

# VPLIV NEKATERIH KLJUČNIH DEJAVNIKOV OKOLJA NA ŽIVLJENJSKO DOBO OPTIČNIH NOSILCEV PODATKOV

**Drago Kunej**

---

Oddano: 16. 8. 2010 – Sprejeto: 19. 1. 2011

Pregledni znanstveni članek

UDK 930.25:534.85:005.921.1

## Izvleček

V zadnjih letih je pri trajnem ohranjanju digitalnih zapisov že močno uveljavljen koncept ohranjanja vsebine in ne več nosilca samega. Vendar pa je življenjska doba digitalnih nosilcev zapisa kljub temu pomembna, saj poleg ostalih parametrov v digitalnem sistemu določa čas migracije digitalne vsebine. Na splošno velja, da čistejše, hladnejše, bolj suho in stabilno okolje daljša pričakovano dobo trajanja, ustrezna zaščita posamezne vrste nosilcev pa temelji na razumevanju ranljivosti nosilca ter posledično zagotavljanju optimalnih pogojev hrambe in primernem ravnanju z nosilci. V prispevku so predstavljeni vplivi nekaterih dejavnikov okolja (temperatura, vlaga in svetloba) na življenjsko dobo fizičnih digitalnih nosilcev zapisa, s poudarkom na optičnih nosilcih. Čeprav so danes optične plošče le eden od različnih načinov hranjenja digitalnih podatkov, še vedno ostajajo priljubljen arhivski medij. Potrebno pa je poudariti, da optične plošče niso trajen nosilec zapisa, kakor se pogosto napačno predvideva, ter da na njihovo življenjsko dobo odločilno vplivajo dejavniki okolja. Na Glasbenonarodopisnem inštitutu ZRC SAZU smo zato izpeljali eksperiment, pri katerem smo analizirali obstojnost digitalnega zapisa na CD-R ploščah, ki so bile izpostavljene svetlobi v vsakdanjih delovnih razmerah. Rezultati so pokazali, da lahko izpostavljanje zapisljivih optičnih plošč svetlobi, še posebej neposredni sončni svetlobi, povzroči popolno uničenje zapisa v nekaj dneh ali tednih, in s tem potrdili pomen skrbnega ravnanja, ustreznega hrambe in rednega testiranja digitalnih nosilcev.

**Ključne besede:** trajno ohranjanje, digitalni viri, optične plošče, CD, DVD, zaščita in hramba digitalnih medijev, življenjska doba nosilcev

---

KUNEJ, Drago. Effects of specific key environmental factors on the life expectancy of optical data carriers. Knjižnica, 55(2011)1, pp. 139–158

## Abstract

In recent years, the concept of content preservation rather than carrier preservation has become the norm with regard to long-term digital preservation. Nonetheless, the life expectancy of digital carriers is important because, in addition to other digital system parameters, it determines the migration time of digital content. In general, a cleaner, cooler, drier, and more stable environment extends the life expectancy, and appropriate protection of individual types of carriers is based on understanding the vulnerability of the carrier and consequently on providing optimal storage conditions and appropriate handling. This paper presents the effects of specific environmental factors (i.e., temperature, humidity, and light) on the life expectancy of physical digital recording media, with an emphasis on optical media. Although optical discs are just one of the various methods of digital data storage today, they continue to be a popular archive medium. It should be noted that optical discs are not permanent recording media, as is often wrongly believed, and that their life expectancy is significantly influenced by environmental factors. At the ZRC SAZU Institute of Ethnomusicology, an experiment was conducted to analyze the durability of digital records saved on CD-Rs that were exposed to light in everyday working conditions. The results showed that exposing recordable optical discs to light, especially direct sunlight, can result in complete destruction of the data recorded within a few days or weeks. This confirmed the importance of careful handling, appropriate storage, and regular testing of digital carriers.

**Keywords:** long-term digital preservation, optical discs, CD, DVD, digital media preservation and storage, life expectancy of carriers

## 1 Uvod

Različni digitalni zapisi podatkov so lahko zelo ranljivi. Na splošno so digitalni nosilci zapisa bolj ogroženi kot konvencionalni pisni dokumenti, saj dostop do digitalno zapisane vsebine pogojuje poleg fizične in kemične stabilnosti nosilcev tudi predvajalna oprema, ki dekodira digitalni zapis. Vsebina na digitalnih nosilcih zapisa je ogrožena tako zaradi propadanja nosilca zapisa samega, kakor tudi zaradi zastarevanja tehnične opreme in oblike zapisa (format zapisa). Zato lahko dosežemo trajno zaščito digitaliziranega gradiva in zagotovimo dostop do vsebine le s pravočasno migracijo med formati in nosilci. Nestanovitne razmere multimedijskega tržišča in lastniške pravice nekaterih oblik zapisa še posebej vzbujajo skrb. Zapletene programske in strojne rešitve digitalnih sistemov ter hitre spremembe na tržišču narekujejo vse krajšo življenjsko dobo digitalnih sistemov, zato je tudi potreba po migraciji vsebine vedno pogostejša (Byers, 2003, str. 3).

Podatki v digitalni obliki so lahko shranjeni na različne načine in na različnih nosilcih. Izbira ustreznega tehnološkega sistema je odvisna predvsem od razmer na tržišču, v arhivu in specifičnosti zbirk, pri čemer je potrebno poudariti, da noben izbran sistem ali tehnološka rešitev ne predstavlja dokončne rešitve zaščite digitalnega gradiva, temveč le korak v procesu ohranjanja s pomočjo migracije. Trajno zaščito digitalnega gradiva lahko dosežemo le s skrbnim načrtovanjem in strategijo, ki zagotavlja dostop do nespremenjene vsebine tudi pri spremembi tehnologije oz. digitalnega sistema.

Ena od pomembnih nalog pri zaščiti digitalnega gradiva je redno preverjanje stanja digitalnih nosilcev zapisa, predvsem pojavljanja morebitnih napak pri branju ter znakov staranja in propadanja. Čeprav je v zadnjih letih že močno uveljavljen koncept ohranjanja vsebine in ne več nosilca samega, je življenjska doba digitalnih nosilcev zapisa kljub temu pomembna, saj poleg ostalih parametrov v digitalnem sistemu določa čas migracije digitalne vsebine.

Vsi digitalni nosilci zapisa imajo omejeno življenjsko dobo, kar pomeni, da vsak digitalni nosilec s časom začenja propadati. Hitrost staranja in propadanja se razlikuje od enega do drugega nosilca zapisa in je odvisna od mnogih dejavnikov, pri čemer imajo velik vpliv nekateri dejavniki okolja. Da bi se izognili izgubi informacij zaradi propadanja nosilcev zapisa, je med drugim potrebno zagotoviti, da so vsi nosilci zapisa shranjeni v stabilnem okolju in da z njimi primerno ravnamo. Na splošno velja, da čistejše, hladnejše, bolj suho in stabilno okolje daljša pričakovano dobo trajanja. (ETZ, 2007, str. 298; Bradley, 2006, str. 15). Primerni pogoji hrambe sicer ne morejo povrniti morebitnega že začetega propadanja nosilca, lahko pa upočasnijo nadaljnje propadanje (ISO 18925, 2008, str. V). Ustrezna zaščita posamezne vrste nosilcev zapisa temelji na razumevanju ranljivosti nosilca ter posledično zagotavljanju optimalnih pogojev hrambe in primernem ravnanju z nosilci. Zato bodo v prispevku predstavljeni vplivi nekaterih ključnih dejavnikov okolja na življenjsko dobo fizičnih digitalnih nosilcev zapisa, s poudarkom na optičnih nosilcih.

