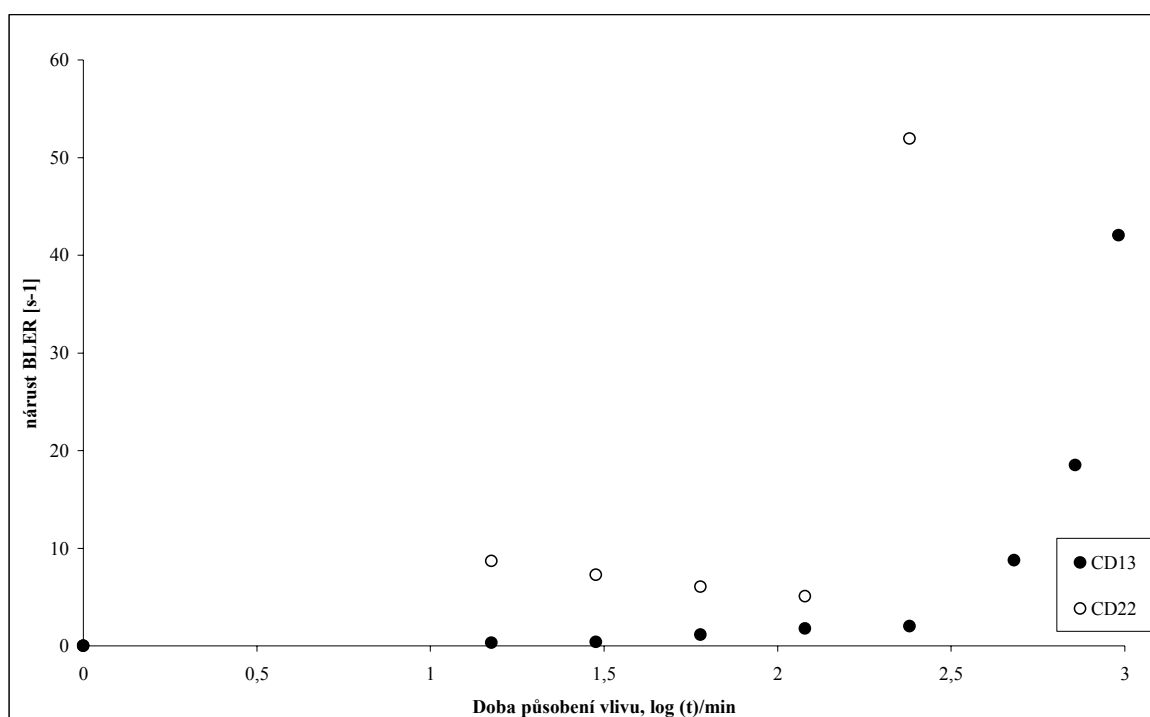


Nárůst chyb BLER je u lisovaného kompaktního disku vystaveného vodě o teplotě 90°C výrazně vyšší než u lisovaného kompaktního disku vystaveného vodě o teplotě 60°C. Při tomto testu ke znehodnocení kompaktních disků nedošlo. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli, že budeme v dalším testu vystavovat kompaktní disky vlivu působení vody o teplotě 90°C.

Test stability lisovaného CD a CD-R ve vodě o teplotě 90°C

Lisovaný kompaktní disk označený jako CD13 a kopii kompaktního disku označenou jako CD22 jsme vystavili vlivu působení vody o teplotě 90°C a to po dobu 1, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 720 a 960 minut. Před každým testováním byly kompaktní disky očištěny lihem, opláchnuty vodou a vysušeny po dobu 5 minut v sušárně při teplotě 50°C. Rychlost testování kompaktních disků jsme zvolili 4x.

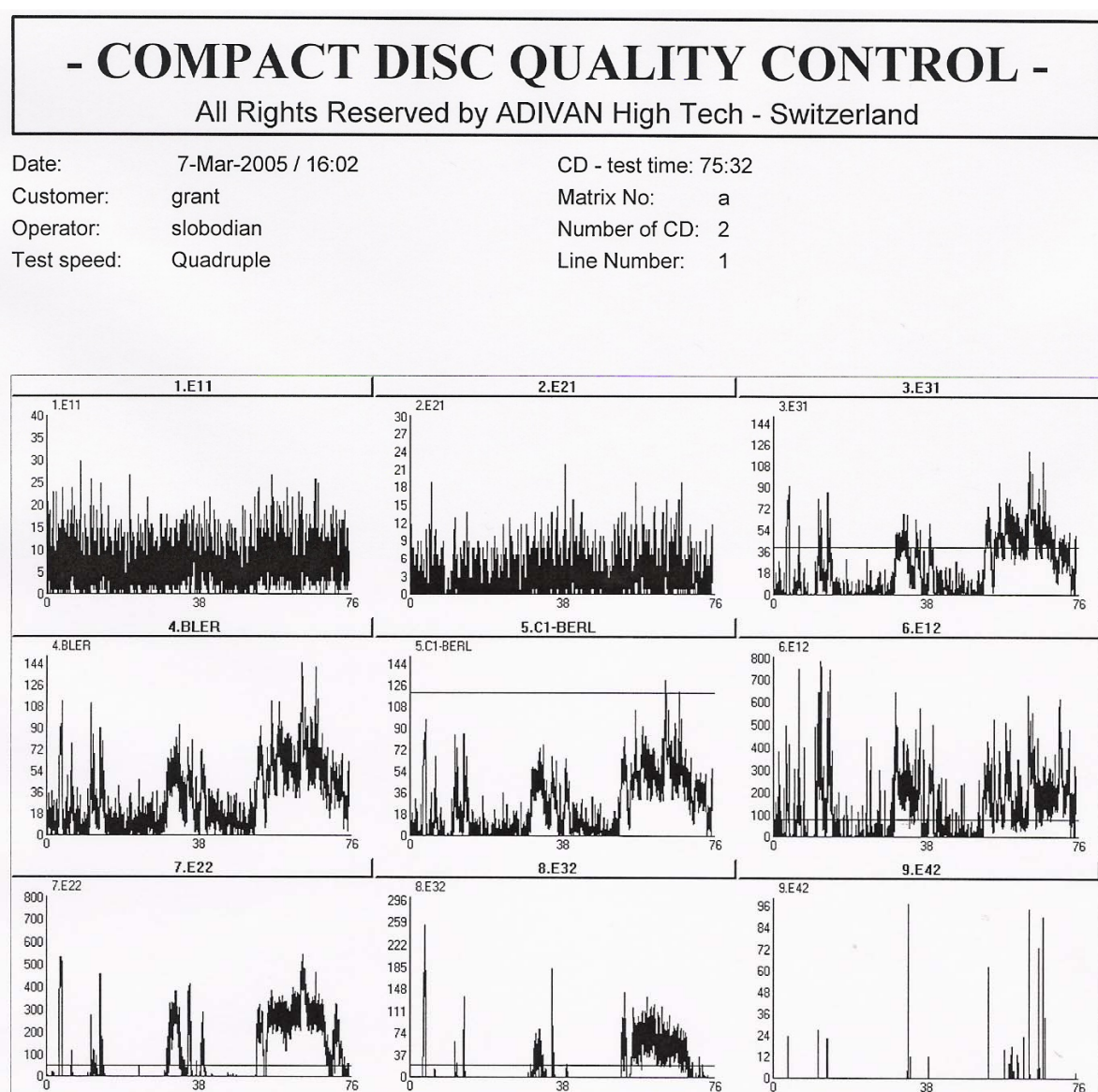
Graf č.8: Nárůst chyb BLER při působení vody teplotě 90°C na lisované CD a kopii



U kopie kompaktního disku počet chyb BLER po 15 minutách zvýšil výrazněji než u lisovaného CD, poté se až do 120 minut počet chyb BLER mírně snižoval a po 240 minutách ve vodní lázni o teplotě 90°C výrazně narostl. Po 240 minutách ve vodní lázni o teplotě 90°C se u vypálené kopie vyskytly chyby E42, což značí, že kompaktní disk je z uživatelského hlediska znehodnocen. My jsme se však rozhodli v testu pokračovat. Po 480 minutách ve vodní lázni o teplotě vody 90°C se kopie kompaktního disku poškodila natolik, že ji tester nemohl ani načíst natož tak otestovat.

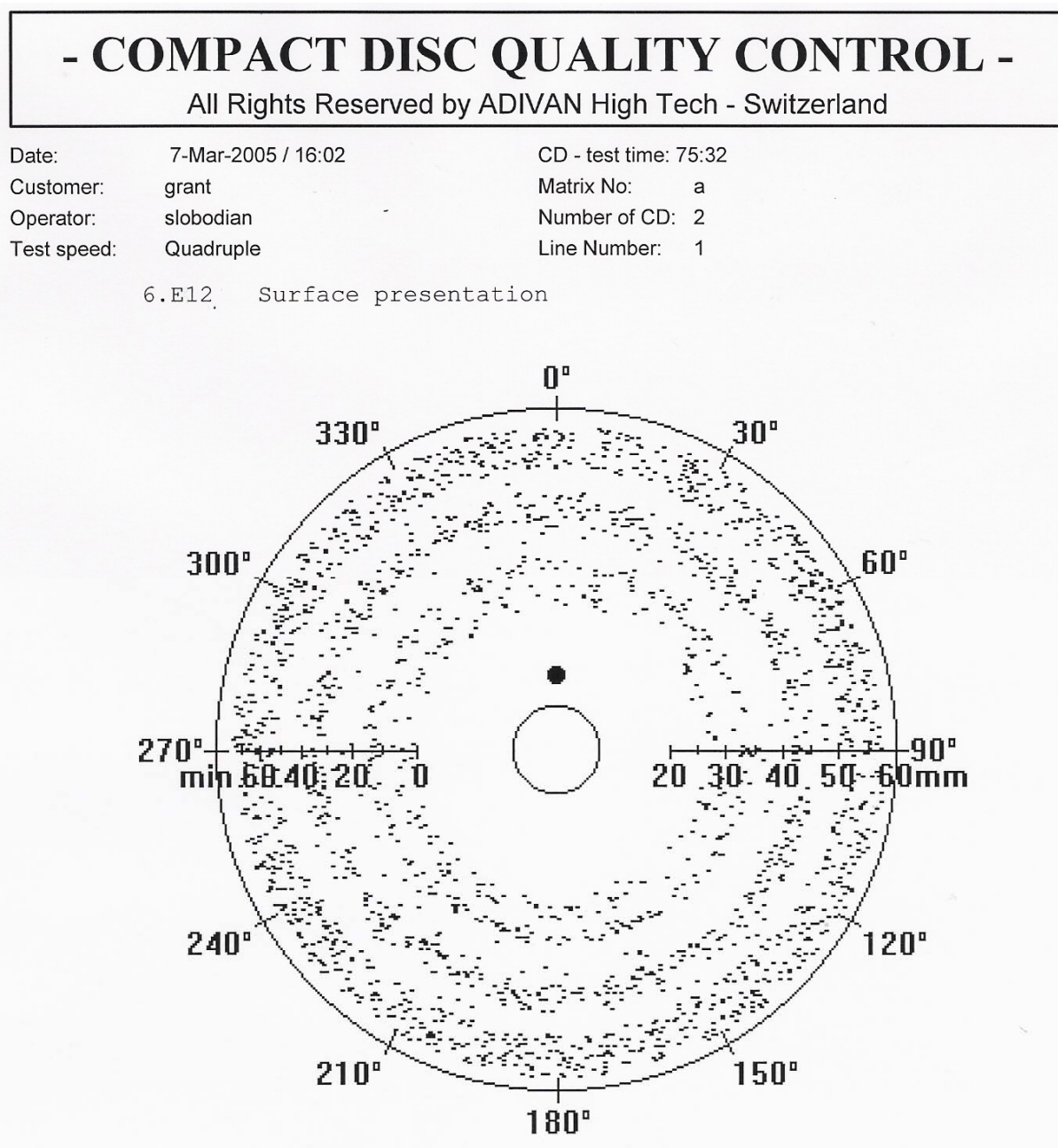
U lisovaného kompaktního disku, označeného jako CD13, je nárůst chyb BLER až do 240 minut pozvolný, poté začíná počet chyb BLER strmě vzrůstat. Po 960 minutách ve vodní lázni se u lisovaného kompaktního disku vyskytly neopravitelné chyby E42 čímž se stal kompaktní disk nepoužitelný.

