

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

DAVORIN NOVAK

**ANALIZA RAZVOJA IN ZMOGLJIVOSTI
TRDIH DISKOV**

DIPLOMSKO DELO
VISOKOŠOLSKEGA STROKOVNEGA ŠTUDIJA

Mentor: mag. Igor Škraba

LJUBLJANA, 2010



Št. naloge: 00426/2009

Datum: 15.01.2009

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

Kandidat: **DAVORIN NOVAK**


Naslov: **ANALIZA RAZVOJA IN ZMOGLJIVOSTI MAGNETNIH DISKOV**
ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT AND PERFORMANCE OF HARD DISKS

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija

Tematika naloge:

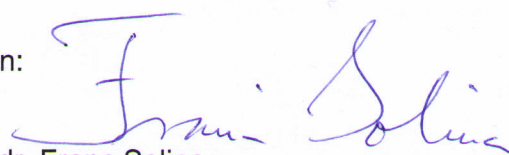
Magnetni diski so vse od 1950-tih let najpomembnejša vrsta pomožnih pomnilnikov. V nalogi podajte pregled tehnološkega razvoja in lastnosti trdih diskov. Podajte tudi oceno omejitev zmogljivosti in zanesljivosti trdih diskov, ki jih določa trenutna tehnologija.

Mentor:


pred. mag. Igor Škraba



Dekan:


prof. dr. Franc Solina

KAZALO

1	UVOD	1
2	PREGLED RAZVOJA TRDIH DISKOV	2
3	OSNOVNI PRINCIPI DELOVANJA	5
4	ZGRADBA TRDEGA DISKA	7
4.1	Vzdolžni magnetni zapis	7
4.2	Pravokotni magnetni zapis	7
4.3	Zapisovalni medij - plošče	8
4.4	Bralno-pisalne glave	11
4.4.1	Bralno-pisalne glave pri vzdolžnem in pravokotnem magnetnem zapisu	16
4.5	Drsniki, ročice in aktuator	18
4.6	Parkiranje bralno-pisalnih glav	22
4.6.1	Parkiranje bralno-pisalnih glav na plošče (CSS - Contact Start-Stop)	22
4.6.2	Parkiranje bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino	23
4.7	Motor za pogon plošč	25
4.8	Krmilnik trdega diska	29
4.9	Predpomnilnik na disku	30
4.10	Standardne velikosti ohišij trdih diskov	33
4.11	Vmesniki	34
4.11.1	Paralelni ATA vmesnik	34
4.11.2	Serijski ATA vmesnik	35
4.11.3	Paralelni SCSI vmesnik	36
4.11.4	Serijski SCSI vmesnik	36
4.11.5	Fibre Channel vmesnik	37
5	LASTNOSTI TRDIH DISKOV	38
5.1	Gostota zapisa	38
5.2	Format zapisa na trdem disku	40
6	ZMOGLJIVOST TRDIH DISKOV	42
6.1	Prenosna hitrost	42
6.2	Povprečni dostopni čas	44
6.3	Vpliv predpomnilnika na zmogljivost trdega diska	46
7	ZANESLJIVOST TRDIH DISKOV	47
7.1	Predvidevanje možnosti napake na trdih diskih	48
8	ALTERNATIVNE TEHNOLOGIJE SHRANJEVANJA PODATKOV	52
8.1	Hibridni trdi diski	52
8.2	Magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja (HAMR)	53
8.3	Self-Ordered Magnetic Arrays (SOMA)	54
8.4	Tehnologija Pixie Dust	55
9	ZAKLJUČEK	57
10	LITERATURA	58

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju, mag. Igorju Škrabi za strokovno pomoč in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala gre vsem ostalim, ki so mi v času pisanja diplomske naloge stali ob strani.

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

ABLE	Adaptive Battery Life Extender - prilagodljivo podaljševanje življenjske dobe baterije
AFC	Anti Ferromagnetic Coupled - antiferomagnetno-združen medij
ATA	Advanced Technology Attachment - vmesnik za trde diske
BPI	Bits per Inch - število bitov na palec (linearna gostota)
CSS	Contact Start-Stop - parkiranje bralno-pisalnih glav na plošče
dBa	A-weighted decibels - A-uteženi decibeli
ECC	Error-correcting code - koda za popravljanje napak
FC	Fibre Channel
FCP	Fibre Channel Protocol
FDB	Fluid Dynamic Bearings - tekočinski ležaji
GMR	Giant Magnetoresistance - efekt gigantske magnetne upornosti
HAMR	Heat-Assisted Magnetic Recording - magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja
HHD	Hybrid Hard Disk - hibridni trdi disk
IDE	Integrated Drive Electronics - naprava z vgrajenim krmilnikom
KB	KiloByte - kilobajt
LVDS	Low-voltage differential signaling - nizkonapetostna diferencialna signalizacija
MB	MegaByte - megabajt
MR	Magnetoresistance - efekt magnetne upornosti
MTBF	Mean time between failures - povprečni čas med napakama
NRRO	Non Repeatable Run-Out - neponovljive napake pri pozicioniranju
PFA	Predictive Failure Analysis - analiza predvidljivih izpadov
RAM	Random-Access memory - bralno-pisalni pomnilnik
RPM	Revolutions per minute - število obratov na minuto
SAS	Serial Attached SCSI - serijski SCSI
SCSI	Small Computer System Interface - vmesnik SCSI
S.M.A.R.T.	Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology - predvidevanje možnosti napake na trdih diskih
SMP	Serial Management Protocol - serijski protokol za upravljanje
SPT	Sector per track - število sektorjev na sledi
SSP	Serial SCSI Protocol - serijski SCSI protokol
STP	SATA Tunneling Protocol - SATA prehodni protokol
TB	TeraByte - terabajt
TPI	Track per Inch - število sledi na palec (gostota sledi)
TTL	Transistor-transistor logic - tranzistor-tranzistor logika
ZBR	Zone Bit Recording - conski zapis

POVZETEK

S pojavom novih tehnologij na področju trdih diskov se je z leti znatno povečala površinska gostota kot tudi prenosna hitrost vmesnikov, kar daje rezultat tako v večji zmogljivosti kot zanesljivosti trdih diskov. Vzrok tega so vse večje potrebe po večjih kapacitetah in hitrostih prenosa podatkov iz ali na trdi disk. V diplomski nalogi so predstavljene zgradba trdih diskov, lastnosti, zmogljivost in zanesljivost trdih diskov ter alternativne tehnologije shranjevanja podatkov. Poseben poudarek je namenjen razvoju tehnologij, ki bistveno prispevajo k zmanjševanju magnetnih domen na ploščah in s tem povečanju površinske gostote.

V prvem delu diplomske naloge sta opisana pregled razvoja trdih diskov po letih in osnovni princip delovanja. Sledi opis zgradbe trdih diskov z vsemi njegovimi sestavnimi deli. V tem poglavju sta predstavljena vzdolžni magnetni zapis, ki se je uporabljal včasih, in pravokotni magnetni zapis, ki se uporablja danes. Predstavljene so tudi zapisovalni mediji - plošče z njihovo strukturo plasti, bralno-pisalne glave, drsniki, ročice in aktuator, tehnologiji parkiranja bralno-pisalnih glav na ali izven plošč na klančino, motor za pogon plošč, krmilnik trdega diska, predpomnilnik na disku, standardne velikosti ohišij trdih diskov ter različni vmesniki. Sledi opis lastnosti trdih diskov, kamor spadata gostota zapisa in format zapisa na trdem disku. Pri zmogljivosti trdih diskov je govora o prenosni hitrosti, povprečnem dostopnem času in vplivu predpomnilnika na zmogljivost trdega diska. Sledi poglavje o zanesljivosti trdih diskov s predvidevanjem možnosti napak na trdih diskih. Zadnje poglavje pa je posvečeno alternativnim tehnologijam shranjevanja podatkov. Tako so opisani hibridni trdi diski, magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja, »Self-Ordered Magnetic Arrays« in tehnologija Pixie Dust.

ABSTRACT

With the emergence of new technologies in the field of hard drives we can witness a significant increase of surface density and transfer rate of interfaces which, as a result, enables greater performance and reliability of hard disks. The reason for this are increasing needs for higher capacities and data transfer rate to or from the hard disk. This thesis presents the structure of hard drives, features, performance and reliability of hard drives and alternative data storage technologies. Particular emphasis is to develop technologies that contribute significantly to the reduction of magnetic domains on the plates, thereby increasing the surface density.

In the first part of the thesis the development of hard disks over the years and the basic principles of their operation are examined. A detailed description of the structure of hard drives with all the components follows. The longitudinal magnetic recording, which was used in the past, and perpendicular magnetic recording, which is used today, are presented. Furthermore, the recording media - platters with their layer structure, read-write heads, sliders, arms and actuator, technology of parking read-write heads on or off the platters, spindle motor, hard disk controller, cache on the disk, the standard form factors of hard drives and different interfaces are presented. Next the characteristics of hard disks are described, including the areal density and the record format on the hard disk. When talking about performance of hard drives, the emphasis is on the speed of data transmission, the average access time and the impact of cache on the hard disk performance. Followed by a chapter on the reliability of hard drives in anticipation of the possibility of errors on hard disks. The final chapter describes the alternative data storage technologies, including Hybrid hard drives, Heat-assisted magnetic recording, Self-Ordered Magnetic Arrays technology and Pixie Dust.

1 UVOD

Trdi disk je ena najpomembnejših komponent vsakega sodobnega računalnika in predstavlja podatkovni center računalnika, torej mesto, kjer se hranijo vsi programi in podatki. V zadnjih dvajsetih letih so trdi diski doživeli izjemen napredek glede uporabljenih tehnologij, hitrosti in kapacitete. Naraščanje kapacitete trdih diskov v zadnjih dvajsetih letih lahko ocenimo s približno 67 % kumulativnega napredka na leto. Ob tem se je dramatično povečala tudi hitrost splošnega delovanja pogona kot tudi hitrost podatkovnih vmesnikov. Razlog za izjemen napredek trdih diskov je predvsem ta, da disk igra pomembno vlogo pri učinkovitosti sistema, kapaciteti hranjenja podatkov, programski podpori in zanesljivosti sistema.

2 PREGLED RAZVOJA TRDIH DISKOV

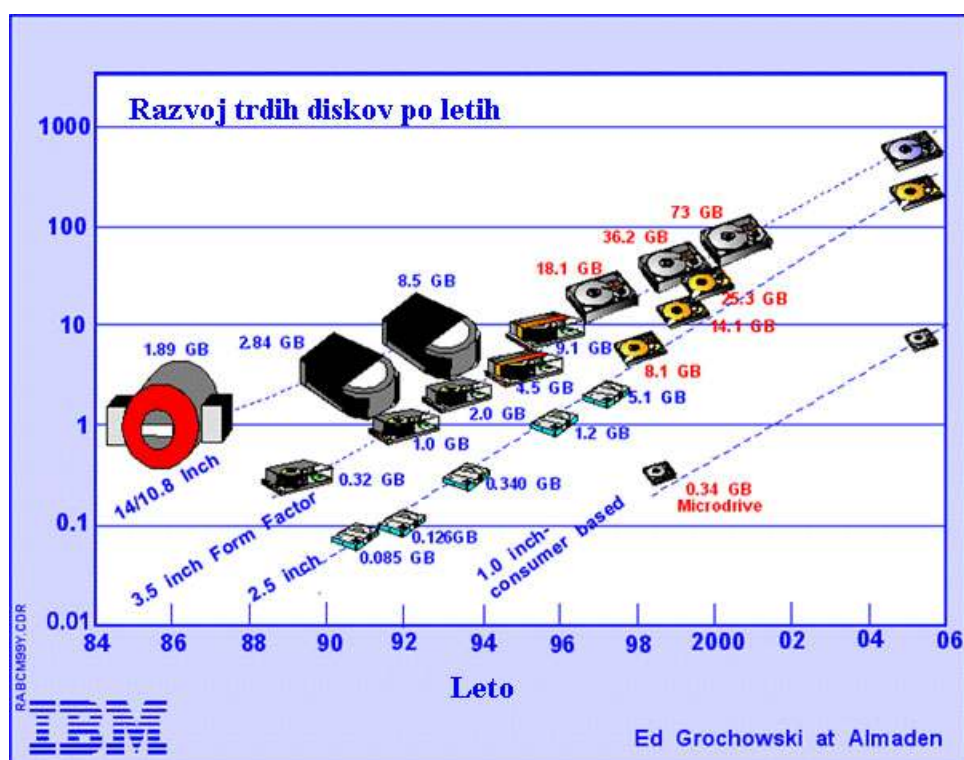
Trdi diski imajo precej dolgo zgodovino, ki sega v zgodnja petdeseta leta, točno v leto 1956, ko je IBM predstavil prvi trdi disk, poimenovan RAMAC, ki ni bil samo disk, pač pa celoten sistem. Sestavljen je bil iz 50 plošč, premera 24 palcev in hitrostjo vrtenja 1200 obratov na minuto. Obsegal je velikost dveh hladilnikov in je tehtal eno tono. Enota je uporabljala dve bralno-pisalni glavi, ki sta dostopali do vseh 50 plošč. Kapaciteta diska je bila 5 MB, hitrost prenosa podatkov 12,5 KB/s, cena izposoje sistema končnim uporabnikom pa je bila 130 dolarjev na mesec. Sistem je uporabljal aluminijeve drsnike, nikelj-železove bralno-pisalne glave, imel je 20 sledi na palec in površinsko gostoto 0.002 Mb/palec^2 , razmik med drsnikom in ploščo pa je bil okrog 20 mikrometrov. Koncept celotnega trdega diska je temeljil na naključnem dostopu, ki je bil realiziran s premikanjem bralno-pisalne glave preko sledi na ploščah.

