

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Andrej Šinkovec

REŠEVANJE PODATKOV S TRDIH DISKOV

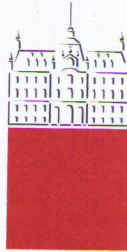
DIPLOMSKO DELO NA VISOKOŠOLSLEM STROKOVNEM
ŠTUDIJU

Mentor :
pred. mag. Igor Škraba

Ljubljana, 2011

Št. naloge: 00057/2010

Datum: 06.12.2010



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ANDREJ ŠINKOVEC**

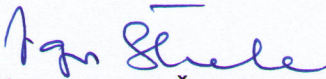
Naslov: **REŠEVANJE PODATKOV S TRDIH DISKOV
DATA RECOVERY FROM HARD DISKS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje


Tematika naloge:

Zaradi stalnega naraščanja površinske gostote zapisa in medsebojnega usklajevanja vseh parametrov trdega diska pri proizvodnji je ob okvari reševanje podatkov z diska vedno težje. V nalogi predstavite razvoj in tehnologijo trdih diskov in raziščite možnosti reševanja podatkov pri različnih vrstah okvar.

Mentor:


pred. mag. Igor Škraba

Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic



Zahvala

Posebej bi se rad zahvalil mentorju, pred. mag. Igorju Škrabi, za pomoč pri izdelavi diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi prijateljem in seveda družini, za spodbudo pri pisanju diplomskega dela, ter finančno pomoč tekom študija.

Kazalo

Povzetek	ix
Abstract	x
1. Uvod	1
2. Uvod v tehnologijo trdega diska.....	2
2.1 Površinska gostota zapisa na disku in gibanje cen	6
2.2 Kaj se zgodi s podatki na trdem disku ?.....	8
2.2.1 Organizacija podatkov	9
2.2.2 Lociranje podatkov	11
2.2.3 Detekcija podatkov.....	14
2.2.4 Kodiranje in dekodiranje podatkov	16
3. Zaščita podatkov.....	19
3.1 Tehnologija SMART	19
3.2 Tehnologija zaščite DFT	19
3.3 Varnostna kopija.....	20
3.4 Diskovna polja RAID.....	20
4. Tehnologije reševanja podatkov	24
4.1 Fizična izguba podatkov	24
4.1.1 Okvara plošče tiskanega vezja (PCB)	25
4.1.2 Okvara bralno-pisalne glave	26
4.1.3 Okvara plošče trdega diska.....	28
4.2 Forenzična vrnitev podatkov	29
4.2.1 Fizične, kemijske in toplotne poškodbe	30
4.2.2 Fizično prepisani podatki.....	33
4.3 Logična izguba podatkov	39
4.3.1 Logična organizacija podatkov na disku (datotečni sistem).....	39
4.3.1.1 Datotečni sistemi FAT, VFAT in FAT 32.....	40
4.3.1.2 Datotečni sistem NTFS.....	41
4.3.2 Vrnitev izbranih podatkov.....	43
4.3.3 Vrnitev izbranih particij.....	45
5. Neobnovljivi podatki.....	47

5.1	Okvara programske opreme diska.....	47
5.2	Neuspešna zamenjave glave	47
5.3	Neuspešna namestitev (montaža) plošče	49
5.4	Izguba podatkov	49
6.	Zaključek.....	51

Seznam uporabljenih kratic

AFM	Atomic Force Microscopy
BAR	Bit Aspect Ratio
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CHS	Cylinder, Head, Sector
CRC	Cyclic Redundancy Code
DFT	Drive Fitness Test
ECC	Error Correcting Codes
EMI	Electromagnetic Interference
FAT	File Allocation Table
GMR	Giant Magnetoresistance
HDA	Head Disk Assembly
IBM	International Business Machines Corporation
ID	Inner Diameter
LCN	Logical Cluster Number
MBR	Master Boot Record
MFMM	Modified Frequency Modulation ali Magnetic Force Microscope
MFT	Master File Table
MR	Magnetoresistance
NTFS	New Technology File System
OD	Outer Diameter
PCB	Printed Circuit Board
PES	Position Error Signal
PRML	Partial Response Maximum Likelihood
RAID	Redundant Array Of Inexpensive Disks
RAMAC	Random Acces Method of Accounting and Control

RLL	Run Length Limited
ROM	Read Only Memory
RRO	Repeatable Runout
SMART	Self Monitoring and Reporting Technology
VCN	Virtual Cluster Number

Povzetek

V svojem diplomskem delu sem opisal zgodovino nastanka trdih diskov, kako so podatki organizirani na trdem disku, kako do njih dostopamo, ter kako so se s časom spreminjale cene glede na kapaciteto trdih diskov. Na kratko sem opisal tudi logično organizacijo podatkov na disku in dandanes zelo pomembne načine zaščite podatkov. V nadaljevanju sem se osredotočil na tehnologije reševanja podatkov, tako s fizičnega kot logičnega vidika. Kako lahko sploh rešimo podatke v določenih situacijah, kako zamenjamo okvarjene dele trdega diska ter rešujemo izgubljene podatke. V zadnjem poglavju sem opisal tudi primere za nas nezaželenih neobnovljivih podatkov.

Ključne besede: površinska gostota, trdi disk, reševanje, podatki.

Abstract

In my diploma thesis I described the history of hard drives, how data is organized in our hard disks, how to access them and how the prices in the relation to the capacity of hard disks change over the time. I briefly described logical organization of data and important ways how to protect data. Then I focused on technologies to solve data, from physical and logical perspective. How we can save data in some situations, how to replace defective parts of the hard disk and how to solve data. In final chapter I described cases of unrecoverable data.

Key words: areal density, hard drive, recovery, data.

1. Uvod

Dandanes so trdi diski zaradi množične uporabe vse bolj podvrženi okvaram. Za to pa niso krivi proizvajalci, temveč kar sami uporabniki. Povprečno število okvar trdih diskov je s pojavom omrežij za izmenjavo datotek preko spleta začelo strmo naraščati. Stvar je povsem logično razložljiva. Trdi diski (pa tudi druge komponente, denimo usmerjevalniki) enostavno ne zdržijo večmesečnega mučenja "beri-piši-beri-piši", ki jim ga nekateri uporabniki zadajajo. S pogostejšo uporabo trdih diskov prihaja do večjih obremenitev, še največji sovražnik pa je v normalnih delovnih pogojih prav toplota. Zvestega hranilca podatkov vodi v odpoved prav prekomerno segrevanje. Škodijo mu tudi razni udarci med delovanjem - denimo, da po nepazljivosti zadenemo ob ohišje. Oddajanje čudnih zvokov in morebitno neodzivanje sta že znaka, ki bi morala uporabniku vzbuditi skrb. Tu so bistveno bolj izpostavljeni diski v prenosnih računalnikih, ki jih pogosto zaradi nepazljivosti uporabnika doleti kakšna grenka izkušnja.

Za trde diske, ki ne dajejo nobenih znakov življenja ali pa so fizično močno poškodovani lahko poskrbimo z najsodobnejšo (in zelo drago) opremo. S sodobno opremo namreč lahko disku izklopijo posamezne poškodovane glave, ki bi sicer ob delovanju dodatno poškodovale podatke, in nato preberejo podatke. Tudi reševanje podatkov s poškodovanih sektorjev trdega diska z najnovejšo tehnologijo omogoča visoko stopnjo uspešnosti. Pametni nadzorni moduli znajo izklopiti disk, še preden bi prišlo do dodatnih okvar. Dandanes lahko strokovnjak ob uporabi ustrezne opreme prebira vsak posamezen sektor diska, bit za bitom. Naprave zaznajo pretirano naprezanje diska in ga ustavijo ali upočasnijo vrtenje plošč, še preden bi se le-te poškodovale ali odpovedale. Tako je počasi, a zanesljivo možno rešiti skorajda vse podatke.[1]

2. Uvod v tehnologijo trdega diska

Prvi računalniki niso imeli prostora za shranjevanje podatkov. Če smo hoteli zagnati program, smo ga morali prej morali vnesti ročno. Seveda, da bi izkoristili možnosti računalnika v celoti, je bil potreben prostor za shranjevanje.

Računalniški strokovnjaki so bili prvotno odvisni od luknjanih kartic. Luknjana kartica je bila pomnilniška enota za avtomatske naprave za obdelovanje podatkov, ki so bile aktualne v prvi polovici in vse do 70-ih let 20-ega stoletja. Podatki so bili predstavljeni z luknjami na kartici, kartice pa so bile narejene iz tankega kartona. Luknjane kartice so bile prevladujoča oblika medija za obdelavo in shranjevanje podatkov v prvi generaciji računalništva, torej od let okoli 1920 do 1950, v 80-ih pa so jih zamenjale diskete. Kartice so se druga za drugo polagale v čitalnik, ki je prepoznal kombinacije označenih luknjic in s tem z njih prebral vsebino. Običajno so bile kartice 80 kolonske, kar pomeni, da se je na vsako dalo zapisati do 80 znakov. Vsebina kartice se je lahko nadaljevala na drugi. Sistem, ki je bral kombinacije luknjic je deloval po elektromehanskem in fotoelektričnem principu. V prvem primeru kartice beremo tako, da na mestih kjer je luknja naredimo stik. V drugem primeru je kartica z ene strani osvetljena na drugi pa fotocelice zaznavajo svetlobne žarke, ki gredo skozi luknjice. Hitrost branja je odvisna od konstrukcije čitalnikov, giblje pa se od nekaj 100 do 1000 kartic na minuto. Tovrsten način shranjevanja je bil v uporabi vse do odkritja magnetnih trakov.[15]

Leta 1926 je Nemeč Fritz Pfleumer izumil magnetni trak za snemanje zvoka. Od tega leta dalje so se razvili različni načini uporabe magnetnega traku. Leta 1951 se je prvič uporabil magnetni trak za zapis računalniških podatkov, in sicer na računalniku UNIVAC I. Magnetni trak je bil na začetku izdelan iz kovinskega traku na katerega je bila naperjena magnetna plast, ki jo je bilo možno polarizirati in s tem shraniti podatke v binarnem zapisu. Na magnetni trak so se znaki, iz katerih je bila sestavljena informacija shranjevali zaporedno. Kasneje se je za osnovo uporabil plastični trak, podatki pa so se zapisovali v različnih gostotah.[16]

Razvoj medijev za shranjevanje je doživel preobrat leta 1956, ko je IBM svetu predstavil prvo diskovno enoto IBM 350, ki je bila del sistema 305 RAMAC (angl. Random Access Method of Accounting and Control). Visoka je bila 172 cm, široka 152 cm, v globino pa je merila 74 cm (za primerjavo, kot dva skupaj postavljena hladilnika). Sestavljena je bila iz magnetne diskovne enote in bralno-pisalnega mehanizma, ki je bil upravljan z elektronikom in stisnjenim zrakom iz vgrajenega kompresorja. 50 magnetnih diskov je vsebovalo 50.000 sektorjev, vsak sektor pa je imel kapaciteto 100 alfanumeričnih znakov, kar pomeni skupno kapaciteto približno 5 MB. Diski so se vrteli z 1200 obrati na minuto, povprečni dostopni čas pa je bil okoli 600 milisekund. [3]



Slika 1: Magnetni disk IBM 350

Stalne raziskave na področju trdih diskov, množična proizvodnja trdih diskov in nizke cene, ki jih je zahtevala industrija, so nekatera velika podjetja potisnila v ospredje, nekatera pa izbrisala. Danes je na svetu le kake pol ducata proizvajalcev trdih diskov, medtem ko jih je bilo konec osemdesetih kar 76. Tudi velikan na področju trdih diskov IBM je leta 2002 prodal svojo proizvodnjo trdih diskov podjetju Hitachi.[13]

Kronologija razvoja trdih diskov: [15]

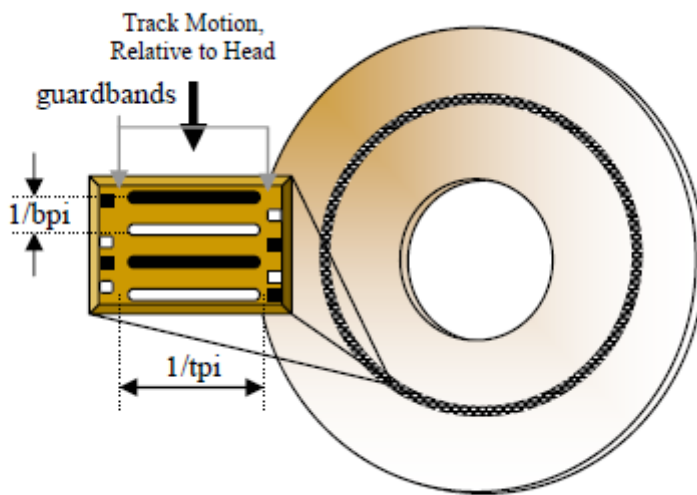
- **(1956) PRVI TRDI DISK** : predstavljen prvi trdi disk IBM 305 RAMAC. Imel je kapaciteto 5 MB, sestavljen iz 50-ih 24 palčnih plošč, vrtilna hitrost 1200 obratov/minuto,
- **(1962) PRVA BRALNO-PISALNA GLAVA LEBDEČA NA ZRAČNI BLAZINI** : IBM-ov model 1301 je znižal višino lebdenja bralno-pisalne glave na 6,35 mikrometra, in imel kapaciteto 28 MB,
- **(1965) PRVI PRENOSNI DISK** : prvi prenosni disk je bil IBM-ov model 2310,
- **(1966) PRVA FEROMAGNETNA GLAVA** : IBM-ov model 2314 je bil prvi disk, ki je uporabljal feromagnetno jedro glave,

- **(1973) PRVI MODERNI IZGLEDE TRDEGA DISKA** : predstavljen IBM-ov model 3340, z vzdevkom Winchester. S kapaciteto 60 MB je predstavljal nekaj ključnih tehnologij trdih diskov in je poznan kot prednik modernih trdih diskov,
- **(1979) PRVI 8 PALČNI DISK** : IBM-ov model 3310 je bil prvi disk s ploščami 8 palcev (20,32 cm), kar je bila očitna razlika v velikosti v primerjavi s takrat standardnimi 14 palčnimi (35,56 cm) ploščami,
- **(1980) PRVI 5.25 PALČNI DISK** : Seagate-ov model ST-506 je bil prvi 5.25 palčni disk,
- **(1983) PRVI 3.5 PALČNI DISK** : Rodime predstavi model RO352, prvi 3.5 palčni (8,89cm) disk, ki je postal eden izmed najpomembnejših industrijskih standardov,
- **(1986) PRVI 3.5 PALČNI POGON NA ZVOČNIŠKO TULJAVO** : Conner Peripherals predstavi CP340, prvi disk, ki uporablja zvočniško tuljavo,
- **(1988) PRVI 2.5 PALČNI DISK** : PrairieTek predstavi disk s ploščami 2.5 palca (6,3 cm), kar pozneje postane tudi standard za prenosne računalnike,
- **(1990) PRVI POGON Z MAGNETOREZISTIVNO GLAVO (MR GLAVO) IN PRML (angl. Partial Response And Maximum Likelihood) BRALNIM KANALOM**: IBM-ov model 681, 857 MB disk, ki je prvi uporabljal bralno glavo na osnovi magnetoresistivnega efekta in PRML branje podatkov,
- **(1991) PRVI 1.8 PALČNI DISK** : Integral Peripherals 1820 je bil prvi disk s ploščami 1.8 palca (4,57 cm),
- **(1992) PRVI 1.3 PALČNI DISK** : Hewlett Packard-ov C3013A je bil prvi disk s ploščami 1.3 palca,
- **(1993) PRVI 1 GB DISK, VISOK 1 PALEC** : IBM predstavi prvi 1 GB disk, višine 1 palca (2,54cm), površinsko gostoto 354 milijonov bitov/palec²,
- **(1997) PRVI DISK Z ATA VMESNIKOM, 7200 obrati na minuto** : Seagate Technology predstavi prvi disk z ATA vmesnikom za namizne računalnike,
- **(1998) PRVI 10000 RPM DISK** : Seagate Technology predstavi prvi disk z 10000 obrati na minuto in kapaciteto 9.1 GB in 4.55 GB,
- **(2000) ULTRA ATA/100** : Seagate predstavi Ultra ATA/100 vmesnik za njihov Barracuda ATA II disk , takrat najhitrejši disk za namizne računalnike,

- **(2000) NAJVEČJI TRDI DISK** : Seagateov Barracuda 180 je največji disk tistega časa s kapaciteto 180 GB,
- **(2001) PRVI DISK S POVRŠINSKO GOSTOTO 100 Gb/palec²** : Seagate Technology predstavi disk z gostoto 100 Gb/palec²,
- **(2002) PRVI DISK S 60 GB/PLOŠČO** : Seagate Technology predstavi Barracuda ATA V, prvi disk ki je dosegel kapaciteto 120 GB s samo dvema ploščama,
- **(2005) NAJVEČJI 1 PALČNI DISK** : Seagate Technology proizvede 1 palčni disk s kapaciteto 8 GB,
- **(2010) NAJVEČJI TRDI DISK** : Seagate predstavi trdi disk s kapaciteto 3 TB. [14]

2.1 Površinska gostota zapisa na disku in gibanje cen

Na trdem disku so podatki razporejeni v koncentričnih krogih imenovanih sledi. Da bi shranili več podatkov na trdi disk mora biti prostor, ki ga zasede en bit, čim manjši. Gostota podatkov na sledi imenovana linearna gostota, se meri v tisočih bitih na palec (kbpi). Podobno je tudi gostota sledi na disku merjena v tisočih sledeh na palec (ktpi). Število sledi na palec ne samo da odseva širino zapisane sledi, ampak tudi zaščitni pas med sledmi, ki obsega približno 5-10% širine sledi.

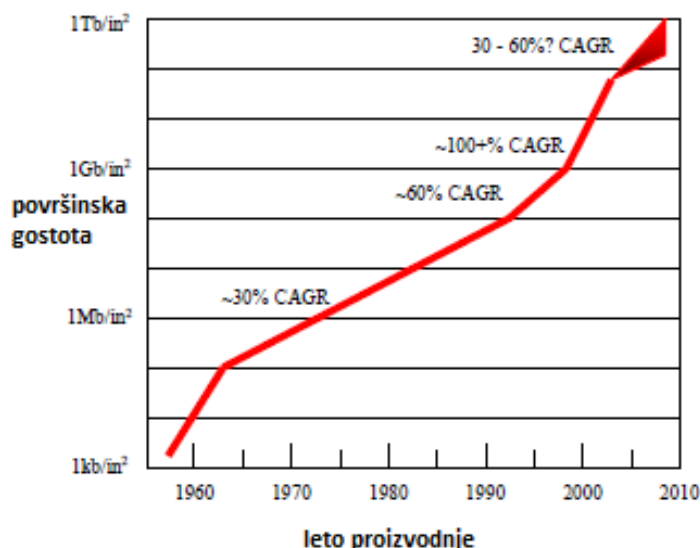


Slika 2: Linearna gostota in gostota sledi

Površinska gostota je metrika, ki se uporablja za prikaz količinske rasti v kapaciteti trdega diska. Je produkt gostote sledi in linearne gostote in odraža količino uporabniških podatkov, ki jih je mogoče zanesljivo shraniti na eno površinsko enoto.