Na základě tohoto experimentu můžeme tvrdit, že lisovaný kompaktní disk má mnohem vyšší odolnost vůči působení vlivu horké vody než pořízená kopie.



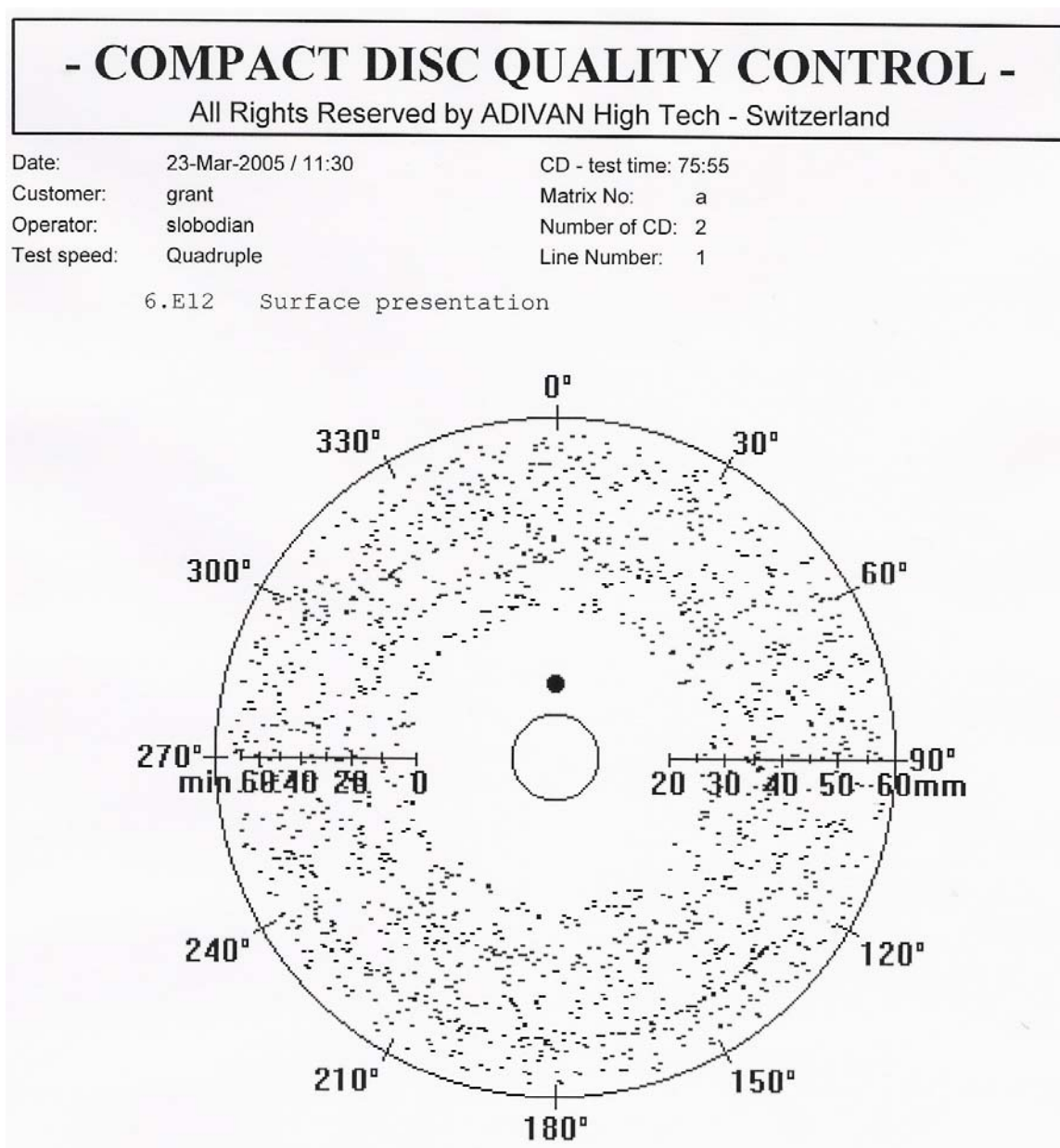
Obr. 20. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD22 při testování působení vlivu vody o teplotě 90°C po dobu 240 minut

Z vyobrazení průběhu testu kopie kompaktního disku, označeného jako CD22, můžeme sledovat průběh výskytu jednotlivých chyb. Nepravidelný průběh výskytu jednotlivých chyb je důsledkem porušení povrchu materiálu v různých místech kompaktního disku.



Obr. 21. Záznam z testeru – vyobrazené schéma povrchu kopie kompaktního disku označeného CD22 při testování působení vlivu vody o teplotě 90°C po dobu 240 minut

Na vyobrazeném schématu povrchu kopie kompaktního disku můžeme sledovat výskyt chyby E12. Zobrazené body představují překročení normou REED BOOK STANDART stanovené maximální hodnoty chyby E12 za jednu sekundu.



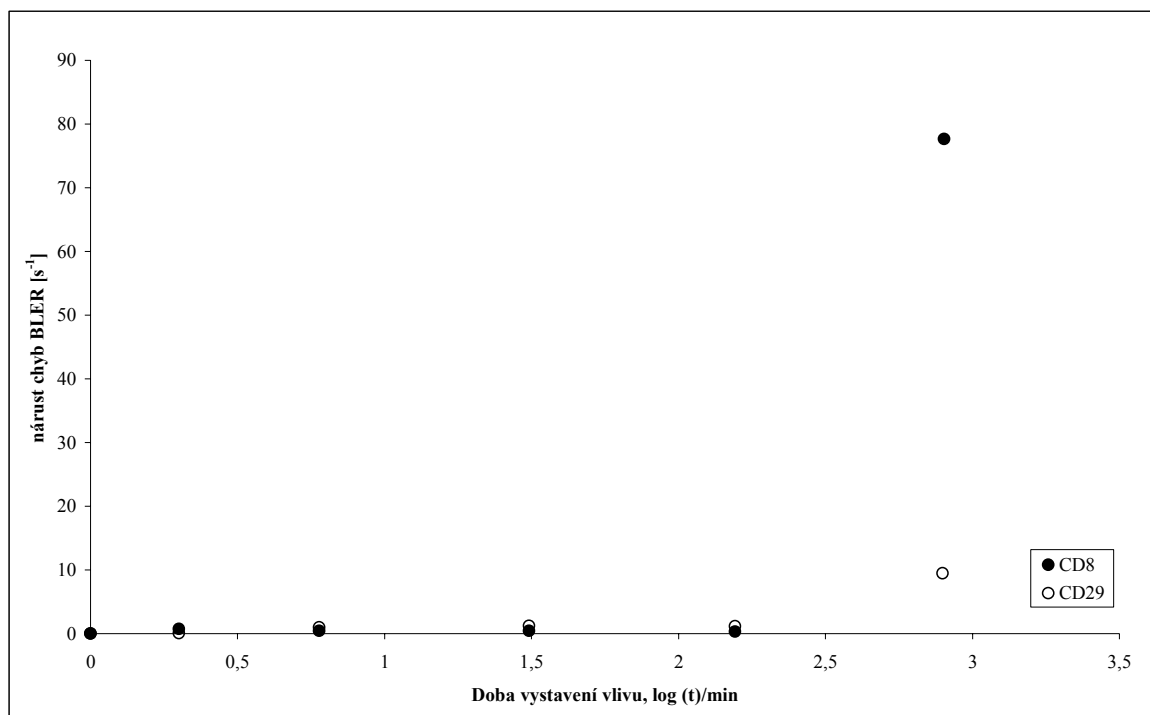
Obr. 22. Záznam z testeru – vyobrazené schéma povrchu lisovaného kompaktního disku označeného CD13 při testování působení vlivu vody o teplotě 90°C po dobu 960 minut

Rozložení chyb E12 je u lisovaného kompaktního disku oproti pořízené kopii výrazně pravidelnější, což může být následkem nepřesné tloušťky použitého barviva u kopie kompaktního disku.

2.2.8 Vliv působení lihu

Lih je součástí všech běžných čistících prostředků. Zajímalo nás, jaký má lih vliv na kvalitu kompaktního disku při dlouhodobém vystavení vlivu lihu. Lisovaný kompaktní disk označený CD8 a vypálenou kopii označenou CD29 jsme vystavili působení lihu a to po dobu 1, 5, 25, 125 a 625 minutách. Rychlost testování kompaktních disků jsme zvolili 4x. Lih jsme použili 92% obecně denaturovaný lih pro technické účely.

Graf č.9: Nárůst chyb BLER při působení lihu na lisované CD a kopii



U obou testovaných kompaktních disků jsme nejdříve zjistili vliv lihu při omytí kompaktního disku. U obou CD se po omytí lihem k žádným změnám v počtu chyb BLER nedošlo.

Už po jedné minutě vystavení vlivu ponořením do lihu však došlo u lisovaného kompaktního disku k mírnému navýšení počtu chyb BLER. Tento stav se neměnil až do, kumulativně vzato, 156 minut. Po dalším vystavení vlivu lihu po dobu 800 minut, prudce vzrostl počet chyb BLER a vyskytly se chyby E42. Tester nebyl schopen vlivem velkého poškození kompaktního disku test dokončit a proto přerušil testování lisovaného kompaktního disku při 47 minutách a 4 sekundách.

U vypálené kopie se po jedné minutě vystavení lihu počet chyb BLER zvýšil více než u lisovaného CD. Další průběh výskytu počtu chyb BLER až do doby 156 minut byl neměnný. Po dalším vystavení vlivu lihu po dobu 790 minut, výrazně vzrostl počet chyb BLER a vyskytly se chyby E42.

Z výsledků tohoto testu je zřejmé, že jak lisovaný kompaktní disk tak i kopie odolají účinkům lihu po dobu minimálně dvou hodin. Při vystavení účinkům lihu po dobu deseti hodin se, jak lisované CD tak kopie, znehodnotí.