## 2 Osnovne značilnosti optičnih nosilcev zapisa

Optične plošče, predvsem njihova zapisljiva različica, so postale zelo priljubljen digitalni nosilec zapisa za hrambo zvočne, video in različne podatkovne vsebine. Na tržišču so se kot kompaktne plošče (ang. compact disc) prvič pojavile leta 1982 v obliki digitalnega zvočnega zapisa (CD-DA, ang. compact disk – digital audio), nekoliko kasneje pa tudi kot nosilci splošnih podatkov v digitalni obliki (CD-ROM). Leta 1991 sta bili predstavljeni zapisljiva (CD-R, ang. recordable) in prepisljiva (CD-RW, ang. rewritable) različica optičnih plošč, ki sta omogočali

uporabnikom zapis lastne vsebine v digitalni obliki. Še posebej CD-R plošče so postale zelo priljubljen nosilec zaradi takrat razmeroma velike zmogljivosti pri shranjevanju (650–700 MB), zaradi zelo nizke cene medija, nizke cene snemalne opreme ter velike razširjenosti predvajalne opreme. Leta 1995 se je na tržišču pojavila nova vrsta optičnih plošč (DVD, ang. digital video disc, ali ang. digital versatile disc), ki lahko s podobnim principom zapisa kot pri CD shranijo precej več podatkov (4,7 GB). Novejše izvedbe DVD plošč, ki so berljive z obeh strani in imajo dvojne zapisovalne plasti na vsaki strani, omogočajo celo do 17 GB zapisa podatkov. Z uporabo laserjev svetlobe krajše valovne dolžine pa se je zmogljivost shranjevanja na optične plošče (angl. blue-ray discs) še povečala.

Glede na način zapisa podatkov lahko optične plošče delimo v tri skupine: tiskane, zapisljive in prepisljive optične plošče.

Pri **tiskanih optičnih ploščah** (CD-ROM in DVD-ROM) se vsebina nanje zapiše že pri sami izdelavi nosilca: podatki se zapišejo s pomočjo vdolbin (ang. pits), ki se mehansko vtisnejo v ravnino površine plošče (ang. land) in so spiralno razporejeni po plošči. V to skupino sodijo plošče različnih formatov zapisa, ki se praviloma množično tovarniško tiskajo z različno vsebino. Branje s plošč je mogoče s pomočjo laserskega žarka določene valovne dolžine, ki se odbije od odbojne plasti plošče. Zaradi ustrezno izbrane globine pita povzroči odboj žarka destruktivno interferenco na meji vdolbine, saj je odboj žarka od ravnega dela plošče (ang. land) v protifazi, odboj od vdolbine pa v fazi z vpadnim žarkom. Tako zaznamo dve stanji pri odboju žarka: digitalno »1« in digitalno »0«.

Takšne plošče so v osnovi sestavljene iz treh plasti: substrata (podlage), odbojne plasti in zaščitne plasti. Substrat je polikarbonat (stabilna polimerska plastika), ki predstavlja skoraj celotno debelino CD. Odbojna plast je zelo tanka, narejena navadno iz aluminija, srebra, zlitin srebra ali zlata in mora zagotavljati dober in konstanten odboj laserskega žarka. Za zaščito odbojne plasti je namenjena tanka zaščitna plast.

**Zapisljive optične plošče** (CD-R, DVD-R, DVD+R) predstavljajo posebno izvedbo plošč, na katere lahko zapišemo vsebino, vendar samo enkrat in je kasneje ni mogoče več izbrisati, lahko pa jo mnogokrat beremo. Zato se zanje uporablja tudi druga angleška kratica WORM (ang. write once read many). Njihova sestava vsebuje dodatno plast, barvilo, ki omogoča zapis in se zato imenuje zapisovalna plast (ang. recording layer ali ang. dye). Ker zapisane vsebine ni mogoče več izbrisati, se zdijo idealen medij za arhivske namene.

Zapis se izvede z veliko močnejšim laserskim žarkom enake valovne dolžine kot pri branju, saj je zapisovalna plast občutljiva na svetlobo in se pri osvetlitvi z močnejšim laserskim žarkom močno segreje. Osvetljeno območje se spremeni in stali, kar povzroči spremembo odbojnih karakteristik (prosojnosti). Tako

se to območje pri branju obnaša podobno kot vdolbina (ang. pit) pri tiskanih optičnih ploščah.

Na **prepisljive optične plošče** (CD-RW, DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM) lahko vsebino zapišemo in mnogokrat beremo, lahko pa zapisano vsebino tudi izbrišemo ali prepisemo z novo. V sestavi plošče je dodan premaz iz posebne fazno spremenljive kovinske zmesi, ki je občutljiva na temperaturo. Pri zapisovanju z laserskim žarkom se segrejejo zelena mesta na dve določeni temperaturi ter s posebnim postopkom nadzorovanega segrevanja in ohlajanja nastanejo kristalizirana in amorfna območja z različnimi optičnimi lastnostmi. Tudi ta območja se pri branju obnašajo podobno kot vdolbine in ravnine (ang. pits, land) pri tiskanih optičnih ploščah. Ker je postopek reverzibilen, lahko zapis tudi izbrišemo in kasneje ponovno zapišemo.

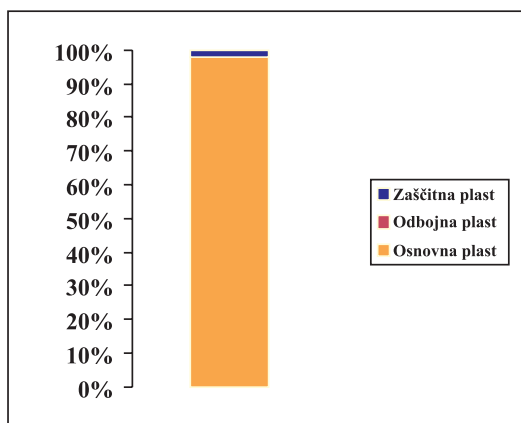
## 2.1 Stabilnost posameznih plasti optičnih plošč

Ustrezno hranjenje, zaščita in primerno ravnanje z optičnimi ploščami zahteva poznavanje sestave nosilca in občutljivosti oz. stabilnosti posameznih plasti. Vse optične plošče so sestavljene iz podobnih osnovnih plasti (lamel), ki ima vsaka svoje značilnosti (ISO 18938, 2008 str. 8).