Površinska gostota (Mbiti/palec²) = gostota sledi (Kilo sledi/palec) * linearna gostota (Kilo biti/palec)

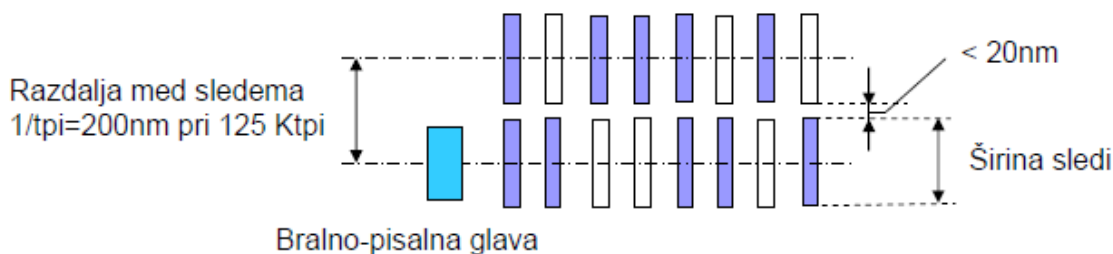
Od prve predstavitve trdega diska je površinska gostota narastla za skoraj 8 velikostnih razredov. Trend rasti je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Trend rasti površinske gostote

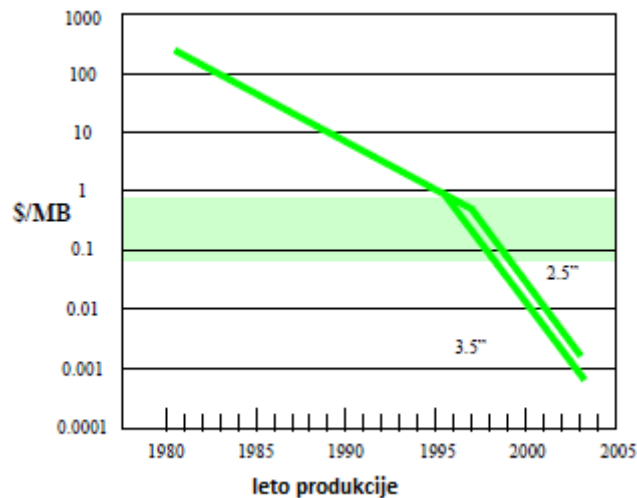
Desetletja je bila skupna letna stopnja rasti gostote (angl. CAGR Compound Annual Growth Rate) okoli 30%. S predstavitvijo magnetorezistivnih bralnih glav (angl. Magneto-Resistance) in boljših načinov za detekcijo bralnega signala, je okoli leta 1991 skupna letna stopnja rasti gostote narasla na 60%. Ko so bile predstavljene GMR bralne glave (angl. Giant Magneto-Resistance), je CAGR narasel čez 100%. Danes se rast površinske gostote umirja in se drži na nekje med 30-60%.

Površinska gostota 100 Gbitov/palec² je dosežena npr. s kombinacijo 800 kbpi in 125 ktpi (linearna gostota*gostota sledi). Razmerje bitov (angl. BAR Bit Aspect Ratio) je v tem primeru 6:1 (bpi/tpi). Presledek med biti je v tem primeru 1,25 mikropalca (okoli 30 nm). Razmik med sledmi je okoli 8 mikropalcev (200 nm), zaščitni pas med sledmi pa okoli 20 nm.[4]



Slika 4: Prikaz sledi na trdem disku

Presenetljivo je dejstvo, da so trdi diski dosegli tako mehansko natančnost, glede na ceno za MB, ki vsako leto strmo pada, kot prikazuje slika 5.



Slika 5: Padanje cen trdih diskov glede na leto produkcije

V zadnjih nekaj letih je bilo ceneje shranjevati podatke na trdi disk kot na primer na papir ali mikrofilm. Danes se cena diskovnega pomnilnika giblje okoli 0.06 evra/GB (0.09 \$/GB) .

Nekaj 10 let nazaj, ko so trdi diski stali nekaj tisoč evrov, je bilo popravilo trdega diska bistvenega pomena. Če se nam danes trdi disk pokvari, ga enostavno zamenjamo z novim. Novi disk bo zaradi napredka večje kapacitete, cenejši ter hitrejši. Prišli smo do dejstva, da je tudi za domačega uporabnika vrednost podatkov večja od vrednosti trdega diska.

Trdi diski domačih uporabnikov so napolnjeni z dragocenimi slikami ter filmi. Čas, ki je potreben za obnovo izgubljenih podatkov, je lahko tudi dražji od trdega diska samega – tudi ko je na voljo varnostna kopija (mnogo uporabnikov nima narejene varnostne kopije). Zato je vse naše delo in vse transakcije še vedno izgubljeno. Žal mnoga podjetja, ki se ukvarjajo z reševanjem podatkov, ne prakticirajo obnove podatkov iz varnostne kopije. Včasih so tudi same varnostne kopije poškodovane.[13]

Ne glede na to, katere varnostne ukrepe smo uporabili, se lahko zgodi, da bo potrebna profesionalna pomoč podjetja, ki se ukvarja z reševanjem podatkov.

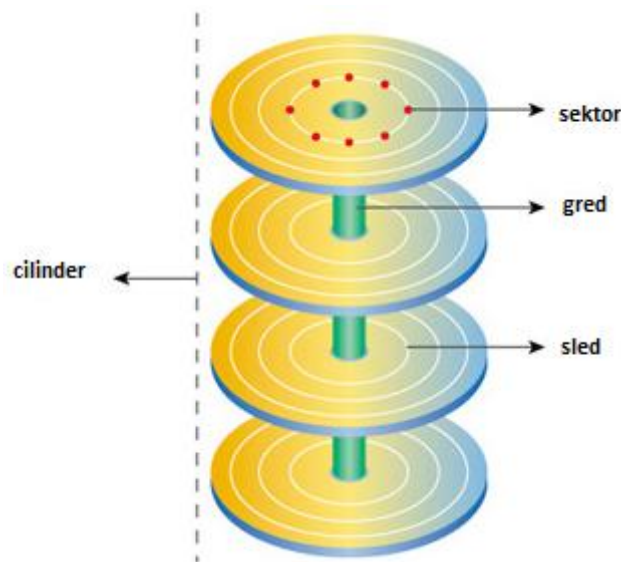
2.2 Kaj se zgodi s podatki na trdem disku ?

Ko pritisnemo na tipko »shrani« in se podatki zapišejo na trdi disk, pričakujemo, da se bodo podatki v prihodnje pravilno prebrali. Dejanska specifikacija za tako pričakovanje je nepopravljiva napaka pri branju (angl. unrecoverable read error rate). Ta je tipično nekje okoli 1 napačno prebran bit na 10^{13} do 10^{15} prebranih bitov. Vsak del in funkcija trdega diska je bistvenega pomena za doseg take stopnje pravilnosti prebranih podatkov. Vendar pa med

najpomembnejše dele spada servo sistem za pozicioniranje bralno-pisalnih glav, algoritmi za detekcijo podatkov, dekodiranje podatkov itd....[13]

2.2.1 Organizacija podatkov

Datoteke, ne glede na to ali predstavljajo tekst, bazo podatkov, sliko, film, pesem, spletno stran, izvršljiv program ali kaj drugega, so shranjene v serijah sektorjev. Sektor je najmanjša količina informacije, ki se lahko zapiše na trdi disk ali prebere z diska (najpogosteje 512 B). Vsebuje uvodni del z naslovom, podatkovni del ter del z biti za odkrivanje in popravljanje napak.



Slika 6: Sled, cilindar in sektor

Na vsako ploščo (steklena ali keramična in prevlečena s feromagnetno plastjo) v trdem disku se lahko zapisujejo podatki na zgornjo in spodnjo stran. Kot smo že omenili, so podatki zapisani v koncentričnih krogih imenovanih sledi, saj se glave ne premikajo zvezno ampak po korakih. To omogoča sorazmerno hiter in neposreden dostop do podatkov. Vsaka sled je razdeljena na več sektorjev. Za povečanje zmogljivosti je v disku združenih več plošč, istoležne sledi na vseh površinah pa tvorijo cilindar.[2]

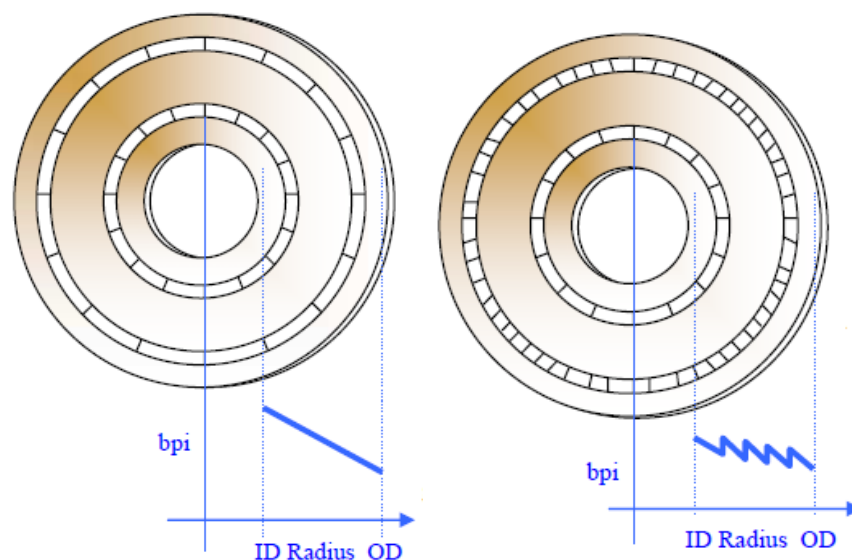
Sektorji so v pogonu identificirani z naslovom (številko) cilindar-glava-sektor.(angl. CHS). Številka »glave« nam pove na kateri površini se nahaja sektor. Številka »cilindra« identificira koncentrično sled na površini, kjer je mogoče najti sektor. Številka »sektorja« pa navede, kateri od sektorjev na sledi vsebuje podatke, ki jih zahtevamo.

Kako pa trdi disk ve kje so naše datoteke ? V bistvu ne ve. To je naloga operacijskega sistema. Operacijski sistem obdrži sled za vsak logični blok na pogonih, ki vsebujejo našo datoteko. Predpostavili bomo, da je logični blok podatkovni sektor, čeprav vsak blok lahko kaže na več zaporednih sektorjev. Pogon bo zahteval logični blok iz diska, na primer blok # 1,635,324. Trdi disk mora preslikati naslov logičnega bloka v lokacijo fizičnega (CHS) bloka, na primer cilinder 5000 na glavi 1 v sektorju 452. Za to obstajajo zelo hitri algoritmi za izračun. Težava, ki se lahko pri tem pojavi je, če je običajna fizična lokacija za logični blok okvarjena, kar onemogoča zanesljivo shranjevanje podatkov na okvarjenih mestih.

Okvarjena mesta se najdejo in označijo v proizvodnem procesu. Obstajajo tudi algoritmi za pregled in ponovno lociranje, ko je pogon v uporabi. Pogon ima veliko rezervnih sektorjev in celo rezervnih sledi, ki se uporabljajo kot nadomestek za okvarjene sektorje. Pogon sprejme naslov logičnega bloka in opravi prevod iz logičnega naslova v fizični naslov.

Med delovanjem diska se lahko pojavijo dodatne napake zaradi različnih vzrokov (korozija, udarci). Lokacije teh napak so označene v posebnih tabelah, ki jih včasih poimenujemo tudi P-seznam in G-seznam glede na nastanek napak (P-primarne, G-rastoče). Tabela parametrov in programska oprema (firmware) sta shranjeni na zunanjih sledih. Te sledi so označene kot sistemsko območje. Nekateri pogoni shranijo tabelo v notranji pomnilnik na tiskanem vezju. Tabela izjem je nedvoumno povezana z mediji v posameznem pogonu. Tabela enega pogona, vsaj v splošnem, ni enaka kot v drugem pogonu.

Vse nekje do leta 1980 so imeli trdi diski tipično enako število sektorjev na vsaki sledi. Dolžina sledi na zunanjem delu diska (angl. OD Outer Diameter) je očitno veliko večja kot dolžina sledi na notranjem delu diska (angl. ID Inner Diameter). Zunanje sledi tako vsebujejo manj podatkov kot pa bi jih lahko.



Slika 7: Primerjava zapisovanja podatkov z linearno gostoto in conskim zapisom

Da bi lahko shranili večjo količino podatkov, je površina plošče razdeljena na cone. Imamo od 8 do 32 (ali več) območij na površino. Od notranjega do zunanjega polmera je vsaka cona zapisana z večjo frekvenco, da bi preprečili povečevanje razmika med biti, ki jih povzroča višja linearna hitrost pri večjem polmeru. Linearna gostota (bpi) nekoliko pada na vsakem območju cone. Razdelitev diska na cone tako omogoča boljšo izrabo kapacitete trdega diska.

Uporabnikova datoteka je lahko shranjena v številnih sektorjih. Ti sektorji so lahko razpršeni na različne sledi v različnih conah in celo na različnih površinah diska. Poleg tega so lahko isti logični bloki preslikani v različne fizične sektorje na dveh diskih, odvisno od porazdelitve napak na vsakem disku.

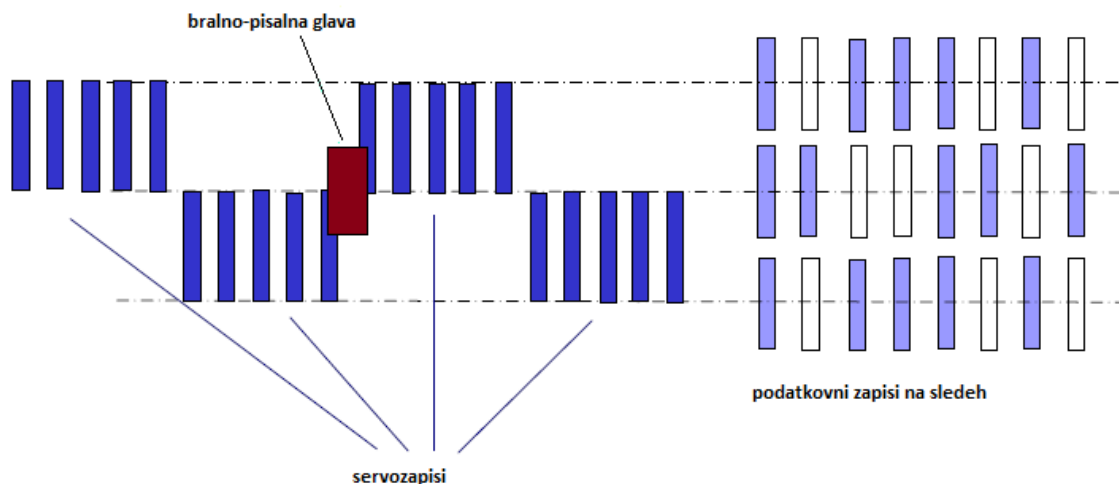
Pogon mora najti sled v nekaj milisekundah in slediti ponavljajočemu in naključnemu nihanju sledi. To omogoča servo sistem za pozicioniranje bralno-pisalnih glav s hitrim iskanjem in preciznim sledenjem sledi. Najbolj neverjetno pa je, da je to potrošniški izdelek, ki se prodaja za manj kot 70 evrov (100 dolarjev). [13]

2.2.2 Lociranje podatkov

Sodobni trdi diski imajo visoko gostoto zapisov. Danes imajo trenutno dostopni diski površinsko gostoto zapisa okoli 600 Gbitov na kvadratni palec, predvideva pa se, da se bo povečala do 1 Tb na kvadratni palec, kar v končni fazi pomeni, da bo širina sledi na disku reda 100 nm. Glava se zato premika v zelo majhnih korakih. Glavo premikamo od notranjega do zunanjega premera diska, kar je pri 3.5 palčnih diskih približno 3 cm. To pomeni, da moramo imeti servo sistem za pozicioniranje glave na sled, ki deluje v nanometrski natančnosti. Pomikanje glave vključuje grobo pomikanje, stabilizacijo in točno pozicioniranje na sled.

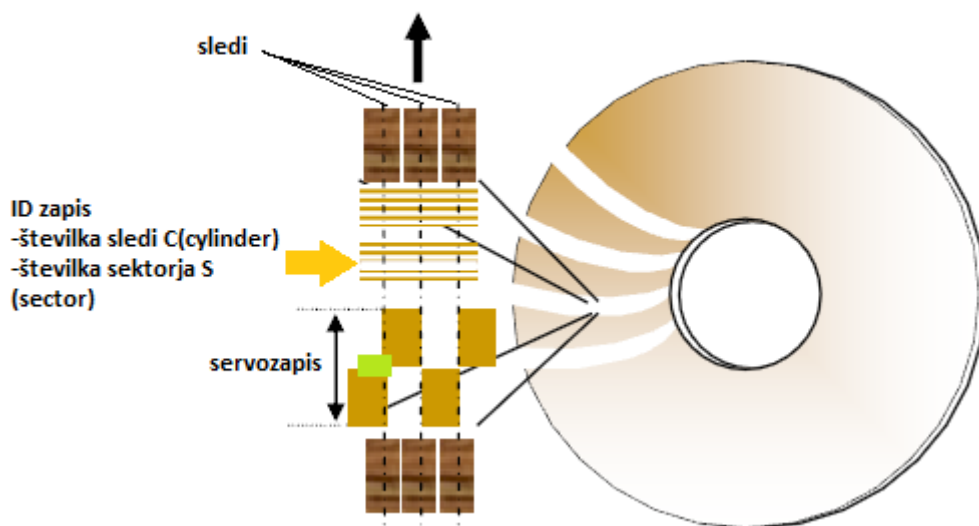
Servo sistem zahteva za najboljšo izvedbo zelo natančno merjenje položaja glave glede na sled. Da bi se dosegla velika natančnost pozicioniranja glave (drugače bi lahko prišlo do prepisovanja podatkov na sosednih sledih) je disk razdeljen na podatkovne sektorje in servo zapise (angl. Servo Wedges).

Servo zapis je v obliki paketov v prostoru med sledema. Kadar je bralno-pisalna glava pozicionirana točno na sredini sledi, je prispevek bralnega signala zgornjega in spodnjega paketa enak.