- COMPACT DISC QUALITY CONTROL -

All Rights Reserved by ADIVAN High Tech - Switzerland

Date: 15-Feb-2005 / 6:32

CD - test time: 47:04

Customer: grant

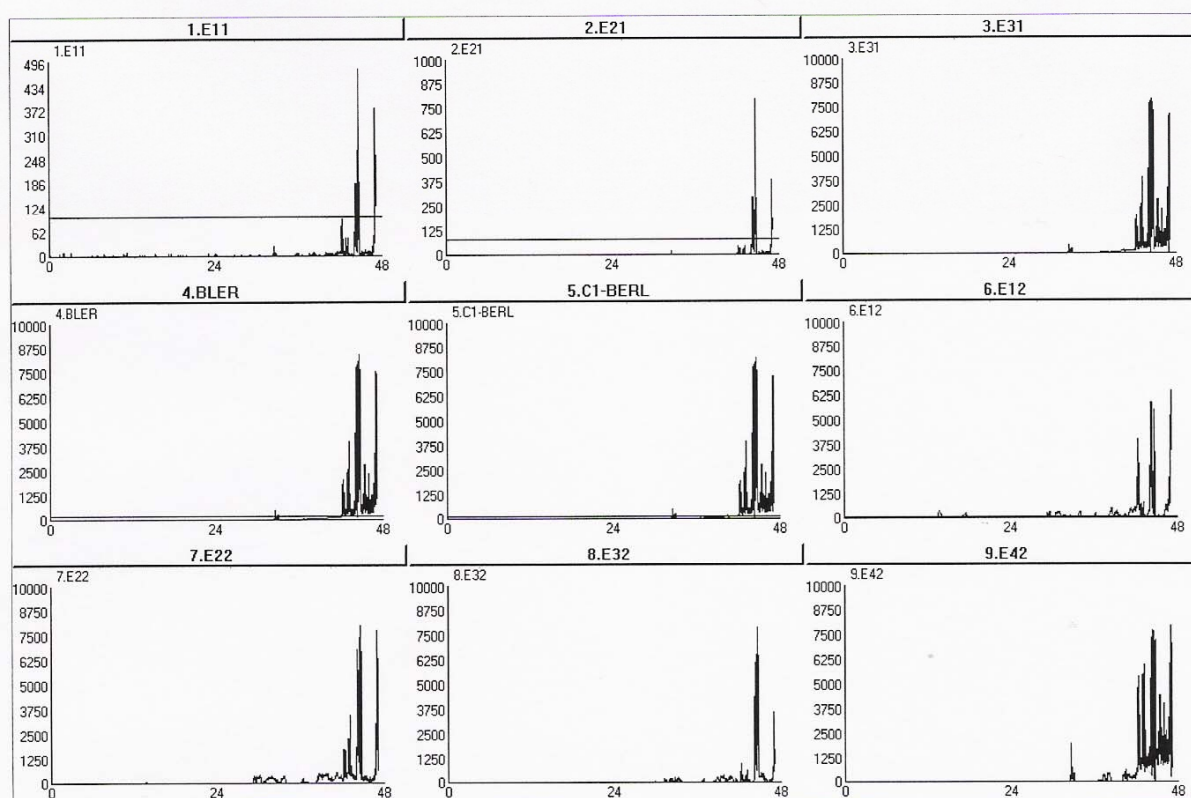
Matrix No: a

Operator: slobodian

Number of CD: 2

Test speed: Quadruple

Line Number: 1



Obr. 23. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD8 při testování působení vlivu lihu po dobu 790 minut

- COMPACT DISC QUALITY CONTROL -

All Rights Reserved by ADIVAN High Tech - Switzerland

Date: 15-Feb-2005 / 6:32

CD - test time: 47:04

Customer: grant

Matrix No: a

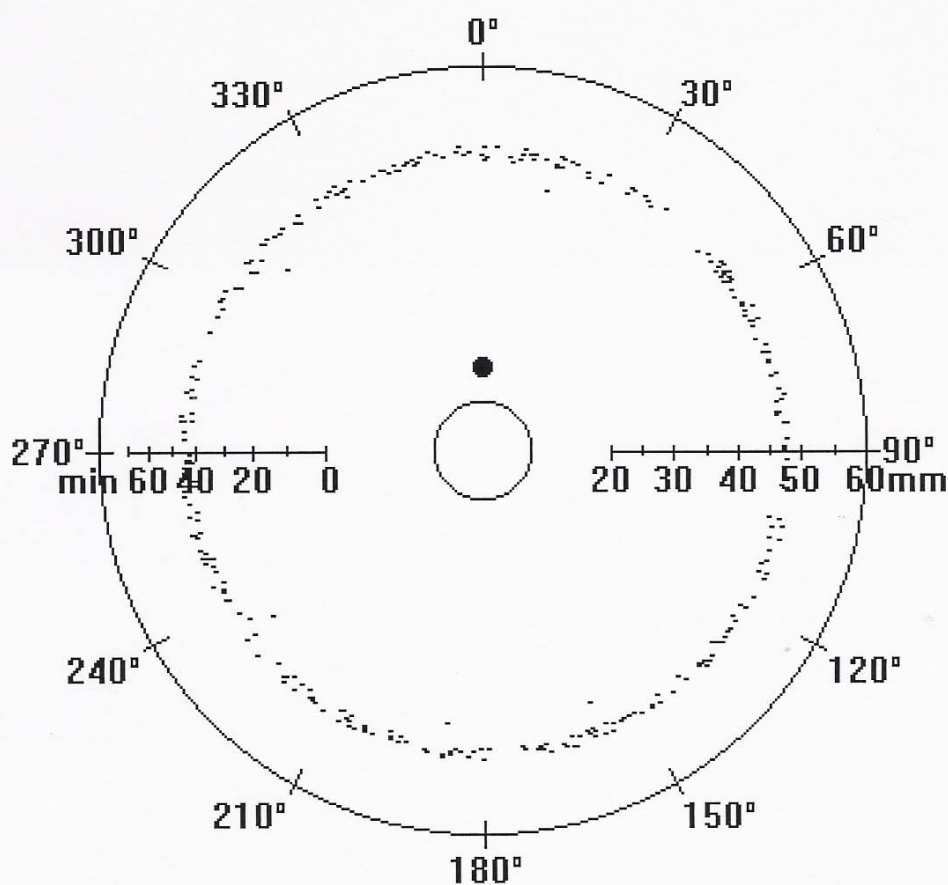
Operator: slobodian

Number of CD: 2

Test speed: Quadruple

Line Number: 1

4.BLER Surface presentation



Obr. 24. Záznam z testeru – vyobrazené schéma povrchu kopie kompaktního disku označeného CD8 při testování působení vlivu lihu po dobu 790 minut

Jak z grafického záznamu průběhu testu CD8, tak ze schématu povrchu, na kterém jsou znázorněny chyby BLER překračující normou stanovené maximální hodnoty, je patrné, že líh nepoškozoval povrch kompaktního disku rovnoměrně, ale od jeho okrajů.

2.2.9 Vliv čištění

Zajímalo nás, zda na trhu nabízené čističe kompaktních disků fungují tak jak jejich výrobci či obchodníci uvádějí. Použili jsme čistič kompaktních disků na bázi izopropylalkoholu v kombinaci s čisticí jednotkou (CD Clinic) a speciální utěrkou z mikrovlákn. Pro tento test jsme použili kopii, označenou jako CD23. Nejdříve jsme provedli výchozí testování, následovalo očištění použitého kompaktního disku a jeho opětovné otestování. Poté jsme kompaktní disk znečistili otisky prstů dotýkáním se záznamové plochy kompaktního disku a otestovali . Následovalo vyčištění kompaktního disku a jeho následné otestování.

Tabulka VI. Počet jednotlivých chyb v průběhu zjišťování vlivu čištění

proces	E11	E21	E31	BLER	C1-BERL	E12	E22	E32	E42
výchozí stav	3,70	0,30	0,20	4,15	0,40	1,15	0,00	0,00	0,00
očištění 1	3,70	0,30	0,20	4,10	0,40	1,10	0,00	0,00	0,00
znečištění	3,85	0,30	1,20	5,35	1,50	9,95	3,45	0,60	0,00
očištění 2	3,75	0,30	0,20	4,15	0,40	1,05	0,00	0,00	0,00

Na základě tohoto experimentu můžeme potvrdit pozitivní vliv čističe kompaktních disků na zlepšení čtení dat z očištěného kompaktního disku. Čističem kompaktních disků lze čistit kompaktní disky znečištění otisky prstů, kapénkami a usazenými částicemi prachu. Na mechanicky poškozený kompaktní disk čistič kompaktních disků žádný vliv nemá.

2.2.10 Vliv působení UV záření

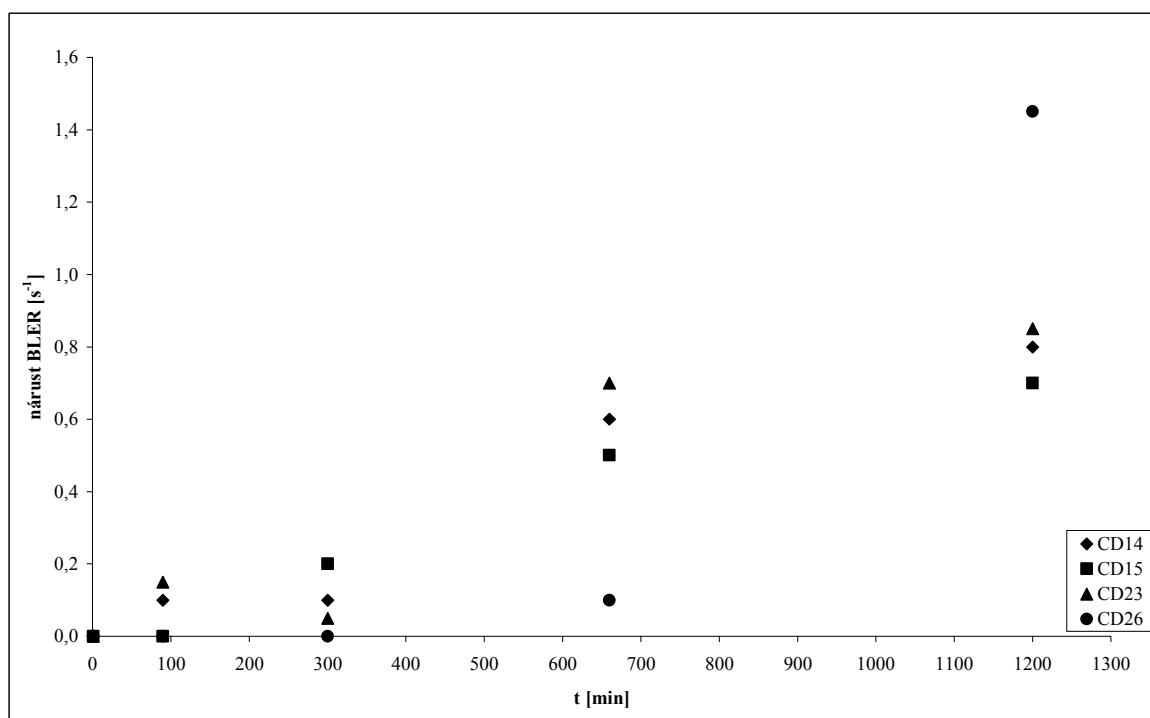
Kompaktní disk můžeme při používání zapomenout na místě, ve kterém by mohl přijít do kontaktu se slunečním zářením. Výrobce CD před touto možností varuje. Nás zajímalo, zda má působení zásadní vliv na snížení kvality kompaktního disku.

V tomto testu jsme vystavili kompaktní disky působení vlivu UV záření. Jako zdroj UV záření jsme použili 400 W UV lampu. Kompaktní disky jsme exponovali 40 cm od zdroje UV záření.

Působení vlivu UV záření jsme vystavili 4 kompaktní disky. Dvě lisované, označené jako CD14 a CD15, a dvě vypálené kopie, označené jako CD23 a CD26.

Uvedené kompaktní disky jsem vystavili vlivu UV záření po dobu , kumulativně, 90, 300, 660 a 1200 minut.