**Polikarbonatna osnova** optičnih plošč mora zagotavljati prepuščanje laserskega žarka do odbojne plasti in nazaj. Zato lahko nečistoča in mehanske poškodbe te plasti otežujejo ali onemogočajo pot laserski svetlobi in s tem branje zapisa. Mehanske poškodbe nastanejo predvsem zaradi nepravilnega ravnanja s ploščami, lahko pa tudi zaradi hitrih in močnih temperaturnih sprememb ter izpostavljanje visoki vlagi (ISO 18938, 2008, str. 8). Polikarbonat je zelo stabilna in trpežna snov, vendar prepušča vlago, ki lahko skozenj prodre do drugih, bolj občutljivih plasti (ISO 18925, 2008, str. V).

**Odbojna plast** je narejena iz aluminija, srebra, zlitin srebra ali zlata in mora zagotavljati dober in konstanten odboj laserskega žarka. Vse odbojne plasti lahko kemijsko reagirajo s kemikalijami iz okolice in, z izjemo zlata, lahko korodirajo, zato jih je potrebno primerno zaščititi pred nečistočo iz okolice in pred vlago (ISO 18925, 2008, str. V).

**Zaščitna plast** je namenjena zaščiti odbojne plasti in je praviloma na »vrhnji« strani, kjer lahko označujemo plošče ali so natisnjeni pisni in slikovni podatki (labele). Ta plast je razmeroma tanka, zato so optične plošče pogosto precej občutljive za mehanske ali kemijske poškodbe z vrhnje strani (Slika 1).



**Slika 1:** Debelina osnovne, odbojne in zaščitne plasti v strukturi CD plošče. Odbojna plast je zelo tanka, zato je na sliki ni mogoče opaziti.

**Zapisovalna plast** omogoča zapisovanje vsebine pri zapisljivih in prepisljivih optičnih ploščah. Leži med polikarbonatno osnovo in odbojno plastjo. Pri zapisljivih ploščah je ta plast barvila, organska snov, in je najbolj občutljiv in ranljiv del CD-R (Trock, 2000, str. 105). Najpogosteje se kot barvila uporabljajo cianin, AZO in phthalocianin. Izdelovalci plošč napovedujejo življenjsko dobo takšnih barvil, če so razmere pri hrambi ustrezne, več kot 100 let (A guide, 1988). Vendar pri izdelovanju plošč veliko spreminjajo in preizkušajo prav zapisovalne plasti, saj želijo povečati hitrost zapisovanja in gostoto zapisa ter hkrati znižati stroške izdelave optičnih plošč. Pri tem pa stabilnost in življenjska doba nosilcev postajata manj pomembna. Pri ploščah, ki jih lahko zapišemo z večjimi hitrostmi (nekaj desetkrat hitreje, kot je čas predvajanja), se praviloma uporablja tanjša zapisovalna plast, kar lahko posledično vodi h krajši življenjski dobi nosilca. Tudi zapisljive DVD plošče imajo tanke zapisovalne plasti, saj že sam postopek zapisovanja zahteva veliko večjo gostoto zapisa (Bradley, 2009, str. 130). Zapisovalna plast je občutljiva na svetlobo, temperaturo in vlago, saj lahko ti dejavniki ob neugodnih razmerah močno pospešijo naravno staranje in propadanje. Pri prepisljivih optičnih ploščah zapisovalno plast predstavlja premaz iz posebne fazno spremenljive kovinske zmesi. Ta snov je občutljiva predvsem na temperaturo in naj bi bila manj stabilna od barvil pri zapisljivih ploščah (Byers, 2003, str. 15).

### 3 Vpliv temperature

Temperatura vpliva na življenjsko dobo nosilcev na različne načine. Predvsem vpliva na hitrost kemičnih procesov, ki se odvijajo v nosilcu in s tem določajo

hitrost staranja in propadanja nosilca. Približno lahko ocenimo, da se pri porastu temperature za 10 °C hitrost kemičnih reakcij podvoji, s čimer se podvoji tudi hitrost procesa staranja in propadanja nosilca, kar povzroči razpolovitev življenjske dobe nosilca. Nasprotno pa znižanje temperature za 10 °C upočasni kemijske reakcije za polovico, upočasni staranje in propadanje nosilca ter posledično podvoji njegovo življenjsko dobo (Schüller, 2008, str. 11). Zato se priporoča hranjenje nosilcev pri nizkih temperaturah.

V literaturi (primerjaj AES-11id-2006; Adelstein, 2009) pogosto zasledimo štiri temperaturna območja za hranjenje različnih nosilcev: sobna temperatura (od +16 °C do +23 °C), hladno (od +8 °C do +16 °C), mrzlo (od 0 °C do +8 °C) in pod lediščem (od -20 °C do 0 °C). Pri tem je območje sobne temperature primerno le za tiste snovi, ki so kemijsko dokaj stabilne, medtem ko je območje pod lediščem namenjeno za dolgoročno hrambo z maksimalno življenjsko dobo, vendar le za tiste nosilce, ki lahko prenesejo takšne razmere. Potrebno pa je posebej poudariti, da mora biti vrednost relativne vlage v vseh štirih temperaturnih območjih vedno razmeroma nizka, priporočeno znotraj razpona od 30 % do 50 %.

Avtorji večkrat (prim. Schüller, 2008, str. 11) navajajo le dve temperaturni območji, temperaturno območje zaščite (od +8 °C do +10 °C) in temperaturno območje dostopa (okoli 20 °C), saj številni digitalni nosilci brez usodnih posledic prenesejo temperaturno območje od +8 °C do +35 °C. Pri tem pa poudarjajo velik pomen stabilnosti temperature, ki lahko odločilneje vpliva na življenjsko dobo nosilcev kot sama vrednost temperature pri hranjenju.

ISO standard 18925 (2008) določa, naj temperatura za dolgoročno hranjenje optičnih plošč ne preseže 25 °C, in priporoča hranjenje pri temperaturah pod 23 °C. Najvišja kratkotrajna temperatura ne sme preseči 32 °C. Zato lahko optične plošče zadovoljivo hranimo pri sobnih temperaturah, še bolj primerno pa v hladnem ali mrzlem temperaturnem območju. Hranjenje pod lediščem se odsvetuje (AES-11id-2006, str. 11; ISO 18925, 2008, str. 4), saj lahko privede do lomljivosti in drobljivosti nosilca, čeprav podrobnejših študij glede tega še ni (2003, str. 17).

### 3.1 Stabilnost temperature

Stabilnost temperature ima zelo velik vpliv na staranje in propadanje nosilcev, saj se nosilci praviloma s porastom temperature raztezajo in s padanjem temperature krčijo. Ker so nosilci sestavljeni iz različnih plasti, ki imajo različne razteznostne koeficiente, lahko zaradi nihanja temperature nastanejo mehanske poškodbe nosilca in odstopanja posameznih plasti. Velike in hitre temperaturne spremembe povzročajo večje obremenitve nosilcev kakor počasna in manjša nihanja. Zato naj se nosilci, ki so pogostejše v uporabi, tudi hranijo pri tempera-

turi, ki je blizu temperaturi ob uporabi (predvajanju, branju), saj tako minimiziramo obremenitve zaradi pogostih temperaturnih razlik. Pri prenosu nosilcev iz hladnih prostorov v tople pa je potrebno izvesti aklimatizacijo nosilca s pomočjo postopnega prilagajanja na nove razmere.