Slika 8: Servo zapis

Sam servo zapis se v obliki loka razteza od notranje do zunanje sledi in je na zunanji sledi daljši kot na notranji, ker je pisan z enako frekvenco po celem disku, obodna hitrost pa je večja na zunanjih sledeh. Na celi površini plošče je od 50 do 200 enakomerno razporejenih servo zapisov. V vsakem servo zapisu je običajno 6 paketov servo informacije (na sliki 9 sta prikazana dva).[4]

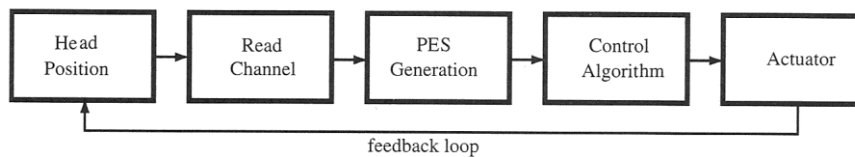


Slika 9: V servo zapisu je pri »No ID« formatu tudi informacija o številki sledi in sektorja

Na sliki 9 so vidne 3 podatkovne sledi (temno rjave barve). Servo zapis začne z vzorcem točno določene frekvence, ki se uporablja za sinhronizacijo ure in merjenje maksimalne amplitude signala. Poleg njega se nahaja oznaka sledi (ID zapis, angl. track ID) in 3-6 magnetnih zapisov (na sliki sta zaradi jasnosti prikazana samo 2), ki se uporabljajo za točno pozicioniranje glave na sredino sledi.

Prva dva zapisa, običajno imenovana A in B zapisa sta zapisana na vsako stran od sredine sledi. Če je glava natanko na sredini sledi, potem dobimo določeno količino signala iz A zapisa in zatem še enako količino signala iz B zapisa. Razlika obeh signalov omogoča natančno merjenje položaja glave na sredino sledi. [13]

Da zapišemo in preberemo podatke pravilno, mora biti glava pozicionirana na sredino sledi. To nalogo pa opravlja servosistem za pozicioniranje glave. To je sistem s povratno zanko in omogoča pozicioniranje bralno-pisalne glave na sredino sledi s pomočjo signala PES (angl. Position Error Signal).



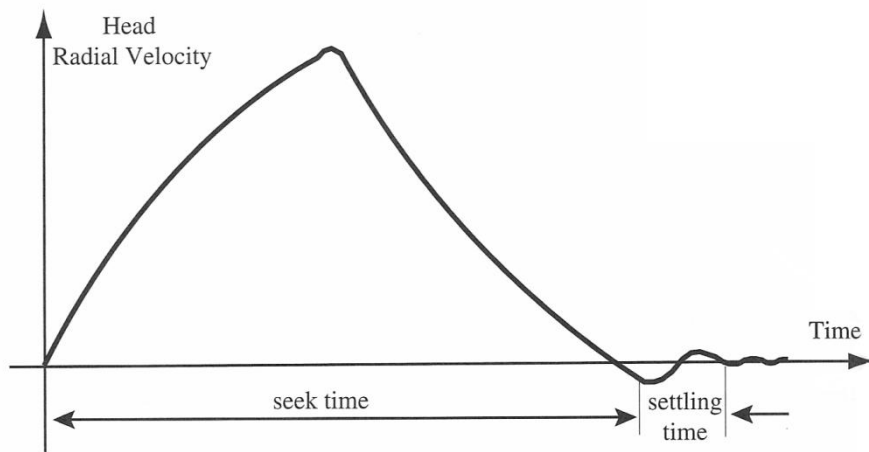
Slika 10: Servosistem za pozicioniranje bralno-pisalne glave

Ko je bralno-pisalna glava pozicionirana na sredino sledi, pravimo da je na sledi (angl. on track) in takrat je vrednost signala PES enaka 0. Ko se glava premakne iz sredine sledi, je signal PES, ki je krmilni signal za pomik ročice, pozitiven ali negativen. Signal PES vpliva na krmilni algoritem, ki določa kako servosistem trenutno spreminja položaj bralno-pisalne glave.

Servomehanizem izpolnjuje predvsem dve nalogi :

- iskanje sledi (angl. seeking),
- sledenje manjšim premikom sredine sledi (angl. tracking).

Če je ciljna sled z zelenimi podatki daleč od začetne sledi, se mora glava najprej premakniti do ciljne sledi. Radialna hitrost se povečuje, dokler se ne približa središču med začetno in ciljno sledjo. Nato se radialna hitrost glave začne zmanjševati, dokler ne doseže ciljne sledi. Celoten čas za pomik se imenuje iskalni čas (angl. seek time).

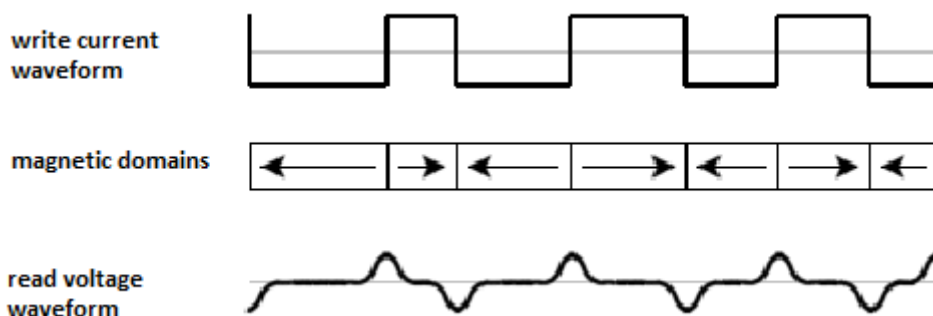


Slika 11: Radialna hitrost bralno-pisalne glave pri pozicioniranju na sled

Ko glava doseže ciljno sled, hitrost glave običajno še ni nič. Potreben je še čas poravnave (angl. settling time) za natančno pozicioniranje glave na sled. Šele nato lahko bralno-pisalna glava zanesljivo prebere ali piše podatke. [22]

2.2.3 Detekcija podatkov

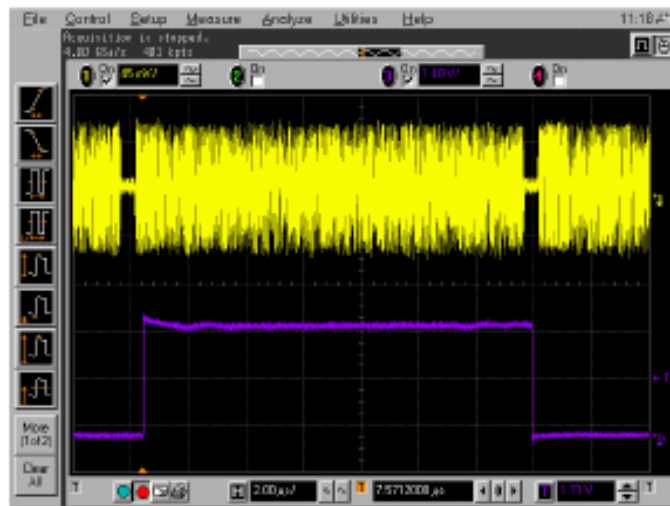
Podatkovni sektorji so sekvence ničel in enic zapisanih v obliki magnetnih prehodov. Magnetni prehod je sprememba smeri magnetnega polja. Podatki na trdem disku so zapisani s pomočjo magnetnih prehodov, ker je veliko lažje zaznati magnetni prehod, kot pa je zaznati polarnost in jakost magnetnega polja (ki je zaradi današnje velike gostote zapisa zelo majhna in se lahko razlikuje zaradi nepopolnosti medija za zapisovanje in vpliva magnetnih polj sosednih sledi).



Slika 12: Idealni pisalni in bralni signal glave za pisanje in branje podatkov

Detekcija podatkov je enakovredna odkrivanju prisotnosti ali odsotnosti impulzov in njihovih polaritet. Signal je lahko popačen zaradi različnih vzrokov, med drugim tudi zaradi možnega pozicioniranja glave rahlo izven sledi. Pri visoki linearni gostoti se impulzi prekrivajo, kar

povzročata medsimbolno interferenco. Medsimbolna interferenca je vpliv enega impulza na drugega, če si impulzi sledijo prehitro.[23] To povzroči, da je prepoznavanje podatkovnega zaporedja izredno težko. Danes uporabljajo pogoni detekcijo PRML (PRML je metoda za pretvorbo šibkega analognega signala iz glave magnetnega diska v digitalni signal), da bi pravilno zaznali podatke v takih okoljih. V prihodnosti pa bodo uporabljali še bolj prefinjene tehnike, kot npr. iterativno odkrivanje.



Slika 13: Prikaz posnetka bralnega signala podatkovnega sektorja z osciloskopom

Za visoko stopnjo uspešnosti detekcije je potrebna pravilna vzpostavitev ojačanja za vsak sektor in »zaklenitev« procesa detekcije na točno frekvenco.

Glede shranjenih podatkov so tako postavljene tri zahteve :

- Vsak podatkovni sektor se mora začeti z enako frekvenco zaporednih prehodov. Običajno temu pravimo uvodni del (angl. preamble), ki je dolg od 10-15 bajtov. Uvodni del določa potrebno ojačanje in časovno sinhronizacijo za branje vsakega sektorja. Vsako servo področje se prav tako začne z uvodnim delom zaradi istega razloga.
- Ker obstaja možnost, da so podatki, ki sledijo uvodnemu delu enaki samemu vzorcu, se doda adresna marka . To je enolična kombinacija bitov dolžine 2-6 bajtov, ki določajo začetek zapisa na sektorju. Brez adresne marke ne bi mogli določiti začetek podatkovnega zapisa. Po adresni marki začnemo z branjem podatkov.
- Če bi imeli shranjen vzorec, ki bi vseboval same ničle, ne bi bilo magnetnih prehodov, ki jih rabimo za vzdrževanje sinhronizacije. Zaradi tega razloga se uporablja RLL (angl. Run Length Limited) kodiranje podatkov, preden se zapišejo na disk. Tako se količina zapisanih bitov poveča od približno 1% do nekje 12.5 %, odvisno od vrste RLL kodiranja.[13]

2.2.4 Kodiranje in dekodiranje podatkov

V modernih trdih diskih se podatki običajno kodirajo 5-krat, preden se zapišejo na disk :

- Da se prepričamo, da uporabnik ne dobi napačnih podatkov.
- Da lahko odkrijemo čim več napak.
- Izboljšano pravilno zaznavanje z izključevanjem vzorcev, pri katerih je verjetnost napake največja.

Zaradi teh prednosti kodiranja se uporabniški podatki ne zapišejo direktno na disk, temveč se zapišejo kodirani uporabniški podatki.

Prvi korak je mešanje bitov. Premešalnik (angl. scrambler) je mišljen kot vezje za obdelavo signala, ki premeša zaporedje 0 in 1. To ima nekaj koristnih učinkov :

- Razbijemo ponavljajoče se vzorce.
- Zmanjšamo elektromagnetne motnje (angl. Electromagnetic Interference EMI), ki jih lahko povzroči elektronika.
- Vzorec z veliko ničlami je lahko »vmešan« v vzorec z več enkami.

Ker se biti premešajo psevdonaključno, se pri branju lahko generira originalno zaporedje bitov. Za to je nujna natančna lokacija adresne marke. Premešalnik ne onemogoča pojavitve kakršnegakoli vzorca bitov. Tako se na primer lahko zgodi, da bi se na disk shranilo zaporedje bitov, ki se premeša v zaporedje samih ničel. Zato je na tako premešanih bitih potrebno uporabiti še RLL kodiranje.

Največkrat uporabljeno RLL kodiranje 16/17 prekodira 16 vhodnih bitov v 17 izhodnih (kodiranih) bitov. To poveča količino bitov za okoli 6%. RLL kodiranje zagotavlja, da v bloku podatkov ne obstaja zaporedje ničel, daljših od določenega praga (recimo 10-15). Obstajajo tudi druga RLL kodiranja z večjo učinkovitostjo in možnostjo eliminacije nekaterih kombinacij bitov, za katere je znano, da imajo večjo verjetnost napačnega branja. Mogoča je tudi uporaba različnih RLL kodiranj v različnih conah na površini plošče.

Trenutno večina diskov združuje RLL kodiranje s paritetnimi biti. Pariteta doda enega ali dva bita k RLL kodiranju, tako da npr. RLL kodiranje 64/65 postane RLL kodiranje 64/66. Prednost dodajanja paritetnih bitov je, da lahko identificiramo grobe napake pri branju.

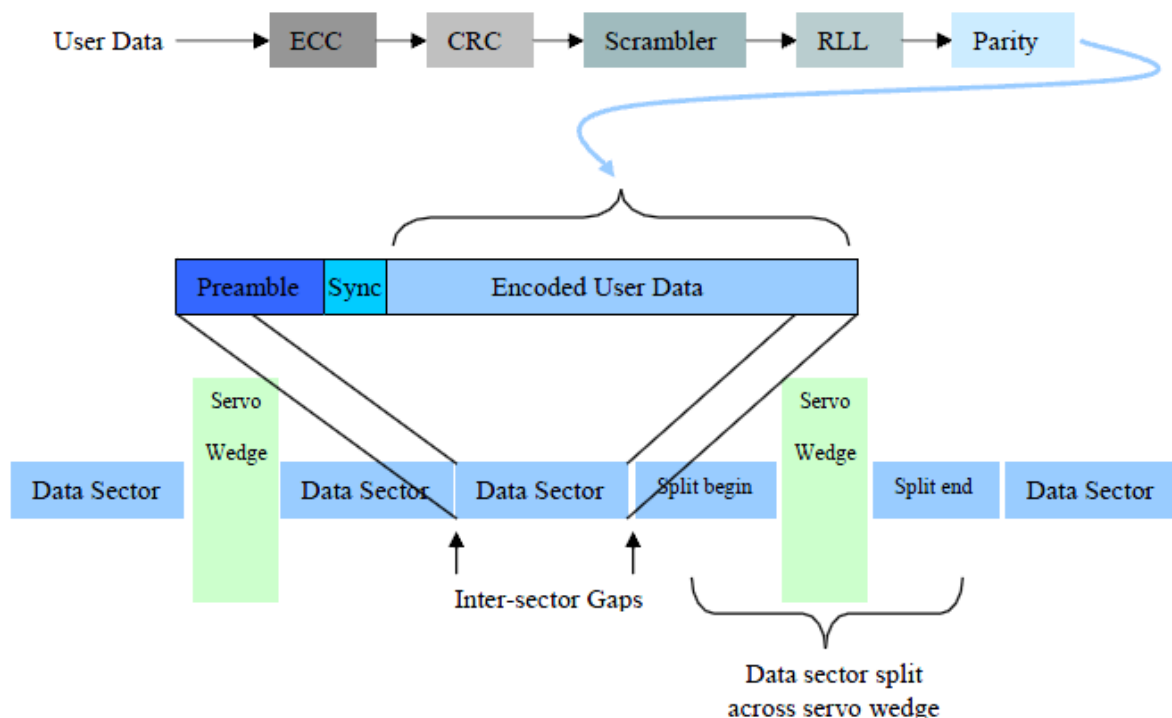
Vendar z vsemi temi kombinacijami kodirnih metod še zmeraj ne dosežemo napake pri branju (angl. unrecoverable read error rate), ki bi bila manjša od 10^{-13} . To je mogoče doseči samo z dodatnimi redundantnimi biti, ki omogočajo tudi popravljanje napak (ECC biti, angl. Error Correcting Coding). ECC kodiranje ima sposobnost odkrivanja in popravljanja napak. ECC doda več redundantnih bitov na različna mesta znotraj vhodnega signala in poleg odkrivanja napak omogoča odkrivanje točnega števila in mest, na katerem se napake nahajajo.

Z ECC kodiranjem je možno odkriti in popraviti do 200 napačno prebranih bitov v enem sektorju.

ECC kodiranje je lahko neuspešno v dveh primerih :

- V sektorju je preveliko število napak. Temu pravimo nepopravljiva napaka pri branju. Pogon bo za uspešno branje poskušal z metodami popravljanja, kot so večkratno branje, branje izven centra sledi ter celo z vnovično optimizacijo, preden bo javil napako pri branju.
- Če je število napak v sektorju večje, kot se jih z ECC lahko popravi in če se pojavljajo na določen način, lahko ECC dekodiranje napravi napako pri poskusu popravljanja podatkov. To pa lahko predstavlja katastrofo pri branju podatkov (npr. o finančnih transakcijah).

Verjetnost napačnega popravka, imenovanega tudi korupcija podatkov, običajno ni navedena v proizvajalčevih podatkih. V idealnem primeru je verjetnost veliko manjša od 10^{-20} . Da bi zagotovili čim manjšo verjetnost napačnega popravka, so ECC kodirani podatki pogosto zaščiteni še s CRC (angl. Cyclic Redundancy Code) biti. CRC kodiranje omogoča odkrivanje do maksimalno 99% vseh napak, vendar ni možnosti popravljanja le teh. So zelo primerni za uporabo v trdih diskih, saj imajo sposobnost odkrivanja napak pri zaporedju dolgih nizov, ki so zelo pogosti pri trdih diskih. To zagotavlja končno preverjanje, da so podatki pravilno prebrani, preden se preko vmesnika dostavijo nazaj v pomnilnik.[13]



Slika 14: Prikaz zaporedja kodiranja uporabniških podatkov in organizacijo sektorjev na sledi

Da bi čim boljše izkoristili razdelitev plošče na cone, so podatkovni sektorji včasih »razdeljeni« čez servo zapis. Drugi del razdeljenega sektorja se mora prav tako začeti z uvodnim delom in adresno marko. Zaporedje podatkov iz obeh delov je nato združeno in izvede se dekodiranje.

3. Zaščita podatkov

Dandanes je varnosti podatkov namenjena čedalje večja pozornost. Ljudje se zavedajo pomembnosti varnosti podatkov, zato je trend v razvoju novih tehnologij za zaščito podatkov. Na kratko je opisanih nekaj primerov tehnologij za zaščito podatkov na trdih diskih.