Graf č.10: Nárůst počtu chyb BLER u kompaktních disků při působení UV záření

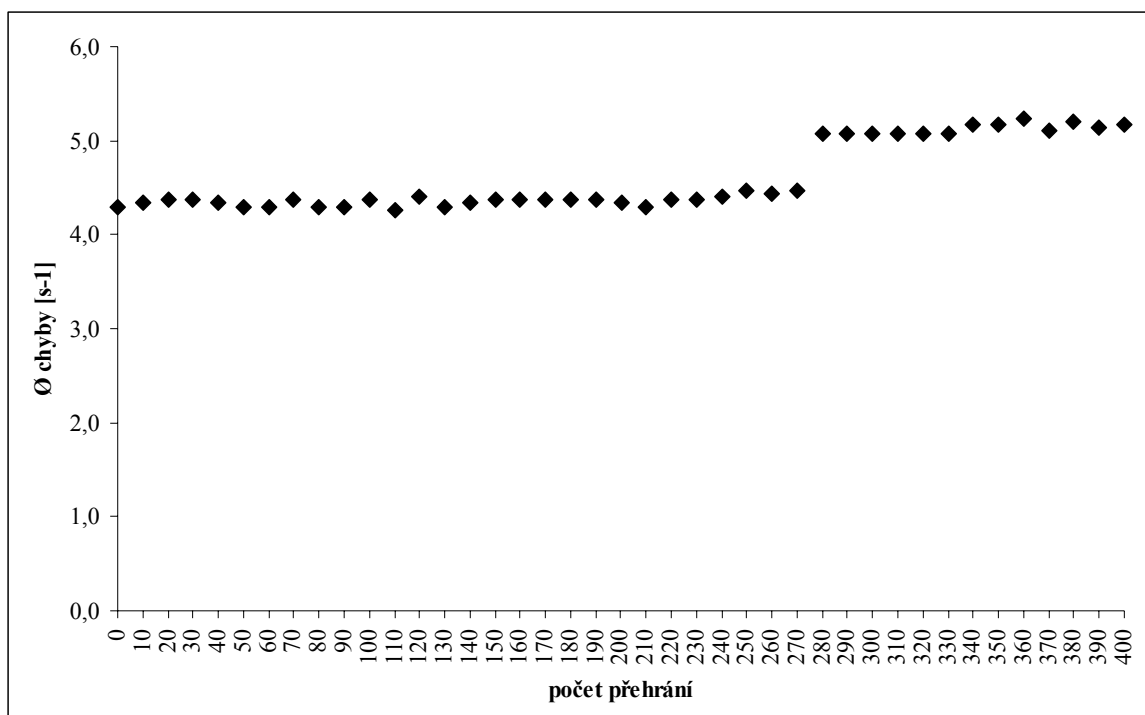


U všech čtyřech testovaných kompaktních disků se počet chyb BLER působením UV záření zvyšoval. Z tohoto testu je zřejmé, že UV záření má vliv na kvalitu kompaktních disků, ale jen malý ve srovnání s ostatními působícími vlivy. Vliv UV záření je stejný jak u lisovaných kompaktních disků, tak u pořízených kopií.

2.2.11 Vliv působení přehrávání

V tomto testu jsme se snažili zjistit počet možných přehrávání a průběh nárůstu chyb BLER v průběhu přehrávání kopie kompaktního disku. Použili jsme vypálenou kopii CD-R BenQ 48x 700MB/80min, označenou jako CD18. Uvedený kompaktní disk jsme testovali vždy po desetinásobném přehrávání na běžném CD přehrávači (DAEWOO AMI-308R).

Graf č.11: Počet chyb BLER v průběhu přehrávání kompaktního disku



Ze získaných hodnot počtu chyb BLER a jejich změn v průběhu přehrávání usuzujeme na dlouhou životnost kompaktních disků. Skoková změna počtu chyb BLER po dvěstěšedmdesátém přehrávání byla patrně způsobena vlivem neopatrné manipulace s kompaktním diskem.

- COMPACT DISC QUALITY CONTROL -

All Rights Reserved by ADIVAN High Tech - Switzerland

Date: 14-Feb-2005 / 14:37

CD - test time: 75:32

Customer: grant

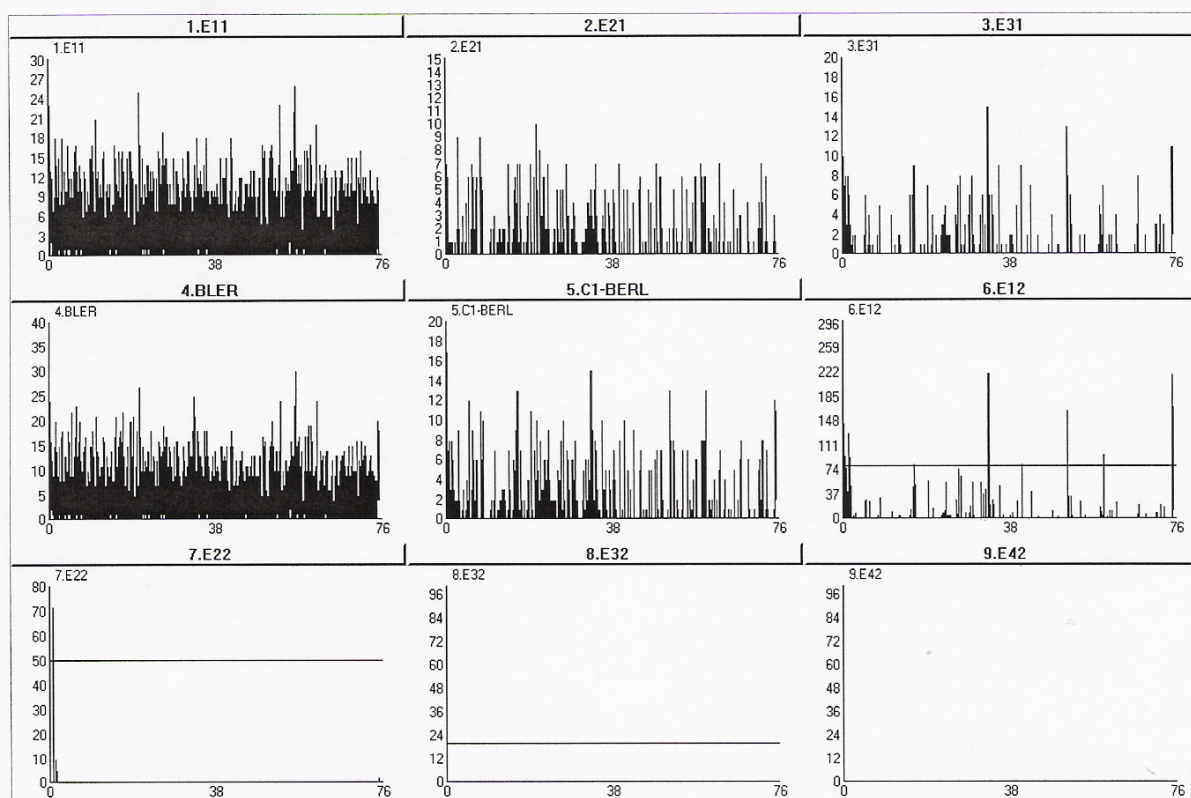
Matrix No: a

Operator: slobodian

Number of CD: 2

Test speed: Quadruple

Line Number: 1



Obr. 25. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD18 na začátku experimentu zjišťování vlivu přehrávání

- COMPACT DISC QUALITY CONTROL -

All Rights Reserved by ADIVAN High Tech - Switzerland

Date: 25-Apr-2005 / 13:30

CD - test time: 75:32

Customer: grant

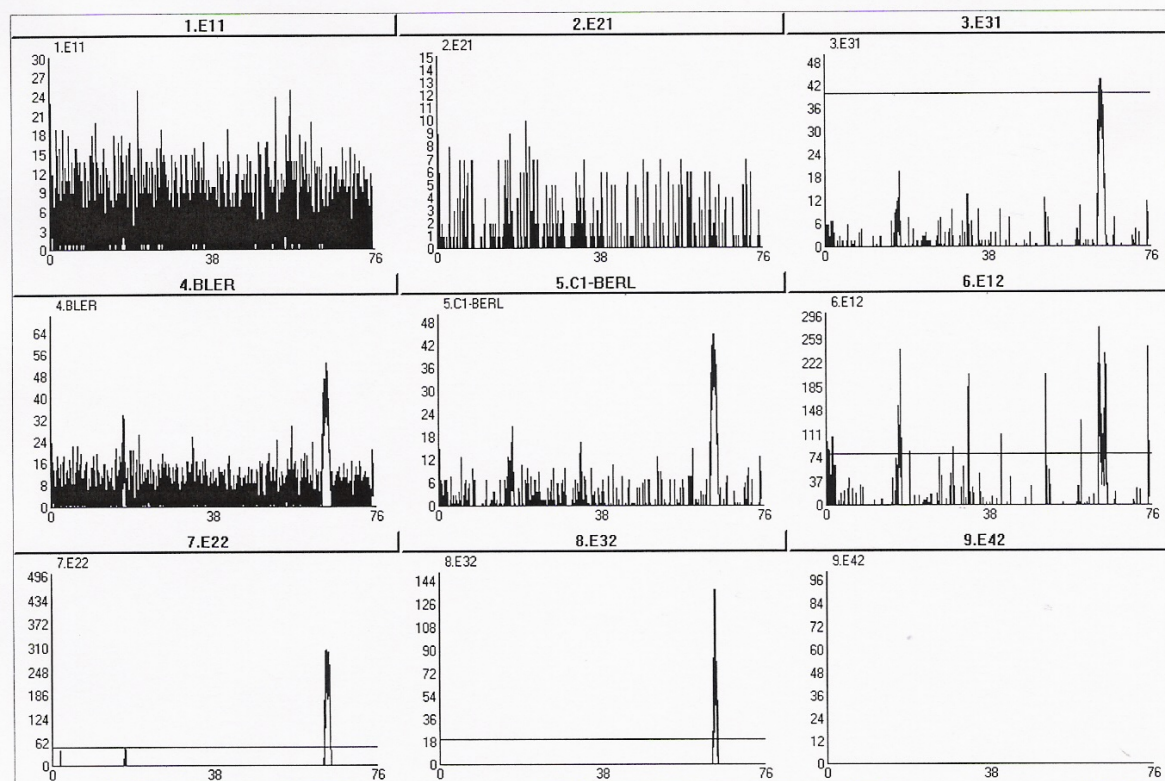
Matrix No: a

Operator: slobodian

Number of CD: 2

Test speed: Quadruple

Line Number: 1



Obr. 26. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD18 na konci experimentu zjišťování vlivu počtu přehrání. Provedeno čtyřsetnásobné přehrání.

Ze záznamu testeru, zobrazující průběh testu na konci experimentu, je patrné místo na disku, ve kterém došlo k drobnému poškození.

2.2.12 Vliv kopírování

Vliv kopírování – druh CD-R a CD-RW

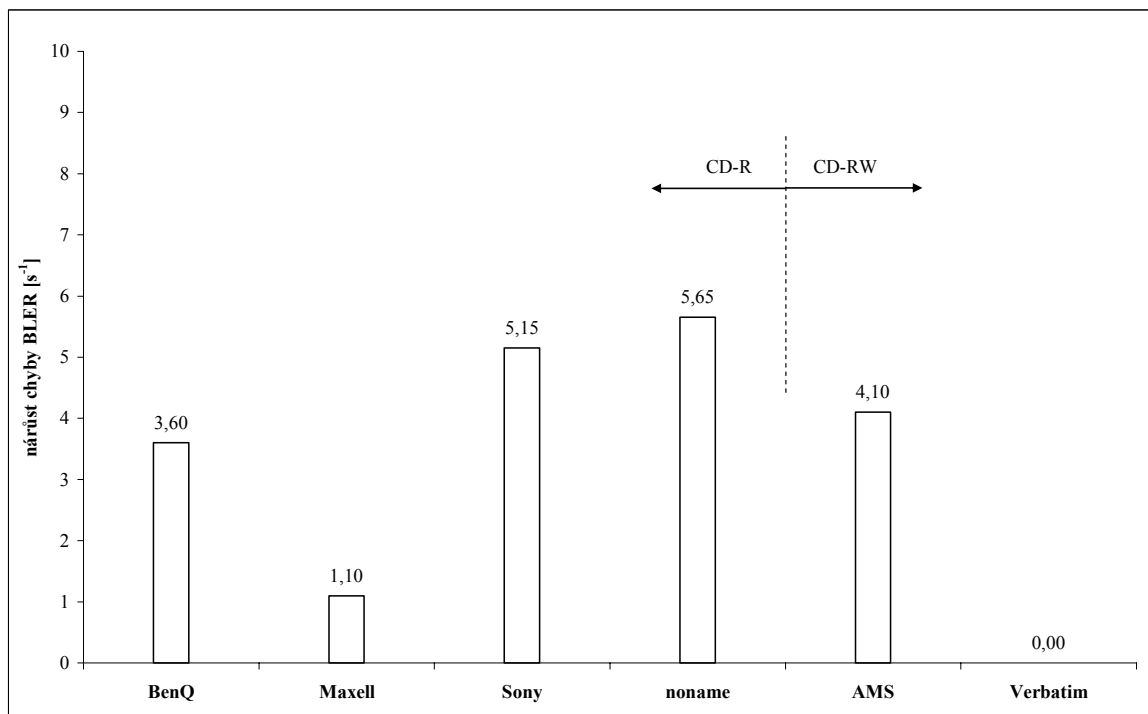
V tomto experimentu jsme se snažili zjistit, zda má na kvalitu kopie větší vliv CD-RW mechanika nebo druh použitého CD-R disku.