V literaturi pogosto navajajo stabilnost temperature znotraj spremembe 3 °C v času 24 ur (AES-11id-2006, str. 11) ali pa predlagajo za temperaturno območje zaščite stabilnost temperature  $\pm 1$  °C, za območje dostopa pa  $\pm 3$  °C (Schüller, 2008, str. 11).

Čeprav so optični nosilci razmeroma neobčutljivi na normalne spremembe klimatskih pogojev v bivalnih prostorih, je potrebno poskrbeti za stabilnost temperature, da bi upočasnili staranje in propadanje. Večje in hitrejše spremembe temperature lahko namreč povzročijo tudi hujše posledice, med drugim poslabšanje optičnih lastnosti in odbojnih karakteristik zaradi kondenzacije ter mehanske poškodbe (ukrivljenje in zvijanje plošč, odstopanja posameznih plasti, spremembe fizičnih mer ipd.) zaradi različnega krčenja in raztezanja posameznih plasti optičnega nosilca. Zato naj se optične plošče aklimatizirajo vsaj 24 ur pred uporabo, pri čemer je največja dopustna temperaturna razlika 10 °C na uro (ISO 18925, 2008, str. 5).

Optične plošče so pri predvajanju izpostavljene precej visokim temperaturam, saj je lahko temperatura v napravah za predvajanje tudi 40 °C in več (ISO 18938, 2008, str. 13). Zato je potrebno paziti na morebitni temperaturni šok, ki mu je lahko plošča pri tem izpostavljena, in predvideti ustrezno aklimatizacijo.

## 4 Vpliv vlage

Vlaga je eden največjih sovražnikov digitalnih nosilcev, saj ima neposreden vpliv na njihovo kemično stabilnost in povzroča znane težave, povezane z oksidacijo in hidrolizo. Posredno vpliva tudi na t. i. biološko propadanje, saj npr. pri relativni vlagi nad 70 % povzroča nastajanje plesni in gob, ki se lahko pogosto pojavijo na različnih nosilcih (Schüller, 2008, str. 11). Zato morajo biti nosilci shranjeni v suhem okolju.

Najpogosteje se za različne nosilce priporoča območje relativne vlage nekje med 30 % in 50 %, saj sta v tem območju za večino snovi zagotovljeni kemična in fizična stabilnost. Praviloma pa se kemična stabilnost snovi pri nižjih vrednostih relativne vlage izboljša (AES-11id-2006).



ISO standard 18925 določa območje relativne vlage za dolgoročno hranjenje optičnih plošč med 20 % in 50 %. Skozi polikarbonatno osnovo, ki je propustna za vodo, lahko vlaga prodre v notranjost optičnih plošč in doseže različne plasti. To lahko povzroči korozijo odbojne plasti in druge spremembe optičnih lastnosti plošč, kakor tudi fizična in druga odstopanja na nosilcu. Hramba v zelo suhih prostorih, pod relativno vlago 10 %, se odsvetuje (ISO 18925, 2008, str. 4).

## 4.1 Stabilnost relativne vlage

Stabilnost relativne vlage ima podoben vpliv na nosilce kakor stabilnost temperature, saj lahko zaradi različne vpojnosti posameznih plasti nosilca pride do fizičnih poškodb in odstopanj plasti.

V strokovni literaturi je najpogosteje navedeno dopustno nihanje relativne vlage  $\pm 5\%$  v obdobju 24 ur (primerjaj (AES-11id-2006, str. 9; Schüller, 2008, str. 11). Nekateri avtorji dopuščajo tudi občasna večja dnevna nihanja relativne vlage (tudi do  $\pm 20\%$  v obdobju 24 ur), če so nosilci skladiščeni v zaprtih plastičnih ali kovinskih škatlah, ki pomagajo vzdrževati konstantnost klimatskih pogojev v neposredni okolici nosilcev za krajše časovno obdobje (AES-11id-2006, str. 9).

Tudi za stabilnost relativne vlage pri hranjenju optičnih nosilcev veljajo podobna priporočila in razmišljanja kot za stabilnost temperature; optični nosilci so razmeroma neobčutljivi na normalne spremembe klimatskih pogojev v bivalnih prostorih, je pa potrebno poskrbeti za stabilnost relativne vlage, da bi upočasnili staranje in propadanje. ISO standard 18925 (2008) predpisuje stabilnost relativne vlage za optične plošče  $\pm 10\%$ .

## 4.2 Povezanost temperature in relativne vlage

Pomembno je poudariti, da sta temperatura in relativna vlaga medsebojno tesno povezana parametra, ki soodvisno vplivata na življenjsko dobo nosilcev. Temperatura namreč določa maksimalno vrednost vode, ki se v obliki vlage oz. vodne pare zadržuje v zraku. Pri višjih temperaturah lahko zrak vsebuje večjo količino vodne pare, pri nižjih temperaturah pa manjšo. Če se temperatura v prostoru znižuje brez odstranitve vlage iz zraka, se povečuje relativna vlaga v prostoru. Ko ta doseže vrednost 100 %, se začne pojavljati kondenzacija vodnih kapljic na najhladnejših površinah.

Začetek kondenziranja vodnih kapljic je odvisen od relativne vlage v prostoru in spremembe temperature. Tako se npr. v prostoru s temperaturo 21 °C in relativno

vlogo 50 %, kar predstavlja razmeroma ugodne bivalne razmere ter primerne pogoje za hrambo optičnih in različnih drugih nosilcev, začne kondenzacija pri znižanju temperature na okoli 11 °C, torej pri padcu temperature za 10 °C. Če je v prostoru s temperaturo 21 °C relativna vlaga 70 %, pa se prične kondenzacija že pri temperaturi 16 °C, kar predstavlja znižanje temperature samo za 5 °C. Iz primera je razvidno, kako pomembna je stabilnost temperature in relativne vlage v okviru priporočenih vrednosti ter aklimatizacija nosilcev, kadar je to potrebno.

Pri klimatiziranju prostorov za hrambo nosilcev je zato potrebno sočasno nadzorovati in vzdrževati oba parametra, temperaturo in relativno vlago. Vzdrževanje nizkih temperatur pri hkratnem zagotavljanju nizke relativne vlage pa ni preprosto, saj so pogosto potrebni specializirani in razmeroma dragi klimatski sistemi. Pogosta nepravilnost je, da se v želji po podaljšanju življenjske dobe nosilcev s klimatsko napravo vzdržuje priporočena nizka temperatura, pri tem pa nezadostno razvlažuje zrak. To povzroči porast in večja nihanja relativne vlage v prostoru. S tem pa se bolj ogrozijo nosilci ter se povzroči njihovo hitrejše propadanje in staranje, kakor če bi se pri nekoliko višji temperaturi vzdrževala ustrezna in stabilna relativna vlaga v prostoru (Schüller, 2008, str. 11).

## 5 Vpliv svetlobe

Izpostavljanje nosilcev različni svetlobi in neposrednim sočnim žarkom vpliva na življenjsko dobo nosilcev, saj številni polimeri, kot npr. PVC, pri daljšem izpostavljanju svetlobi začnejo propadati. Dodatno težavo pri izpostavljanju neposredni sončni svetlobi predstavlja segrevanje nosilcev zaradi sočnih žarkov in s tem povečanje temperature v različnih plasteh nosilca.