3.1 Tehnologija SMART

Okvara diska je nekaj najhujšega, kar se lahko zgodi uporabniku, če ni redno varnostno kopiral podatkov. Tudi če varnostne kopije redno izdelujemo, je okvara diska še vedno večja nevšečnost. Nekaj podatkov neizogibno izgubimo, poleg tega moramo zamenjati disk, namestiti operacijski sistem, programe in še marsikaj drugega. V najboljšem primeru izgubimo nekaj ur, v najslabšem nekaj dni. Izdelovalci diskov se tega zavedajo, zato so predstavili tehnologijo z imenom SMART (angl. Self-Monitoring and Reporting Technology), ki poskuša napake napovedati, še preden do njih dejansko pride. Sam sistem SMART je sestavljen iz dveh delov, programske opreme v sistemskem ROM pomnilniku diska in programske opreme v računalniku. Program na disku nadzoruje več parametrov delovanja diska, kot so hitrost vrtenja, hitrost potovanja mehanizma z glavami in zanesljivost delovanja elektronike na disku ter napake na posameznih sektorjih. Če pri katerikoli od mejnih vrednosti pride do odstopanj od vnaprej določenih toleranc, disk o tem obvesti program v računalniku, ta pa uporabnika. Takrat je še vedno dovolj zgodaj, da pravočasno zamenjamo disk ali vsaj končamo delo. Ker je protokol sporočila standardiziran, so izvedbe lahko zelo izpopolnjene. Primerna programska oprema bi lahko prek omrežja o bližajoči se napaki obvestila omrežnega upravitelja. Žal je programske opreme, ki zna uporabnika opozoriti, še vedno sorazmerno malo. [6]

3.2 Tehnologija zaščite DFT

DFT (angl. Drive Fitness Test) je testni program, ki omogoča preverjanje trdega diska. Glavni namen DFT-ja je testiranje trdega diska, tudi če operacijskega sistema ni mogoče več zagnati. Predvsem se uporablja takrat, ko obstaja sum, da je napaka povezana s trdim diskom. Z uporabo DFT-ja se izognemo nepotrebnim motnjam diska, prednost pa je tudi, da običajno ohrani obstoječe podatke, tudi če nismo imeli narejene varnostne kopije. Program deluje neodvisno od podatkov na trdem disku, tako da lahko disk testiramo, ne da bi bili ogroženi podatki, ki se nahajajo na disku. DFT temelji na DOS (angl. Disk Operating System) operacijskem sistemu in med testiranjem ni odvisen od formata particije ali operacijskega sistema nameščenega na disku.[21]

3.3 Varnostna kopija

Varnostna kopija (angl. backup) je duplikat vseh tistih podatkov v računalniku ali računalnikih, ki jih nočemo izgubiti. To pomeni, da so osnova za pravilno delovanje in funkcioniranje računalnika in programov, ali pa so za nas zasebno ali službeno pomembni. Varnostna kopija nam po morebitni okvari diska ali celotnega računalnika omogoča nebolečo obnovitev programske opreme računalnika z vsemi nam pomembnimi podatki v popolnoma funkcionalno stanje. S preprostim kopiranjem na alternativno lokacijo (vsaj na drug disk ali zunanji medij) si lahko uredimo kopijo, le da pri takem načinu porabimo kar nekaj časa, preden vsakič znova izberemo kaj se bo kopiralo. Lahko pa zadevo poenostavimo, avtomatiziramo izdelavo varnostne kopije podatkov in uporabimo katerega izmed programov namenjenih izdelavi varnostnih kopij. [12]

3.4 Diskovna polja RAID

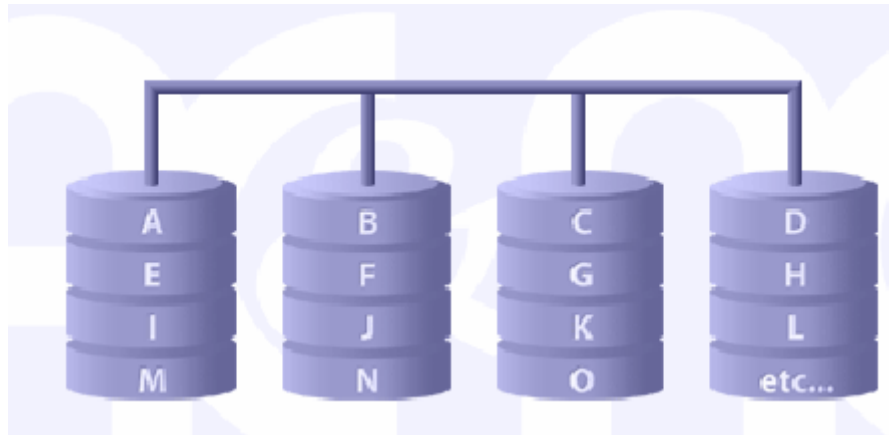
RAID (angl. Redundant Array of Inexpensive Disks) je standard povezovanja dveh ali več trdih diskov in upravljanja z njimi. Nastal je z namenom, da bi lahko več manjših in počasnejših posameznih fizičnih diskov povezali v hitrejšo, večjo in bolj zanesljivo logično enoto. [17]

Torej, namesto da bi videli več različnih trdih diskov, operacijski sistem vidi le enega. RAID se je običajno uporabljal na strežniških računalnikih in je bil običajno (ne pa nujno) izveden iz več enako velikih diskov. Z zmanjšanjem cen trdih diskov in širšo možnostjo vgraditve RAID krmilnikov na matične plošče, pa se RAID pogosto pojavlja tudi v bolj naprednih računalnikih. Posebej v računalnikih, namenjenih za izvedbo intenzivnih procesov, kot so video in avdio urejanje.[10]

Vsa diskovna polja potrebujejo logiko, ki jih krmili. To dosežemo s pomočjo posebnega RAID krmilnika ali z nastavitvami v nekaterih zmogljivejših operacijskih sistemih.[20]

Poznamo več RAID nivojev, ki se med seboj razlikujejo po stopnji redundance in hitrosti :

RAID 0 : Ni odporen na napake vendar zagotavlja izboljšano zmogljivost in dodaten prostor. Podatki so pri RAID 0 razdeljeni na enako velike bloke, ki so nato enakomerno razporejeni po dveh diskih, možno je uporabiti tudi več kot dva diska. RAID 0 polje je možno narediti tudi z različno velikimi diski, vendar je prostor, ki ga pridobimo v polje, velik le toliko, kot je velik najmanjši disk v polju. Zanesljivost RAID 0 je enaka zanesljivosti posameznega diska deljena s številom diskov v polju.[17]



Slika 15: RAID 0 (linearno polje)

Minimalno število diskov: 2

Prednosti: Visoka zmogljivost

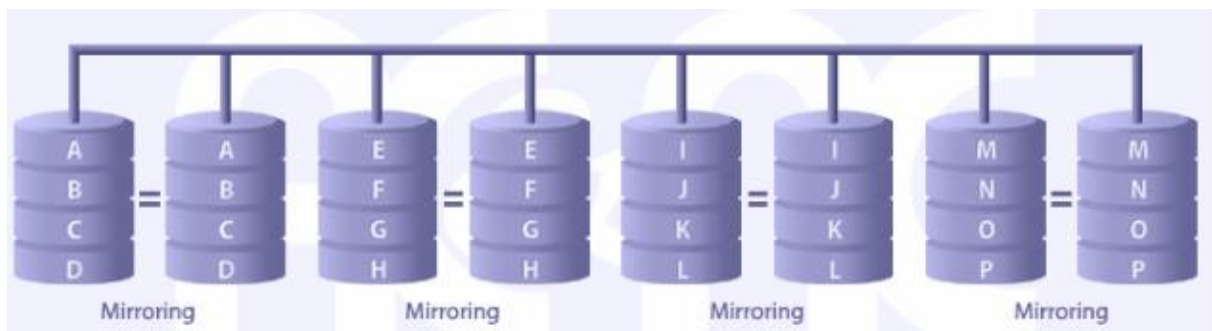
Slabosti: Brez zaščite podatkov. Če se pokvari en disk, so vsi podatki izgubljeni.[10]

RAID 1 : Podatki se identično zapisujejo na dva ali več diskov. V primeru odpovedi enega diska imamo vse podatke na drugem disku.

Minimalno število diskov : 2

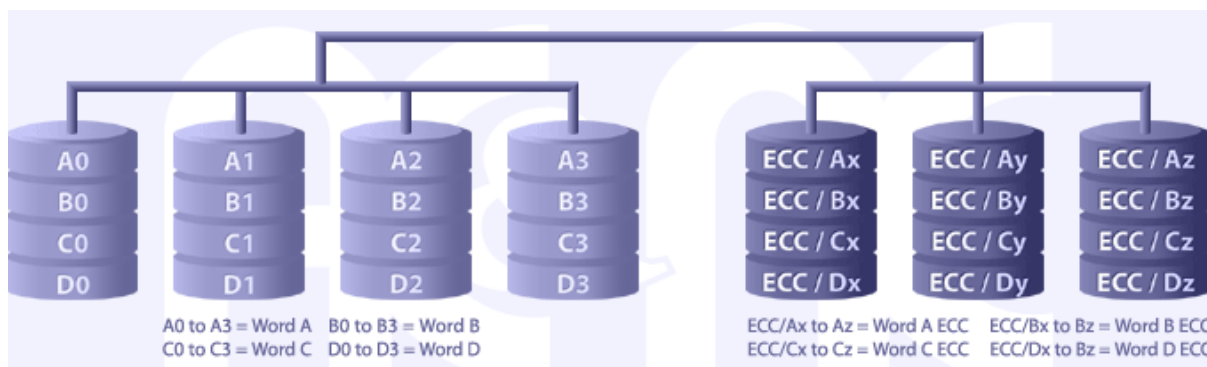
Prednosti: Zelo visoka učinkovitost in zaščita podatkov

Slabosti: Ker so vsi podatki podvojeni, potrebujemo dvakrat več prostora za shranjevanje [10]



Slika 16: RAID 1 (zrcaljenje s pariteto)

RAID 2 : Vsak bit podatkovne besede je zapisan na drug podatkovni disk. Vsaka beseda pa ima svojo Hammingovo ECC kodno besedo zapisano na ECC disk. Z ECC kodiranjem se pri branju preveri pravilnost podatkov ali pa popravi posamezne napake. Ta tehnika omogoča zanesljivo dostavo digitalnih podatkov preko nezanesljivih komunikacijskih kanalov.



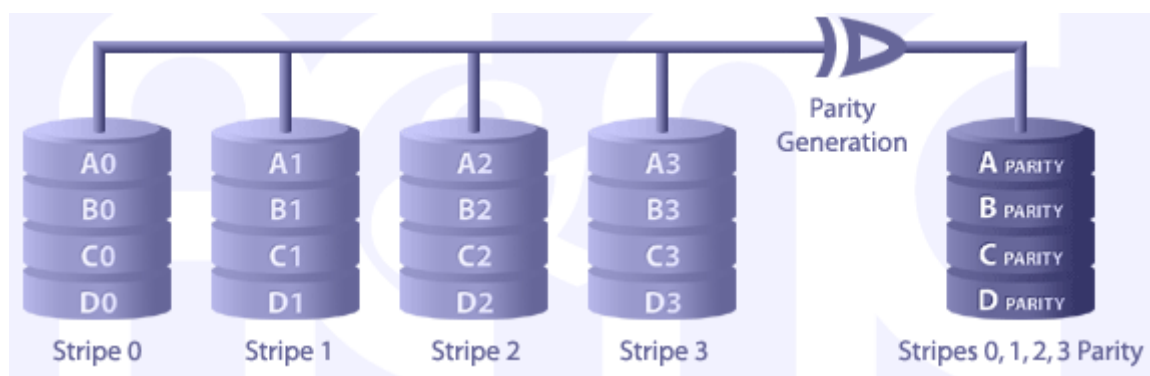
Slika 17: RAID 2 (paralelni prenos z ECC)

Minimalno število diskov: 3

Prednosti: Mogoča izjemno visoka hitrost prenosa podatkov.

Slabosti: Transakcijska hitrost je enaka najhitrejšemu disku, rešitev ni komercialno učinkovita. [19]

RAID 3 : Za odkrivanje napak se ne uporablja Hammingovo kodiranje, temveč le paritetni bit. Tukaj potrebujemo vsaj 3 diske, pri katerih se na poseben disk zapisuje paritetna informacija, na ostale pa se razdelijo podatki. Podatkovni biti se zapisujejo izmenično na vse diske. S pomočjo paritete lahko tako ob odpovedi enega diska sistem obnovi podatke in nemoteno deluje dalje brez izgube podatkov. [20]



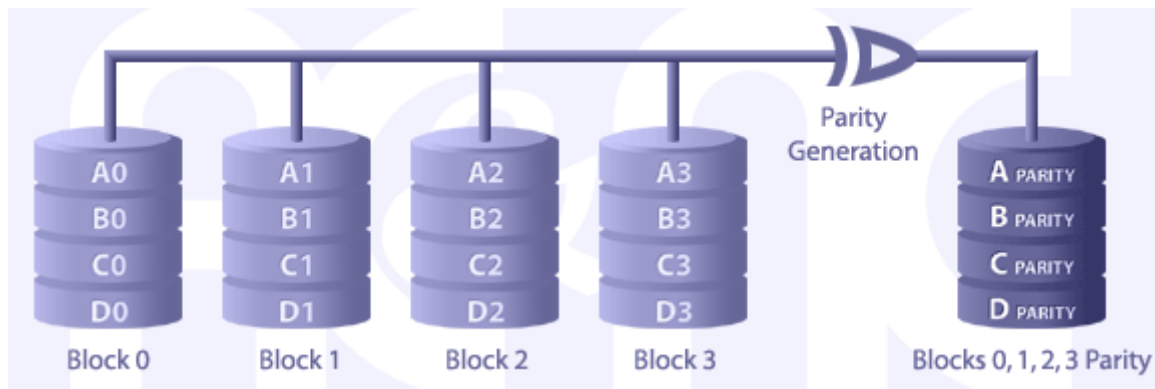
Slika 18: RAID 3 (paralelni prenos s pariteto)

Minimalno število diskov: 3

Prednosti: Mogoča visoka hitrost branja in pisanja podatkov.

Slabosti: Transakcijska hitrost je v najboljšem primeru enaka hitrosti enega samega diska, krmilnik je precej zapleten. [19]

RAID 4 : Zelo podoben načinu RAID 3. Tukaj se podatki zapisujejo na različne diske po blokih. Velikost posameznih blokov lahko spreminjamo, kar nam daje možnost, da s pravilno izbiro nastavitvev iz našega RAID polja dobimo največ. Ob nepravilnih nastavitvah lahko dosežemo upočasnitev. [20]



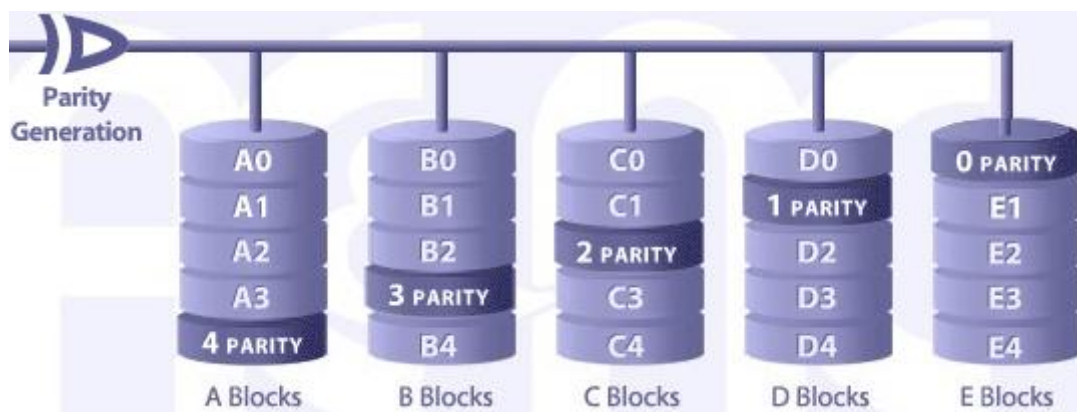
Slika 19: RAID 4

Minimalno število diskov: 3

Prednosti: Zelo visoka transakcijska hitrost pri branju podatkov.

Slabosti: Najnižja transakcijska hitrost pisanja podatkov, ter skupna hitrost pisanja. Težka in v večini primerov neučinkovita obnova podatkov v primeru odpovedi diska.

RAID 5 : Podatki se zapisujejo na tri (ali več) diskov. Del podatkov se izmenično zapisuje na dva diska, na tretjega pa se zapišejo paritetni podatki. V primeru odpovedi enega diska lahko iz preostalih povrnemo izgubljeno vsebino (kombinacija RAID 0 in RAID 1). [18]



Slika 20: RAID 5

Minimalno število diskov: 3

Prednosti : Velika zanesljivost ohranitve podatkov ter velika hitrost zapisovanja.

Slabosti : Manjša kapaciteta (primer: pri treh diskih je za 1/3 manjša, pri štirih 1/4 itd...). [18]

4. Tehnologije reševanja podatkov

4.1 Fizična izguba podatkov

Na internetnih straneh podjetij, ki se ukvarjajo z reševanjem podatkov s trdih diskov, običajno navajajo, da je uspešnost pri reševanju podatkov večja od 90%. Vendar pa ni dostopna nobena dokumentacija, da bi lahko preverili točnost takih informacij. V realnosti navedena številka velja samo za nekatere modele trdih diskov.

Pogosto se zgodi, da podjetja prikazujejo slike ekstremnih primerov poškodovanih trdih diskov, kot na primer diskov, ki so bili poškodovani v požaru, poplavih ali celo v eksploziji. Takšno reševanje podatkov je zelo zanimivo (včasih tudi presenetljivo enostavno), vendar ne predstavlja prave narave običajnih izgub podatkov trdih diskov. Trdi diski običajno prenehajo delovati zaradi bolj elementarnih razlogov:

- poškodba spojev, priključka ali elektronskih delov na tiskanem vezju,
- prekoračitev mejnih vrednosti SMART,
- poškodovan ali nepopoln firmware (programska oprema trdega diska, program vpisan v ROM),
- poškodba systemskega dela trdega diska,
- okvara plošče,
- poškodba glave,
- poškodba mehanizma za krmiljenje glave,
- odpoved motorja trdega diska,
- pregrevanje,
- in mnogo drugih razlogov.

V kolikor površina plošče ni fizično poškodovana je velika verjetnost, da so podatki na trdem disku dostopni, seveda v primeru, da niso prepisani. Če je površina plošče fizično poškodovana, ni mogoče pridobiti podatkov iz mest, kjer več ne obstaja magnetni material. Sloj magnetne plasti je debel samo nekaj nanometrov (okoli 30 nm), zato skoraj vsak zdrs glave na površini plošče lahko povzroči uničenje magnetnega materiala na teh mestih.

Reševanje podatkov je tako običajno sestavljeno iz popravila trdega diska z nadomestnimi deli, ter branja podatkov iz »popravljenega diska« in prenosa podatkov na drugi medij, s katerega se potem izvede logična vrnitev podatkov.