Při experimentu jsme kopie vytvářeli na dvou různých CD-RW (DVD-RW) mechanikách vždy na stejné CD-R či CD-RW disky.

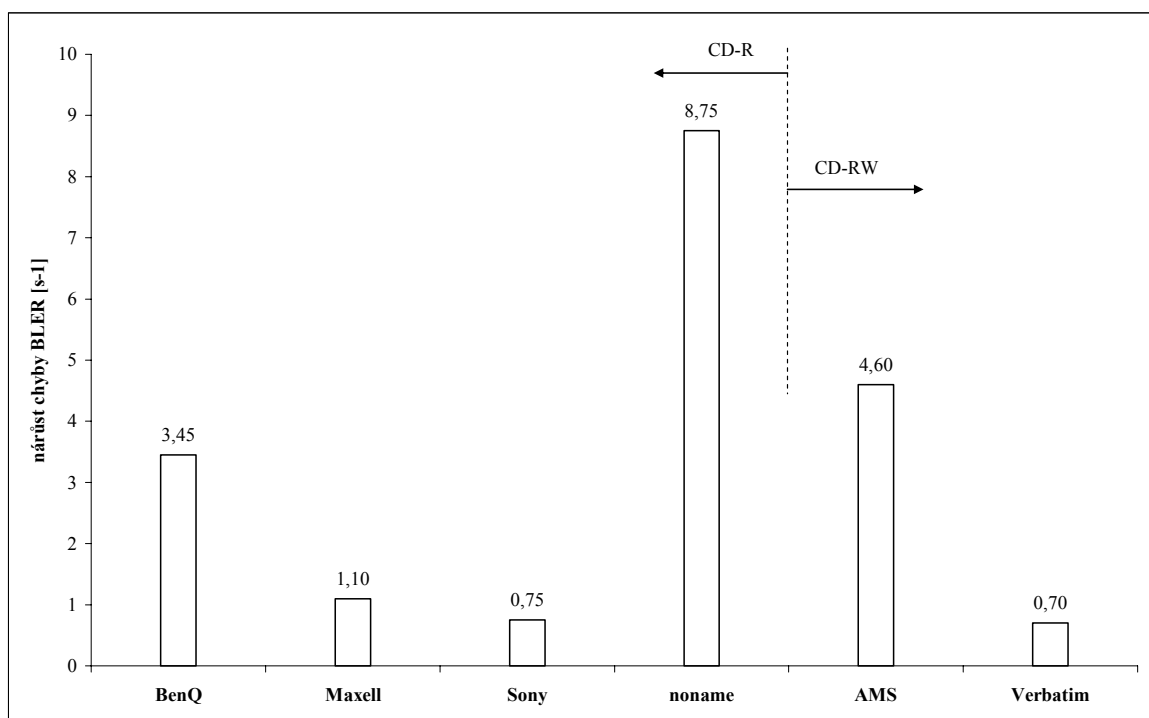
Nejdříve jsme vytvářeli kopie na jedné vypalovací mechanice (DVD-RW SAMSUNG SPO812N). Vytvořené kopie jsme označili jako CD18, CD24, CD26, CD28, CD30 a CD31 a následně otestovali

Poté jsme kopie vytvářeli na druhé vypalovací mechanice (DVD-RW SONY DW-D22A). Vytvořené kopie jsme označili jako CD23, CD25, CD27, CD29, CD30 a CD31 a otestovali jsme je.

Graf č.11: Počet chyb BLER v při vytváření kopií DVD-RW SAMSUNG SPO812N mechan.



Graf č.12: Počet chyb BLER v při vytváření kopií DVD-RW SONY DW-D22A mechanikou

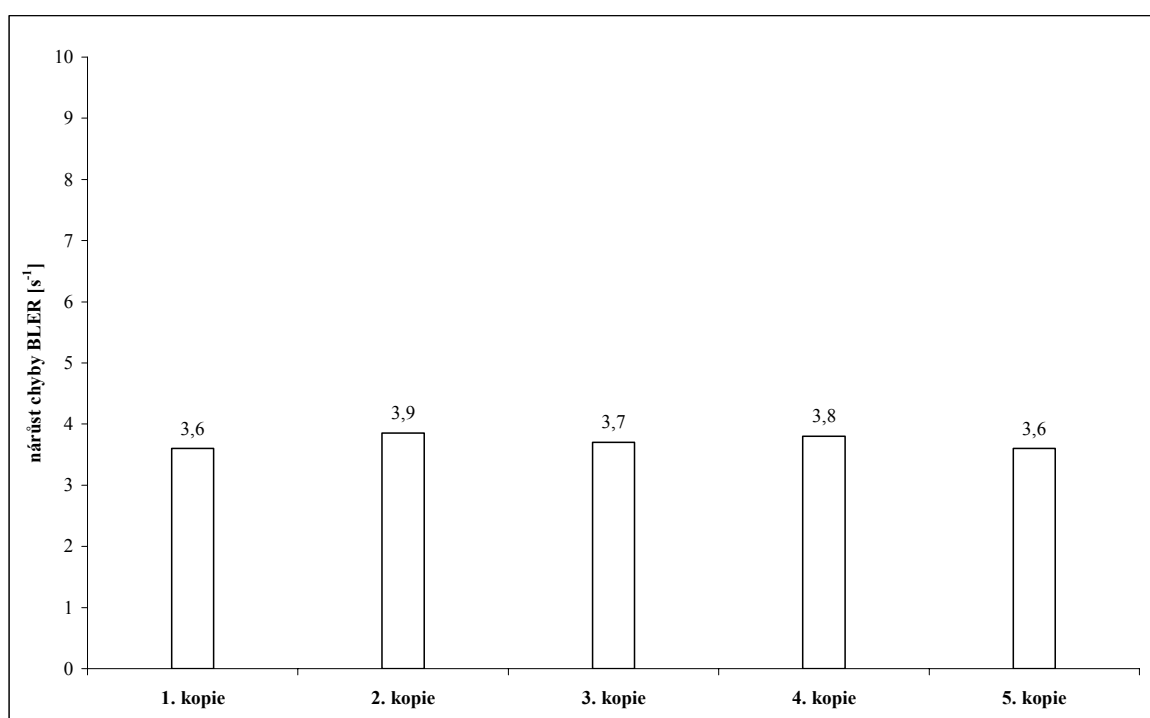


Z naměřených hodnot můžeme vyloučit vliv vypalovací mechaniky na kvalitu vytvářených kopií. Na kvalitu vytvářené kopie má vliv pouze použitý druh CD-R či CD-RW a jeho kvalita.

Vliv kopírování – vytváření kopie z kopie

Podstatou tohoto experimentu bylo zjistit, zda se při procesu vytváření kopie z kopie kumulativně nekopírují digitální chyby na další kopii. Jako výchozí CD jsme použili kompaktní disk označený jako CD10. Dále jsme pro tento experiment použili 5 ks CD-R BenQ 48x 700MB/80min označené jako CD19 až CD22. Všechny kopie byly vytvářeny na jedné CD-RW mechanice (DVD-RW SAMSUNG SPO812N).

Graf č.13: Počet chyb BLER v při vytváření kopie z kopie

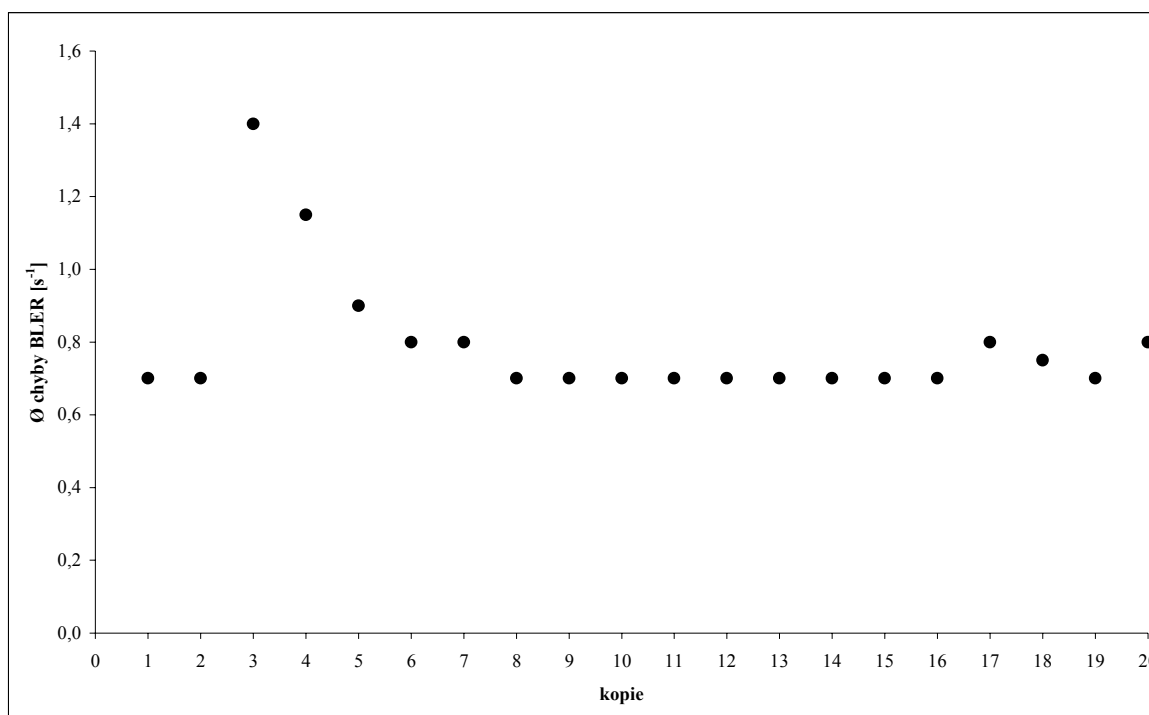


Na základě výsledků tohoto experimentu můžeme konstatovat, že při kopírování z kopie nedochází k výraznému nárůstu počtu digitálních chyb. K nárůstu dojde pouze při kopírování z originálu, kdy nárůst počtu chyb souvisí s kvalitou použitého CD-R či CD-RW disku.

Vliv kopírování – vytváření kopií na CD-RW

V tomto experimentu jsme chtěli zjistit, jaký má na počet digitálních chyb vliv vytváření kopií na CD-RW. Použili jsme lisovaný kompaktní disk označený jako CD10 a kompaktní disk CD-RW 10x 700MB/80min. označené jako CD30. Všechny kopie byly vytvářeny na jedné CD-RW mechanice (DVD-RW SONY DW-D22A).