Še posebej so na svetlobo občutljive nekatere vrste optičnih plošč. Vpliv svetlobe na tiskane optične plošče (CD-ROM in DVD-ROM) sicer ni podrobneje raziskan, vendar se pogosto navaja, da izpostavljanje svetlobi normalnega bivalnega okolja v splošnem ne vpliva na življenjsko dobo teh nosilcev. Šele morebitno večletno izpostavljanje svetlobi bi lahko povzročilo spremembe v polikarbonatni osnovi, ki bi postala motna, zamegljena oz. obarvana (ISO 18938, 2008, str. 14). Po do sedaj znanih podatkih ni poročil o težavah pri predvajanju zaradi tovrstnih sprememb, zato se predvideva, da je vpliv svetlobe na življenjsko dobo tiskanih optičnih plošč zanemarljiv (Byers, 2003, str. 17).

Drugače pa je z zapisljivimi optičnimi ploščami (CD-R, DVD-R, DVD+R), saj neposredna sončna svetloba in drugi močnejši svetlobni viri povzročijo spremembe v zapisovalni plasti, ki postane slabše prosojna. To povzroči napake pri branju z laserskim žarkom ter vodi k neberljivosti in uničenju nosilca. Svetloba

povzroča spremembe v zapisovalni plasti zapisljivih optičnih plošč na dva načina: ultravijoličen del spektra svetlobe ima dovolj energije, da povzroči fotokemično reakcijo in spremembo optičnih lastnosti zapisovalne plasti, celoten spekter svetlobe pa hkrati dovede tudi toploto, ki segreje zapisovalno plast, spremeni njene optične lastnosti in pospeši propadanje (ISO 18938, 2008, str. 14). Različni testi so pokazali, da izpostavljanje zapisljivih optičnih plošč svetlobi, še posebej neposredni sončni svetlobi, lahko povzroči popolno uničenje zapisa v nekaj dneh ali tednih.

Pri prepisljivih optičnih ploščah (CD-RW, DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM) premaz iz posebne fazno spremenljive kovinske zmesi ni neposredno občutljiv na svetlobo, zato je vpliv svetlobe pri teh vrstah plošč zanemarljiv. Vendar pa izpostavljanje močnim virom svetlobe, kot so npr. sončni žarki, močno segreje kovinsko zmes, ki je občutljiva na toploto, povzroči spremembo optičnih karakteristik te plasti in posledično neberljivost plošč (ISO 18938, 2008, str. 14). Sončna svetloba torej na podoben način kot pri zapisljivih optičnih ploščah povzroči uničenje podatkovne plasti, pri čemer naj bi bilo propadanje pri prepisljivih ploščah celo hitrejše (Byers, 2003, str. 18).

## **6 Test obstojnosti digitalnega zapisa na CD-R nosilcih pri izpostavljanju svetlobi**

Predvsem zapisljive optične plošče so se uporabljale in se ponekod še vedno uporabljajo kot nosilci digitalnih kopij analognih izvirnikov, pa tudi za shranjevanje izvirnih digitalnih informacij, kot so npr. digitalne fotografije, digitalni zapisi zvoka idr. Pogosto se tisti, ki hranijo tovrstne digitalne nosilce, premalo zavedajo ranljivosti in omejene obstojnosti takšnih nosilcev. Na Glasbenonarodpisnem inštitutu ZRC SAZU v Ljubljani smo zato izpeljali eksperiment, pri katerem smo analizirali obstojnost digitalnega zapisa na CD-R nosilcih, ki so bili izpostavljeni svetlobi. Pri tem smo želeli ugotoviti predvsem vpliv vsakdanjih, realnih razmer, ki so jim nosilci navadno izpostavljeni pri rednem delu z zvočnimi zbirkami (podrobneje tudi v Kunej 2001, 2004).

Z eksperimentom občutljivosti CD-R na sončno svetlobo smo želeli ugotoviti, kako na različne vrste CD-R vpliva izpostavljanje sončni svetlobi. Zato smo kupili CD-R plošče različnih vrst, kakovosti, različnih proizvajalcev in različnega cenovnega razreda. Plošče so imele različne vrste odbojnih plasti in barvil. Na vse smo posneli enako vsebino z isto profesionalno snemalno napravo in v audio formatu (CD-DA). Takoj po zapisu smo plošče označili na notranjem, neposnetem plastičnem delu, in jih testirali z opremo CD Errormonitor. CD Errormonitor je poseben računalniški program, ki prikazuje nekatere električne para-

metre napak pri branju CD plošč: BLER (ang. block error rate), BERL (ang. burst error length), nepopravljive napake E32 in še nekatere druge parametre.<sup>1</sup> Vrste plošč smo zaradi preglednosti preprosto poimenovali z: A, B, C, D in E. Prve meritve plošč so pokazale, da je zapis dober, saj so bile pri vseh ploščah vrednosti trenutnega in povprečnega BLER-a znotraj mej, ki jih določa standard Red Book (pod vrednostjo 220), meritve niso pokazale prisotnosti napak E32, poleg tega ni bilo mogoče zaznati slišnih nepravilnosti pri predvajanju plošč (primer Slika 2).

Vsako posamezno ploščo iste vrste smo nato shranili na drugem mestu in jo izpostavili različnim osvetljevanjem. Ker smo pri eksperimentu želeli zagotoviti razmere, kakršne so pri delu s CD-R ploščami, smo plošče razmestili na različna mesta v pisarni, nekaj pa smo jih shranili tudi na zadnjo okensko polico avtomobila.

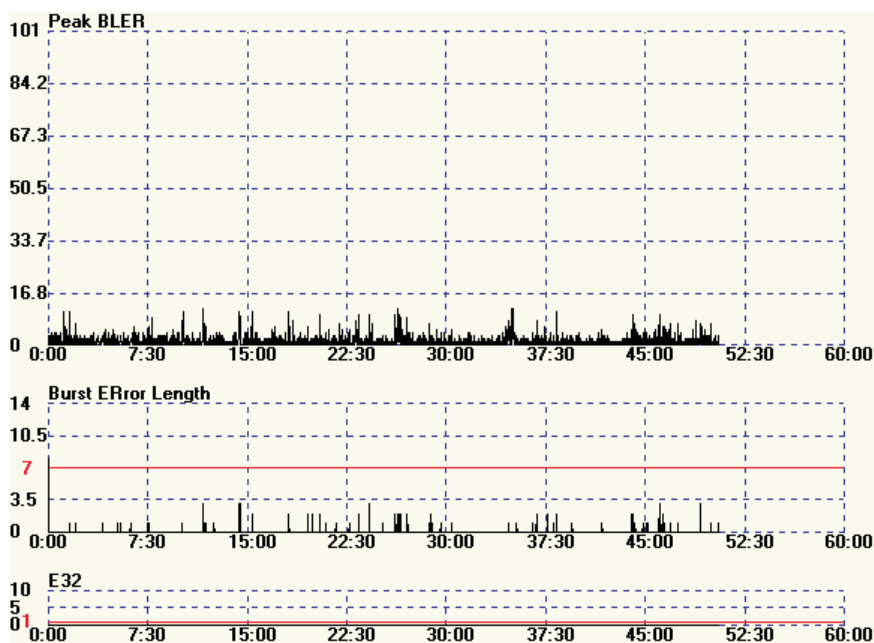
Plošče smo nato testirali v rednih časovnih intervalih in opazovali spreminjanje merjenih parametrov. Zaradi velikega števila plošč pri našem eksperimentu smo pogosteje testirali tiste plošče, pri katerih smo opazili hitrejšo spreminjanje merjenih parametrov.