Za reševanje podatkov je potreben poseben laboratorij. Nemoteno delovanje diska lahko onemogoči že najmanjša nečistoča, kot je na primer prašni delec, prstni odtis, dlaka ali delec dima, saj je pri aktivnem disku med ploščami in glavami razdalja izjemno majhna. Zato morajo biti komponente diska sestavljene v izjemno čistem in neoporečnem okolju, ki ga zagotavlja posebna komora. V tem okolju so diskovne enote varne pred omenjenimi

nadlogami, pa tudi pred morebitnimi kapljicami kondenza in drugimi viri onesnaženja diska.[5]



Slika 21: Popravilo v notranjosti trdega diska se izvaja v izjemno čistem okolju

V nadaljevanju bom opisal predvsem postopke za reševanje najpogostejših fizičnih okvar kot so:

- okvara plošče tiskanega vezja (PCB),
- okvara glave za branje in pisanje,
- okvara plošče trdega diska. [25]

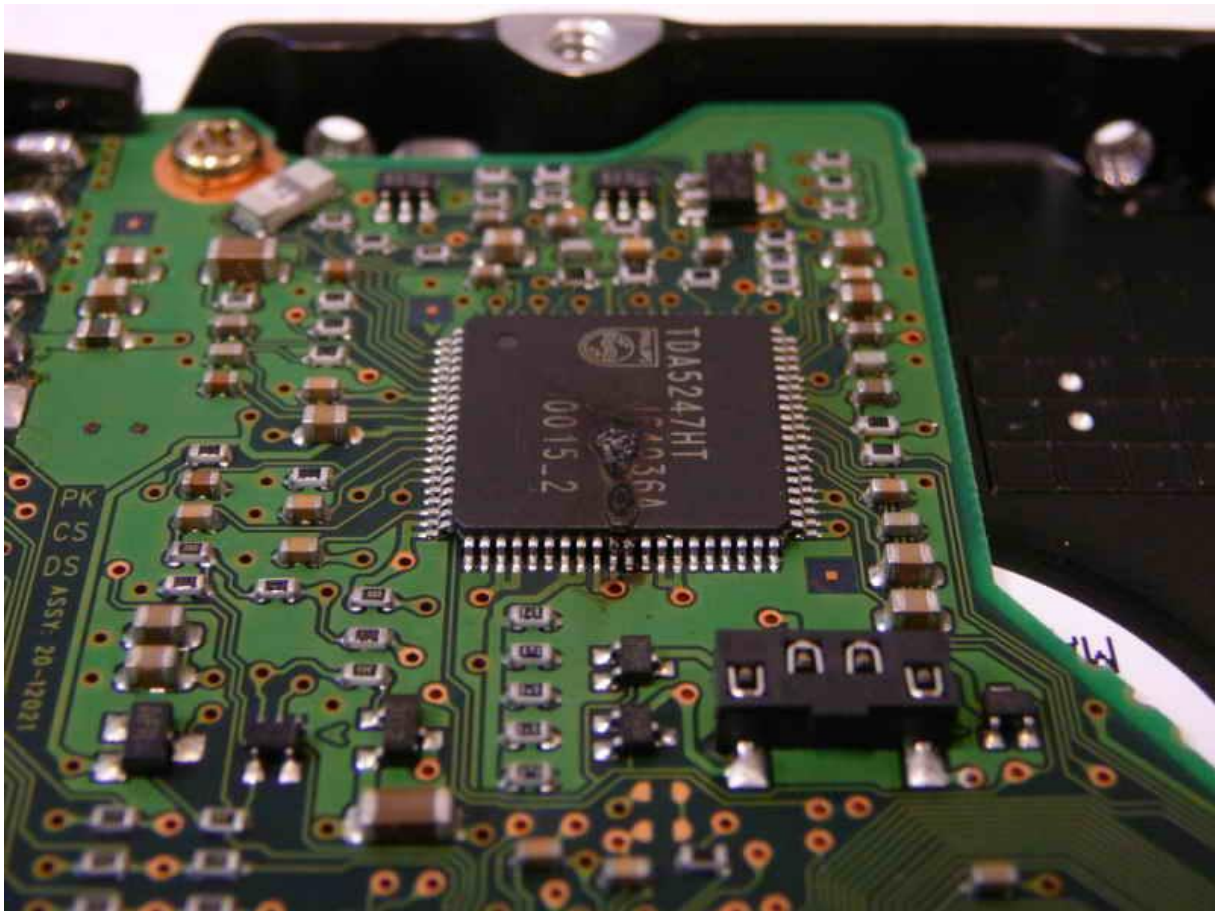
4.1.1 Okvara plošče tiskanega vezja (PCB)

Okvara tiskanega vezja je najenostavnejša okvara, saj pri popravilu ni potrebno odpreti ohišja trdega diska in zato postopka ni potrebno opravljati v čisti sobi, ker ne posegamo v HDA (v HDA se nahajajo mehanski deli trdega diska, kot so servo motor, bralno-pisalna glava, ročica, plošče...). Običajno se opravi zamenjava cele plošče tiskanega vezja (PCB) z drugo ploščo. Ta proces lahko pokaže, če so v trajnem pomnilniku na PCB zapisani sistemski podatki trdega diska. Ti podatki lahko vključujejo geometrijo diska, parametre za ojačanje signala in sinhronizacijo bralno- pisalne glave, P in G seznama slabih sektorjev itd... Če nimamo drugih strojnih težav, lahko priključimo trdi disk na napajanje in vsi podatki so dostopni.

Če ta način ni uspešen je mogoče z originalne tiskane plošče premestiti pomnilniški čip na novo ploščo tiskanega vezja.

V primeru, da je poškodovan trajni pomnilnik originalnega diska, se na novo ploščo tiskanega vezja vpišejo sistemski podatki (s sistemskih sledi) novega diska in se potem brez izključitve

napajanja tiskano vezje prenese na poškodovani disk. Ta metoda pa je lahko tudi neuspešna, ker imajo današnji diski systemske podatke prilagojene za vsak disk posebej. Neuspešna je lahko tudi, če krmilnik novega diska ne vsebuje podobne verzije PRML algoritma za digitalizacijo podatkov, kot ga ima poškodovani disk.[25]

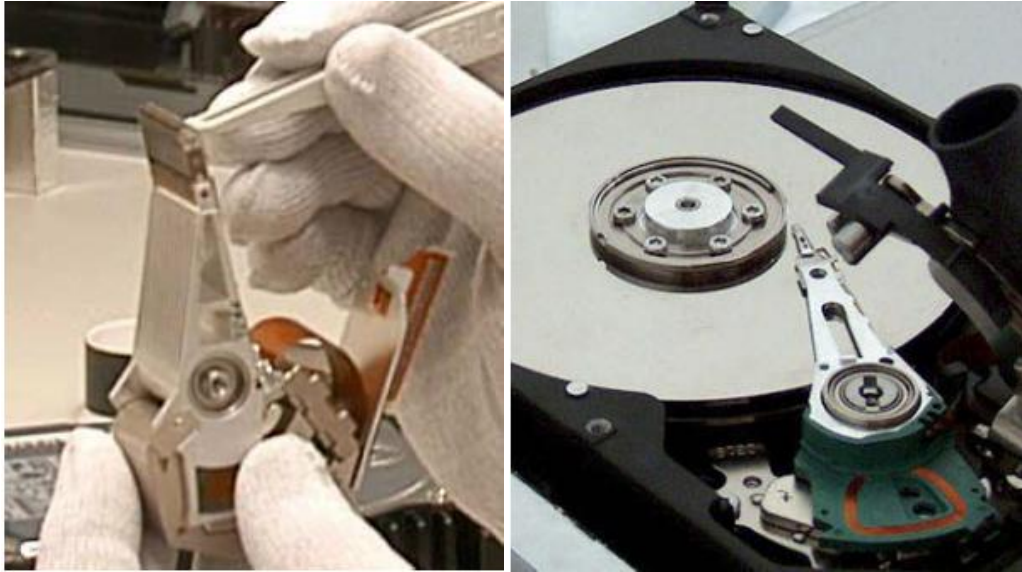


Slika 22: Poškodovana plošča tiskanega vezja trdega diska

4.1.2 Okvara bralno-pisalne glave

Največja spretnost je potrebna pri zamenjavi poškodovanih bralno-pisalnih glav, ne da bi pri tem poškodovali karkoli drugega. Zaradi komplicirane sestave glave za branje in pisanje se bralno- pisalna glava vedno menja v celotnem sklopu, ki vključuje :

- glavo za branje in pisanje,
- ročico na kateri je pritrjena bralno-pisalna glava,
- predajačevalnik (v modernih diskih skrbi za izboljšanje razmerja signal/šum),
- aktuator (premika celotno ročico z bralno-pisalno glavo).



Slika 23: Ročica in bralno-pisalne glave

Zamenjava sklopa glave se izvaja v čistem okolju, da bi preprečili vdor prahu v notranjost diska in s tem poškodbo plošče. Ko ročico z bralno-pisalnimi glavami odstranimo s plošče, se drsniki glav zaradi prednapetosti ročice dotaknejo ali zlepijo, kar običajno povzroči, da so glave uničene. Zato pri demontaži s posebnimi glavniki držimo glave razmaknjene. Paziti moramo tudi, da glave ne podrgnemo čez ploščo in s tem povzročimo še dodatno škodo.



Slika 24: Prikaz poškodovane in zlepljene bralno-pisalne glave

Tudi potem, ko smo uspešno namestili nove glave, jih je potrebno namestiti v isti relativni položaj na plošči, ker drugače ni mogoče natančno slediti sledi med delovanjem diska. Mnoga podjetja podpirajo napredne metode za premikanje in pozicioniranje sklopa glave, vendar dostopna literatura večinoma opisuje osnovne metode, kot so ročno preizkuševanje sklopa pozicioniranja.



Slika 25: Učinkovita metoda za določanje položaja glave

Moramo pa se zavedati, da uspešen premik bralno-pisalnih glav še ne zagotavlja uspešno branje podatkov. Možno je, da zaradi različnih karakteristik bralnih glav in predojačevalnika, signal ne bo mogoče uspešno prebrati in digitalizirati.[13][25]

4.1.3 Okvara plošče trdega diska

V primeru, da pride do okvare na električnem motorju ali ležajih, je potrebno odstraniti celoten sistem plošč iz ohišja trdega diska. To pa predstavlja velik problem. Zaradi gladke površine se lahko plošče pri dotiku zlepijo ena z drugo. Na žalost jih potem ni mogoče ločiti brez velikih poškodb na mikroskopski ravni. Poleg problema dotika plošč je zelo pomembno zadržati razdaljo in rotacijsko poravnavo med ploščami, ker drugače servo zapisi na ploščah niso več na istih pozicijah in ne bo mogoče ustrezno lociranje servo zapisa ter pozicioniranje glave.



Slika 26: Sklop plošč trdega diska

V kolikor je prišlo do deformacije plošč, restavriranje podatkov (s komercialnimi metodami) ni več mogoče.

Bralno-pisalne glave lebdijo na zelo majhni razdalji nad ploščo, ki se vrti z veliko hitrostjo. Vibracije, ki jih povzročajo plošče nepravilnih oblik, lahko povzročijo dotik bralno-pisalne glave s površino plošče in s tem uničenje sledi. [13]

4.2 Forenzična vrnitev podatkov

Če magnetnih podatkov ni mogoče prebrati delno ali v celoti, je potrebna forenzična metoda vrnitve podatkov. Forenzične metode v primerjavi s predhodno opisanimi metodami zamenjave delov skoraj vedno vključujejo uporabo posebnih naprav za specifične namene, ki pa imajo zelo visoko ceno (cene se pričnejo od 7000 evrov naprej).

Zaradi ugaševanja trdih diskov so tradicionalne metode zamenjave delov vse redkeje uporabne. Nekatera izmed vodilnih podjetij na področju reševanja podatkov so razvila posebne naprave, ki nadomeščajo celotno elektroniko trdega diska. To omogoča popoln nadzor nad vsemi parametri, ter veliko fleksibilnost pri branju podatkov iz plošč trdih diskov.



Slika 27: Programabilna elektronika za trde diske Action Front SignalTrace

Te naprave zamenjujejo elektroniko trdega diska. Uporabljajo se, kadar pri zamenjavi komponent ni mogoče prebrati podatkov zaradi napačnih parametrov. Na žalost pa take naprave delujejo v omejenem številu primerov, saj je treba parametre določiti eksperimentalno, s podobnim diskom ali zgolj z ugibanjem, saj proizvajalci ne objavljajo podrobnosti specifikacij in parametrov diskov.

Poleg tega, da z njimi restavriramo podatke, pa lahko take naprave uporabljamo za eksperimentalne poskuse vrnitve prepisanih podatkov, ker uporabljajo ojačevalnike in AD pretvornike, ki so veliko bolj občutljivi in natančni kot tisti, ki so vgrajeni v trde diske in imajo zato višjo ločljivost odčitavanja.

Predpogoj za kakršno koli obnovo podatkov je še vedno stabilnost in nepoškodovanost podatkov na ploščah trdega diska. Dokler je magnetni zapis podatkov v svoji nespremenjeni obliki prisoten na magnetnih ploščah, je mogoče z enostavnimi ali bolj zapletenimi metodami (cenejšimi ali dražjimi) prebrati te zapise, ter rekonstruirati podatke.[25]

4.2.1 Fizične, kemijske in toplotne poškodbe

Fizična poškodba plošč vključuje poškodbo magnetne plasti in fizično deformacijo diska. Poškodba magnetne plasti je skoraj vedno posledica padcev glave na površino diska, ki jih povzročajo vibracije (udarci in padci), fizične okvare motorja za pogon plošč (glava lebdi na zračni blazini, ki je ustvarjena z veliko hitrostjo vrtenja plošč) ali okvare na glavi (odpad vrha glave). Ker je magnetni sloj debel samo nekaj nanometrov, linearna hitrost glave nad diskom pa je reda nekaj sto km/h, je razumljivo, da vsak dotik glave in diska lahko povzroči veliko škodo. Ne samo da pride do uničenja magnetne sledi na kateri so zapisani naši podatki, temveč prihaja tudi do intenzivnega pregrevanja in do demagnetizacije sosednjih sledi.



Slika 28: Poškodba plošče (tako imenovani padec glave) vidna v obliki koncentričnih krogov na notranjem delu plošče.

Deformacije plošč so običajno posledica intenzivne deformacije ohišja. Praviloma se zaradi deformacije plošč in s tem naprežanja materiala poškoduje tudi magnetna plast. Obnova podatkov s takih plošč je teoretično mogoča, vendar se v praksi skoraj nikoli ne izvaja, saj je ekonomsko neupravičena. Zaradi deformacije ni mogoče uporabiti metode za branje podatkov iz rotirajočih plošč, ker bi morali biti senzorji zaradi zelo šibkih magnetnih sil na zelo majhni razdalji od diska (nanometerske vrednosti). Statične metode (senzorji gibanja na površini plošče) so teoretično možne, vendar bi taki postopki trajali leta. Poleg tega je potrebno izpeljati celoten postopek optične detekcije zapisa, ter celotni proces dekodiranja in logičnega organiziranja podatkov. Seveda se moramo zavedati, da kljub temu za uspešno rešitev podatkov ni nobenega jamstva.

Kemijski vplivi v večini primerov ne poškodujejo podatkov na trdem disku. Ogljikova zaščita magnetne plasti na plošči ima namreč funkcijo zaščite pred zunanjimi vplivi. Kot je bilo že omenjeno, trdi diski niso hermetično zaprti, ampak imajo odprtino za izenačevanja tlaka in

vlažnosti znotraj in zunaj diska. V odprtini je filter, ki preprečuje vstop prahu, vendar ta ne more zaustaviti nekateri agresivnih kemikalij v zraku. Zato zadnji sloj ščiti ploščo pred agresivnimi atmosferskimi vplivi. Prav tako ščiti magnetno plast pred vplivi tekočin ter manj agresivnih kislin.

Pri diskih, ki so bili potopljeni v vodo (na primer zaradi poplav) je verjetnost rešitve podatkov zelo velika. Čeprav plošče običajno niso poškodovane, drugi kovinski deli hitro oksidirajo v stiku z vodo in jih je zato potrebno zamenjati. To je pri modernih diskih problematično, ker imajo posamično prilagojene parametre vsake komponente sistema. Zamenjava ene ali več komponent ima lahko za posledico nezmožnost odkrivanja podatkov. Če je bil disk polit s kakšno tekočino, ga ne smemo sušiti! Disk položimo v posodo ali vrečko z destilirano vodo in ga takšnega odnesemo podjetju, ki je specializirano za reševanje podatkov. Voda vsebuje raztopljene trdne snovi. Te snovi lahko pri sušenju ostanejo na površini diska. Zaradi majhne oddaljenosti glave od plošče to lahko povzroči trčenje glave in sedimenta ter posledično okvaro diska.

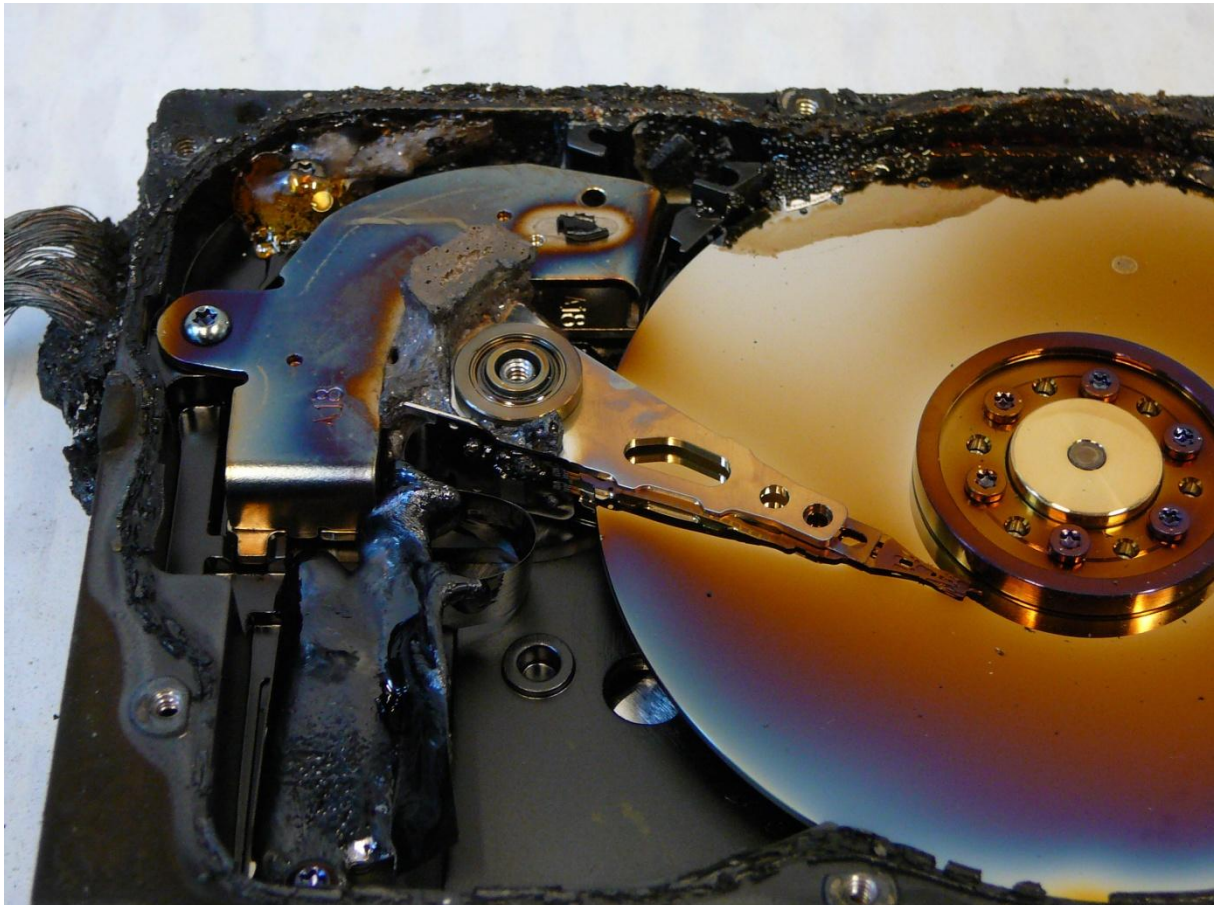


Slika 29: Poškodovan trdi disk zaradi vode

Vzrok toplotnih poškodb je povišanje zunanje temperature. Zaradi povišanja temperature se zmanjša sila potrebna za spremembo magnetne usmerjenosti materiala. Posledica je, da se povečuje verjetnost izgube magnetne orientacije magnetnih delcev. Trdi diski imajo čas toplotnega razmagnetenja več kot 10 let pri delovni temperaturi (okoli 40 stopinj Celzija), ter

med delovanjem stalno merijo raven magnetnega signala. Če ugotovijo, da je ta signal prešibek, ga ponovno zapišejo v sektor.