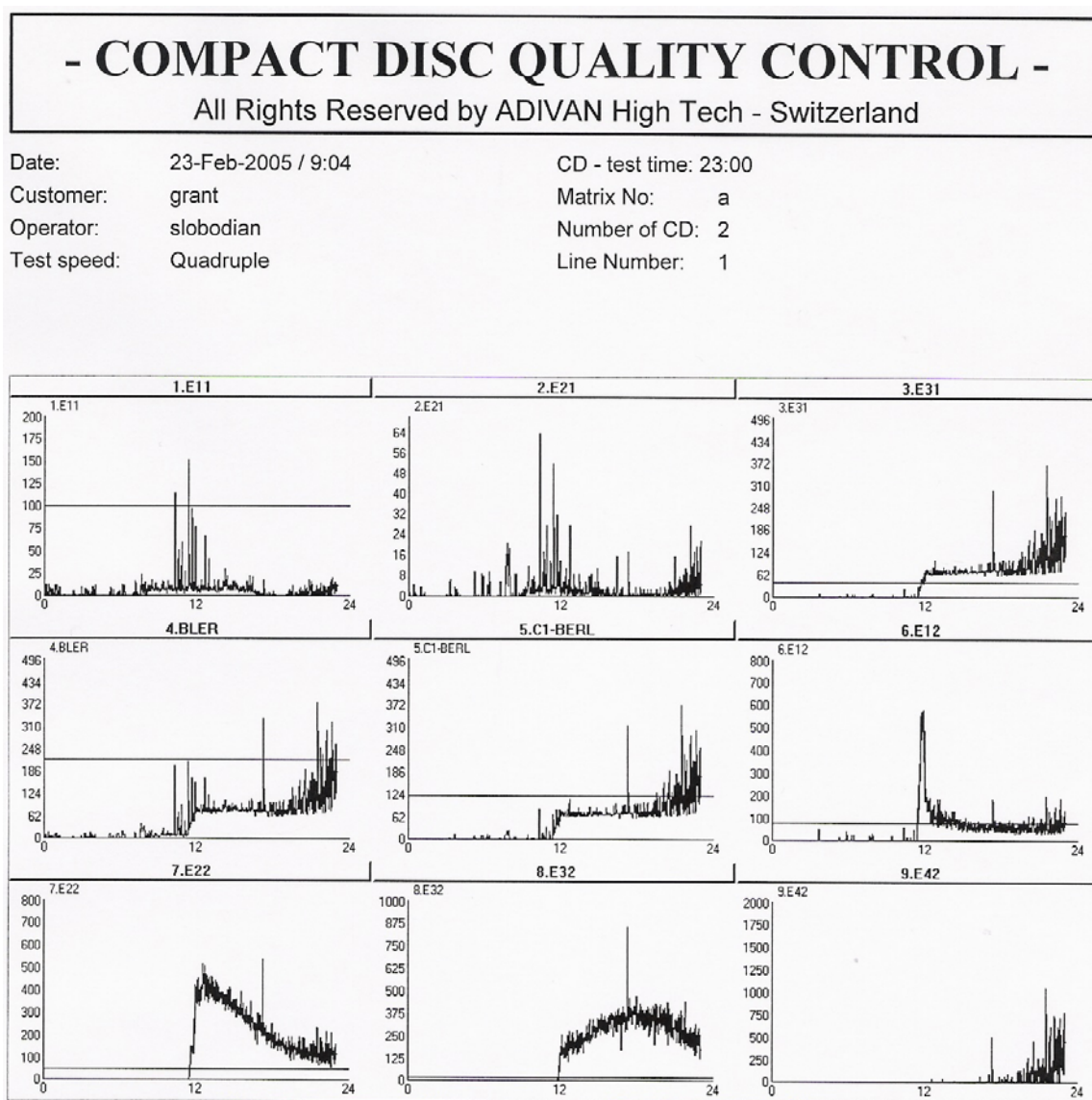
Graf č.14: Počet chyb BLER v při vytváření kopií na CD-RW



Z naměřených výsledků je zřejmé že kopírování na CD-RW disk nemá za následek nárůst počtu chyb BLER. U třetí kopie došlo k nárůstu počtu chyb. V průběhu vytváření dalších kopií na CD-RW se počet chyb BLER stabilizoval.

2.2.13 Vliv překrytí části kompaktního disku klínem

V tomto testu jsme testovali lisovaný kompaktní disk, označený jako CD17, na jehož záznamovou plochu jsme přilepili klín vystřižený z tenké hliníkové fólie. Klín byl umístěn na okraji kompaktního disku a směřoval od okraje ke středu. Hrot klínu byl umístěn 33,4 mm od středu kompaktního disku.



Obr. 27. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD17

Z grafického záznamu testeru je patrné výrazné narůstání chyb první korekce a chyb E12, E22 od času 11:30 min, což představuje 33,4 mm od středu kompaktního disku, což je vzdálenost ve které byl umístěn hrot klínu. Už od času 18:15 min tj. 34,5 mm se začaly

zaznamenávat neopravitelné chyby E42. Test se přerušil při 23 min tj. 39,8 mm od středu kompaktního disku. Za získaných hodnot jsme získali maximálně možnou tloušťku škrábance v radiálním směru kompaktního disku, což je 0,4 mm.

Z grafického záznamu testeru lze také vypožorovat určité závislosti mezi chybami druhé korekce. Při prudkém poklesu chyby E12 prudce narůstá chyba E22. Při pozvolném poklesu chyby E22 pozvolna narůstá chyb E32 a při poklesu chyby E32 narůstá chyba E42.

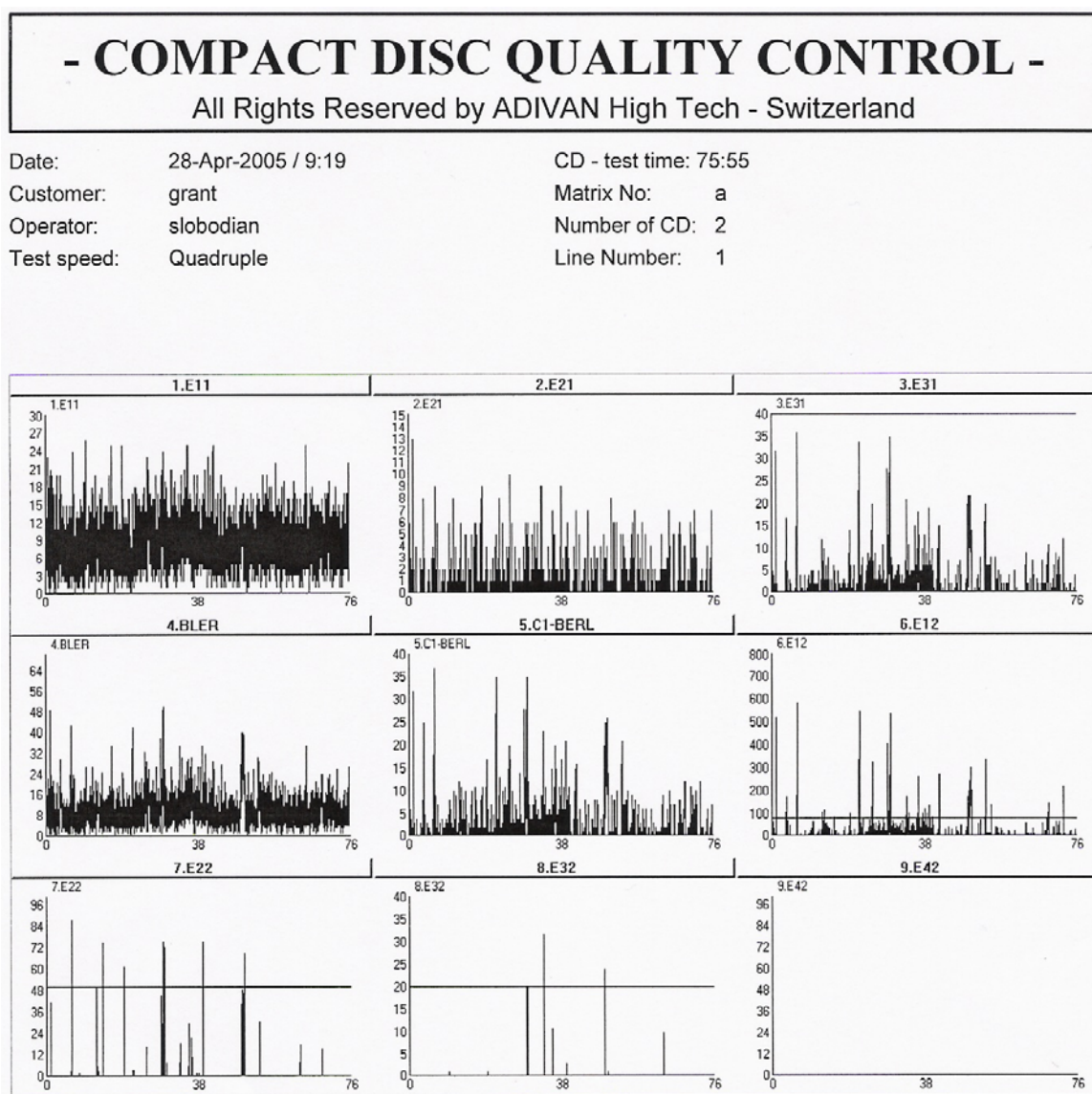


Obr. 28. Kompaktní disk s překrytou záznamovou plochou

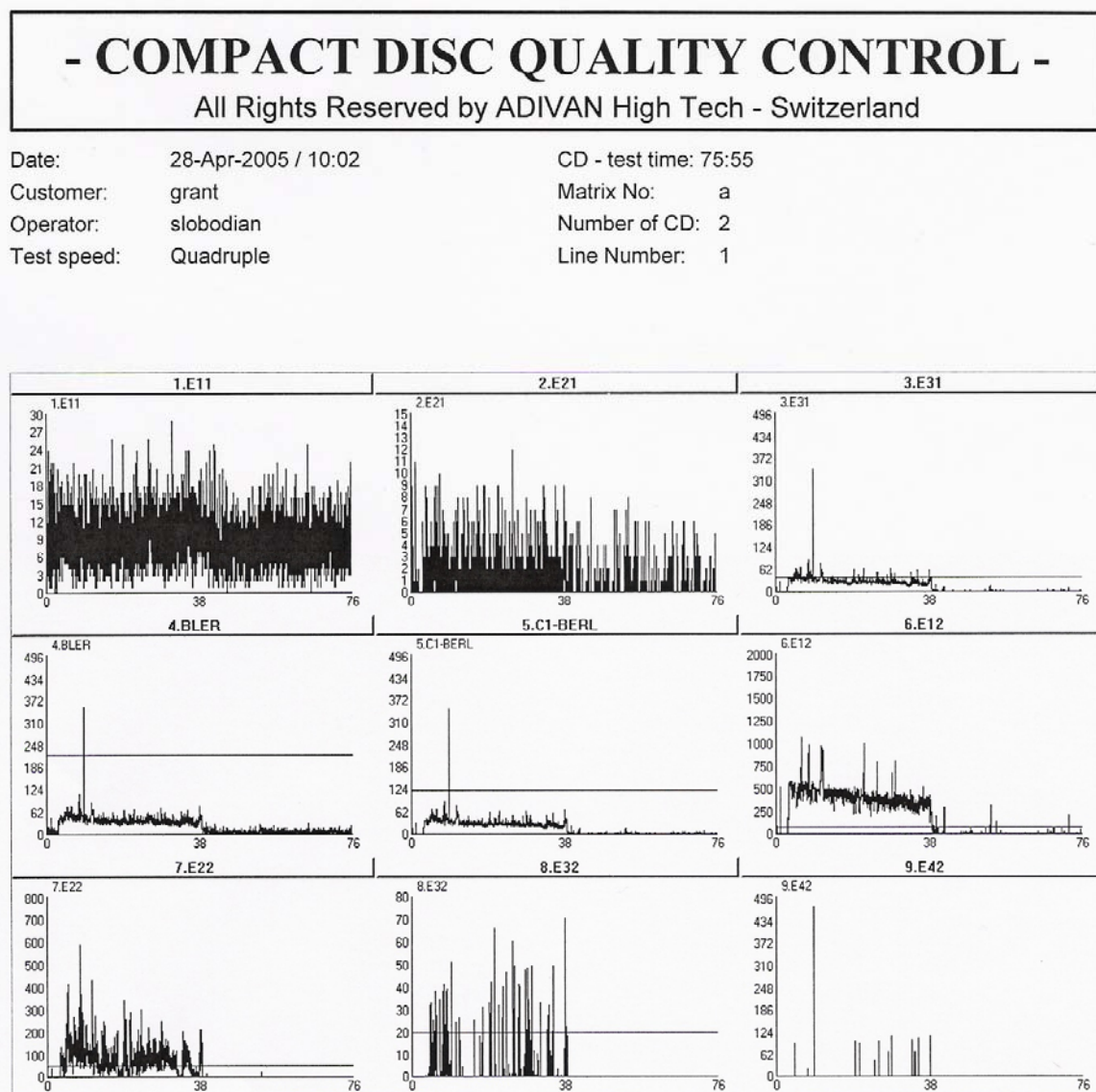
2.2.14 Simulace mechanického poškození

Simulace škrábance v radiálním směru kompaktního disku

Tento experiment byl proveden na kopii kompaktního disku, označené jako CD25. Po výchozím otestování kompaktního disku byla na jeho záznamovou plochu zaznamenána v radiálním směru čára lihovým popisovačem o rozměrech 0,5x17 mm, která začínala 26,8 mm od středu kompaktního disku.