Po nekaj mesecih smo ugotovili, da so lahko CD-R plošče zelo občutljive na sončno svetlobo. Občutljivost je bila odvisna predvsem od trajanja in načina osvetljevanja ter kakovosti plošče.

## 6.1 CD-R, shranjeni v zvočnem arhivu

Takoj po prvi meritvi smo eno od plošč vsake vrste v njeni zaprti škatlici shranili v zvočni arhiv. Arhiv je brez dnevne svetlobe in ima kontrolirane klimatske

1 *Kakovost zapisa na ploščah lahko preprosto in dokaj dobro ocenimo s pomočjo parametra BLER (ang. block error rate); ta pove število blokov na sekundo, ki vsebujejo kakršno koli napako (Trock, 2000, str. 106; ISO 18921, 2008, str. 3; ISO 18927, 2008, str. 5). Standard za CD in CD-R predvideva, da sistem za odpravljanje napak uspešno deluje, če je število blokov z napako manjše od 3 %, to pa pri 7350 prebranih blokih vsako sekundo pomeni BLER, manjši od 220. Standard dopušča zaporedoma do 7 blokov z napako (ang. burst error length – BERL manjši od 7) in seveda nobene nepopravljive napake (E32 ima vrednost 0). Omenjene mejne vrednosti predstavljajo zgornje dovoljene vrednosti. Prekoračitev teh vrednosti pomeni, da je zvočni nosilec uničen in da lahko nastanejo težave pri predvajanju. Za nosilce, ki so v uporabi za arhivske namene, so priporočene precej nižje mejne vrednosti (Bradley, 2009, str. 132-133). Merjenje vrednosti BLER, BERL in E32 na ploščah, ki so bile uporabljene v našem eksperimentu, je jasno pokazalo, da z opazovanjem teh parametrov lahko ugotovimo kakovost zapisa na ploščah. Čeprav vrednost BLER vedno neposredno ne korelira z drugimi parametri (Fontaine, 1999), je parameter BLER vendarle razmeroma dober kazalec kakovosti digitalnega zapisa in stanja plošče in je zato priporočljiv za osnovno ugotavljanje stanja (Lemaire, 1999). Na podlagi naših meritev se je izkazalo, da sta se BLER in povprečen BLER najprej povečevala s časom osvetljevanja in propadanjem plošč, ko pa sta dosegla določeno mejo, so vrednosti kljub nadaljnjem propadanju plošč začele padati. Zato so bili drugi parametri, npr. BERL in E32, boljše kazalci stanja pri bolj »poškodovanih« ploščah.*



Slika 2: Rezultati prvega testiranja plošče B

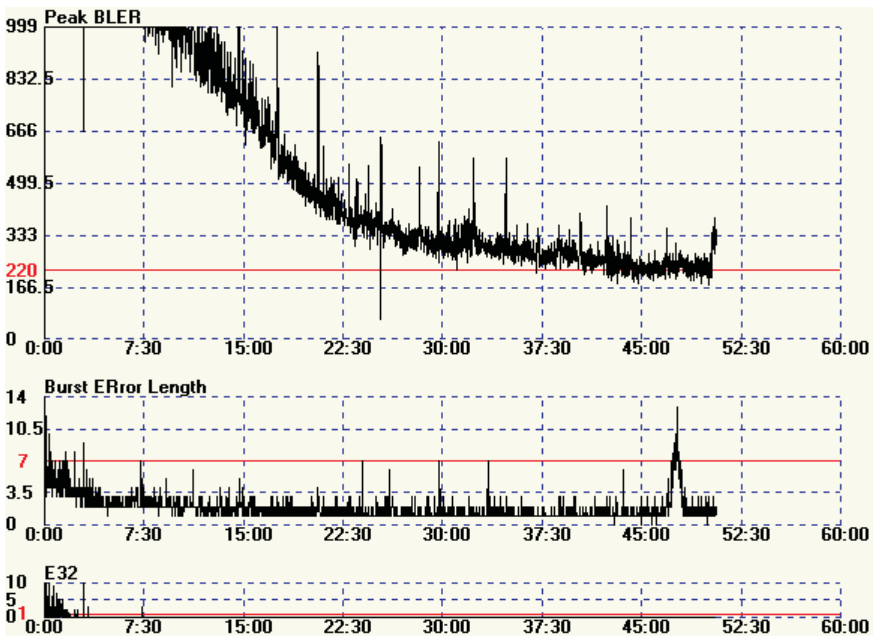
razmere ( $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $50\% \pm 5\%$  relativne vlage). Te plošče so služile kot referenčni vzorec v našem eksperimentu. Po nekaj letih opazovanja in merjenja izbranih parametrov lahko ugotovimo, da so ostale vrednosti merjenih parametrov skorajda popolnoma enake kot pri prvem testiranju.

## 6.2 CD-R, izpostavljeni neposredni sončni svetlobi s posneto stranjo

Plošče smo namestili v njihove škatlice tako, da smo obrnili posneto (spodnjo) stran plošče navzgor in pustili škatlico odprto. Škatlice s ploščami smo nato položili na mizo poleg okna, tako da so bile nekaj časa na neposredni sončni svetlobi. Ker je bilo okno obrnjeno proti vzhodu, v bližini okna pa so tudi druge stavbe, so bile lahko plošče osvetljene le dopoldne. Najdlje so bile plošče izpostavljene neposrednim sončnim žarkom v juniju in juliju (do tri ure dnevno); v maju in avgustu okoli dve uri in pol, v septembru in oktobru manj kot dve uri, v drugih mesecih manj kot uro ali pa sploh niso bile v dosegu sončnih žarkov. Seveda je bilo sončno osvetljevanje odvisno izključno od vremenskih razmer, tako da v dneh brez sonca tudi plošče niso bile izpostavljene sončnim žarkom.

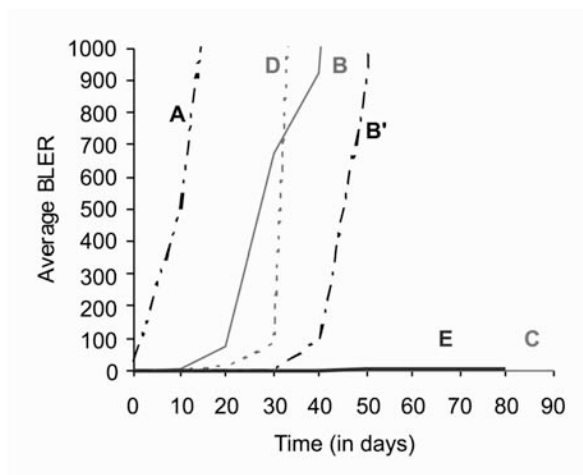
Okna so bila večinoma zaprta, razen ko smo pisarno zračili. Plošče so bile izpostavljene tudi vsakodnevni delovni in klimatski razmeram v pisarni.