Potek razvoja trdih diskov po letih [6]:

- Leta 1961 je IBM razvil bralno-pisalne glave, ki lebdiijo na zračni blazini
- Leta 1966 je isti proizvajalec predstavil prvi trdi disk, ki je uporabljal feritne bralno-pisalne glave s tuljavo z navitjem
- Leta 1970 je bilo v Kaliforniji ustanovljeno podjetje General Digital Corporation, leto kasneje preimenovano v Western Digital
- Leta 1973 je IBM naznanil 3340, prvi moderni »Winchester« trdi disk v zaprtem ohišju, s podmazano osjo in bralno-pisalno glavo z majhno maso
- Leta 1979 je bilo pod vodstvom Al-a Shugarta ustanovljeno podjetje za proizvodnjo trdih diskov, Seagate Technology
- Leta 1980 je IBM predstavil prvi trdi disk s kapaciteto enega gigabajta. Bil je velikosti hladilnika, tehtal je 250kg, njegova cena pa je bila 40.000 dolarjev
- Leta 1981 je podjetje Shugart Associates razvilo vmesnik Shugart Associates Systems Interface (SASI), ki je bil predhodnik vmesnika SCSI
- Leta 1983 je podjetje Rodime predstavilo prvi 3.5-palčni trdi disk; model RO352 je vseboval dve plošči s skupno kapaciteto 10 MB.
- Leta 1985 je bil razvit 40-pinski IDE vmesnik za prenos podatkov

- Leta 1985 je Western Digital proizvedel prvo ESDI kontrolno ploščo, ki je omogočala večje kapacitete in hitrejšje trde diske za uporabo v računalnikih
- Leta 1986 je bil izdelan vmesnik SCSI, ki ga je prvi uporabljal Applov računalnik Mac Plus
- Leta 1988 je podjetje Connor predstavilo prvi 1 palec visok 3.5-palčni trdi disk, ki je še danes standardni faktor oblike.
- Leta 1991 je IBM predstavil prvi trdi disk s tankoplastno pislno glavo in bralno glavo na osnovi magnetoresistivnega efekta (MR glava)
- Istega leta je Integral Peripherals-ov 1820 Mustang uporabljal eno 1.8-palčno ploščo, ki je imela kapaciteto 21 MB
- Leta 1992 je Seagate izdal prvi trdi disk s 7200 vrtljaji na minuto – 2.1 GB Barracuda
- Leta 1994 je Western Digital razvil izboljššan vmesnik za trde diske Enhanced IDE (EIDE)
- Leta 1996 je IBM shranil že 1 bilijon bitov/palec² na plošči
- Leta 1996 je Seagate predstavil družino diskov Cheetah, prve z 10.000 obrati na minuto
- Leta 1997 je IBM predstavil prvi trdi disk z uporabo bralnih glav na osnovi gigantskega magnetoresistivnega efekta
- Leta 1998 pa je Microdrive predstavil najmanjši trdi disk do tistega časa. Vseboval je 340 MB na eni sami 1-palčni plošči
- Leta 2000 je Seagate proizvedel prvi trdi disk s 15,000 obrati na minuto
- Leta 2002 je isti proizvajalec izdal prvi trdi disk s serijskim ATA (SATA) vmesnikom
- Leta 2002 je Seagate predstavil pravokotni magnetni zapis s 100 Gbit/palec². Med vsemi tehnološkimi dosežki tega leta je tudi uspešno demonstriral magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja (HAMR). Ta tehnologija zapisuje magnetno z uporabo toplotnega laserja, njen namen pa je stokratno povečati površinsko gostoto glede na dotedanje nivoje.
- Leta 2003 je IBM prodal svoj »Data Storage Divison« Hitachiju in s tem končal svojo udeležbo v razvijanju in trženju tehnologij trdih diskov
- Leta 2004 je Toshiba izdala prvi 0.85-palčni trdi disk, ki je hranil 2GB na eni sami plošči

- Leta 2005 je isti proizvajalec predstavil trdi disk, ki je hranil 40GB na eni 1.8-palčni plošči in je bil prvi, ki je uporabljal pravokotni magnetni zapis
- Leta 2006 je bil Seagate-ov Momentus 5400.3 trdi disk za prenosnike prvi 2.5-palčni trdi disk, ki je uporabljal pravokotni magnetni zapis, kar je povečalo kapaciteto do 160GB
- Leta 2006 je isti proizvajalec izdal tudi 750GB velik trdi disk, kar je bil do tedaj disk z največjo kapaciteto
- Leta 2006 je Seagate naznanil prvi 1-palčni trdi disk, ki je imel kapaciteto 12 GB
- Januarja 2007 je isti proizvajalec naznanil prvi 1 TB trdi disk



Slika 1: Zgodovinski potek dogodkov v razvoju trdih diskov

3 OSNOVNI PRINCIPI DELOVANJA

Trdi disk uporablja okrogle plošče, ki so prevlečene na obeh straneh s posebno magnetno prevleko za shranjevanje informacij v obliki magnetnih vzorcev. Plošče imajo v svojem središču luknjo, skozi katero so nasajene na vreteno. Vrtijo se z visokimi hitrostmi, poganja pa jih motor, ki je pritrjen na vreteno. Posebne elektromagnetne bralno-pisalne naprave, imenovane bralno-pisalne glave, so pritrjene na drsnike in se uporabljajo za pisanje podatkov na plošče in branje z njih. Drsniki so pritrjeni na ročice, oboji skupaj z glavami vred pa predstavljajo celoto. Ročice so povezane z aktuatorjem, ki služi za pozicioniranje bralno-pisalnih glav. Krmilnik nadzoruje aktivnosti vseh komponent in komunicira s preostalimi deli računalnika.

Vsaka površina plošče trdega diska lahko hrani več deset bilijonov posameznih magnetnih domen. Te so organizirane v večje gruče zaradi večje izkoriščenosti in za lažje in hitrejše dostopanje do informacij. Vsaka plošča ima dve bralno-pisalni glavi, eno z gornje in drugo s spodnje strani. Informacije na plošči so zapisane v koncentričnih krogih, imenovanih sledi. Vsaka sled je nadalje razdeljena v manjše enote, imenovane sektorji, vsak od njih pa hrani 512 bajtov podatkov.

Celoten trdi disk mora biti proizveden natančno zaradi izjemne majhnosti komponent in pomembnosti trdega diska v računalniku. Glavni deli trdega diska so ločeni od okolice, da na plošče ne pridejo kakršnekoli nečistoče, kar bi lahko povzročilo poškodbo bralno-pisalnih glav.

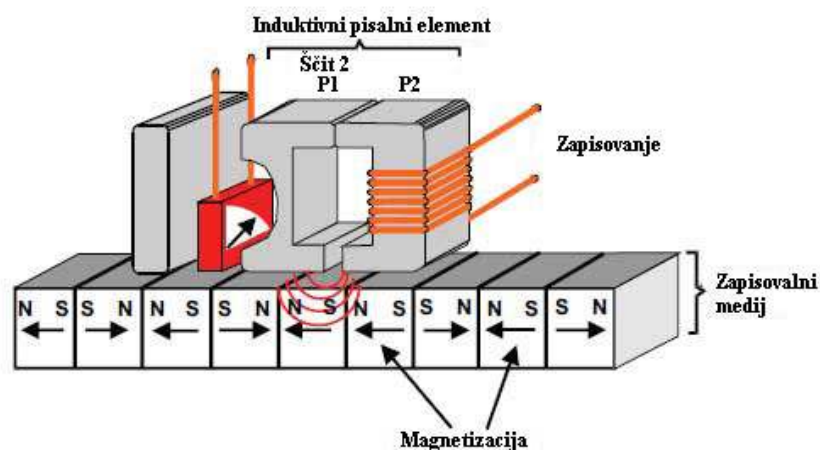
V nadaljevanju je predstavljen primer, ki v grobem prikazuje, kaj se dogaja v trdem disku, vsakič ko je s plošče prebrana informacija. Gre za zelo posplošen primer, ker ignorira faktorje, kot so predpomnenje, popravljanje napak in več ostalih posebnih tehnik, ki jih uporabljajo današnji sistemi za povečanje zmogljivosti in zanesljivosti. Na večini računalnikov se namreč sektorji ne berejo individualno, pač pa so grupirani skupaj v gruče. Tipični opravke, kot je nalaganje datoteke v program za preglednice, lahko vključuje na tisoče ali celo milijone individualnih dostopov do diska in nalaganje 20 MB velike datoteke po 512 bajtov naenkrat bi bilo preveč neučinkovito:

- V prvem koraku pri dostopanju do diska je potrebno ugotoviti, kje na disku iskati določeno informacijo. Za določitev, s katerega dela plošče je potrebno brati podatke, skrbijo aplikacija, operacijski sistem, sistemski BIOS in včasih poseben programski gonilnik za trdi disk.
- Lokacija na plošči mora nato prestati enega ali več korakov translacije, preden se disku pošlje končna zahteva z naslovom, izraženim v smislu njegove geometrije. Le ta je izražena s številko cilindra, glave in sektorja. Zahteva je poslana disku preko vmesnika trdega diska s posredovanjem tega naslova in z zahtevo po branju sektorja.
- Kontrolni program trdega diska najprej preveri, če je zahtevana informacija že v predpomnilniku trdega diska. Če se tam že nahaja, potem krmilnik dostavi informacijo takoj, ne da bi moral brati s površine plošče.
- V večini primerov se plošče že vrtijo. Če pa se ne, ker so izklopljene zaradi varčevanja z energijo, potem mora krmilnik aktivirati motor za pogon plošč, da se le te začnejo vrteti z delovno hitrostjo.
- Krmilnik prepozna naslov, ki ga prejme za branje podatkov in izvede razne dodatne ukrepe, ki upoštevajo posebne lastnosti trdega diska. Logika programa trdega diska nato preveri zadnjo številko zahtevanega cilindra. Ta številka pove trdemu disku, s katere sledi mora brati podatke. Krmilnik nato pošlje zahtevo aktuatorju, da postavi bralno-pisalno glavo na zahtevano sled.
- Ko so glave na pravi poziciji, krmilnik aktivira glavo za branje podatkov. Nato začne z branjem, tako da poišče zahtevan sektor. Počaka, da se plošča v krogu zavrti na točno številko sektorja in ko pride ta sektor pod glavo, prebere njegovo vsebino.
- Krmilnik tok podatkov, prebranih s plošče, shrani v začasno hranilno področje oz. predpomnilnik. Potem pošlje podatke preko vmesnika trdega diska, navadno v sistemski pomnilnik, s čimer je izvršena sistemska zahteva po podatkih.

4 ZGRADBA TRDEGA DISKA

4.1 Vzdolžni magnetni zapis

Več let so trdi diski uporabljali vzdolžni magnetni zapis, pri katerem je namagnetenje bitov usmerjeno vzdolžno glede na smer premikanja plošče. Površinska gostota se je pri tej tehnologiji povečevala približno za 100% na leto, vendar je dosegla zgornjo mejo, zato se je pojavila potreba po novih tehnologijah. Za povečevanje površinske gostote pri vzdolžnem magnetnem zapisu morajo biti podatkovni biti vedno manjši in bližje en drugemu. Obstaja pa spodnja omejitev velikosti bita in če so le ti premajhni, se lahko zgodi, da postane magnetno polje bita prešibko in termična energija atomov čez čas povzroči razmagnetenje. Ta pojav imenujemo superparamagnetizem. Da bi se temu izognili, so proizvajalci povečevali koercivnost trdega diska. Izraz koercivnost pomeni jakost magnetnega polja, potrebno za zmanjšanje namagnetenje magnetnega materiala na nič, po tem ko doseže zasičenost. Današnja gostota vzdolžnega magnetnega zapisa presega 100 Gbit/palec².

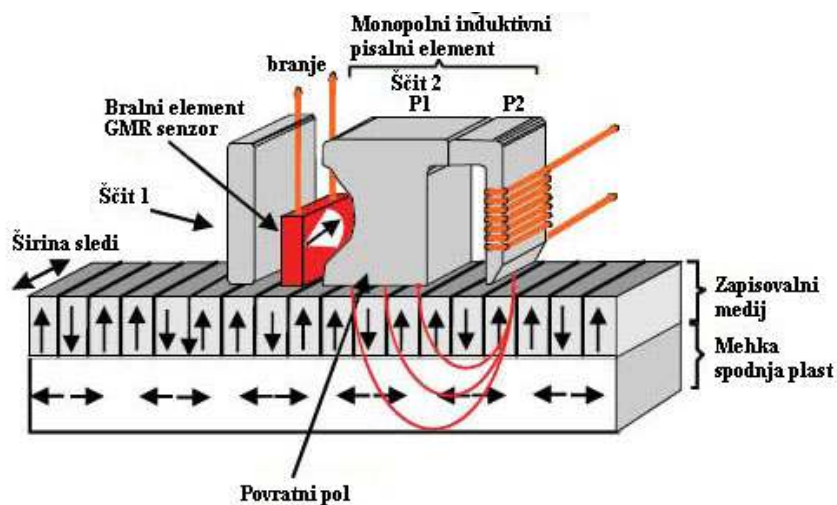


Slika 2: Zapisovalni medij ter bralna in pisalna glava pri vzdolžnem magnetnem zapisu

4.2 Pravokotni magnetni zapis

Leta 1976 je bila prvič preizkušena nova zanimiva tehnologija zapisovanja, poimenovana pravokotni magnetni zapis. V osemdesetih letih se je uporabljala v gibkih diskih, leta 2005 pa je bila prvič uporabljena v trdih diskih. Pravokotni magnetni zapis omogoča večjo površinsko

gostoto, ter izboljša zanesljivost in robustnost. V nasprotju z vzdolžnim magnetnim zapisom je pri pravokotnem orientacija bitov usmerjena gor ali dol pravokotno glede na ploščo.



Slika 3: Zapisovalni medij ter bralna in pisalna glava pri pravokotnem magnetnem zapisu

Posebnost pri pravokotnem magnetnem zapisu je mehkomagnetna spodnja plast (SUL). Ta plast prevaja magnetni tok brez težav. Ko je pisalna glava spodbujena (pod napetostjo), se tok zbere pod majhnim vrhom pola in ustvarja močno magnetno polje v majhni reži med vrhom pola in mehkomagnetno spodnjo plastjo. Zapisovalna plast, ki hrani podatke, je direktno v tej reži, kjer je polje najbolj močno. Močnejša polja dovoljujejo uporabo medijev z višjo koercivnostjo. Tak medij zahteva močnejše polje za usmeritev namagnetjenja, ampak ko je usmerjeno, je le-to posledično bolj stabilno. Prisotnost mehkomagnetne spodnje plasti prav tako ojača povratne signale in pomaga zmanjšati motnje s sosednjih sledi.