Obr. 29. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD25



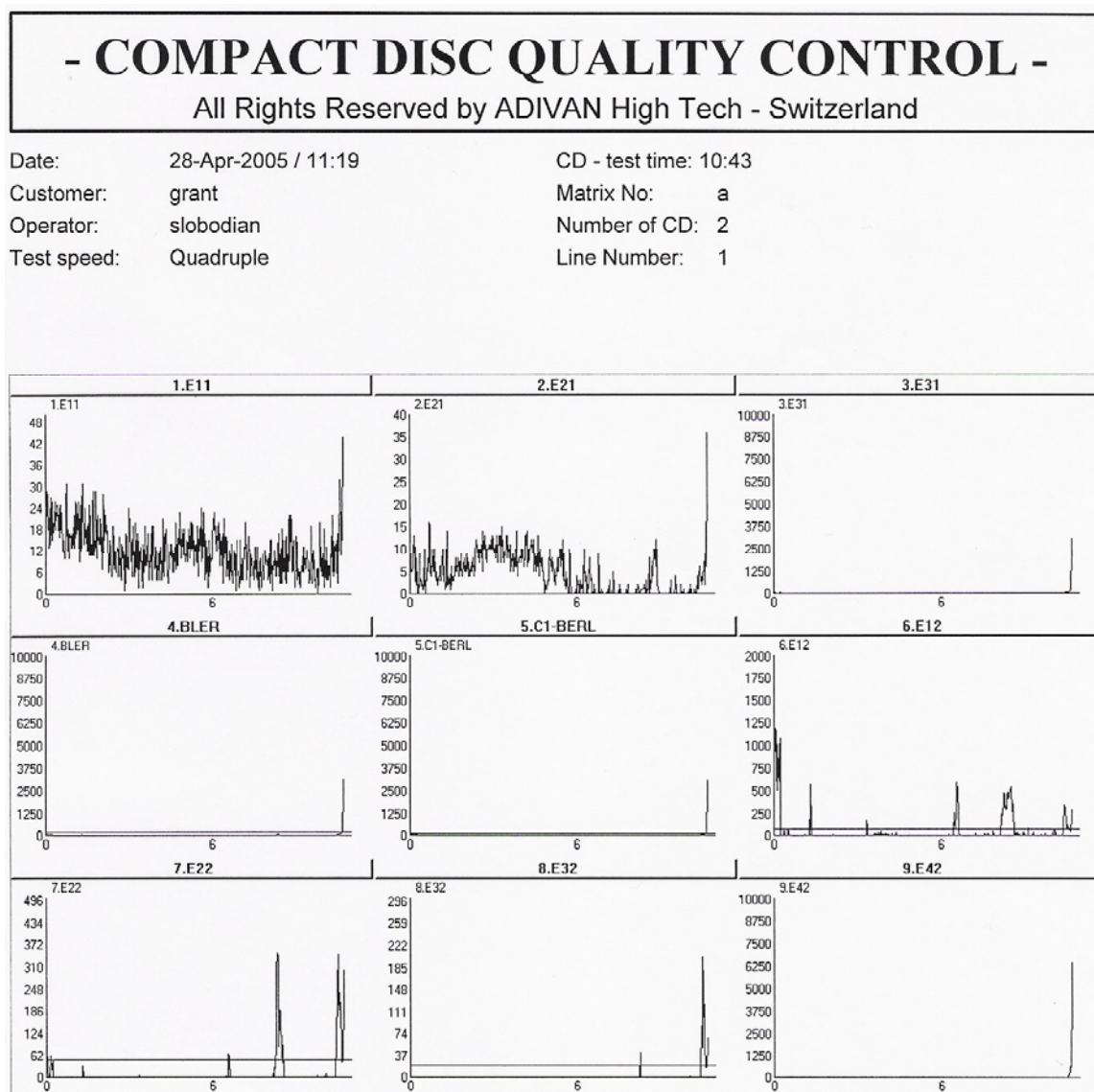
Obr. 30. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD25

Z grafického záznamu testeru je patrné, umístění zaznamenané čáry. Při testování kompaktního disku vzrostly hodnoty chyby E31 a chyb druhé korekce během testování plochy označené čarou. Po překonání čáry se zvýšené hodnoty chyb ustálily na původních hodnotách.

Simulace škrábance v tangenciálním směru kompaktního disku

Tento experiment byl proveden na kopii kompaktního disku, označené jako CD24. Po výchozím otestování kompaktního disku byla na jeho záznamovou plochu zaznamenána v tangenciálním směru čára lihovým popisovačem o rozměrech 0,5x45 mm, která byla nejbližší středu kompaktního disku ve vzdálenosti 36,5 mm. Kompaktní disk s takto rozměrným škrábancem nebyl tester schopen ani načíst.

Proto jsme na kopii kompaktního disku, označeného jako CD25, zaznamenali čáru v tangenciálním směru o rozměrech 0,5x9,8 mm, která byly umístěna nejbližší středu kompaktního disku ve vzdálenosti 31,7 mm.



Obr. 31. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD25

Z grafického záznamu testeru je patrné, že při testování kopie CD opatřené čarou v tangenciálním směru došlo k extrémnímu nárůstu všech měřených chyb již při prvním kontaktu čtečky testeru s čarou na kompaktním disku. Po dalších 2 sekundách došlo k přerušení testování CD.

2.3 Diskuse výsledků

Ze zkušeností při vlastním měření a z podobných testů prováděných v minulosti, jsme se rozhodli, že nejlepším kritériem pro posouzení kvality kompaktního disku bude sledování výskyty či změny průměrné hodnoty BLER. Průměrná hodnota BLER je součet průměrných chyb první korekce. Průměrné hodnoty chyb představují naměřené chyby podělené délkou testovaného kompaktního disku. Dále jsme jako kritérium použitelnosti kompaktního disku zvolili výskyt chyby E42.

V prvním testu jsme podrobili testování devět kusů hudebních lisovaných kompaktních disků. Z naměřených hodnot jednotlivých chyb jsme vypočetli průměrné hodnoty jednotlivých chyb. Z naměřených a vypočtených hodnot uvádíme průměrnou hodnotu chyb BLER, která byla rovna $0,68 \text{ s}^{-1}$. Při testech prováděných v minulosti (1) u datových kompaktních disků vyrobených na stejném lisovacím stroji za sebou byl výskyt chyb BLER $0,41 \text{ s}^{-1}$. Ze získaných hodnot můžeme potvrdit předpoklad, že při výrobě hudebního lisovaného kompaktního disku není kladen tak velký důraz na kvalitu jako u datového lisovaného kompaktního disku.

Druhý test, kdy byly kompaktní disky vystaveny vlivu zvýšené teplotě okolí, byl proveden v minulosti. [1]. Nejdříve byl proveden test krátkodobé teplotní stability. Bylo zjištěno, že chyby BLER s postupně se zvyšující teplotou rostou velmi pomalu až do určité teploty, při které dojde k prudkému nárůstu chyb, tj. ke zničení kompaktního disku. U lisovaných kompaktních disků docházelo k tomuto nárůstu chyb při teplotě temperance 132°C . U kompaktních disků byla pozorována tvarová změna.. Poté následoval test dlouhodobé teplotní stability. V tomto testu byly temperovány lisované kompaktní disky při konstantní teplotě 70°C po dobu přibližně jednoho týdne. Na základě tohoto měření lze konstatovat, že CD jsou poměrně stabilní i při dlouhodobější expozici na teplotách vyšších jak 55°C , což je teplota nad kterou by se podle výrobců neměly tyto kompaktní disky vystavovat. Proto na základě výsledků toho testu lze říci, že nárůst digitálních chyb v průběhu testu nebyl způsoben fyzickou změnou pitů a landů, ale ztrátou rovinnosti CD. Z tohoto důvodu byl měřen průhyb kompaktního disku, z jehož výsledků lze stanovit časovou závislost průhybu při určité zvýšené teplotě.

V dalším testu jsme podrobili vybrané kompaktní disku vlivu působení vody. Nejdříve jsme provedli test krátkodobé teplotní stability ve vodě s lisovaným kompaktním diskem. Při tomto testu se až do teploty 50°C nic nedělo. Při 60°C začaly chyby narůstat. Při

vystavení vlivu působení vody o teplotě 80°C a 90°C vzrůstaly hodnoty chyb prudce. Při krátkodobém vystavení vlivu vody o teplotě 90°C se vyskytly chyby E42, což považujeme za hranici použitelnosti a takto poškozený kompaktní disk jsme tímto pokusem znehodnotili. Po dvanáctihodinovém odležení na vzduchu při laboratorní teplotě jsme kompaktní disk opět otestovali, abychom zjistili, zda není provedený proces vratný. Z výsledků testování bylo parné, že se počet chyb téměř nezměnil, což ukazuje na trvalé poškození kompaktního disku vystaveného krátkodobému působení horké vody. Druhým krokem tohoto testu bylo zjištění vlivu dlouhodobého působení vody o teplotě okolí na kopii kompaktního disku. Uvedená kopie kompaktního disku se znehodnotila po 40 dnech vystavení vlivu vody o pokojové teplotě. Dalším krokem bylo zjištění vlivu působení horké vody na různé druhy kompaktních disků. Kopie kompaktního disku odolávala 240 minut, kdežto u lisovaného CD došlo ke znehodnocení po 960 minutách působení vlivu vody o teplotě 90°C.

V dalším testu jsme se rozhodli vytavit vlivu působení lihu lisované CD a kopii. Oba kompaktní disky odolávaly vlivu působení lihu minimálně po dobu 2,5 hodiny. Po vystavení vlivu lihu, po dobu dalších 10 hodin, se u obou testovaných kompaktních disků vyskytly chyby E42 a oba disky se tímto znehodnotily.

V dalším testu jsme se rozhodli otestovat vliv čističů kompaktních disků. Použili jsme čisticí zařízení nabízené na trhu jako CD-Clinic s čističem na bázi izopropylalkoholu. Otestováním očištěného kompaktního disku jsme potvrdili jeho pozitivní vliv na schopnost čtení dat z kompaktního disku, když naměřené hodnoty po vyčištění znečištěného kompaktního disku byly totožné s hodnotami z výchozího testování.

V následujícím testu byly podrobeny 4 kompaktní disky, dvě lisované a dvě kopie, vystavení vlivu UV záření. Disky byly vystaveny vlivu po dobu 20 hodin. Během působení vlivu UV záření se hodnoty chyb BLER mírně zvyšovaly, avšak ne tak výrazně jako tomu bylo u působení jiných vlivů. Proto na základě výsledků tohoto testu usuzujeme na dlouhodobou odolnost kompaktních disků vůči UV záření.

V dalším testu byl u vytvořené kopie zjišťován vliv přehrávání na nárůst počtu chyb BLER. Uvedená kopie byla přehrávána čtyřikrát, aniž by došlo k výraznému nárůstu počtu chyb BLER vlivem přehrávání. Skoková změna po 280. přehrávání byla způsobena neopatrnou manipulací. Na základě tohoto testu můžeme potvrdit dlouhodobou životnost kopie.