Če se plošče trdega diska segrejejo na zelo visoko temperaturo, na primer zaradi zunanjih vplivov (požar), pride do razmagnetenja feromagnetnih delcev in do izgube podatkov. Takrat vrnitev podatkov ni več mogoča, ker magnetni zapis podatkov ne obstaja več.[25]



Slika 30: Poškodovan trdi disk zaradi požara

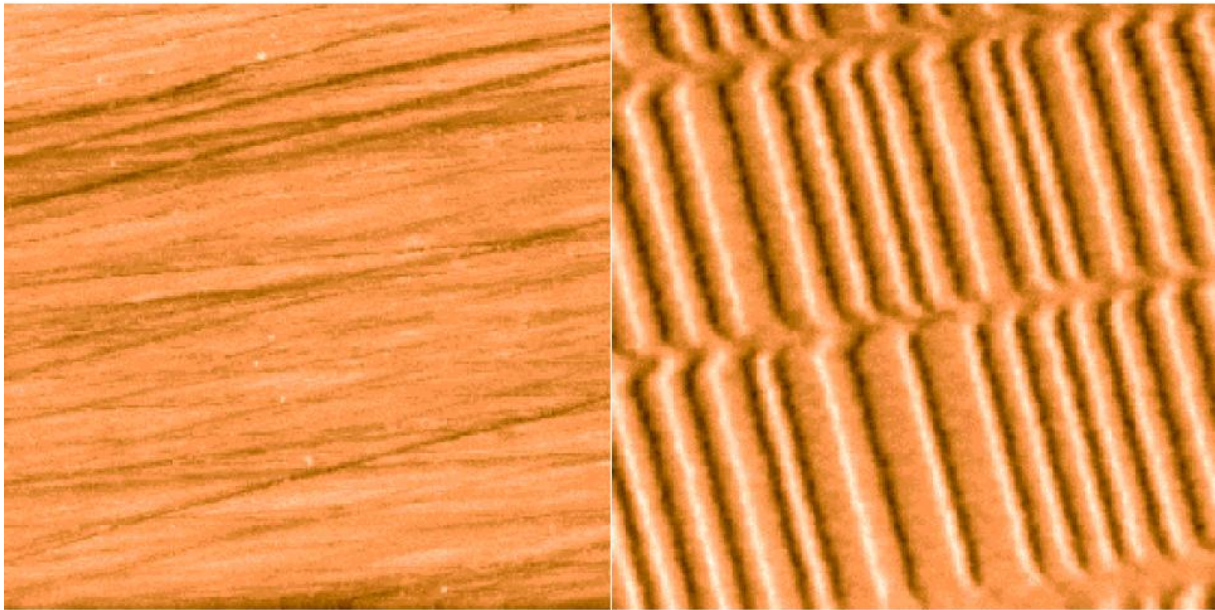
4.2.2 Fizično prepisani podatki

Ali je mogoče povrniti fizično prepisane podatke s trdih diskov? Teoretično da, vendar v praksi je to zelo verjetno nemogoče.

Natančnejše raziskave opravljene pred več kot desetimi leti so pokazale, da lahko magnetni mikroskopi MFM (angl. Magnetic Force Microscopy) odkrivajo in merijo magnetno polje elementarnih magnetnih delcev na takrat aktualnem disku (disk velikosti 200 MB). Določena sta bila dva načina branja prepisanih podatkov :

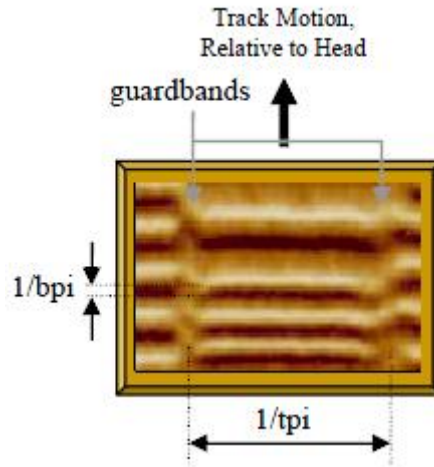
- merjenje absolutne jakosti magnetnega polja in primerjava z referenčnimi vrednostmi
- branje remanentnih podatkov v zaščitnem pasu med sledmi

Prva metoda temelji na dejstvu, da v primeru, če je bilo neko področje negativne polaritete (namagneteno v eno smer npr. vsota polja -1), nato pa je bilo prepisano na pozitivno polariteto (namagneteno v drugo smer, vsota polja +1), dejanska vrednost zaradi lastnosti magnetnih materialov (histerezne zanke) ne bo +1, temveč +0.95. Podobno, če se področje prepíše z isto polariteto, bo poljska jakost +1.05 in ne +1. Ta metoda danes ni uporabna, saj sodobni diski ne delujejo s fiksno postavljenom magnetno jakostjo, ampak se jakost polja opredeli za vsak sektor posebej (z uporabo servo zapisa in uvoda samega sektorja). Pravzaprav se na diske zapisujejo podatki s pomočjo magnetnih prehodov in ne jakosti magnetnega polja.



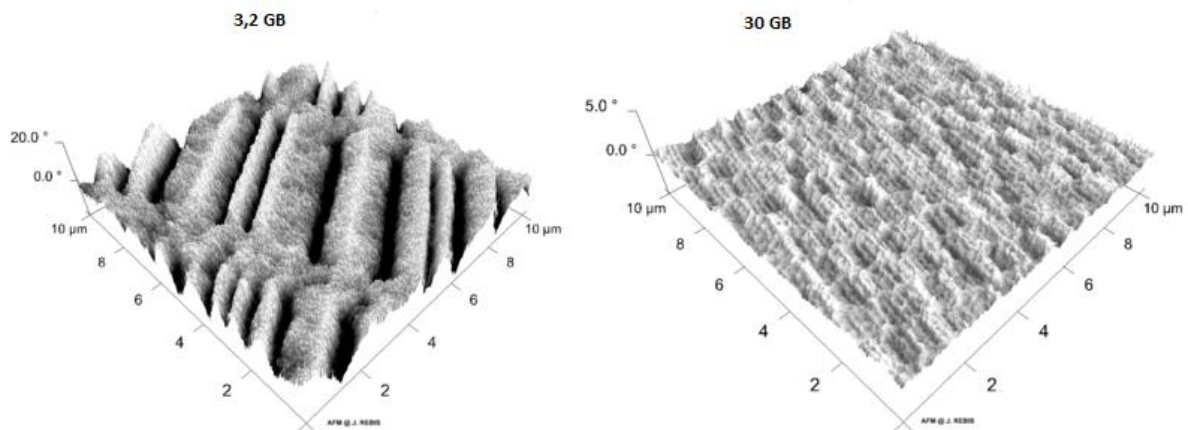
Slika 31: Na levi strani je površina plošče trdega diska posneta z optičnim mikroskopom, ter na desni strani ista površina posneta z magnetnim mikroskopom (MFM)

Naprava za odčitavanje majhnih razlik namagnetenja je magnetni mikroskop, ki ima zelo visoko resolucijo. MFM je dejansko AFM (angl. Atomic Force Microscopy), ki meri jakosti magnetnega polja. MFM senzor mora biti zelo blizu površini plošče (bližje od glave za branje/pisanje) in ga ni možno uporabljati pri fizično deformirani plošči. Toda največja pomanjkljivost je hitrost odčitavanja. Z enim odčitavanjem MFM odčita površino $100 \times 100 \mu\text{m}$, nato je treba ploščo premakniti in odčitati naslednje področje. Če bi bilo možno odčitati površino in se premakniti na naslednji vzorec v roku ene minute (zelo hitro), bi bilo za odčitavanje ene površine 3.5 palčnega diska (po grobi oceni) potrebno približno 60 tednov (več kot leto) neprekinjenega delovanja. Če površina diska vsebuje recimo 50GB podatkov, bi bila generirana količina podatkov nekaj velikostnih razredov višja, verjetno nekaj deset TB. Nato bi bilo potrebno povezati vse te slike v sliko celotnega diska (relativno, glede na njihovo fizično pozicijo na disku), ter z algoritmi za obdelavo slik opraviti iskanje servo zapisa za lokacijo in branje samih sektorjev podatkov, dekodiranje podatkov in popolno logično rekonstruiranje podatkov.



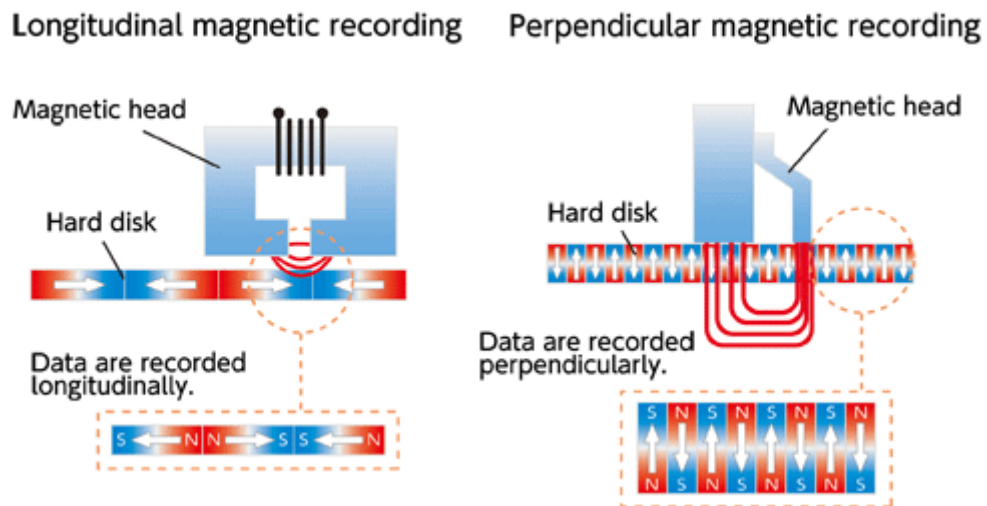
Slika 32: Slika prikazuje vzorec dela podatkovne sledi posnet z MFM. Temnejše in svetlejšje linije predstavljajo posamezne prehode, vidna sta tudi zaščitna pasova med sledmi.

Tudi pri takratnih majhnih gostotah in preprostih metodah zapisovanja podatkov so uspeli na odčitnem vzorcu prebrati samo 30-40% prepisanih podatkov na fizični ravni (kodirani podatki). To pa je slab rezultat, saj bi naključno generiranje signala prineslo približno 50% uspešnost.



Slika 33: MFM slika površine trdega diska s kapaciteto 3.2 Gb in 30 Gb

Če uporabljamo vertikalni zapis (angl. perpendicular recording) je za branje mogoče uporabiti napravo Spin-Stand. Spind-Stand so zelo natančne naprave, ki jih proizvajalci trdih diskov uporabljajo za testiranje novih tehnologij zapisovanja, materiala, glav za branje in pisanje, testiranje diskov in podobno. Poleg tega, da so zelo natančne, so tudi zelo drage.[25][13]



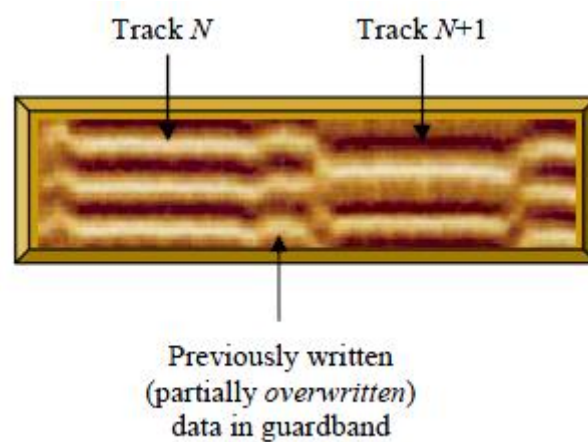
Slika 34: Primerjava vzdolžnega in vertikalnega magnetnega zapisa

Spin-Stand je naprava zasnovana kot simulacija pravega trdega diska. Komponente in parametre trdega diska, kot so glava, plošče, lokacija določenega sektorja za zapis, frekvenca signala za pisanje, hitrost plošč, celo kot glave med pisanjem in branjem, je mogoče na tej napravi poljubno spreminjati. Učinke vseh teh sprememb je mogoče naknadno analizirati, zato je Spin-Stand zelo močno orodje pri preučevanju visoke gostote magnetnih zapisov. Pogosto ga tudi uporabljajo v raziskovalnih okoljih za preučevanje različnih vidikov magnetnega zapisovanja. [26]



Slika 35: Simulator Spin-Stand podjetja Guzik

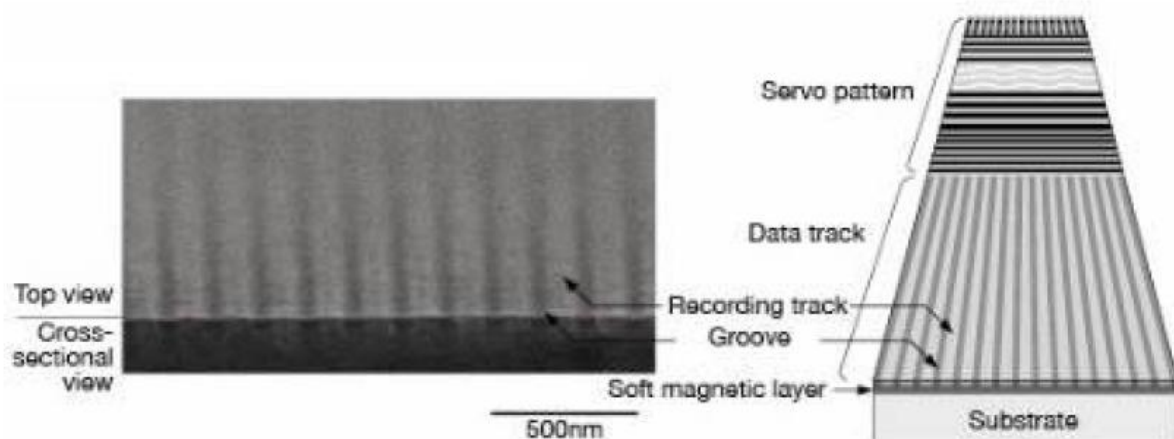
Druga predlagana metoda uporablja dejstvo, da ni vedno mogoče določiti položaja glave glede na sredino sledi. Posledično je mali del zapisa zapisan v zaščitnem pasu, ki se nahaja med sosednjima sledema. Pri tem obstaja možnost, da so pri prepisovanju podatki zapisani točno na sredini sledi, tako da rob predhodnega podatka ostane obstojen.



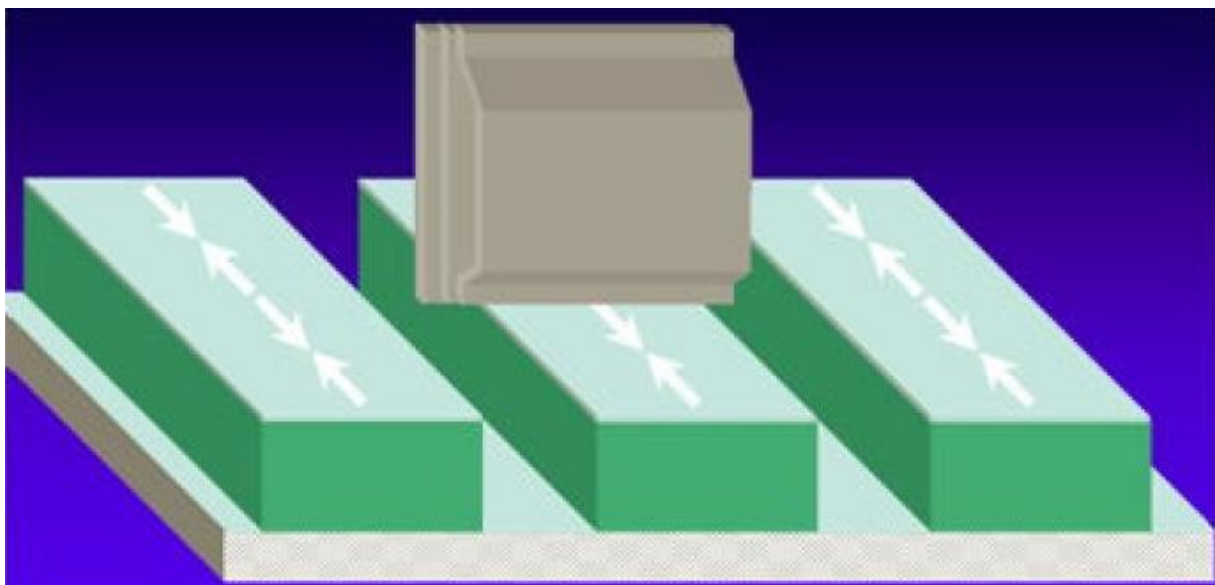
Slika 36: Primer zapisanega (deloma prepisanega) podatka v zaščitnem pasu

Prikazani primer se nanaša na 1.44 MB diskete, ki imajo zaradi uporabe koračnega motorja manj natančno določen položaj glave. Trdi diski ne uporabljajo koračnih motorjev že več kot 20 let. Za krmiljenje bralno-pisalnih glav uporabljajo zvočniško tuljavo, ki omogoča pozicioniranje bralno-pisalnih glav s pomočjo servo zapisa. Poleg tega sodobni diski s pomočjo servo zapisa zelo natančno določijo položaj glave na sredino sledi, ter konstantno s pomočjo prihajajočega servo zapisa ohranjajo in po potrebi popravljajo položaj bralno-pisalne glave. Pri velikih premikih glave elektronika najprej počaka, da se glava »umiri« in šele nato začne z branjem in pisanjem podatka. Če glava ni bila pozicionirana točno na sredini sledi, bi bilo to samo za kratek čas in količina tako zapisanih podatkov bi bila zelo majhna. Ta metoda je zato pri modernih trdih diskih neuporabna.