4.3 Zapisovalni medij - plošče

Trdi disk vsebuje eno ali več plošč, ki so na skupni osi in se uporabljajo za hranjenje podatkov. Plošča je sestavljena iz več plasti:

- substrata (podlage), ki daje plošči stabilno obliko
- magnetne prevleke, ki služi za shranjevanje podatkov
- zaščitnih plasti



Slika 4 : Struktura plasti zgradbe plošče

Trdi diski so dobili ime po togosti plošč v primerjavi z gibkimi diski, katerih plošče so fleksibilne. Plošče so visoke kvalitete, magnetna prevleka pa je zelo natančno izdelana. Trde diske sestavljajo v čistih sobah, da se zmanjša možnost kakršnekoli nesnage ali prahu na ploščah. Velikost plošč v trdih diskih se določa po njihovih fizičnih dimenzijah, poimenovanih tudi faktor oblike (standardne velikosti). Večina trdih diskov se proizvajajo v eni od standardnih velikosti, vse plošče v določenem trdem disku pa imajo isti premer.

Prvi namizni računalnik je uporabljal trde diske s premerom plošč 5.25 palcev, medtem ko danes prevladujejo plošče premera 3.5 palcev. Premer plošč trdih diskov v prenosnih računalnikih je običajno manjši, ker proizvajalci težijo k lažjemu in manjšemu in znaša 2.5 palca ali manj. V mobilnih napravah, kot so dlančniki in kamere pa se uporabljajo plošče s premerom 1.8 palca in 1.0 palca.

Trdi diski imajo lahko eno ali več plošč, odvisno od kapacitete. Navadno je število plošč med ena in pet, v starejših trdih diskih in diskih za strežnike pa še več. V vsakem trdem disku so plošče nameščene na skupno os, tako da tvorijo celoto, ki se vrti kot ena enota, poganja pa jo motor za pogon plošč. Plošče se držijo narazen z uporabo razmikalnega obroča, ki je del vretena. Celotna sestava je na vrhu zavarovana s pokrovom. Vsaka plošča ima dve površini in navadno se obe uporabljata za hranjenje podatkov, ni pa nujno. Pri nekaterih starejših trdih diskih, ki uporabljajo »vsebovan servozapis«, je ena površina namenjena za hranjenje servo informacije – servo površina. Z inženirskega stališča obstaja več faktorjev, ki vplivajo na število plošč. Trdi diski z večjim številom plošč so težji za projektiranje zaradi večje mase in potrebe po popolnem poravnanju vseh plošč ter težav pri zmanjševanju hrupa in obvladovanju vibriranja. Ker je pri več ploščah masa večja, se plošče zaganjajo in ustavljajo počasneje, kar se lahko kompenzira z močnejšim motorjem vretena. V bistvu gre današnji trend proti diskom z manjšim številom plošč. Površinska gostota še naprej raste, kar

omogoča trde diske z veliko kapaciteto in manjšim številom plošč. Velik vpliv na število plošč ima tudi faktor oblike. Ker je višina trdega diska omejena na 1 palec, je s tem tudi omejeno število plošč, medtem ko imajo večji diski za strežnike višino 1.6 palca, imajo lahko tudi več plošč kot diski za namizne računalnike.

Magnetni vzorci, ki predstavljajo podatke, se zapisujejo na zelo tanko magnetno plast na površini plošče. Material večjega dela plošče se imenuje substrat (podlaga) in nima druge vloge, kot da nosi magnetno plast. Ta podlaga mora biti toga, lahka, stabilna, magnetno inertna (neaktivna) in poceni. Pri starejših trdih diskih je bil najbolj pogosto uporabljen material za izdelavo plošč aluminijeva zmes, ki izpolnjuje vse omenjene pogoje. Zaradi hitrosti, s katero se plošče vrtijo in bralno-pisalnimi glavami lebdečimi tik nad njimi, morajo biti plošče izredno gladke. Ker se višina lebdenja glav niža in hitrost vrtenja plošč povečuje, se povečuje tudi možnost trkov glav s ploščo. Zaradi tega je podlago iz aluminijeve zmesi zamenjalo steklo oz. magnezijeva zmes. V primerjavi z aluminijevimi, imajo steklene plošče več prednosti, te so lažja obdelava, izboljšana togost, tanjše plošče in termična stabilnost. Magnetna plast je zelo tanka prevleka, debeline samo nekaj milijonink palca. Starejši trdi diski so uporabljali oksidno plast, in sicer železov oksid, ki je poceni, vendar ima nekaj pomanjkljivosti. Prva je ta, da je mehak material in se hitro poškoduje ob kontaktu z bralno-pisalnno glavo, druga pa je, da je uporabna samo za relativno nizke gostote zapisa, zato se danes zamenjuje z drugimi snovmi.

Pri današnjih trdih diskih se uporablja več metod nanosa tanke plasti magnetne prevleke. Ena je galvanizacija oz. nanos tanke kovinske prevleke, druga pa brizganje, ki uporablja proces usedline hlapov, kar naredi zelo tanko plast magnetnega materiala. Brizgane plošče imajo prednost bolj enotne in ravne površine kakor plošče s kovinsko prevleko. Zaradi povečane potrebe po visoki kvaliteti novejših trdih diskov je brizganje primarna metoda kljub njeni visoki ceni. V primerjavi z oksidnim medijem je medij s tanko prevleko magnetne plasti veliko bolj homogen in gladek. Ima tudi boljše magnetne lastnosti, ki dovoljujejo večjo površinsko gostoto. Je trši in bolj trpežen material kot oksid in zaradi tega veliko manj občutljiv na poškodbe. Po nanosu magnetne plasti, se površina vsake plošče premaže s tanko zaščitno plastjo, narejeno iz karbona. Na vrhu tega je dodana izjemno tanka mazivna plast. Ti materiali se uporabljajo za zaščito plošč pred poškodbami, ki lahko nastanejo ob dotiku bralno-pisalne glave s ploščo. Leta 2000 so IBM-ovi raziskovalci razvili novo substanco, ki je zamenjala medije s tanko magnetno prevleko. Namesto brizganja kovinske plasti se

nanašajo na plošče organske molekule in delci železa ter platine. Ta zmes se raznese in segreje, nato pa se železovi in platinasti delci spontano porazdelijo v mrežo kristalov, vsak od njih pa je zmožen hraniti magnetno polje. IBM imenuje to strukturo super-mreža nano kristalov. S to tehnologijo se je povečala površinska gostota zapisovalnega medija trdega diska za 10 do 100 krat v primerjavi s prejšnjimi tehnologijami.

4.4 Bralno-pisalne glave

Bralno-pisalne glave trdega diska so vmesnik med magnetno ploščo in preostalimi elektronskimi deli trdega diska. Električne signale pretvarjajo v magnetne impulze in jih zapisujejo na plošče, pri branju pa je postopek ravno obraten. Z leti so se razvijale ter postale izjemno napredne in zahtevne. Nove tehnologije bralno-pisalnih glav so prispevale k povečanju hitrosti prenosa podatkov in kapacitete modernih trdih diskov. Načeloma je zgradba bralno-pisalnih glav relativno preprosta. So energijski pretvornik oz. drobcen elektromagnet, ki pretvarja električne signale v magnetne ter obratno.

Starejše bralno-pisalne glave delujejo z uporabo dveh glavnih načel elektromagnetike. Prvo načelo je, da električni tok skozi tuljavo proizvede magnetno polje, kar se uporablja pri zapisovanju na ploščo. Smer proizvedenega magnetnega polja je odvisna od smeri toka, ki teče skozi tuljavo. Obratno je pri branju, ko sprememba smeri namagnetjenja povzroči inducirano napetost.

Novejše MR in GMR glave ne uporabljajo inducirane napetosti v tuljavi za branje informacij, temveč uporabljajo princip magnetne upornosti, kjer nekateri materiali pri spremembi smeri magnetnega polja spremenijo električno upornost.

Starejše bralno-pisalne glave so izvajale operaciji branja in pisanja z istim elementom, novejše MR in GMR glave pa uporabljajo različne elemente, posebej za branje in posebej za pisanje. Efekt magnetne upornosti deluje samo v načinu branja. S povečevanjem površinske gostote so biti manjši, veliko bolj skupaj in šibkejši, zato morajo biti glave bolj občutljive, da lahko preberejo ta šibkejša magnetna polja. Temu ustrezajo MR in GMR glave, ki so bolj občutljive in so lahko zelo majhne, da ne berejo bitov s sosednjih sledi. Za pretvorbo šibkih električnih signalov v ustrezne digitalne signale, ki predstavljajo realne podatke, se uporablja posebni ojačevalnik. Zaradi vse šibkejših signalov pa se mora uporabljati tudi zaznavanje in

popravljanje napak. Nekatere novejšje glave imajo nameščene magnetne ščite na obeh straneh bralne glave, da se izognejo vplivom sosednjih magnetnih polj.

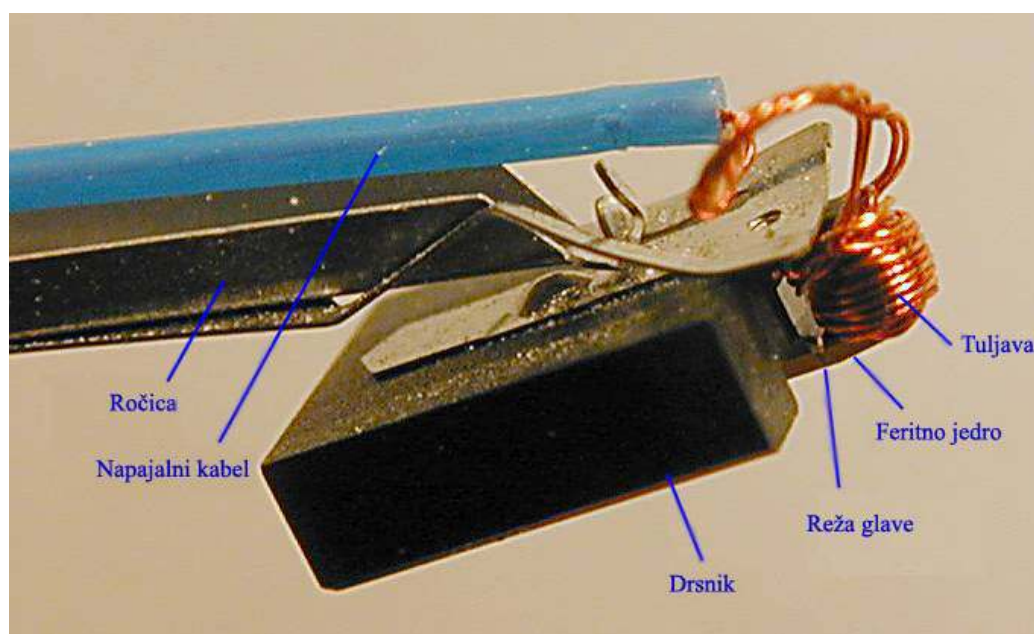
Število bralno-pisalnih glav je odvisno od števila površin plošč, ki se uporabljajo za podatke. V modernejših diskih se uporabljata obe površini plošče, navadno pa so v trdem disku od 1 do 4 plošče (v diskih za strežnike do 12), tako da je število bralno-pisalnih glav od 2 do 8. Naenkrat lahko bere ali zapisuje samo ena glava. Za nadzor se uporablja posebno vezje, ki nadzoruje, katera glava je v določenem trenutku aktivna.

Za razliko od mehkih diskov (disket) in magnetnih trakov pri trdih diskih bralno-pisalne glave nimajo kontakta z medijem (ploščo). Razlog za to je hitrost, s katero se plošče vrtijo in potreba po pogostem odčitavanju med različnimi sledmi. Bralno-pisalne glave so nameščene na prožnih ročicah, ki povzročajo, da se drsnik dotakne plošče, ko so le te v mirovanju. S tem je zagotovljeno, da glave ne zdrsnejo s plošč. Ko se plošče začnejo vrteti in ko dosežejo obratovalno hitrost, se pri visoki hitrosti vrtenja ustvari tok zraka pod drsnikom, ki dvigne glave nad ploščo. Višina lebdenja se meri v milijoninkah palca in znaša približno 5 nanometrov. Zaradi te izjemno majhne razdalje med ploščo in bralno pisalno glavo, se diski sestavljajo v »čistih sobah«, ki imajo filtre za odstranjevanje tudi najmanjših delcev. Za delovanje glav je potreben zrak, tako da v disku ni vakuuma, kot nekateri mislijo. Prav tako je zmotno mišljenje, da je notranost trdega diska zapečaten. Notranje okolje je sicer ločeno od zunanjega, da ostane zrak čist, vendar je dovoljena izmenjava notranjega in zunanjega zraka za prilagoditev sprememb v zračnem pritisku. Za preprečitev kontaminacije se uporablja poseben zračni filter. Nekateri trdi diski imajo vgrajene senzorje, ki nadzorujejo višino lebdenja glav in signalizirajo opozorilo, če pade višina lebdenja pod sprejemljivo mejo.

Zaradi nizkega lebdenja glav je ob nekaterih okoliščinah možnost dotika s ploščo. Navadno se bralno-pisalne glave dotaknejo površine plošč pri zaganjanju in ustavljanju plošč, kar velja za starejše trde diske s tehnologijo parkiranja bralno-pisalnih glav na plošče. Če pa se glave dotaknejo plošč pri nazivnih obratih, pride do možnosti izgube podatkov, poškodbe glave ali površine plošč. To se imenuje »trk glave«, za kar je najpogostejši vzrok kontaminacija ali udarec ob delovanju trdega diska. Kljub nizkemu lebdenju glav pri novejših trdih diskih, so le ti manj dovzetni za trke kot starejši trdi diski. Razlog za to je napreden dizajn pri omejevanju kontaminacije, bolj toge notranje strukture in posebne tehnike, ki zmanjšujejo vibracije in udarce. Do neke mere lahko možnost poškodb preprečuje zaščitna plast, s katero

so prevlečene plošče. Kljub temu je potrebno biti pri rokovanju s trdim diskom zelo previden, še posebno v stanju delovanja.