V následujícím testu byl sledován vliv kopírování na kvalitu kompaktního disku. Nejdříve jsme na dvou vypalovacích mechanikách vytvořili kopie na pět zapisovatelných kompaktních disků CD-R a na dva přepisovatelné kompaktní disky CD-RW. Na základě výsledků z testování lze říci, že na kvalitu pořizované kopie má velký vliv druh CD-R či CD-RW disku. Naopak vliv druhu vypalovací mechaniky je zanedbatelný. Následovalo vytváření kopie z kopie na jeden druh CD-R disku a jejich testování. Nárůst chyb byl zaznamenán pouze u pořízení první kopie z originálu, což je důsledkem kvality použitého CD-R disku. Při vytváření dalších kopií z kopií se hodnota chyb BLER neměnila. Dále jsme vytvářeli kopii na jeden CD-RW disk. Hodnoty chyby BLER při třetím kopírování narostly, patrně vlivem usazeného prachu, ale po dalším vytváření kopií se hodnoty chyby BLER se ustálily na úrovni použitého originálu.

V dalším testu jsme podrobili testování lisovaný kompaktní disk, na něhož záznamové ploše byl umístěn klín z tenké hliníkové fólie. Z naměřených hodnot průběhu testu jsme mohli určit maximálně možný rozměr škrábance na záznamové ploše kompaktního disku. Maximální šířka škrábance v radiálním směru kompaktního disku je 0,4 mm.

V závěrečném testu jsme zjišťovali vliv mechanického poškození na schopnost čtení dat z disku. Nejdříve jsme v radiálním směru vytvořili popisovačem čáru o rozměrech 0,5x17 mm. Tester zaznamenával při testování označené oblasti zvýšené hodnoty všech sledovaných chyb, kromě chyb E11 a E21. Po překročení označené oblasti se hodnoty sledovaných chyb ustálily na svých původních hodnotách. Testování disku se zaznamenanou čarou v tangenciálním nebylo možné. Na základě tohoto testu můžeme říci, že kompaktní disk je mnohem citlivější na škrábance v tangenciálním směru než ve směru radiálním.

ZÁVĚR

Ze zkušeností získaných během testování a ze znalostí podobných testů prováděných v minulosti jsme se rozhodli, že nejlepším kritériem pro posuzování kvality kompaktních disků jsou průměrné hodnoty chyby BLER v s^{-1} nebo jejich změna.

Jako kritérium použitelnosti kompaktního disku jsme se rozhodli stanovit výskyt neopravitelné chyby E42.

Během testování různých nežádoucích vlivů na kvalitu kompaktních disků jsme mohli pozorovat, že při krátkodobém vystavení působení těchto vlivů, k určitému snížení kvality kompaktního disku sice dojde ale celková užítost kompaktního disku zůstane zachována.

Kompaktní disky odolávají krátkodobému působení vlivu zvýšené teploty okolí do 130°C . Dlouhodobě jsou schopny CD odolávat i při teplotě vyšší, než kterou uvádí výrobce. Při vystavení vlivu působení vody jsou lisované kompaktní disky odolnější než kopie kompaktních disků. Krátkodobé vystavení CD lihu má pozitivní vliv na schopnost čtení dat, zato při dlouhodobém působení lihu se kompaktní disky znehodnotí. UV záření má na kvalitu kompaktního disku nepatrný vliv. Přehráváním kopie kompaktního disku se jeho kvalita nesnižuje. Kopírování nemá na kvalitu kompaktního disku vliv, záleží na kvalitě použitého zapisovatelného či přepisovatelného disku. Nejvíce však kvalitu kompaktního disku ovlivňuje mechanické poškození. Nejhorší možností pro kompaktní disk je škrábanec v tangenciálním směru.

Na základě testů uváděných v této diplomové práci můžeme tvrdit, že pokud budeme s kompaktními disky, jak s lisovanými tak s vytvořenými kopiemi, manipulovat obezřetně a nebudeme je vystavovat zbytečně nežádoucím vlivům, poskytnou nám bezpečné dlouhodobé uložení zaznamenaných dat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1) VÝMYSLICKÝ, Vojtěch. *Diplomová práce - Vliv teploty a doby na schopnost čtení dat z CD*, UTB Zlín 2004.
- 2) BARTOŇ, Maritn. *Vypalování CD – hardware*, 1. vydání, Praha: Mobil Media a.s., ISBN: 80-86593-05-3.
- 3) Plastics: Imagine the potential [online]. [2005-04-14]. Dostupný z URL: <<http://www.apme.org/polycarbonate>>.
- 4) QUIDO Magazín [online]. [2005-03-10]. Dostupný z URL: <<http://www.quido.cz/objevy/kompakt.htm>>.
- 5) MLEZIVA, Josef. *Polymery – struktura, vlastnosti a použití*, 1.vydání, Sobotáles, 1993. ISBN: 80-90570-4-1.
- 6) KINCL, Jaromír. ŠRÁMEK, Miroslav. PÁNEK, Antonín. *Polykarbonáty*, 1. vydání, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 04-924-66.
- 7) RYBNÍKÁŘ, František. *Makromolekulární chemie II*, 1. vydání, VUT v Brně, 1987.
- 8) Polycarbonate [online]. [2005-04-14]. Dostupný z URL: <<http://www.pslc.ws/macrog/plastic.htm>>.
- 9) CD-R server [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL: <<http://www.cdr.cz>>.
- 10) IKAROS [online]. [2005-04-13]. Dostupný z URL: <<http://www.ikaros.cz/CeleCislo.asp?ID=199804>>.
- 11) VLČEK, Karel. *Kompresa a kódová zabezpečení v multimediálních komunikacích*, 2. vydání, Praha: BEN – technická literatura, 2004, ISBN: 80-7300-134-9.
- 12) WEBER, Ulrich. *CD-ROM příručka pro začínajícího uživatele*, 1.vydání, Ostrava: HEL, 1996, ISBN: 80-902059-2-5.
- 13) CD-R server [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL: <<http://www.cdr.cz/a/6190>>.
- 14) IKAROS [online]. [2005-03-07]. Dostupný z URL: <<http://www.ikaros.cz/CeleCislo.asp?ID=199909>>.

- 15) CD-R server [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL: <<http://www.cdr.cz/a/23>>.
- 16) MULTIDISC [online]. [2005-04-13]. Dostupný z URL:
<<http://www.cdredordable.cz/info.html>>.
- 17) CD-R server [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL: <<http://www.cdr.cz/a/236>>.
- 18) Vypalování CD [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL:
<<http://www.abclinuxu.cz/clanky/show/19384>>.
- 19) CD-R server [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL: <<http://www.cdr.cz/a/199>>.
- 20) Slovník [online]. [2005-04-14]. Dostupný z URL:
<http://www.hifimarket.cz/hi_fi_market/slovník.asp?hl=ano>.
- 21) Miras Lehlanc [online]. [2005-04-13]. Dostupný z URL: <<http://www.miras.cz>>.
- 22) Jarda.doc [online]. [2005-04-13]. Dostupný z URL:
<<http://www.znoj.bludov.cz/study/cd>>.
- 23) NEUHAUSL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*, 1. vydání, Praha: SNTL, 1973, 04-608-73.
- 24) ROTREKL, Bedřich. *Povrchové úpravy*, 1. vydání, Praha: SNTL, 1971, 04-606-71.
- 25) ŠVÉDA, Josef, *Plasty a jejich zkoušení*, 1. vydání, Brno: DT ČSVTS, 1989, 66/669/89.
- 26) JARUŠEK, Jaroslav, *Metody zkoumání polymerů*, 2. vydání, Pardubice: VŠCHT, 1989, ISBN: 80-85113-01-5.
- 27) TERRA computer systems [online]. [2005-05-02]. Dostupný z URL:
<http://www.terra.cz/cd_dvd_technologie/analyzator_cd.html>.
- 28) Obnova dat [online]. [2005-03-30]. Dostupný z URL: <<http://www.datahelp.cz>>.
- 29) Renovace CD [online]. [2005-03-10]. Dostupný z URL:
<<http://www.multiweb.cz/fifimarket/wipeout.htm>>.
- 30) Měření drsnosti [online]. [2005-04-03]. Dostupný z URL:
<http://www.shm_cz/cz/html/mereni.html>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ag	stříbro
Au	zlato
B	bajt
CAV	konstantní úhlová rychlost
CD	kompaktní disk
CD-R	zapisovatelný kompaktní disk
CD-ROM	kompaktní disk určený pouze pro čtení
CD-RW	přepisovatelný kompaktní disk
CIRC	Reed-Solomonův opravný kód
CLV	konstantní rychlost čtení
DAC	digitálně analogový převodník
DVD	digitální univerzální disk
ECC	kód pro korekci chyb
EDC	kód pro detekci chyb
EFM	modulace osm na čtrnáct
ISO	norma jakosti
LED	světlo vyzařující dioda
n_d	index lomu
PC	polykrabonát
PCM	pulzně kódová modulace
PMMA	polymethylmetakrylát
T_g	teplota skelného přechodu
TOC	tabulka obsahu
UV	ultrafialový

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Obecný vzorec polykarbonátu	8
Obr. 2. Schéma řetězce polykarbonátu	8
Obr. 3. Schéma chemické reakce – fosgenace dianu	9
Obr. 4. Schéma chemické reakce – reesterifikace dianu	10
Obr. 5. Schéma umístění zaváděcí a ukončovací oblasti na CD	13
Obr. 6. Detail čtecího laseru	14
Obr. 7. Schéma zařízení pro čtení z optického disku	15
Obr. 8. Průřez lisovaným kompaktním diskem	22
Obr. 9. Průřez CD-R diskem	25
Obr. 10. Řez CD-R diskem s vyznačenou předlisovanou drážkou	25
Obr. 11. Schéma oblastí na CD-R disku	27
Obr. 12. Výkon laseru při čtení a zápisu na CD-R	27
Obr. 13. Průřez CD-RW diskem	30
Obr. 14. Schématický popis zápisu a mazání na CD-RW disk	31
Obr. 15. Výkon laseru při čtení, zápisu a přepisu na CD-RW	32
Obr. 12. Digitální tester QC-CDD40	36
Obr. 17. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu CD8	42
Obr. 18. Záznam z testeru – tabulka shrnující naměřené hodnoty při testování CD8	43
Obr. 19. Záznam z testeru – grafické vyobrazení po konečné fázi vzestupné temperance po 30min na 130°C	45
Obr. 20. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD22 při testování působení vlivu vody o teplotě 90°C po dobu 240 minut	53
Obr. 21. Záznam z testeru – vyobrazení schéma povrchu kopie kompaktního disku označeného CD22 při testování působení vlivu vody o teplotě 90°C po dobu 240 minut	54
Obr. 22. Záznam z testeru – vyobrazení schéma povrchu lisovaného kompaktního disku označeného CD13 při testování působení vlivu vody o teplotě 90°C po dobu 960 minut	55
Obr. 23. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD8 při testování působení vlivu lihu po dobu 790 minut	58
Obr. 24. Záznam z testeru – vyobrazení schéma povrchu kopie kompaktního disku označeného CD8 při testování působení vlivu lihu po dobu 790 minut	59
Obr. 25. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD18 na začátku experimentu zjišťování vlivu přehrávání	63
Obr. 26. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD18 na konci experimentu zjišťování vlivu počtu přehrávání. Provedeno čtyřsetnásobné přehrávání. ...	64
Obr. 27. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD10	69
Obr. 28. Kompaktní disk s překrytou záznamovou plochou	70
Obr. 29. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD25	71
Obr. 30. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD25	72
Obr. 31. Záznam z testeru – vyobrazení průběhu testu kompaktního disku CD25	73

SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Použitá barviva, majitelé patentu a barva barviva	23
Tabulka II. Barva CD-R při použitém barvivu a materiálu odrazivé vrstvy	23
Tabulka III. Maximální hodnoty chyb pro hudební CD	39
Tabulka IV. Kompaktní disky použité při testování	40
Tabulka V. Počet jednotlivých chyb u lisovaných CD a jejich průměr.....	41
Tabulka VI. Počet jednotlivých chyb v průběhu zjišťování vlivu čištění	60