Zaradi želje po večji zmogljivosti se pričakuje uporaba medija z diskretnimi sledmi (zaščitno območje ne vsebuje magnetnega materiala), zato zapisovanje podatkov v zaščitenem področju ne bi bilo več mogoče.[25]



Slika 37: Medij z diskretnimi sledmi



Slika 38: Magnetni medij z diskretnimi sledmi

4.3 Logična izguba podatkov

Pod logično izgubo podatkov prištevamo vse primere, kadar so podatki samo logično označeni kot izbrisani, vendar so v resnici še vedno fizično dostopni na trdem disku. Takšno izgubo podatkov je, v kolikor ni prišlo do prepisovanja z drugimi podatki, relativno lahko uspešno vrniti v večini primerov.

Dostopnih je veliko število komercialnih in brezplačnih programov za reševanje podatkov. Programi so čedalje bolj enostavni za uporabo, vendar je zaželeno osnovno znanje o logični organizaciji diskov in delovanju datotečnih sistemov, da bi lahko program izkoristili v celoti.

Ker je to samo uvod v problematiko, se opisani primeri nanašajo na datotečni sistem NTFS (angl. New Technology File System), vendar tudi drugi datotečni sistemi delujejo na podobnih principih.

4.3.1 Logična organizacija podatkov na disku (datotečni sistem)

Del operacijskega sistema, ki omogoča trajno shranjevanje podatkov, tudi potem, ko se izvajanje procesa zaključi, je datotečni sistem. Podatki, s katerimi upravlja datotečni sistem, so združeni v uporabniško določene skupine podatkov, imenovane datoteke. Za poimenovanje datotek ima vsak datotečni sistem svoja pravila. Datoteke hranijo tako programe kot ostale podatke. Vsi modernejši operacijski sistemi uporabljajo hierarhično urejeno strukturo imenikov (področij). V operacijskemu sistemu UNIX se prostor za ime datoteke uporablja še za poimenovanje drugih stvari, kot so procesi in naprave.

Dober datotečni sistem mora :

- biti lahek za uporabo in zmogljiv,
- biti sposoben delati z zelo različnimi velikostmi datotek,
- učinkovito skrbeti za prenos informacij med glavnim pomnilnikom in diski.

Moderen datotečni sistem vsebuje naslednje elemente :

- Blok: prostor v datotečnem sistemu, običajno velik 512, 1024 ali 4096 bajtov. Vsebuje dejanski zapis podatkov.
- Inode (angl. inode): podatkovna struktura, v kateri so shranjeni podatki o datotekah ali imenikih, ne pa dejanski podatki. Vsebuje informacije kot npr. začetni blok podatkov, ime (če je imenik), imena datotek (če je imenik), velikost podatkov, način dostopa, lastništvo.
- superblok: za datotečni sistem najbolj pomembna struktura, zapisana na mediju. Vsebuje metapodatke o lastnosti datotečnega sistema kot so velikost, število inode struktur, število blokov...

Najbolj znani datotečni sistemi so NTFS, FAT 32, FAT 16, ext2 in ext3. [7]

4.3.1.1 Datotečni sistemi FAT, VFAT in FAT 32

FAT (angl. File Allocation Table) je datotečni sistem, ki je bil razvit za operacijski sistem MS-DOS in je bil glavni datotečni sistem v zgodnjih različicah operacijskega sistema Microsoft Windows, do vključno Windows ME. Podpirajo ga praktično vsi obstoječi sistemi za domače računalnike, uporablja se tudi pri disketah, flash pomnilnikih in digitalnih kamerah. Datotečni sistem FAT je razmeroma uporaben in preprost. Največja pomanjkljivost FAT je fragmentacija (zapisovanje datotek na več mest na disku). Ko se izbrišejo stare in na isto mesto shranijo nove datoteke, se te razkosajo (fragmentirajo) in razmečejo po celotnem mediju, kar povzroči znatno upočasnitev delovanja. Rešitev je defragmentacija (ponovno sestavljanje datotek), ki pa je na žalost dolg proces, ki ga je potrebno redno ponavljati, če želimo obdržati nerazkosane datoteke. Danes FAT izpodrivajo sodobnejši datotečni sistemi, kot je na primer NTFS, ki se uporablja v novejših operacijskih sistemih Windows. [11]

FAT uporablja parcelirano povezano dodeljevanje. Prazen prostor je evidentiran s pomočjo povezanega seznama blokov. Osnovna enota pri dodeljevanju prostora se imenuje gruča (angl. cluster). Gruča je sestavljena iz več blokov (sektorjev). Število blokov v eni gruči je omejeno na 64 (ponekod 128). Če so bloki veliki 512 B (na trdih diskih), dobimo tako največjo velikost gruče 32 KB (oz. 64 KB).

Bloki so oštevilčeni z 32-bitnim številom, gruče pa le s 16-bitnim številom. Nekatere vrednosti so rezervirane in imajo poseben pomen, tako da je največje število gruč v eni logični enoti 65.526. Na diskih je zato največja možna velikost logične enote okoli 2 GB (oz. 4GB). Ker je velikost datoteke zapisana kot 32-bitno število, je največja velikost datoteke 4 GB. FAT 16 ima še dodatno omejitve, saj je največje dovoljeno število datotek v logični enoti 65.536.

Datotečni sistem je dobil ime po tabeli FAT, v kateri so shranjeni podatki o posameznih datotekah. Vsak zapis v tabeli FAT je velik 32 B in vsebuje naslednje zapise: ime datoteke (8 B), končnica (3 B), atributi (1 B), neuporabljeno (1 B), čas in datum nastanka (5 B), datum zadnjega dostopa (2 B), neuporabljeno (2 B), čas in datum zadnje spremembe (4 B), oznaka začetnega grozda (2 B) in velikost datoteke (4 B). V originalni specifikaciji ni bilo časa in datuma nastanka ter datuma zadnjega dostopa, ta polja so bila označena kot neuporabljena in so bila dodana pozneje.

00002640	4E 49 4C 45 31 20 20 20	FILE1	File Name
00002648	54 58 54 20 18 3E 5B 72	TXT [r	File Extension
00002650	79 33 00 00 00 00 00 00	y3y3...r	Attributes
00002658	0E 00 00 00	y3.....	Created Time
00002660	E5 49 4C 45 32 20 20 20	FILE2	Created Date
00002668	54 58 54 20 18 3E 5B 72	TXT [r	Accessed Date
00002670	79 33 79 33 00 00 5C 72	y3y3...r	Modified Time
00002678	79 33 00 00 00 00 00 00	y3.....	Modified Date
00002680	4E 49 4C 45 32 20 20 20	FILE2	Starting Cluster
00002688	54 58 54 20 18 3E 5B 72	TXT [r	File Size
00002690	79 33 79 33 00 00 5C 72	y3y3...r	
00002698	79 33 03 00 12 00 00 00	y3.....	
000026A0	E5 49 4C 45 33 20 20 20	FILE3	
000026A8	54 58 54 20 18 80 1B 73	TXT [r	
000026B0	79 33 79 33 00 00 1C 73	y3y3...s	
000026B8	79 33 00 00 00 00 00 00	y3.....	

Slika 39: Primer zapisa v tabeli FAT

VFAT je bil vpeljan leta 1995 in je po strukturi enak datotečnemu sistemu FAT 16. Tukaj je bila podpora dolgim imenom datotek največja sprememba za uporabnika. Z uvedbo dolgih imen se ni povečala velikost zapisa v tabeli FAT, pač pa so dolga imena uporabljala več zapisov. Druge spremembe so se nanašale bolj na izvedbo datotečnega sistema kot pa na njegovo funkcionalnost.

FAT 32 je bil vpeljan leta 1996. Gruče so tukaj oštevilčene z 28-bitnim številom (4 biti od 32 so rezervirani za posebne namene). Teoretična meja za velikost logične enote pri FAT 32 zato ni postavljena s številom gruč, ampak s številom blokov, ki so še vedno oštevilčeni z 32-bitnim številom. Če uporabimo manjše gruč, pa seveda tudi število gruč lahko vpliva na največjo možno velikost logične enote. Velikost datoteke je ostala zapisana kot 32-bitno število, zato je tudi pri FAT 32 največja velikost datoteke 4 GB. Največje dovoljeno število datotek v logični enoti je 4.194.304. [9]

4.3.1.2 Datotečni sistem NTFS

NTFS je standardni datotečni sistem v Windows NT in njihovih naslednikih Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003 itd... Prejšnje različice operacijskih sistemov Windows (verzije 95, 98, 98SE in ME), ne morejo same brati NTFS datotečnih sistemov, obstajajo pa pripomočki, ki to omogočajo.

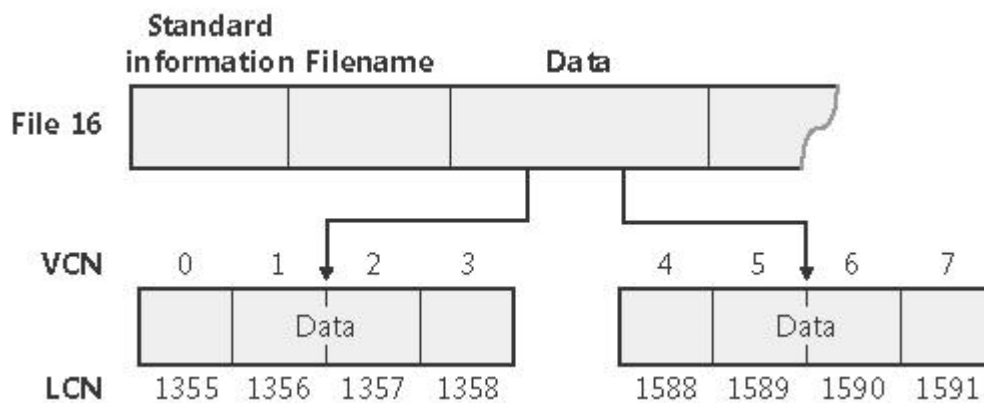
NTFS je zamenjal Microsoftov predhodni datotečni sistem FAT, ki se je, kot smo že omenili, uporabljal v MS-DOS in v zgodnejših verzijah operacijskih sistemov Windows. V datotečnem sistemu NTFS je nekaj izboljšav FAT, kot so: izboljšana podpora za metapodatke (metapodatki opisujejo kako, kdaj in od koga je bil zbran določen podatek) in uporaba naprednejših podatkovnih struktur za izboljšanje učinkovitosti in zanesljivosti datotečnega sistema. [24]

Tudi pri NTFS imamo, ravno tako kot pri FAT gruč. Tukaj je uporabljena kombinacija več tehnik dodeljevanja, najdemo lahko elemente zveznega, povezanega in indeksiranega dodeljevanja. Velikost gruč se določi ob formatiranju NTFS in običajno zanaša 8 blokov (4

KB pri blokih velikosti 512 B). Velikost datoteke in zaporedna številka gruče sta zapisana s 64-bitno številko, zato so teoretične meje zelo visoke. Velikost logične enote je zaradi 32-bitnih številok blokov še vedno omejena na 2 TB. Vendar pa novejši operacijski sistemi omogočajo, da se logična enota razteza čez več particij tako, da se bloki v vsaki številčijo od 0 naprej. Na ta način lahko tvorimo velike NTFS logične enote (trenutno je omejitev 16 TB).

Glavna tabela datotek MFT (angl. Master File Table) je osnova datotečnega sistema NTFS. MFT podobno kot tabela FAT vsebuje attribute datotek. Glavna razlika pa je, da se tudi vsebina datoteke (pravzaprav kazalci na vsebino) obravnava kot en atribut. Če je atribut (npr. število kazalcev na vsebino) prevelik, da bi se shranil v MFT, potem se shrani izven tabele MFT kot poseben zapis imenovan nerezidenčni atribut.

Do podatkov v posameznih datotekah pridemo preko kazalcev, ki jih imenujemo VCN-ji (angl. Virtual Cluster Numbers). VCN-ji na disku niso nujno zvezni, preslikujejo se v skupine zveznih LCN-jev (angl. Logical Cluster Number). Za vsako posamezno datoteko se štejejo od 0 naprej.



Slika 40: VCN in LCN

Za redke datoteke ima NTFS posebno tehniko. Gruče, v katerih so same ničle, se v resnici ne zapišejo na disk. Namesto tega se v (običajno zveznem) zaporedju VCN pusti presledek. NTFS v uporabnikov medpomnilnik vpiše ustrezno število ničel, če pri branju datoteke zazna presledek med VCN.

Poleg datotek z uporabniško vsebino so na disku tudi datoteke s tako imenovanimi metapodatki (angl. metadata). Metapodatki dodatno opisujejo sistem, imenike in posamezne datoteke. Vsaka datoteka z metapodatki vsebuje 64-bitno referenco datoteke. Ta je sestavljena iz dveh delov in vsebuje številko datoteke in sekvenčno številko. Številka datoteke ustreza poziciji datotečnega zapisa v MFT. Pri vsaki uporabi datotečnega zapisa se sekvenčna številka poveča.

Pomembne lastnosti NTFS-ja so še :

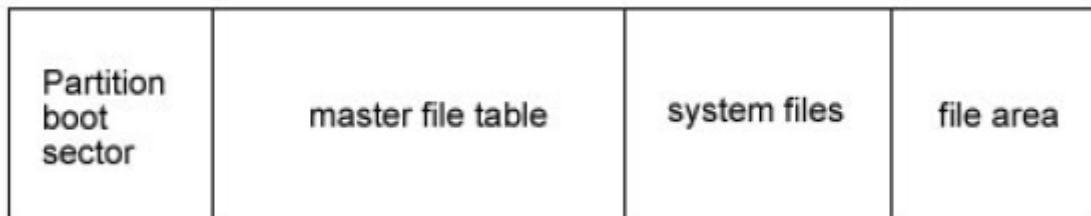
- je datotečni sistem z dnevnikom,

- omogoča omejevanje prostora posameznim uporabnikom,
- ima vgrajeno kriptiranje podatkov,
- omogoča stiskanje podatkov,
- omogoča priklop logičnih particij na poljubno mesto v imeniški strukturi, tako da ni vedno potrebno uporabiti novo črko,
- omogoča simbolične povezave (več imen za isto mapo oz. datoteko), ki pa imajo na Windows XP in Windows Server 2003 precejšnje omejitve in stranske učinke. Dobro delujejo šele na operacijskem sistemu Windows Vista in Windows 7. [9]

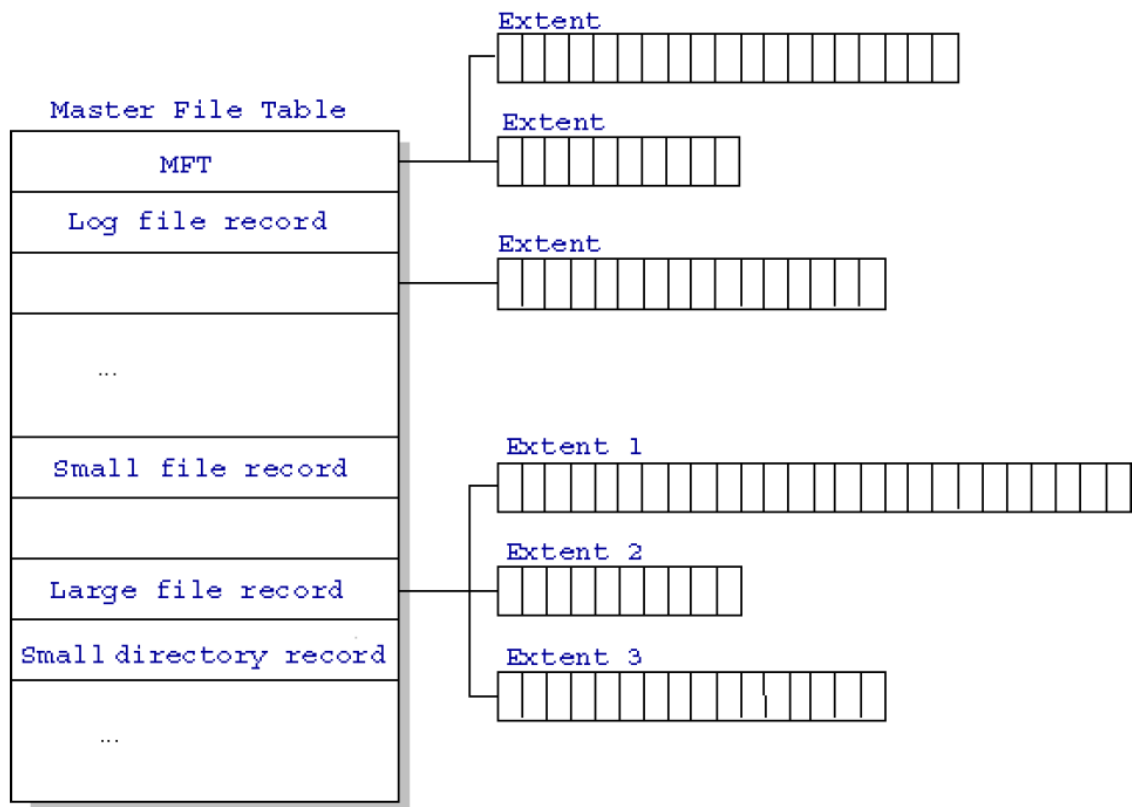
Največja pomanjkljivost datotečnega sistema NTFS je zelo omejena podpora ostalim ne Microsoftovim operacijskim sistemom, ker je točna specifikacija poslovna skrivnost Microsoft-a.[8]

4.3.2 Vrnitev izbranih podatkov

Da bi maksimalno pospešili delo pri brisanju neke datoteke, sodobni datotečni sistemi datoteke ne izbrišejo fizično, ampak samo dodajo atribut, ki označuje, da je datoteka izbrisana. NTFS informacija o datotekah in imenikih se zapisuje v MFT.



Slika 41: Logični izgled diska z NTFS particijo



Slika 42: Logični prikaz MFT

Vsaka datoteka in imenik ima svoj zapis v MFT. Vrnitev izbranih podatkov je mogoča na dva načina:

- z iskanjem MFT za izbrisane zapise,
- z zaporednim iskanjem celotne particije za področji, ki niso bili najdeni pri iskanju po MFT.