Tako izpostavljene plošče so pokazale veliko občutljivost na sončne žarke. Pri ploščah A se je vrednost povprečnega BLER že po 20 dneh izpostavljanja zelo povečala, prav tako tudi vrednost parametra E32. Takšno ploščo je bilo zelo težko predvajati, posneta glasba pa je bila skoraj nerazpoznavna. Pet dni kasneje je bila plošča popolnoma uničena in neberljiva. Podobni rezultati so bili tudi pri plošči D, vendar so se spremembe parametrov pokazale nekoliko počasneje. Po 50 dneh izpostavljanja je bila plošča popolnoma uničena in neberljiva. Tudi pri ploščah vrste B je parameter BLER že po 25 dneh takšnega izpostavljanja presegel dovoljeno vrednost 220 in tri dni kasneje (po 28 dneh izpostavljanja) so se pojavile prve napake E32 (Slika 3). Vrednosti merjenih parametrov so se zelo hitro večale. Po 40. dnevu izpostavljanja so se pojavile prve slišne napake pri predvajanju plošče; v nekaj nadaljnjih dneh so postale bolj očitne in moteče; kmalu je bila plošča popolnoma uničena. Najmanj je takšno izpostavljanje vplivalo na ploščo C. V času, ko so bile druge vrste plošč že popolnoma uničene, so vrednosti merjenih parametrov na tej vrsti plošč ostale skoraj nespremenjene. Šele po okoli letu dni izpostavljanja se je BLER začel povečevati; najbolj očitno in najmočneje na začetku posnetka, ob središčni odprtini plošče – tam, kjer so se tudi pri drugih ploščah navadno spremembe najprej pojavile. Tudi pri ploščah E je povečanje



Slika 3: Rezultati testiranja plošče B po 28 dneh osvetljevanja posnete strani

merjenih parametrov potekalo razmeroma počasi. Po 70 dneh izpostavljanja se je povprečni BLER z 0.3 povečal na 3.3, drugi parametri pa so ostali še nespremenjeni (Slika 4).



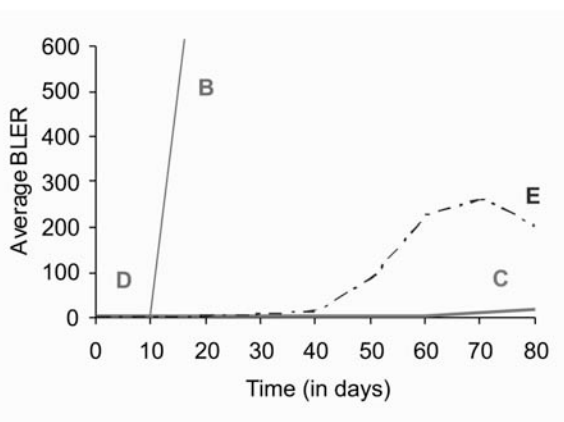
**Slika 4:** Povečanje povprečne vrednosti BLER plošč A, B, C, D in E po osvetljevanju posnete strani plošče (Kunej, 2001, str. 22)

### 6.3 CD-R, izpostavljeni neposredni sončni svetlobi z neposneto stranjo

Plošče smo pripravili in izpostavili na enak način kot plošče, pri katerih smo izpostavili posneto stran, le da smo jih namestili v škatlice tako, da je bila osvetljena le neposneta (zgornja) stran. Tako izpostavljene plošče so bile manj občutljive na sončne žarke, saj so merjeni parametri naraščali počasneje in manj očitno kot pri osvetljevanju posnete strani plošče. Vendar je sčasoma tudi takšno osvetljevanje povzročilo uničenje CD-R. Tako smo lahko opazili, da po 70 dneh izpostavljanja pri ploščah B, ki so v našem eksperimentu predstavljale CD-R plošče povprečne kakovosti, še ni bilo zaznati povečanja merjenih parametrov, po 100 dneh je bilo povečanje BLER-ja že opazno, po 130 dneh pa so bile spremembe vseh parametrov očitne in so že presegle dovoljene vrednosti. Tudi pri ploščah D je povečanje parametra BLER podobno kot povečanje pri ploščah B, le da so se spremembe pokazale še prej in bolj očitno. Ponovno pa so bile najbolj občutljive na tovrstno osvetljevanje plošče A, saj je BLER že po 25 dneh izpostavljanja presegel mejno vrednost 220, po 30 dneh pa so se pojavile tudi prve napake E32.

## 6.4 CD-R, izpostavljeni neposredni sončni svetlobi v avtomobilu

Nekatere CD-R plošče smo izpostavili ekstremnejšemu osvetljevanju. Pripravili smo jih enako kot vse druge in jih položili v njihove plastične škatlice tako, da je bila izpostavljena posneta stran plošče, odstranili papirnate ovitke in škatlico zaprli. Plošče smo nato položili na okensko polico za zadnjim steklom avtomobila, ki je bil večino časa parkiran v smeri vzhod-zahod in delno v senci. Zato so bile plošče izpostavljene sončnim žarkom največ pol dneva. Sončni žarki so vedno osvetljevali plošče le skozi stekla avtomobila in prozorno plastično škatlico. Ker so bile plošče izpostavljene višjim temperaturam, so se večkrat močneje segrele, to dokazujejo tudi manjše deformacije plastičnih škatlic. Tako izpostavljene plošče so pokazale največjo občutljivost na sončne žarke, saj so se merjeni parametri najhitreje in najbolj očitno spreminjali. Rezultati so podobni kot rezultati po izpostavljanju posnete strani plošč v pisarni, le da je bilo spreminjanje merjenih parametrov hitrejše in bolj očitno (Slika 5).



**Slika 5:** Povečanje povprečne vrednosti BLER pri ploščah B, C, D in E pri osvetljevanju posnete strani plošče v avtomobilu (Kunej, 2001, str. 24)

## 7 Sklep

Eksperiment je pokazal, da so CD-R plošče lahko zelo občutljive na sončne žarke, še posebej, če je neposrednemu sončnemu osvetljevanju izpostavljena posneta stran plošč; nekatere vrste plošč so bile že po nekaj dneh popolnoma uničene. Pravilno ravnanje s ploščami in ustrezna hramba torej odločilno vplivata na nji-



hovo življenjsko dobo. To velja za vse vrste CD-R. Čeprav je tehnologija izdelave digitalnih plošč že pred leti dosegla zelo visoko raven in nekateri proizvajalci zagotavljajo dobro odpornost svojih plošč na sončne žarke, so razlike med različnimi CD-R še zelo očitne (Stapley, 2000). Težave povečuje tudi dejstvo, da CD-R nosilci niso namenjeni profesionalni rabi, zato je na tržišču težko dobiti plošče zanesljive kakovosti. Čeprav je kakšna vrsta plošč morda bolj odporna proti svetlobi, pa vzbuja skrb, da poškodbe napredujejo zelo hitro, ko se propadanje začne. Pomen ustrezne hrambe potrjuje tudi naša izkušnja, saj se pri nobeni plošči, shranjeni v arhivu, po nekaj letih hrambe niso pojavile očitne spremembe merjenih parametrov.