Starejši trdi diski so uporabljali feritne glave, ki so imele samo en element tako za pisanje kot branje. Te preproste naprave, so bile narejene iz majhnega visoko magnetnega feritnega jedra v obliki črke C, na katero je bila s tanko žico navita tuljava. Pri pisanju ja tuljava spodbujena in ustvari se močno magnetno polje v reži tega elementa. Zapisovalna površina v okolici te reže se namagnetni. Pri branju se ob spremembi magnetnega polja v tuljavi ustvari inducirana napetost. Reža je tam, kjer je polje zelo močno, precej ozka in je približno enaka debelini magnetnega medija na zapisovalni površini. Reža določa najmanjšo velikost zapisovalnega področja na plošči. Feritne glave so velike in lebdiyo precej daleč od površine plošče, zato so potrebna močnejša magnetna polja, zapisovalna področja (magnetne domene) pa so precej velike.



Slika 5: Feritna bralno-pisalna glava

Razvojno izboljšanje feritnih glav so Metal-In-Gap (MIG) glave. V bistvu imajo enak dizajn kot feritne glave, dodan je še poseben kovinski nanos v glavo. Ta sprememba zelo poveča njene magnetne sposobnosti in dovoljuje uporabo MIG glav s ploščami večjih gostot, s čemer se poveča kapaciteta.

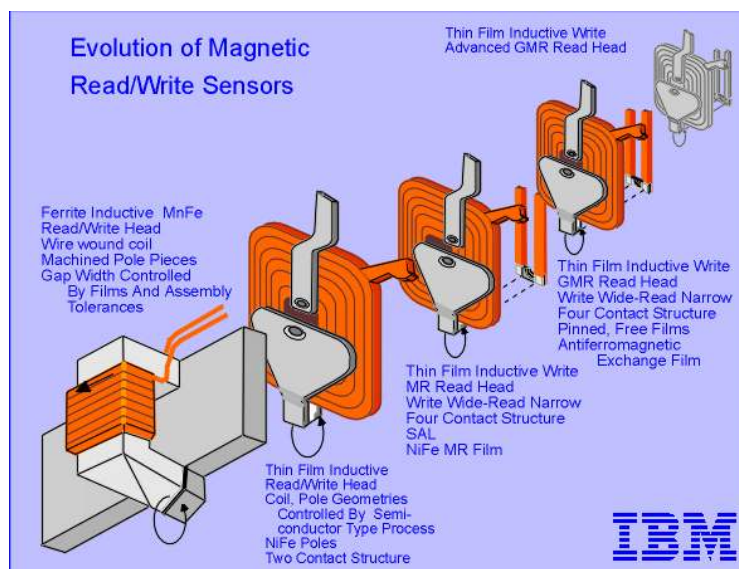
Tankoplastne glave imajo povsem drug dizajn kot feritne in MIG glave. Ime so dobile po načinu izdelave tuljave, in sicer s fotolitografskim procesom, podobno kot so narejena integrirana vezja. Z enako tehniko se izdelujejo moderne plošče s tanko prevleko. Železovo jedro starejših glav se ne uporablja več. Podloga je prekrita z zelo tanko plastjo zmesi v posebnih vzorcih. Rezultat je v zelo majhni in natančni glavi, katere karakteristike so skrbno nadzorovane. Tankoplastne glave zaradi manjših dimenzij omogočajo veliko večje gostote in veliko manjšo višino lebdenja glav kot pri starejših tehnologijah.

Medtem ko feritne in tankoplastne glave pri branju delujejo na osnovi inducirane napetosti v tuljavi ob spremembi magnetnega polja, uporabljajo MR glave čisto drugačen princip. Uporabljajo poseben prevoden material, ki spremeni svojo električno upornost v prisotnosti magnetnega polja. Ko se glava premika čez površino plošče, ta material spremeni električno upornost pri spreminjanju smeri magnetnega polja ustrezno z vzorci na plošči. Sprememba električne upornosti MR senzorja ni več odvisna od hitrosti spremembe magnetnega polja kot pri feritnih in tankoplastnih glavah. Zato uporaba MR glav za branje dovoljuje uporabo veliko večje površinske gostote, in manjše obodne hitrosti plošč, zato imajo plošče lahko manjši premer. Ker MR glave ne ustvarjajo bralnih impulzov na tak način kot tankoplastne glave, so bolj občutljive na spremembe magnetnih polj na plošči. To dovoljuje zapise s šibkejšim magnetnim poljem in s tem so lahko magnetne domene veliko bolj skupaj, brez kakšnih motenj med njimi. Tako se je lahko bistveno povečala površinska gostota zapisa. MR tehnologija se uporablja samo za branje podatkov, za zapisovanje pa se uporablja ločeno standardna tankoplastna glava. To ločevanje opravkov, posebej za branje in posebej za pisanje, ima dodatne prednosti. Pri tankoplastnih glavah, ki služijo za branje in pisanje, bi se v primeru izboljšanja zmogljivosti branja zmanjšala učinkovitost pisanja in obratno. Primer je povečava števila navojev žice okrog jedra pri standardnih bralno-pisalnih glavah, s čemer se poveča občutljivost za branje, vendar je veliko težje zapisovanje pri visokih hitrostih vrtenja plošče. Ker se MR glava uporablja samo za branje, je lahko tankoplastna pisalna glava posebej optimizirana samo za pisanje. Od predstavitve MR glav od leta 1991 naprej se je znatno povečala gostota zapisa in posledično kapaciteta trdih diskov, ki je s to takrat novo tehnologijo preseгла mejo 1 GB. Kljub temu imajo tudi MR glave omejitve, predvsem v površinski gostoti, ki jo lahko obvladujejo. Naslednik MR glav so GMR glave, kar je ime za efekt gigantske magnetne upornosti.

GMR glave delujejo na enakem principu kot MR glave, vendar uporabljajo drugačen dizajn. Ne imenujejo se gigantske zaradi velikosti, so dejansko manjše od navadnih MR glav, temveč zaradi večje spremembe električne upornosti pod vplivom spremembe smeri magnetnega polja. GMR senzor sestavljajo 4 plasti tankega materiala, združene skupaj v eno strukturo:

- Prosta plast: to je senzorska plast, narejena iz nikelj-železove zmesi. Njeno ime pomeni, da se prosto obrača (vrti) kot reakcija na spremembe magnetnih vzorcev na plošči.
- Distančnik: ta plast je nemagnetna, navadno narejena iz bakra in je nameščena med prosto in fiksno plastjo, da ju magnetno loči.
- Fiksna plast: Ta plast kobalnega materiala se nahaja v fiksni magnetni orientaciji na temelju njene bližine izmenjevalni plasti.
- Izmenjevalna plast: Ta plast je narejena iz antiferomagnetnega materiala, tipično sestavljenega iz železa in mangana ter usmerja magnetno orientacijo fiksne plasti.

Ko glava prečka magnetno polje ene polarnosti, so elektroni proste plasti poravnani s tistimi od fiksne plasti. To ustvari nižjo upornost v celotni strukturi glave. Ko gre glava mimo magnetnega polja nasprotne polarnosti, se elektroni obrnejo, tako da niso poravnani s tistimi v fiksni plasti. To povzroči povečanje električne upornosti celotne strukture. Spremembe upornosti so povzročene s spremembami karakteristike obračanja elektronov v prosti plasti in iz tega razloga je IBM poimenoval to strukturo »spin valves«. GMR glave so naprednejše od MR glav, ker so bolj občutljive. Medtem ko starejše MR glave tipično kažejo 2% v spremembi upornosti pri prečkanju preko ene magnetne polarnosti do druge, je pri GMR glavah ta odstotek med 5% in 8%. To pomeni, da lahko GMR glave zaznajo veliko šibkejše in manjše spremembe magnetnega polja, kar je ključ do povečanja površinske gostote, s tem pa kapacitete in zmogljivosti. Zato so GMR glave lahko manjše in lažje kot MR glave. Tipično so opremljene s ščitom, ki preprečuje, da bi na GMR bralni senzor vplivala razen zapisa, ki je direktno pod glavo tudi magnetna polja sosednjih zapisov .



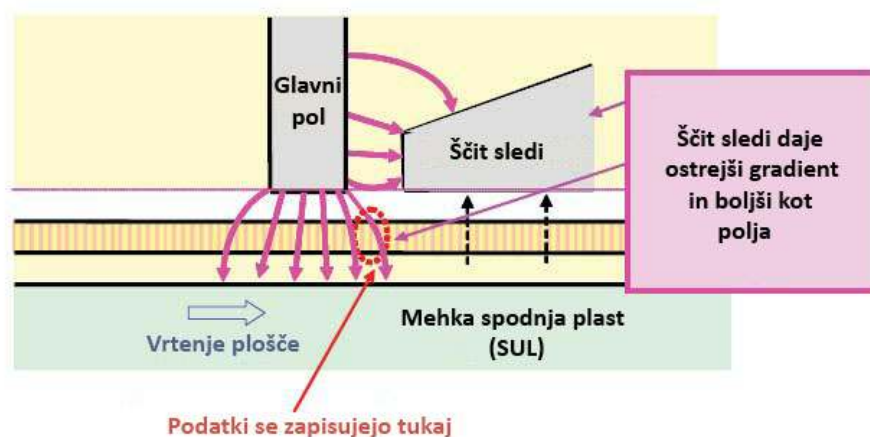
Slika 6: Razvoj bralno-pisalnih glav

4.4.1 Bralno-pisalne glave pri vzdolžnem in pravokotnem magnetnem zapisu

Pri glavi za vzdolžni magnetni zapis je magnetno polje za pisanje ustvarjeno iz tanke nemagnetne reže v krožni glavi in ima večjo vzdolžno komponento kot pravokotno. Pri pravokotnem zapisu ima medij namagnetenje obrnjeno v smeri gor-dol. Za doseganje sposobnosti pisanja mora pisalna glava za pravokotni magnetni zapis ustvariti polje, ki ima večjo pravokotno komponento kot vzdolžno. Kot je prikazano na sliki 8 posamezen pol glave za pravokotni magnetni zapis, kombiniran z mehkomagnetno spodnjo plastjo, ponuja močno pravokotno pisalno polje, medtem ko je vzdolžna komponenta bolj zmanjšana. Magnetno polje za pravokotni zapis ne izhaja iz reže, temveč je ustvarjeno iz površine pola in zbrano s spodnjo mehkomagnetno plastjo. Ker se v modernih diskovih ročica ne giblje tangencialno glede na sledi, bralno-pisalna glava na vseh sledih ni vzporedna s sledjo.

Čeprav bralna glava ni zelo spremenjena, so oblike bralnega signala povsem drugačne in so zato potrebne nove tehnike obdelave bralnega signala.

To, kar je bilo opisano do sedaj in kar ponazarja slika 6, velja za prvo generacijo te tehnologije. Druga generacija vključuje spremembe pisalne glave, zapisovalnega medija in bralno-pisalne elektronike, ki povečajo zanesljivost pri branju. Pisalni glavi je dodan ščit, ki je nameščen blizu roba sledi od vrha pola, kjer je zapisan podatek, kar ponazarja slika 7.



Slika 7: Druga generacija pravokotnega magnetnega zapisa

Prednost take strukture bralno-pisalne glave je, da polje zelo hitro oslabi, ko se medij premakne izpod vrha pola pod ščit. Ta strm padec jakosti polja pomeni, da so lahko zapisani biti veliko bolj ostro določeni in manjši.

Hitachijeva druga generacija GMR glav s ščitom sledi ima močno kontrolo nad debelino ščita in režo med robom sledi pola za zapleteno uravnoteženje vzajemnega delovanja med ščitom sledi in glavnim polom. Ustreznost medija za glave s ščitom sledi je odločilna, zato da lahko ustvari prednost vzpona višjega polja in bolj optimalni kot polja, ter ustvarjanje prilagojene moči polja. Pri zapisovanju na medij s primernimi karakteristikami, te glave zapisujejo bolj ostre (močne) bite. Kot rezultat prinaša trdi disk boljše razmerje napak bita in zaradi tega boljšo zanesljivost. Poleg optimizacije strukture glave za učinkovitost zapisovanja obstajajo ostali izzivi (tehnični problemi), ki so tudi edinstveni za bralno-pisalne glave za pravokotni magnetni zapis. Le ti so brisanje pola in posameznih (osamljenih, izgubljenih) polj. Oba problema lahko pripeljeta do popačenja podatkov, če ne postopamo pravilno. Brisanje pola se nanaša na pojav, kjer pisalni pol nadaljuje oddajanje magnetnih polj, tudi ko je pisalni tok nastavljen na nič na koncu pisalnega cikla. Kot rezultat so lahko podatki izbrisani nenamerno. Ta pojav nastaja iz zelo majhnega obsega in feromagnetne narave pravokotnih pisalnih polov. Posebna prizadevanja v izbiri tankoplastnega magnetnega materiala in procesov so nujni za zagotovitev proste pisalne glave za brisanje pola. Ena od začetnih težav tehnologije pravokotnega magnetnega zapisa je bila povečana občutljivost na zunanja magnetna polja. Povečana občutljivost na posamezna polja izvira iz medsebojnega vplivanja med pisalno glavo in mehko spodnjo plastjo. Ta zunanja polja so posebna skrb pri

mobilnih napravah, kjer lahko na primer magnetna zapestnica na zapestju nekoga pride na razdaljo parih centimetrov od trdega diska v prenosnem računalniku. Brez posebne strukture glave lahko zunanja polja zelo popačijo zapis podatkov in bralne signale ter povzročajo napake. V nekaterih skrajnih primerih lahko zunanje polje povzroči nepopravljiv izbris podatkov. Z natančnim strukturiranjem glave in medija je bil Hitachi sposoben pripeljati stabilnost zunanjih polj na nivo, ki je ekvivalenten ali celo boljši od trenutnih trdih diskov za vzdolžni zapis. Kljub temu da predstavitev te nove tehnologije omogoča presenetljivo zmogljivost, pogosto nove tehnologije predstavljajo tveganja v zanesljivosti. Hitachi je uspešno preučil in obravnaval možne probleme, ki so povezani z novo tehnologijo pravokotnega magnetnega zapisa.