Prvi postopek je relativno enostaven in hiter. Za vsak najdeni »izgubljeni« zapis se dodatno preveri ali podatki o velikosti in fragmentaciji odgovarjajo dejanskemu stanju na disku (osnovno preverjanje ali so mogoče podatki prepisani). Važno je omeniti, da je velikost MFT variabilna. Če je disk poln, lahko operacijski sistem zmanjša velikost MFT, tako da črta zapise, ki so bili označeni kot izbrisani. Možnost vračanja podatkov pri polnem disku se na žalost drastično zmanjša.

Drugi postopek najprej vključuje predhodno opisane korake, zatem pa se izvaja zaporedno iskanje po disku za področji, ki nista bili najdeni pri iskanju po MFT. S tem postopkom je mogoče obnoviti podatke, katerih zapis je izbrisan iz MFT, vendar obstaja velika verjetnost, da so deli podatkov prepisani z novimi podatki.[25][27]

4.3.3 Vrnitev izbranih particij

Na samem začetku diska (začetni logični naslov) se vedno nahaja MBR (angl. Master Boot Record), v katerem se nahaja seznam dostopnih particij na trdem disku.

Address		Description	Size in bytes
Hex	Dec		
0000	0	Code Area	max. 446
01B8	440	Optional Disk signature	4
01BC	444	Usually Nulls; 0x0000	2
01BE	446	Table of primary partitions (Four 16-byte entries, IBM Partition Table scheme)	64
01FE	510	55h	MBR signature; 0xAA55
01FF	511	AAh	
MBR, total size: 446 + 64 + 2 =			512

Slika 43: Prikaz strukture MBR-ja

Obstaja nekaj možnosti izgube celotne particije :

- particija je izbrisana,
- particija je formatirana,
- MBR je poškodovan,
- MBR je izbrisan.

Primer izbrisane particije je najenostavnejši, saj je v tem primeru izbrisana samo informacija o particiji iz MBR, medtem ko je sama particija in podatki na njej v dobrem stanju. Z zaporednim iskanjem po disku se ugotovi začetek vsake particije, ter se običajno s pregledovanjem formata zapisa na disku (prisotnost FAT ali MFT tabele) določa vrsto particije, ki je običajno zapisana v MBR.

V primeru formatiranja particije se pojavlja problem, da je MFT lahko prepisan (običajno samo en del). MFT vsebuje dve MFT tabeli, primarno (običajno na začetku diska) in sekundarno (na koncu diska). V primeru okvare primarnega MFT se uporabi sekundarni MFT. V kolikor sta poškodovana oba, se zamenja tehnika iskanja MFT (v tem primeru za vse zapise) in če je potrebno preišče tudi celotno particijo za področji.

Če pri poškodbi MBR niso poškodovani podatki o particiji, to enostavno saniramo s prepisovanjem poškodovanih delov (znan je izgled MBR za vsak operacijski sistem). Za tem so podatki normalno dostopni.

Izbrisan MBR je najslabši možni primer, saj ne vemo kako so porazdeljene particije na disku. Vrnitev podatkov je sestavljena iz zaporednega branja diska in iskanja MFT (znan je uvodni del, ki je vedno isti), ki označuje začetek particije. Seveda, če je disk ponovno razdeljen na particije to dodatno zaplete postopek, saj vedno obstaja možnost, da je disk sedaj razdeljen drugače. [25][27]

5. Neobnovljivi podatki

5.1 Okvara programske opreme diska

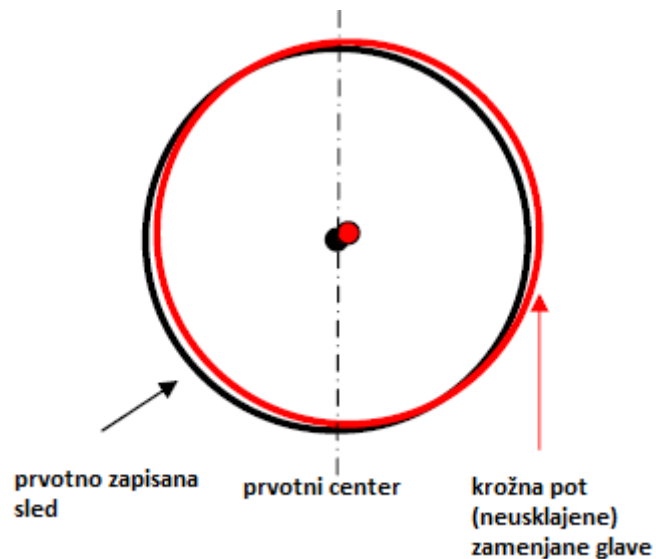
Pogonska enota in programska oprema krmilnika sta optimizirani za doseganje čim nižjih proizvodnih stroškov in hkrati čim večjo zanesljivost delovanja in pravilnost podatkov, ne pa za obnovo. Rezultat optimizacije za določeno kombinacijo glava/medij/elektronika je dobro uglašen magnetni disk, ki bo deloval zelo zanesljivo, vendar samo v ozkem območju sistemskih parametrov.

Zamenjava programske opreme je lahko neuspešna zaradi naslednjih razlogov :

- nastavitve kanala za detekcijo servo signala so neustrezne za dobro servo pozicioniranje,
- tabela s podatki o razdelitvi diska na cone in informacija o linearni gostoti in gostoti sledi se ne ujemata z dejanskimi podatki diska,
- servo pozicioniranje sicer deluje, vendar so odmiki bralno-pisalne glave preveliki za uspešno pozicioniranje na sled,
- nastavitve podatkovnega kanala so neustrezne, tako da je pri branju preveč napak (prevelik BER),
- sektorji, ki vsebujejo pomembne podatke so v tabeli nadomestnega diska označeni kot okvarjeni (P in G seznam diska), okvarjeni sektorji pa označeni kot dobri. [13]

5.2 Neuspešna zamenjave glave

Ključni fizikalni parametri diska so določeni in kalibrirani v tovarni. Eden izmed parametrov je odmik med bralnim in pisalnim elementom na vsaki glavi, ter kako se razmerje spreminja od sledi do sledi. Drugi parameter se recimo nanaša na dejstvo, da sledi niso popolni krogi. Temu pravimo ekscentričnost, učinek ekscentričnosti pa se kaže kot ponavljajoče izmikavanje sledi RRO (angl. Repeatable Runout).



Slika 44: RRO povzročen zaradi premika osi plošče

Signal iz predojačevalnika je odvisen od medija in glave. Parametri predojačevalnika in bralnega kanala so optimizirani za signal, ki ustreza določeni kombinaciji medija in glave.

Zamenjava glave je lahko neuspešna zaradi naslednjih razlogov :

- višina lebdenja glave je lahko bistveno drugačna, kar spremeni obliko impulza, signal je šibkejši, lahko je nasičen,
- občutljivost glave glede na magnetno gostoto medija je lahko bistveno drugačna, kar se odraža v obliki impulza, v šibkejšem signalu ter nasičenju signala,
- glava ni poravnana na eni ali več površinah glede na prvotno pozicijo glave, kar pripelje do prekomerne ekscentričnosti, ki ji servosistem ne more slediti,
- razmik glav je lahko različen glede na razmik diskov, kar otežuje montažo glav in lahko privede do poškodbe površine plošč. [13]

5.3 Neuspešna namestitvev (montaža) plošče

Pri odstranitvi plošč s poškodovanega pogona ter ponovni montaži na os motorja lahko pride do težav z magnetnim ujemanjem ter fizično poravnavo. Pojavlja pa se tudi ključni problem, da je uporabnikova datoteka lahko razdeljena na več površin. Kadar se datoteka razteza (razširja) preko več površin, je potrebno servo pozicioniranje z ene bralno-pisalne glave brez prehoda (preskoka) nadaljevati na drugi glavi. Za doseganje tega je nujno, da je razmerje časovne uskladitve servo zapisa med površinama znano. Če se ena plošča premika relativno glede na ostale plošče v paketu (zdrs plošče), se razmerje servo časovne uskladitve spremeni.

Ponovna montaža plošč je lahko neuspešna zaradi naslednjih razlogov :

- zdrs plošče,
- razmik med ploščami je lahko različen relativno glede na razmik glav. Tako lahko prihaja do razlik v obremenitvi in s tem do prevelikih razlik med glavami v višini lebdenja nad ploščo.
- razmik med diski je lahko različen relativno glede na razmik glav, kar oteži montažo glav in lahko povzroči poškodbo plošč. [13]

5.4 Izguba podatkov

Če gledamo skozi zgodovino so se slike na jamskih stenah, ter slike izklesane na skalah ohranile skozi tisočletja. Naši magnetno zapisani podatki pa se seveda ne bodo ohranili tako dolgo. Naši podatki so ustvarjeni digitalno in živijo na magnetnih medijih. Včasih smo pričakovali, da bomo ohranili digitalne podatke nekje od 50-100 let, pri normalnih pogojih seveda. Tukaj pa se pojavljata dva problema.

Prvič, digitalna informacija mora ostati v celoti, če hočemo da je uporabna. Na primer napisana, naslikana ali izrezljana dela se poslabšajo skozi čas. Ko pa se naš digitalni podatek poslabša do te mere, da ga ECC ne more več popraviti, je podatek seveda izgubljen.

Drugič, magnetnih podatkov ne moremo prebrati sami. Za to potrebujemo določene naprave. To pa je v očitnem nasprotju s slikami, napisi, izrezi, ki jih preberemo z prostim očesom. Če se naprava za branje nekega digitalnega podatka pokvari, je za nas podatek trenutno izgubljen, tudi če je magnetni vzorec še nedotaknjen.

Postopna razgradnja magnetnih informacij je pogosto omenjena kot toplotna degradacija. Eno magnetno domeno lahko sestavlja na milijone atomov, ki so namagneteni v isto smer. Zaradi termičnega gibanja atomov se namagnetenje nekaterih atomov lahko spremeni. Tako imamo v domeni manj atomov, ki določajo smer namagnetjenja in za spremembo smeri namagnetjenja je

potrebno vedno manj termične energije. Čez čas pride do superparamagnetne meje in plazovitega učinka, kar pomeni, da se smer namagnetjenja izgubi.

Z naraščajočo površinsko gostoto toplotna stabilnost magnetne domene hitro pada. Malo število atomov v vsaki magnetni domeni obdrži magnetno orientacijo. Zaradi visokih temperatur okolja je lahko toplotni razpad še močnejši. Prav tako lahko pisanje na določeno sled povzroči degradacijo v bitih na sosednjih sledih. Ni pa splošno znano, da veliko današnjih diskov rutinsko preverja toplotno degradacijo zapisov in ponovno zapiše sektorje, v katerih je ugotovljena degradacija.

Na žalost lahko na tak način izgubimo veliko lepih spominov na domačih video posnetkih, pozabljenih na vročem podstrešju, ki so izgubljeni zaradi toplotne degradacije.[13]

6. Zaključek

Cilj diplomske naloge je bil predvsem predstavitev reševanja podatkov, kaj se dogaja z njimi, ko jih shranimo na trdi disk, kako jih zaščitimo, pa vse do reševanje le-teh.

V bližnji preteklosti so proizvajalci trdih diskov že zatrjevali, da preprosto ne bo možno izdelovati diskov s kapaciteto večjo od 100 GB. Sedaj pa se je vojna glede površinske gostote spet obudila, saj je proizvajalcem uspelo spraviti 1 TB podatkov na eno ploščo, kar daje vedeti, da se gostota zapisa še vedno povečuje.

Večina trdih diskov je poslanih v podjetja za reševanje podatkov zaradi napake v strojni opremi trdega diska. Nekatere še vedno lahko rešimo s tradicionalnimi metodami reševanja. Nadaljnje povečevanje gostote zapisa in uglaševanje sklopa medija in bralno-pisalnih glav, bo imelo za posledico manjšo uspešnost reševanja podatkov s tradicionalnimi metodami reševanja. Na srečo so vodilna podjetja na tem področju že predstavila svoje odgovore na ta problem s predstavitvijo naprav, ki zamenjajo celotno elektroniko trdega diska in s tem omogočajo poljubno nastavitve vseh parametrov trdega diska. Treba je opozoriti, da bi bilo potrebno povečati transparentnost na trgu reševanja podatkov. Mnoga podjetja navajajo, da je uspešnost pri reševanju podatkov več kot 90%, vendar pri tem ne navedejo v kašnih primerih je to mogoče, niti s kakšno opremo to dosežejo.

Kazalo slik

Slika 1: Magnetni disk IBM 350	3
Slika 2: Linearna gostota in gostota sledi.....	6
Slika 3: Trend rasti površinske gostote	7
Slika 4: Prikaz sledi na trdem disku	7
Slika 5: Padanje cen trdih diskov glede na leto produkcije.....	8
Slika 6: Sled, cilinder in sektor	9
Slika 7: Primerjava zapisovanja podatkov z linearno gostoto in conskim zapisom.....	10
Slika 8: Servo zapis	12
Slika 9: V servo zapisu je pri »No ID« formatu tudi informacija o številki sledi in sektorja	12
Slika 10: Servosistem za pozicioniranje bralno-pisalne glave	13
Slika 11: Radialna hitrost bralno-pisalne glave pri pozicioniranju na sled	14
Slika 12: Idealni pisalni in bralni signal glave za pisanje in branje podatkov.....	14
Slika 13: Prikaz posnetka bralnega signala podatkovnega sektorja z osciloskopom	15
Slika 14: Prikaz zaporedja kodiranja uporabniških podatkov in organizacijo sektorjev na sledi.....	17
Slika 15: RAID 0 (linearno polje)	21
Slika 16: RAID 1 (zrcaljenje s pariteto)	21
Slika 17: RAID 2 (paralelni prenos z ECC)	22
Slika 18: RAID 3 (paralelni prenos s pariteto)	22
Slika 19: RAID 4.....	23
Slika 20: RAID 5.....	23
Slika 21: Popravilo v notranjosti trdega diska se izvaja v izjemno čistem okolju	25
Slika 22: Poškodovana plošča tiskanega vezja trdega diska	26
Slika 23: Ročica in bralno-pisalne glave.....	27
Slika 24: Prikaz poškodovane in zlepljene bralno-pisalne glave	27
Slika 25: Učinkovita metoda za določanje položaja glave	28
Slika 26: Sklop plošč trdega diska.....	29
Slika 27: Programabilna elektronika za trde diske Action Front SignalTrace	30
Slika 28: Poškodba plošče (tako imenovani padec glave) vidna v obliki koncentričnih krogov na notranjem delu plošče.....	31
Slika 29: Poškodovan trdi disk zaradi vode	32
Slika 30: Poškodovan trdi disk zaradi požara.....	33
Slika 31: Na levi strani je površina plošče trdega diska posneta z optičnim mikroskopom, ter na desni strani ista površina posneta z magnetnim mikroskopom (MFM).....	34
Slika 32: Slika prikazuje vzorec dela podatkovne sledi posnet z MFM. Temnejše in svetlejše linije predstavljajo posamezne prehode, vidna sta tudi zaščitna pasova med sledmi.	35
Slika 33: MFM slika površine trdega diska s kapaciteto 3.2 Gb in 30 Gb	35
Slika 34: Primerjava vzdolžnega in vertikalnega magnetnega zapisa.....	36
Slika 35: Simulator Spin-Stand podjetja Guzik.....	37
Slika 36: Primer zapisanega (deloma prepisanega) podatka v zaščitnem pasu	37
Slika 37: Medij z diskretnimi sledmi.....	38
Slika 38: Magnetni medij z diskretnimi sledmi.....	38
Slika 39: Primer zapisa v tabeli FAT	41

Slika 40: VCN in LCN	42
Slika 41: Logični izgled diska z NTFS particijo	43
Slika 42: Logični prikaz MFT	44
Slika 43: Prikaz strukture MBR-ja	45
Slika 44: RRO povzročen zaradi premika osi plošče	48

Viri

- [1] (2011) http://www.kotar.si/resevanje_podatkov/pokvarjen_trdi_disk.html
- [2] (2008) http://www.sc-nm.com/e-gradivo/KIT/trdi_disk.html
- [3] (2011) <http://racunalniski-muzej.si/si/blog>
- [4] Vhodno izhodne naprave (prosojnice s predavanj) pred.Igor Škraba, Naprave na osnovi magnetnega shranjevanja podatkov, FRI, 2010
- [5] (2010) <http://www.resevanje-podatkov.inf.si/resevanje-podatkov-trdi-diski.html>
- [6] (2004) <http://www2.arnes.si/~zselca/Trdi%20diski/okvir.htm>
- [7] (2011) http://sl.wikipedia.org/wiki/Datote%C4%8Dni_sistem
- [8] (2011) <http://sl.wikipedia.org/wiki/NTFS>
- [9] (2009) <http://lms.uni-mb.si/~meolic/vss-vso/predavanjeVSO-ena-novo.pdf>
- [10] (2006) <http://www.easeus.com/download/data-recovery-book.pdf>
- [11] (2009) <http://sl.wikipedia.org/wiki/FAT>
- [12] (2009) http://www.mojmikro.si/v_srediscu/podrobneje_o/kaj_je_varnostna_kopija
- [13] CHARLES H.SOBEY Recovering Unrecoverable Data, ChannelScience, 2004
- [14] B.M. CHEN, T.H. LEE,K. PENG, V. VENKATARAMANAN Hard Disk Drive Servo Systems, 2nd Editon, 2006
- [15] (2011) <http://racunalniski-muzej.si/zbirka/shranjevanje-podatkov/luknjane-kartice>
- [16] (2011) <http://racunalniski-muzej.si/zbirka/shranjevanje-podatkov/magnetni-trak>
- [17] (2011) <http://sl.wikipedia.org/wiki/RAID>
- [18] (2007) <http://wiki.fmf.uni-lj.si/wiki/RAID>
- [19] (2011) http://www.acnc.com/04_01_02.html
- [20] (2010) <http://www.marros-it.com/faq/14-kaj-je-raid-polje>
- [21] (2010)
<http://www.anvip.com/dl.asp?title=IBM%20%20Hitachi%20Drive%20Fitness%20Test&cmd=6&cid=2207>
- [22] SHAN X.WANG, ALEXANDER M.TARATORIN Magnetic Information Storage Technology, Academic Press, 1999

[23] (2011) <http://www.zbirka.si/intersimbolna-interferenca/>

[24] WINN L. ROSCH Hardware Bible, Winn L. Rosch, 1997

[25] (2007) <http://fly.srk.fer.hr/~core/ergonomija/index.html>

[26] ISAAK MEYERGOYZ, CHUN TSE Spin-stand Microscopy Of Hard Disk Data, Elsevier BV, 2007

[27] (2011) <http://www.ntfs.com/>