Čeprav so danes optične plošče le eden od različnih načinov hranjenja digitalnih podatkov in so mnogi drugi digitalni sistemi bolj primerni in zanesljivejši za dolgoročno hrambo, še vedno ostajajo priljubljen arhivski medij; predvsem zaradi preproste uporabe ter splošne razširjenosti in uveljavljenosti. V literaturi lahko zasledimo, da imajo med digitalnimi nosilci zapisa tiskane in zapisljive optične plošče dokaj dolgo življenjsko dobo in so bolj stabilne kot npr. digitalni magnetni trakovi (Byers, 2003, str. 2). Še enkrat pa je potrebno poudariti, da optične plošče niso trajen nosilec zapisa, kakor se pogosto napačno predvideva, ter da na njihovo življenjsko dobo odločilno vplivata ustreznost hrambe nosilcev in njihova uporaba.

Edini način, ki omogoča preverjanje stanja digitalnega zapisa je nenehno in obsežno testiranje berljivosti (Bradley, 2006, str. 12–15). Uspešno upravljanje arhiva, ki ima digitalno gradivo shranjeno na optičnih ploščah, zahteva zato precej znanja in ustrezne tehnologije, da se lahko zagotovi zanesljivo delovanje celotnega sistema; vendar le za omejeno časovno obdobje, ko bo potrebno digitalno gradivo migrirati na nov sistem (Bradley, 2009, str. 74). Digitalni sistemi, ki temeljijo na posameznih fizičnih nosilcih zapisa, kot sta npr. CD-R in DVD-R, so zato manj primerni, saj so manj zanesljivi, zahtevajo več človeškega posredovanja, imajo daljši čas dostopa do gradiva in so praviloma tudi manj ekonomični oz. jih je dražje vzdrževati (primerjaj Bradley, 2009, str. 90; Preservation, 2009, str. 7). Zato se pogosto odsvetuje uporaba optičnih plošč za dolgoročno zaščito digitalnega gradiva. Intergrirani sistemi hrambe, ki s pomočjo strojne in programske opreme samodejno preverjajo berljivost podatkov in zanesljivost zapisa ter poskrbijo za hitro in preprosto migracijo podatkov, ko je to potrebno, so zato bolj primerni za dolgoročno hrambo podatkov v digitalni obliki.

## Navedeni viri

1. *A guide to choosing and using digital audio recording media.* (1998). London: HHB Communication Ltd.

2. Adelstein, P. Z. (2009). *IPI media storage quick reference* (2nd ed.). Rochester: Image Permanence Institute. Pridobljeno 12. 7. 2010 s spletne strani: [http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml\\_sub/MSQR.pdf](http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml_sub/MSQR.pdf)
3. AES-11id-2006: *AES Information document for preservation of audio recordings - Extended term storage environment for multiple media archives*. (2006). New York: Audio Engineering Society.
4. Bradley, K. (2006). *Risks associated with the use of recordable CDs and DVDs as reliable storage media in archival collections - strategies and alternatives*. Paris: UNESCO. Pridobljeno 12. 7. 2010 s spletne strani: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147782E.pdf>
5. Bradley, K. (Ur.). (2009). *Guidelines on the production and preservation of digital audio objects* (2nd ed.). Canberra: International Association of Sound and Audiovisual Archives.
6. Byers, F. R. (2003). *Care and handling of CDs and DVDs: a guide for librarians and archivists*. Washington DC: National Institute of Standards and Technology. Pridobljeno 12. 7. 2010 s spletne strani: <http://www.itl.nist.gov/iad/894.05/papers/CDandDVDCareandHandlingGuide.pdf>
7. ETZ – Enotne tehnološke zahteve elektronske hrambe v digitalni obliki. (2007). V V. Žumer (Ur.), *Arhivski predpisi v Republiki Sloveniji* (str. 176–337). Ljubljana: Arhiv RS.
8. Fontaine, J. M. (1999). Relevance of the parameters defining the quality of CDs. V G. Boston (Ur.), *Technology and our audio-visual heritage: technology's role in preserving the memory of the world* (str. 96–108). London: Technical Coordinating Committee.
9. *ISO 18921:2008, Imaging materials - Compact discs (CD-ROM) - Method for estimating the life expectancy based on the effects of temperature and relative humidity*. (2008). Geneva: ISO.
10. *ISO 18925:2008, Imaging materials - Optical disc media - Storage practices*. (2008). Geneva: ISO.
11. *ISO 18938:2008, Imaging materials - Optical discs - Care and handling practices for extended usage*. (2008). Geneva: ISO.
12. *ISO 18927:2008, Imaging materials - Recordable compact disc systems - Method for estimating the life expectancy based on the effects of temperature and relative humidity*. (2008). Geneva: ISO.
13. Kunej, D. (2001). Instability and vulnerability of CD-R carriers to sunlight. V D. Schüller in É. Arató-Borsi (Ur.), *Archiving, restoration, and new methods of recording* (str. 18–25). New York: Audio Engineering Society.
14. Kunej, D. (2004). Vpliv svetlobe na obstojnost CD-R nosilcev. *Arhivi*, 27 (1), 83–92.

15. Lemaire, J., Pichon, N. in Fontaine, J. M. (1999). Microspectrophotometric analyses of changes in the organic materials used in optical discs. V G. Boston (Ur.), *Technology and our audio-visual heritage: technology's role in preserving the memory of the world* (str. 88–95). London: Technical Co-ordinating Committee.
16. *Preservation of archival sound recordings, Version1*. (2009). Annapolis: Association for Recorded Sound Collections Technical Committee. Pridobljeno 27. 7. 2010 s spletne strani: [http://www.arsc-audio.org/pdf/ARSTC\\_preservation.pdf](http://www.arsc-audio.org/pdf/ARSTC_preservation.pdf)
17. Schüller, D. (2008). *Audio and video carriers: recording principles, storage and handling, maintenance of equipment, format and equipment obsolescence*. Amsterdam: European Commission on preservation and Access. Pridobljeno 21. 8. 2008 s spletne strani: [http://www.knaw.nl/ecpa/tape/docs/audio\\_and\\_video\\_carriers.pdf](http://www.knaw.nl/ecpa/tape/docs/audio_and_video_carriers.pdf)
18. Stapley, P. (2000). CD-R media. *Pro Sound News Europe*, 15 (4), 79–84.
19. Trock, J. (2000). Permanence of CD-R media. V M. Aubert in R. Billeaud (Ur.), *Image and sound archiving and access* (str. 104–112). Paris: JTS.

---

**Dr. Drago Kunej** je zaposlen na Glasbenonarodopisnem inštitutu ZRC SAZU.  
Naslov: Novi trg 2, 1000 Ljubljana  
Naslov elektronske pošte: drago.kunej@zrc-sazu.si