4.5 Drsniki, ročice in aktuator

Bralno-pisalne glave so montirane na drsnik, le ta pa je pritrjen na konec ročice. Vsi trije skupaj so mehansko združeni v enotno strukturo, ki se premika čez površino diska s pomočjo aktuatorja. Te tri komponente trdega diska igrajo pomembno vlogo pri delovanju in zmogljivosti trdega diska.

Bralno-pisalne glave trdega diska so premajhne, da bi bile pritrjene direktno na ročico. Zaradi tega je vsaka glava trdega diska nameščena na posebno napravo, imenovano drsnik. Naloga drsnika je, da fizično podpira glavo in da se pri vrtenju plošče med njim in ploščo ustvari zračna blazina (zračni ležaj), ki drži drsnik in glavo na določeni razdalji nad ploščo. Drsnik je zato aerodinamično oblikovan, na zunanji strani drsnika sta dve prečki oz. tračnici, ki določata višino lebdenja nad površino plošče, v sredini pa je pritrjena bralno-pisalna glava, navadno na dodatni prečki.

Z zmanjševanjem bralno-pisalnih glav se je zmanjšala tudi velikost drsnikov. Največja prednost uporabe manjših drsnikov je manjša teža, kar omogoča hitrejše premike bralno-pisalnih glav, kar izboljša tako hitrost pozicioniranja kot natančnost. Pri manjših drsnikih je tudi kontaktna površina, s katero drsnik naleže na ploščo, pri ustavitvi manjša. Velikost drsnikov se je od začetka razvoja trdih diskov zmanjšala za več kot desetkrat. Pregled zmanjševanja dimenzij v razvoju drsnikov je v tabeli 1.

Slider Size	Mini 100%	Micro 70%	Positive Pressure Nano 62%	Negative Pressure Nano 50%	Pico 30%	Femto 20%
Intro Year	1980	1986	1991	1994	1997	2003
Dimensions, mm						
Length	4.00	2.80	2.50	2.00	1.25	0.85
Width	3.20	2.24	1.70	1.60	1.00	0.70
Height	0.86	0.60	0.43	0.43	0.30	0.23

Table 1: Slider form factor historical overview

Tabela 1: Kronološki pregled velikosti drsnikov

Ročice so tanek kos kovine, običajno trikotne oblike, na katerih konec so pritrjeni drsniki. Za eno bralno-pisalno glavo se uporablja ena ročica, vse ročice pa so skupaj pritrjene na aktuator, s katerim skupaj tvorijo eno enoto. To pomeni, da ko se premakne aktuator, se hkrati premaknejo tudi vse ročice z glavami. Glave ne morejo istočasno brati oz. pisati na sledi različnih naslovov. Same ročice so narejene iz lahkega in tankega materiala, kar omogoča, da je pozicioniranje na sled hitrejše. Za zmanjšanje teže in izboljšanje zmogljivosti so novejši dizajni zamenjali masivne ročice s strukturnimi oblikami, in sicer z lažjimi in togimi ročicami.

Aktuator je naprava za pozicioniranje ročic na sled oz. cilinder na površini plošče. Je zelo pomemben del trdega diska, ker je premikanje med različnimi sledmi poleg vrtenja plošče edina operacija trdega diska, ki zahteva aktivno gibanje. Preklapljanje bralno-pisalnih glav je elektronska funkcija, menjavanje sektorjev pa vključuje čakanje, da se plošča zavrti naokrog in da pride sektor pod glavo, za kar ni več potrebno premikanje bralno-pisalnih glav. Premikanje glav na različne sledi mora biti izvedeno hitro in natančno. V primerjavi s spremembami električnih signalov je fizično gibanje zelo počasno.

Obstajata dve vrsti aktuatorjev:

- **Koračni motorji:** Prvotno so se za krmiljenje gibanja bralno-pisalnih glav nad površino plošče uporabljali koračni motorji. Običajni motorji se vrtijo neprekinjeno;

lahko se ustavijo na katerikoli točki, medtem ko se koračni motorji lahko ustavijo samo na predefiniranih (diskretnih) korakih. Vsak korak koračnega motorja pomeni pomik ročice na sosednjo sled.

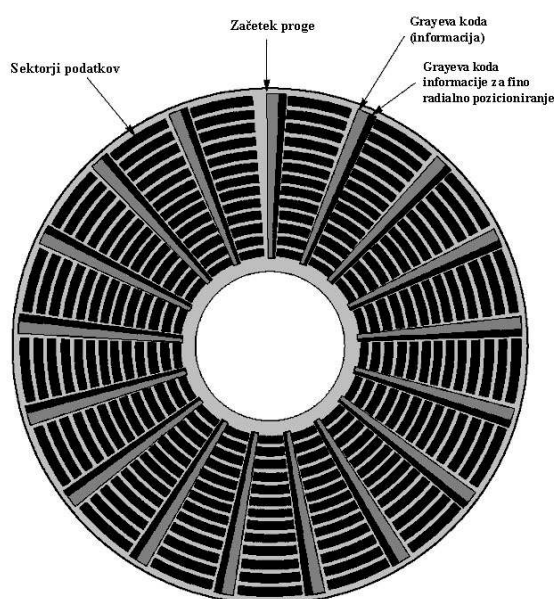
- **Zvočniška tuljava:** Aktuator v novejših trdih diskih uporablja napravo imenovano zvočniška tuljava za premikanje ročic na zeleno sled. Za krmiljenje zvočniške tuljave je potreben servosistem s povratno zanko, ki dobiva povratno informacijo o trenutnem položaju bralno-pisalne glave. Z njim dinamično pozicioniramo bralno-pisalne glave točno nad podatkovne sledi. Zvočniška tuljava deluje na principu elektromagnetizma. Tuljava ki je navita okrog kovinske izbokline na koncu ročic je nameščena znotraj močnega trajnega magneta. Ko je tok doveden tuljavi, se ustvari elektromagnetno polje, ki povzroči, da se bralno-pisalne glave premaknejo v eno ali drugo smer, odvisno od privlačnosti ali odboja glede na permanenten magnet. Z nadzorovanjem toka v tuljavi se lahko bralno-pisalne glave premikajo bolj natančno kot s koračnim motorjem, kar omogoča večjo gostoto sledi. Ime zvočniška tuljava izhaja iz podobnosti te tehnologije tisti, ki se uporablja v avdio zvočnikih, ki so v osnovi tudi elektromagnet. Vsi aktuatorji z zvočniško tuljavo v trdih diskih namiznih računalnikov so rotacijski, kar pomeni, da aktuator spreminja položaj z vrtenjem okrog osi.

Glavna razlika med obema izvedbama je, da je koračni motor absolutni pozicijski sistem, medtem ko je zvočniška tuljava relativni. Zaradi možnosti raztezanja sledi pri temperaturnih spremembah je pri pozicioniranju s koračnimi motorji možna veliko manjša gostota sledi kot pri zvočniški tuljavi. Zato se pri vseh modernih trdih diskih uporablja aktuator z zvočniško tuljavo. Koračni motorji pri večjih gostotah niso dovolj natančni in stabilni za pravilno delovanje. V nasprotju z njimi so aktuatorji z zvočniško tuljavo veliko bolj prilagodljivi in neobčutljivi na termalne spremembe, pa tudi veliko hitrejši in bolj zanesljivi.

Pozicioniranje aktuatorja je dinamično in temelji na povratni informaciji o dejanski poziciji bralno-pisalne glave glede na sled. Ta zaprti krog sistema povratne informacije o položaju se imenuje servo pozicijski sistem in se uporablja v tisočih različnih aplikacijah, kjer je pomembno natančno pozicioniranje.

Za povratno informacijo o položaju bralno-pisalne glave je potreben poseben referenčni zapis na disku, ki ga imenujemo servozapis. Obstajajo trije različni načini, na katere je implementiran servozapis:

- **Klinasti servozapis:** Ta implementacija se je uporabljala v starejših trdih diskih, pri kateri je informacija zapisana v obliki klina na vsaki plošči. Ostali del vsebuje podatke. Ta rešitev ima veliko pomanjkljivost, in sicer to, da je servo informacija samo na eni lokaciji na plošči. To pomeni, da je za pozicioniranje glav potrebno čakati, da se plošča zavrti, da del s servozapisom pride pod bralno-pisalne glave. Zaradi tega čakanja in posledično počasnega pozicioniranja, se ta tehnika ne uporablja več.
- **Servo površina:** Pri tej tehniki se za servo informacijo uporablja celotna površina ene plošče, na ostale površine plošč pa se servo informacija ne zapisuje. Ena glava stalno bere servo informacijo, kar omogoča zelo hiter servo odziv in odpravo zakasnitev pri klinastem zapisu. Na žalost je tako porabljena ena cela površina, ki ne vsebuje podatkov. Obstaja pa še drug problem, in sicer da glava, ki zapisuje ali bere podatke ni vedno poravnana z glavo, ki bere servo informacije, zato je potrebna prilagoditev za poravnavo. Ker se disk segreva in se vse plošče ne raztezajo ali krčijo enako, je pri tem načinu potrebno periodično ponastaviti bralno-pisalne glave, kar imenujemo termična rekaliibracija.



Slika 8: Vgrajen servozapis

- **Vgrajeni servozapis:** Novejša servo tehnika ima pri takih diskih posejane servo informacije med podatki preko cele površine vseh plošč. Servo informacije in podatke tako berejo iste bralne glave. Čakanje na obrat plošče ni potrebno. Ta metoda ne zagotavlja stalnega dostopa do pozicijske informacije, kot je to pri servo površini, prav tako pa za razliko od nje ne zavzema ene celotne površine plošče. Odpade tudi potreba po stalni termični rekalkibraciji, ker sta servo informacija in podatki na isti sledi. Vsi moderni trdi diski uporabljajo vgrajene servo podatke.

4.6 Parkiranje bralno-pisalnih glav

4.6.1 Parkiranje bralno-pisalnih glav na plošče (CSS - Contact Start-Stop)

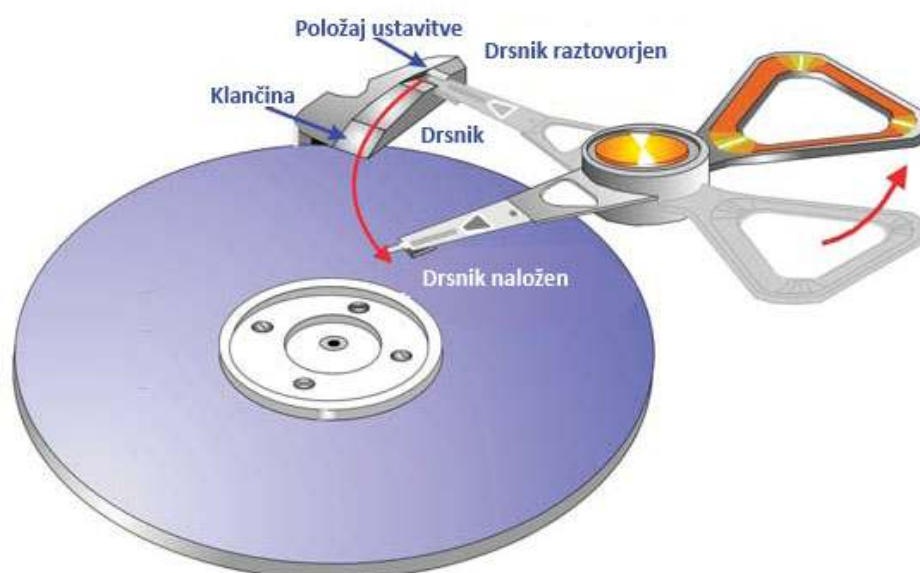
Drsniki, ki nosijo bralno-pisalne glave, pristanejo na površini plošče, ko se plošča preneha vrteti. Kljub temu, da se ta metoda včasih še uporablja v nekaterih diskih, ima svojstvene omejitve, ki jih rešuje tehnologija parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino. Pri trdih diskih s CSS tehnologijo počivajo drsniki, ko se ne uporabljajo, na površini plošče dokler plošča ne doseže nazivnih obratov. Ena od najbolj značilnih slabosti tega direktnega fizičnega kontakta med glavo in ploščo je izpostavljanje statičnemu trenju. To pomeni, da se dve gladki površini, v tem primeru plošča in drsnik, ko se dotikata druga druge, tesno spojita, tako da je ločevanje brez poškodb pri zagonu zelo težko. Da bi se izognili negativnim učinkom statičnega trenja, mora biti površina plošče na delu, kjer drsnik pristane na ploščo pri trdih diskih s CSS tehnologijo hrapava (groba), kar se doseže s preciznim proizvodnim procesom imenovanim teksturiranje. Teksturiranje je lahko na celotni površini plošče ali samo v njenem notranjem delu, ki je specifično namenjen zaganjanju in ustavljanju glav in se imenuje start-stop ali pristajalna cona. Medtem ko so bile take tehnike teksturiranja zadovoljive v preteklosti, zahteva želja po večji površinski gostoti zapisa uporabo plošč z ultra gladko površino. Zaradi statičnega trenja je uporaba zelo gladkih površin plošč v trdih diskih s tehnologijo parkiranja bralno-pisalnih glav na plošče otežena. Omejevanje teksturiranja na pristajalno cono pa ustvarja druge težave, kot je npr. zahteva, da bralno-pisalne glave lebdijo dovolj visoko nad teksturnimi izboklinami zaradi zmanjšanja kontaktne površine.

Ker drsniki pri trdih diskih s CSS tehnologijo ob zaustavitvi počivajo na ploščah so bralno-pisalne glave in plošče izpostavljeni obrabi. To ogroža življenjsko dobo trdega diska, posebno v aplikacijah, kjer se izvajajo številne start-stop operacije. Sistemi, ki izklapljujejo delovanje trdega diska med izvajanjem programa zaradi podaljšanja delovanja akumulatorja, so primeri takih aplikacij.

4.6.2 Parkiranje bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino

Tehnologija parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino, poimenovana Load/Unload, je bila odkrita v sredini devetdesetih kot alternativa metodi parkiranja bralno-pisalnih glav na ploščo. Hitachi Global Storage Technologies je bil prvi proizvajalec trdih diskov, ki je uporabil to tehnologijo. Parkiranje na klančino zagotavlja številne prednosti, vključno z daljšo trajnostjo, bolj učinkovito rabo energije in izvrstno odpornostjo na udarce.

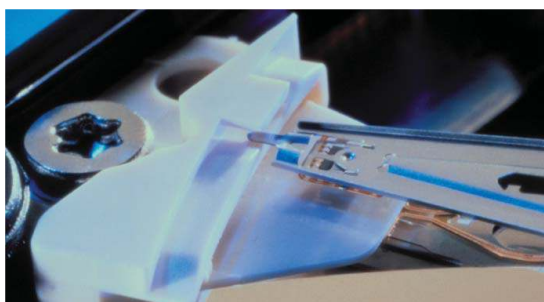
Ta tehnologija vsebuje mehanizem, ki pred zaustavitvijo premakne drsnike s plošč in jih varno namesti na strukturo podobno grebenu. Greben je opremljen s plitvo klančino na strani, ki je najbližja plošči, kar daje tej tehnologiji svoje ime. Pri vklopu diska, ko je motor za pogon plošč vključen, se bralno-pisalne glave s premikom drsnikov s klančine premaknejo nad površino plošče, ko le te dosežejo nazivno hitrost vrtenja. Zračni tok med ploščo in drsnikom deluje kot zračna blazina, kar ohranja ti dve površini ločeni z namembno razdaljo, imenovano višina lebdenja.



Slika 9: Tehnologija parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino [10]

Z odpravo neposrednega kontakta med glavami in ploščami pri tehnologiji parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino so diski in glave izpostavljeni manjši obrabi in je navadno dovoljeno več start-stop ciklov kot pri tehnologiji parkiranja bralno-pisalnih glav na plošče. S fizičnim parkiranjem glav s površine plošč na klančino se izognemo problemu statičnega trenja, s čimer je omogočena uporaba zelo gladkih površin plošč. Bolj gladka površina omogoča nižje lebdenje glav, kar prispeva k izboljšanju razmerja signala proti šumu med bralno-pisalnimi operacijami. Kombinacija tehnologije parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino in pojav GMR bralnih glav omogoča znatno povečanje gostote sledi in linearne gostote ter s tem povečanje površinske gostote.

Možnost zanesljivega povečanja števila start-stop ciklov omogoča nove prihranke na področju porabe energije. Hitachi-jeva zgodnja uporaba tehnologije parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino v manjših modelih trdih diskov, vključno z Travelstar 2.5 in 1.8-palčno serijo ter Microdrive, omogoča različne načine upravljanja z energijo, ki so jih poimenovali Prilagodljivo podaljševanje življenjske dobe baterije (ABLE – Adaptive Battery Life Extender). Parkiranje glav na klančino je omogočilo nadaljnje izboljšanje upravljanja z energijo, ki vključuje nova stanja v delovanju diska kot npr. »aktivno nedejaven« (Active Idle), »učinkovito nedejaven« (Performance Idle) in »nizkoenergijsko nedejaven« (Low Power Idle). Te izboljšave omogočajo okrog 20 odstotno zmanjšanje porabe energije (na nivoju trdega diska). V Hitachijevih trdih diskih za strežnike omogoča tehnologija parkiranja bralno-pisalnih glav izven plošče na klančino znatno znižanje porabe energije in podaljšanje življenjske dobe trdega diska.



Slika 10: Bralno-pisalne glave parkirane na klančini z uporabo tehnologije dvižnega jezička

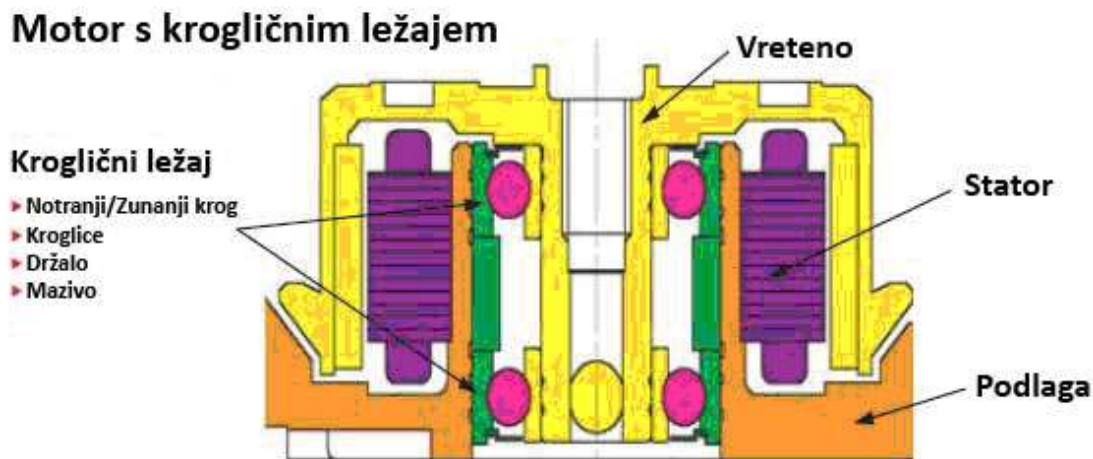
Ker v mirovanju bralno-pisalne glave niso v stiku s ploščami, se bistveno zmanjšajo poškodbe pri udarcih. To je posebno pomembno v majhnih modelih trdih diskov, ki so bolj izpostavljeni udarcem zaradi njihove uporabe v mobilnih napravah. V primeru nepričakovane izgube napajanja, se za pomik bralno-pisalnih glav na klančino črpa energija iz motorja za pogon plošč, ki se še vrtijo.

4.7 Motor za pogon plošč

Motor za pogon plošč mora zagotavljati stabilno, zanesljivo in konsistentno moč obratovanja za tisoče ur nepretrganega delovanja in omogočati, da trdi disk pravilno funkcionira. Največ odpovedi se zgodi prav zaradi motorja za pogon plošč. V zadnjem desetletju so proizvajalci povečevali hitrosti vrtenja plošč zaradi izboljšanja zmogljivosti. Višje hitrosti imajo za posledico povečevanje toplotnih izgub in vibracij. Zaradi tega morajo biti ti motorji visoke kvalitete, da lahko delujejo tisoče ur in dopuščajo tisoče start in stop ciklov brez odpovedi. Delovati morajo brez pretresov z minimalnim številom vibracij. Prav tako ne smejo proizvajati preveč toplote in hrupa ter porabiti preveč energije. Hitrost vrtenja mora biti nadzorovana, da se plošče vrtijo s konstantno hitrostjo. Vsem tem zahtevam ustrezajo servokrmiljeni enosmerni (DC) motorji. Servo sistem je povratni sistem z zaprto zanko, podoben sistem se uporablja tudi pri aktuatorjih z zvočniško tuljavo. Za povratno informacijo se pri teh motorjih uporablja senzor hitrosti, ki zagotavlja, da se motor vrti s točno določeno hitrostjo.

Plošče so pritrjene neposredno na os motorja, med sabo pa so ločene z ločitvenimi distančniki, ki ohranjajo pravilno razdaljo med njimi in prostorom za ročice. Količina dela, ki ga mora opraviti motor za pogon plošč, je odvisna od številnih faktorjev. Prvi je velikost in število plošč. Večje kot so in več kot jih je, večjo maso mora motor poganjati, zato mora imeti večjo moč. Pri današnjih ekoloških zahtevah o upravljanju z energijo je želja uporabnikov, da plošče dosežejo potrebno hitrost v čim krajšem času, kar zahteva hitrejše in zmogljivejše motorje. Današnje visoke hitrosti vrtenja plošč povzročajo več hrupa in večje oddajanje toplote. Hrup je lahko nadležen, toplota pa lahko sčasoma poškoduje trdi disk. Novejši trdi diski z visokimi hitrostmi vrtenja skoraj vsi uporabljajo hladilnik in dušilec zvoka. Kritična komponenta motorja za pogon plošč je množica ležajev. Obstajata dve vrsti ležajev – kroglični ležaji in tekočinski ležaji.

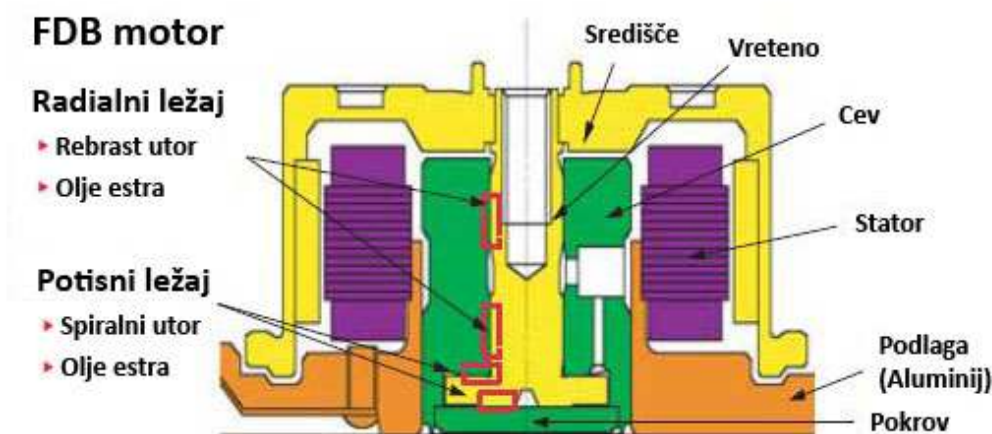
Kroglični ležaji so se uporabljali predvsem v starejših trdih diskih. Sestavljeni so iz kovinskih kroglic, ki so nameščene okrog osi motorja, tako da se os vrtil gladko, brez nihanja in vibracij.



Slika 11: Struktura motorja s krogličnim ležajem

Glavna slabost motorjev s krogličnimi ležaji so prevelike neponovljive napake pri pozicioniranju (Non Repeatable Run-Out – NRRO) bralno-pisalnih glav na sled. Motorji s krogličnimi ležaji izkazujejo večji NRRO zaradi napak (asimetrije) v geometriji kroglic in plasti mazivne prevleke. Obstaja zgornja meja površinske gostote, pri kateri kroglični ležaji zaradi prevelikih napak v pozicioniranju niso več uporabni. Trenutno se s krogličnimi ležaji velikost NRRO giblje v območju 0.1 mikro-palca (= 2,5 nm).

S povečevanjem hitrosti vrtenja in večanjem površinske gostote se je pojavila potreba po izboljšanju ležajev. Kroglične ležaje so nadomestili tekočinski ležaji (Fluid Dynamic Bearings - FDB) Pri teh ležajih se namesto kroglic uporablja olje, kar znatno zmanjša hrup, prav tako pa podaljša življenjsko dobo ležajev.



Slika 12: Motor s tekočinskim ležajem (FDB)

Pri motorjih s tekočinskimi ležaji se velikost NRRO zmanjša za faktor 10 in se tako giblje v območju 0,01 mikro palca ($\approx 0,25$ nm), kar omogoča večje gostote sledi in s tem večjo površinsko gostoto. Prav tako pa uporaba tekočinskih ležajev zmanjša nivo hrupa in poveča odpornost proti udarcem, kar je posebno pomembno pri uporabi diskov v mobilnih napravah.

V industriji trdih diskov se zato dogaja prehod na motorje s tekočinskimi ležaji. Trend uporabe FDB motorjev v trdih diskih je neposredna posledica višjih gostot in veliko višjih hitrosti vrtenja, ki jih zahtevajo današnje aplikacije. Neponovljive napake pri pozicioniranju (NRRO) so največ prispevale k nenatančnemu pozicioniranju bralno-pisalne glave na sled, in na ta način vplivale na slabšo zmogljivost trdih diskov. NRRO prav tako onemogočajo doseganje višje gostote sledi. V nasprotju z motorjem s krogličnim ležajem ustvarja FDB manj NRRO zaradi višje viskoznosti olja kot maziva med cevjo in statorjem. Ostale lastnosti FDB strukture so večje vlaženje, zmanjšana frekvenčna resonanca, boljša odpornost proti udarcem pri nedelovanju trdega diska, večji nadzor hitrosti in zmanjšanje hrupa. Boljša odpornost proti udarcem pri nedelovanju je rezultat večje kontaktne površine. Nivo hrupa je zmanjšan na približno 20 dBA (A-weighted decibels).

V začetku razvoja trdih diskov so bile hitrosti plošč več desetletij 3600 obr/min, šele v zgodnjih devetdesetih letih so se proizvajalci začeli zavedati pomena izboljšave zmogljivosti z višjimi hitrostmi vrtenja. Povečevanje hitrosti vrtenja plošč iz začetnih 3600 obr/min pa vse do 15000 obr/min izboljšuje čas pozicioniranja in prenosno hitrost.

Hitrost plošč se je povečala na 4500 obr/min in kmalu za tem na 5400 obr/min, ki je bila standardna več let. Najprej so se začele višje hitrosti vrtenja uporabljati v SCSI trdih diskih, ki so se uporabljali v zahtevnejših aplikacijah, šele kasneje pa tudi v IDE/ATA. Današnja standardna hitrost vrtenja plošč v namiznih računalnikih je 7200 obr/min, pri SCSI trdih diskih in diskih za strežnike pa 10000 obr/min in tudi 15000 obr/min.

Spindle Speed (RPM)	Average Latency (Half Rotation) (ms)	Typical Current Applications
3,600	8.3	Former standard, now obsolete
4,200	7.1	Laptops
4,500	6.7	IBM Microdrive, laptops
4,900	6.1	Laptops
5,200	5.8	Obsolete
5,400	5.6	Low-end IDE/ATA, laptops
7,200	4.2	High-end IDE/ATA, Low-end SCSI
10,000	3.0	High-end SCSI
12,000	2.5	High-end SCSI
15,000	2.0	Top-of-the-line SCSI

Tabela 2: Tabela hitrosti vrtenja plošč

Večino energije, ki se uporablja za delovanje trdega diska, porabi motor za pogon plošč. Zaradi majhne velikosti in učinkovitega dizajna porabijo novejši trdi diski relativno malo energije za ohranjanje vrtenja plošč. Za zagon plošč se porabi več kot dvakrat več energije, kot se porabi za ohranjanje vrtenja plošč. Pri uporabi več trdih diskov se lahko pojavi problem, ko se pri zagonu sistema vsi diski poskušajo zagnati naenkrat, kar lahko povzroči preveliko porabo energije. Proizvajalci rešujejo ta problem s programiranjem trdih diskov, tako da v primeru, če sta dva diska na istem IDE kanalu kot gospodar in suženj, se suženj zažene s časovnim zamikom parih sekund in s tem zmanjša trenutno zahtevo po energiji. Večina SCSI trdih diskov omogoča zakasnen zagon, tako da se uporabi ukaz »Remote Start« ali poseben »mostiček«.

4.8 Krmilnik trdega diska

Vsi moderni trdi diski imajo krmilnik, ki je vgrajen v enoto trdega diska. To je elektronsko vezje, ki omogoča procesorju komunikacijo s trdim diskom.

Starejši trdi diski niso imeli vgrajenega krmilnika, ampak je bila kontrolna logika za nadzor nameščena na posebni kartici, ki je bila priključen na sistemsko vodilo na matični plošči. Te vrste krmilniki so bili precej poenostavljeni z malo logike, ki je morala za vsako dejanje sporočiti trdemu disku, kaj mora storiti. Krmilnik je moral biti univerzalen, tako da je bilo možno upravljati diske različnih proizvajalcev, za prilagoditev na določen model pa je skrbel vmesnik.

Prvi krmilniki, ki so bili integrirani na kartico na sistemskem vodilu, so se imenovali MFM krmilniki, kasneje so jih nasledili RLL krmilniki. To imenovanje izhaja iz načina kodiranja za magnetno zapisovanje, ki so ga uporabljali. V današnjih trdih diskih se uporabljajo izključno različne vrste RLL kodiranja, zato se je to poimenovanje opustilo in se krmilniki običajno označujejo glede na vrsto vmesnika.

Prvi trdi diski z vgrajenim krmilnikom so se začeli pojavljati po letu 1980. Ta premik je bil rezultat napredka v tehnologiji integriranih vezij velike gostote, ki je omogočal gradnjo zmogljivejših logičnih vezij in hkrati nižanje cene. Leta 1986 se je disk z vgrajenim krmilnikom in vmesnikom uporabil v osebem računalniku firme Compaq Computers pod imenom IDE – Integrated Drive Electronics. Ime IDE označuje definicijo vmesnika in konektorja ter dejstvo, da je kompletna krmilna elektronika integrirana na diskovni enoti. Krmilna elektronika trdega diska vsebuje mikroprocesor, pomnilnik, vmesni pomnilnik (predpomnilnik) ter ostale strukture, za nadzor funkcij trdega diska.

Danes imajo vsi trdi diski vgrajeno elektroniko krmilnika in vmesnika na tiskanem vezju, ki je sestavni del diska.

Krmilnik trdega diska izvaja naslednje funkcije:

- Nadzor motorja za pogon plošč, vključno z nadzorom, hitrosti vrtenja
- Nadzor gibanja aktuatorja, da se bralno-pisalne glave premaknejo na zeleno sled
- Upravljanje vseh bralno-pisalnih operacij
- Upravljanje porabe energije

- Preračun geometrije
- Upravljanje s predpomnilnikom in optimizacija dodatnih funkcij, kot je branje vnaprej (prefetch)
- Koordiniranje in integriranje ostalih funkcij, kot so pretok informacij preko vmesnika trdega diska, optimizacija hkratnih zahtev, pretvorba podatkov v in iz oblike, ki jo zahtevajo bralno-pisalne glave
- Krmiljenje delovanja za doseganje čim boljše zmogljivosti in zanesljivosti (detekcija in korekcija napak)

4.9 Predpomnilnik na disku

Prvič je bil predpomnilnik v krmilniku diska uporabljen leta 1985 v diskih IBM 3880 in IBM 3990. Danes vsi sodobni trdi diski vsebujejo vgrajen predpomnilnik, pogosto imenovan tudi »buffer«. Njegova funkcija je delovati kot vmesni izenačevalni pomnilnik med relativno hitro in relativno počasno napravo. Na trdem disku se predpomnilnik uporablja za shranjevanje zadnjih prebranih podatkov s plošč in tudi za branje vnaprej (prefetch). Pri branju vnaprej se z diska ne prebere samo želeni sektor, temveč tudi nekaj naslednjih sosednjih sektorjev, ker je velika verjetnost, da bodo v bližnji prihodnosti, potrebni tudi naslednji sektorji takoj za pravkar zahtevanim. Uporaba predpomnilnika izboljša zmogljivost vsakega trdega diska, s tem da zmanjša število fizičnih dostopov do plošč pri ponavljanih branjih in da dovoljuje neprekinjen prenos podatkov s plošč, ko je vodilo zasedeno. Velikost predpomnilnika je bila na začetku 512 KB, sedaj pa ima večina trdih diskov 8 MB ali 16 MB velik predpomnilnik. Razlog, da je predpomnilnik trdega diska tako pomemben, je zaradi razlike v hitrosti trdega diska in vmesnika trdega diska. Iskanje podatka na trdem disku vključuje pozicioniranje bralno-pisalnih glav na želeni sektor, kar traja nekaj milisekund. Prenos 4 KB velikega bloka preko vmesnika je vsaj 100-krat hitrejši od iskanja in branja le tega s plošče.

Temeljno načelo delovanja preprostega predpomnilnika je zelo enostavno. Branje podatkov s trdega diska se običajno izvaja v blokih različnih velikosti, ne samo po en sektor 512 KB. Predpomnilnik je razdeljen v segmente, od katerih vsak vsebuje blok podatkov. Ko pride do zahteve po določenem podatku na trdem disku, pošlje vezje predpomnilnika najprej povpraševanje, če je podatek v katerem od segmentov predpomnilnika. Če je, se posreduje

krmilniku in ni potreben dostop do plošč. V nasprotnem primeru, če podatka ni v predpomnilniku, ga je potrebno najprej prebrati s plošče in shraniti v predpomnilnik, v primeru da bo prišlo do ponovne zahteve po istem podatku. Zaradi omejenosti velikosti predpomnilnika je v njem le toliko podatkov, kolikor je velikost predpomnilnika, nakar se podatki prepisejo z novejšimi. Prepisovanje podatkov gre na krožni način, po pravilu prvi-noter prvi-ven (FIFO).

V prizadevanju za izboljšanje učinkovitosti, so proizvajalci implementirali izboljšave vezja predpomnilnika:

- **Prilagodljiva segmentacija:** Običajni predpomnilniki so razdeljeni v več enako velikih segmentov. Ker so lahko zahteve po podatkovnih blokih različnih velikosti, lahko to vodi do neizkoriščenosti prostora v predpomnilniku. Mnogi novejši trdi diski dinamično povečajo segmente glede na to, koliko prostora je potrebno za vsak dostop, da se zagotovi večja izkoriščenost. Prav tako se lahko spremeni število segmentov. Upravljanje je v tem primeru veliko bolj kompleksno kot fiksna velikost segmentov in se lahko odraža kot poraba (tratenje), če se s prostorom ne upravlja ustrezno.
- **Branje vnaprej (Prefetch):** Logika trdega diska na osnovi analiziranja dostopa in uporabe vzorcev diska poskuša naložiti v del predpomnilnika podatke, ki še niso bili zahtevani, ampak naj bi bili po predvidevanjih v kratkem. Ponavadi to pomeni nalaganje dodatnih podatkov razen tistih, ki so bili pravkar prebrani s plošč, saj je statistično bolj verjetno, da bodo zahtevani naslednji. Če se izvede pravilno, bo to v veliki meri izboljšalo zmogljivost trdega diska.
- **Uporabniški nadzor:** Visoko zmogljivi (High-end) trdi diski imajo implementirano množico ukazov, ki omogočajo uporabniku podroben nadzor nad delovanjem predpomnilnika. To dovoljuje uporabniku omogočanje ali onemogočanje predpomnjenja, nastavljanje velikosti segmentov, vključevanje in izključevanje prilagodljive segmentacije in branja vnaprej, itd.

Medtem ko se izboljšuje zmogljivost, prihajajo hkrati do izraza omejitve predpomnilnika. Predpomnilnik zelo malo pomaga pri naključnih dostopih do podatkov na različnih delih plošč. Če do zelene lokacije dalj časa ni bilo dostopa, podatkov s te lokacije zelo verjetno ne bo v predpomnilniku. Poleg tega je predpomnilnik v manjšo pomoč, če uporabnik zahteva branje velike količine podatkov. Pri branju npr. 100MB velike datoteke in velikosti predpomnilnika 8MB, je lahko v njem samo 8% datoteke, preostanek pa mora biti prebran s plošče. Predpomnilnik zaradi teh omejitev nima prav velikega vpliva na zmogljivost

celotnega sistema. Vpliv na zmogljivost je odvisen delno od velikosti predpomnilnika, predvsem pa od načina delovanja. Vpliv velikosti na zmogljivost se pozna samo pri večjih razlikah v velikosti predpomnilnika, npr. 512 KB in 8 MB. V primerjavi s sistemskim pomnilnikom, ki ga uporablja operacijski sistem za dodeljevanje trdemu disku, je velikost predpomnilnika veliko manjša. Delovanje predpomnilnika pri branju in pisanju je podobno, obstajajo pa pomembne razlike. Bistvena razlika je, da pisanje vključuje spremembo na trdem disku, medtem ko branje ne.

Brez predpomnjenja pri pisanju vsako pisanje vpliva na zmogljivost, ko sistem čaka, da se podatki zapišejo na želeno lokacijo na disku. Kadar se pri pisanju podatki pišejo direktno na disk, imenujemo tak način delovanja predpomnilnika pisanje-skozi (write-through).

Ko je predpomnjenje pisanja omogočeno, se podatki najprej zapišejo v predpomnilnik na disku. Ko sistem pošlje zahtevo za pisanje na trdi disk, se podatki zapišejo v veliko hitrejši predpomnilnik, in krmilnik takoj pošlje potrditev operacijskemu sistemu, da je zapis končan. Tako lahko sistem nadaljuje z delom, ne da bi moral čakati, da se zapis dejansko izvede. Ta način delovanja predpomnilnika se imenuje »pisanje-nazaj« (write-back), ker so podatki shranjeni v predpomnilniku in šele kasneje zapisani na disk. Pri tem načinu obstaja nevarnost izgube podatkov, v času ko še niso shranjeni na disk. Ker predpomnilnik ni trajen pomnilnik so podatki v njem obstojni le, dokler ima napajanje. Sistem tega ne ve in tudi ne more vedeti, kateri podatki so bili izgubljeni, ker mu je bil poslan signal, da so bili zapisani vsi. Končni rezultat je lahko problem v konsistentnosti datoteke, okvara operacijskega sistema, itd. Seveda se ta problem ne pojavi pri predpomnjenju branja. Zaradi tveganosti se predpomnjenje pri pisanju včasih sploh ne uporablja. To še posebej velja za aplikacije, kjer je visoka integriteta (popolnost, neokrnjenost) podatkov ključnega pomena.

Vendar se zaradi izboljšanja učinkovitosti predpomnjenje pri pisanju, kljub nevarnosti izgube podatkov, zmeraj več uporablja. Ena od rešitev je, da preprečimo izpad napajanja, kar je najlažje z uporabo naprav za neprekinjeno napajanje (UPS) ali celo z redundantnimi napajalniki. Nekateri trdi diski imajo vgrajen algoritem, da se mora zapisovanje na disk izvršiti takoj, če pade napetost baterije na UPS napravi, ko sistem zazna prekinitev napajanja ali preden se delovanje sistema zaustavi.

4.10 Standardne velikosti ohišij trdih diskov

Trdi diski so zasnovani tako, da se lahko namestijo v ohišje računalnika, in so izdelani v eni izmed več standardnih velikosti in oblik. Ti standardi se imenujejo »faktorji oblike« in so se prvotno nanašala na njihove zunanje dimenzije. Razlog za standardizacijo »faktorjev oblike« je združljivost. Brez teh standardov bi morali biti trdi diski posebej prilagojeni, da bi ustrezali različnim računalnikom. Z dogovorom o standardnih oblikah in velikostih trdih diskov, kot tudi standardnih vmesnikov, ni skrbi, da se trdi diski različnih proizvajalcev ne bi prilagajali različnim ohišjem računalnikov. Odkar obstajajo trdi diski, je bilo vsega skupaj le nekaj različnih »faktorjev oblike«. Razlog da se dimenzije trdih diskov ne spreminjajo zelo, je v tem, da bi bilo potrebno usklajevanje s proizvajalci ohišij računalnikov.

Faktorji oblike so običajno opisani z enim podatkom. Današnji najbolj pogost faktor oblike je 3.5 palca in 2.5 palca. Ta številka se navadno nanaša na širino trdega diska, lahko pa pomeni tudi velikost plošč, kar zna biti nejasno in zavajajoče. Očitno eno število ne more predstavljati obeh, v nekaterih primerih pa nobenega od njih. Na primer, 3.5-palčni trdi diski so ponavadi široki 4 palce in uporabljajo plošče velikosti 3.74 palca. Razmerja med faktorji oblike in velikostmi plošč so zbrana v Tabeli 3.

Premer plošč	Tipični faktor oblike	Uporaba
5.12"	5.25"	Starejši računalniki in strežniki v sredini devetdesetih, sedaj se ne uporabljajo več
3.74"	3.5"	Standardna velikost plošč za večino trdih diskov, ki se uporabljajo v namiznih računalnikih
3.0"	3.5"	Visoko zmogljivi trdi diski z 10,000 obr/min
2.5"	2.5", 3.5"	Trdi diski za prenosne računalnike (2.5"); trdi diski z 15,000 obr/min(3.5")
1.8"	PC Card (PCMCIA)	PC kartica (PCMCIA) za prenosne računalnike
1.3"	PC Card (PCMCIA)	Uporabljeno v ročnih računalnikih (jih ne izdelujejo več)
1.0"	CompactFlash	Digitalne kamere, ročni računalniki in ostale potrošniške elektronske naprave
CompactFlash	1.0"	

Tabela 3: Razmerje med faktorji oblike in velikostmi plošč

4.11 Vmesniki

Trdi diski se uporabljajo na različnih mestih za veliko različnih namenov. Razviti so bili različni vmesniki z namenom rešiti ta problem raznolikosti. ATA vmesnik je bil razvit za interne trde diske namiznih računalnikov, medtem ko je bil SCSI za strežnike in sisteme velikega obsega. Z namenom povečanja hitrosti prenosa sta ta dva paralelna vmesnika zamenjala serijska. SCSI je zamenjal Fibre Channel in Serial Attached SCSI (SAS), medtem ko je ATA zamenjal SATA.

4.11.1 Paralelni ATA vmesnik

Paralelni ATA (Advanced Technology Attachment) vmesnik je bil prevladujoč vmesnik za namizne in prenosne računalnike od njegove predstavitve v IDE diskih (Integrated Device Electronics). Ime IDE izvira iz premika krmilnika na trdi disk, kar je bilo mogoče zaradi skokovitega razvoja mikroelektronike.

Njegova uspešnost se pripisuje pogostim izboljšavam zmogljivosti, povratni združljivosti in nizki ceni. Po njegovi predstavitvi se je prenosna hitrost z leti povečevala s 3MB/s na končnih 133MB/s. Pri prenosu podatkov pri paralelnem ATA vmesniku se uporabljajo LVTTTL napetostni nivoji.

Za izboljšanje zanesljivosti uporablja ATA vmesnik ciklično redundantno kodiranje (CRC) za detekcijo napak pri prenosu signalov med gostiteljem in krmilnikom trdega diska. Vendar ATA ukazni signali niso preverjeni s CRC, zato ostajajo potencialni vir napak. Zaradi TTL signalizacije in povečane možnosti težav z integriteto ukaznih signalov bi bilo zelo težko povečati prenosno hitrost ATA vmesnika nad 133 MB/s.

Pri paralelnem prenosu se podatkovni in urini signali prenašajo vzdolž paralelnih žic od izvorne do ponorne naprave. S povečevanjem hitrosti prenosa se povečuje zamik med biti v posameznih linijah glede na urin signal (skew), zaradi velikih sprememb napetostnih nivojev (TTL nivoji), se povečuje tudi presluh me linijami. Zato je povečevanje hitrosti pri paralelnem prenosu problematično.

4.11.2 Serijski ATA vmesnik

Namen serijskega ATA vmesnika je bil, da zamenja paralelni ATA vmesnik v namiznih in prenosnih računalnikih, izdelkih potrošniške elektronike in omrežnih sistemih. Omogoča prenos večje količine podatkov v krajšem času za nižjo ceno. Za razliko od paralelnega ATA vmesnika dovoljuje priklop ene same naprave na kabel. Povezava je točka-v-točko in omogoča komunikacijo s krmilnikom brez potrebe po čakanju sprostitve ostalega podatkovnega prometa. Serijski prenos rešuje tudi problema električne signalizacije in integritete signalov, ki pri paralelnem ATA vmesniku onemogočata povečanje hitrosti nad 133 MB/s.

Prenos je simetričen, uporablja se nizkonapetostna diferencialna (LVDS) signalizacija, ki uporablja dva para podatkovnih linij za pošiljanje in sprejemanje signalov s spremembo napetosti samo 250 mV. Urin signal je vsebovan v podatkovnih signalih, zato ni problemov z zamikom. Vse to omogoča višje prenosne hitrosti v primerjavi s paralelnim ATA vmesnikom. Zaradi manj linij in manjših konektorjev je tudi cena nižja.

Serijski prenos zahteva pretvorbo paralelnih podatkov v serijske in obratno. Ta naprava se imenuje serializator/deserializator. Vsebuje paralelni vmesnik, FIFO pomnilnik, 8-bitni/10-bitni kodirnik in dekodek, serializator in deserializator. Kodirnik pretvarja vsak 8-bitni bajt v 10-bitov, kar omogoča vključitev urine informacije v podatkovni tok.

Trenutno so standardizirane tri verzije SATA vmesnikov in vmesnik eSATA za povezovanje z zunanji napravami:

- SATA 1.0 s hitrostjo prenosa 1,5 Gb/s
- SATA 2.0 s hitrostjo prenosa 3 Gb/s
- SATA 3.0 s hitrostjo prenosa 6 Gb/s

Native Command Queuing, ključna značilnost SATA vmesnika, omogoča sortiranje in dodajanje prioritet več ukazom naenkrat ter zmanjšanje mehanske obrabe trdega diska. Ostale značilnosti so priklop med delovanjem (hot plug), razporejen (zakasnen) zagon plošč v primeru več trdih diskov v sistemu.

4.11.3 Paralelni SCSI vmesnik

Paralelni SCSI vmesnik je bil vodilni v industriji trdih diskov več kot 20 let. Njegov uspeh je potrebno pripisati njegovi zmogljivosti, inteligenci in združljivosti nazaj. Razvit je bil z namenom, da zagotovi skupni vmesnik za uporabo na vseh perifernih platformah in sistemskih aplikacijah. Podpira širok obseg aplikacij, kot je na primer RAID, ima pa tudi večji nabor ukazov kot paralelni ATA vmesnik.

SCSI vmesnik deluje na principu vodila in nanj lahko priključimo do 7 naprav. Naprave ki jih lahko priključimo na SCSI vodilo so lahko kakršnekoli SCSI kompatibilne periferne naprave. Na vsakem koncu vodila je za preprečevanje odbojev potreben terminator (zaključitev).

Od leta 1981 dalje je bilo sedem generacij SCSI protokola. Vsaka nova generacija je podvojila zmogljivost prejšnje, od začetnega 8-bitnega paralelnega asimetričnega prenosa s hitrostjo prenosa 5 MB/s do zadnjega 16-bitnega paralelnega vmesnika s simetričnim prenosom in hitrostjo prenosa 320 MB/s na kanal (Ultra-320 SCSI).

4.11.4 Serijski SCSI vmesnik

Serijski SCSI – SAS (Serial Attached SCSI) vmesnik je naslednik in izboljšava paralelnega SCSI vmesnika. Njegova arhitektura temelji na povezavi točka-v-točko, kjer so vse naprave povezane direktno na SAS priključek. Ta povezava povečuje hitrost prenosa in izboljšuje zmožnost lociranja in popravljanja odpovedi diska. Prav tako je SAS rešil težave paralelnega SCSI z asimetrijo urinih signalov in nepravilnosti signalov pri višjih hitrostih prenosa. Nabor ukazov je prevzel od paralelnega SCSI, oblike okvirjev od Fibre Channel, fizične karakteristike pa od serijskega ATA vmesnika. Uporablja diferencialno signalizacijo, kar zmanjšuje efekt kapacitivnosti, induktivnosti in šuma pri višjih hitrostih prenosa. Za razliko od paralelnega SCSI, ki deli pasovno širino enega vodila z več napravami, zagotavlja SAS maksimalno pasovno širino za vsako napravo, kar omogoča boljšo razširljivost.

Hitrost prve generacije SAS je 3.0 Gb/s, druge pa 6.0 Gb/s. Povezava je dvosmerna, kar pomeni da pošilja in sprejema informacije simultano, s čimer se zmanjša latenca. SAS vmesnik dovoljuje združevanje več povezav za ustvarjanje 2x, 3x ali 4x povezav za razširjeno pasovno širino. SAS in SATA tehnologiji imata več skupnih značilnosti. SAS podpira tri protokole, ki omogočajo komunikacijo z različnimi napravami:

- Serial Management Protocol (SMP)
- Serial SCSI Protocol (SSP)
- SATA Tunneling Protocol (STP)

SMP se uporablja za upravljanje z razširitvenimi napravami (SAS Expander) in zaključki topologije točka-v-točko. SSP dovoljuje krmilniku komunikacijo z SAS napravami in obstoječo SCSI programsko opremo. STP dovoljuje SAS krmilniku komunikacijo s SATA napravami preko razširitvenih naprav.

4.11.5 Fibre Channel vmesnik

Fibre Channel (FC) vmesnik združuje značilnosti hitrega podatkovnega kanala in značilnosti omrežja, ki omogoča povezavo na večje razdalje. Prenosna hitrost FC vmesnika je bila na začetku 200MB/s, trenutno pa je 5,1GB/s (leto 2008). Ta povezava podpira sočasne dvosmerne komunikacije z neodvisnimi operacijami pošiljanja in sprejemanja.

Za prenos se uporabljajo single-mode in multi-mode optični kabli in laserski oddajniki z valovnimi dolžinami od 850nm do 1300nm.

Možne so tri vrste topologij, ki določajo kako so vozlišča povezana med seboj v mrežo:

- Točka-v-točko (FC-P2P)
- Zanka (FC-AL)
- Povezava preko stikal (FC-SW)

Topologije se lahko medsebojno prepletajo, tako da je mreža konceptualno podobna Ethernet omrežju. Uporablja se Fiber Channel Protocol (FCP), ki je podoben protokolu TCP, ukazi pa so večinoma enaki SCSI ukazom.

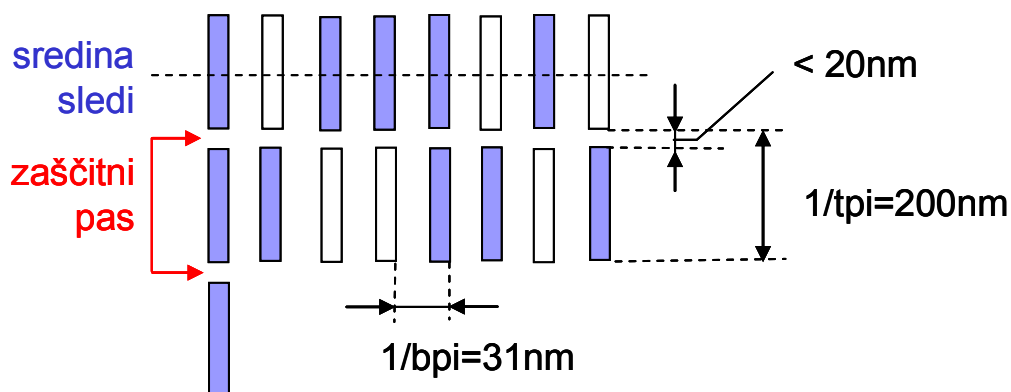
5 LASTNOSTI TRDIH DISKOV

5.1 Gostota zapisa

Površinska gostota se nanaša na količino podatkov, ki se lahko zapišejo na določeno površino plošče in se navadno meri v bitih/palec². Je produkt med gostoto sledi in linearno gostoto. Gostota sledi pomeni, kako skupaj so sledi na disku in se meri v sledih/palec (TPI), medtem ko pomeni linearna gostota, kako skupaj so magnetne domene na sledi. Enota merjenja linearne gostote je število bitov/palec na sledi (BPI).

Pri linearni gostoti npr. 800 Kb/palec je presledek med biti na sledi 1,25 mikropalca ali 31 nm. Če je gostota sledi 125 Ksledi/palec, sta sredini sosednjih sledi narazen 8 mikropalcev ali 200 nm, zaščitni pas med sledema pa je približno 10% razdalje med sledema, kar je 20 nm. Površinska gostota je potem 100 Gb/palec²:

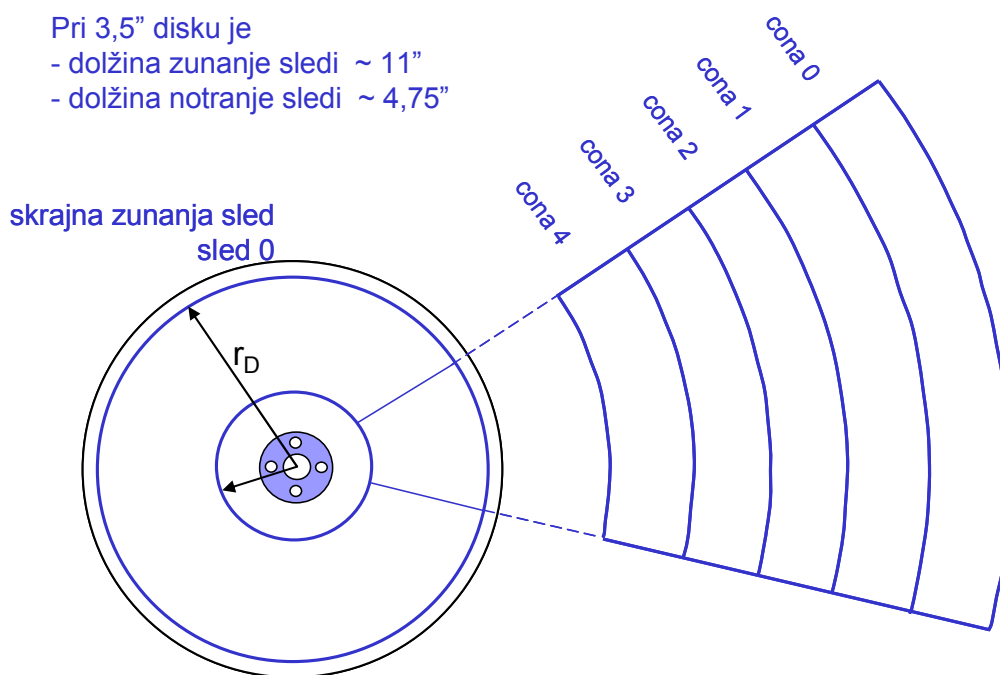
$$\text{Površinska gostota} = 800 \cdot 10^3 \text{ bpi} \cdot 125 \cdot 10^3 \text{ tpi} = 100 \cdot 10^9 \text{ bpi}^2 = 100 \text{ Gbpi}^2$$



Slika 13: Dimenzije sledi in magnetnih domen pri površinski gostoti 100 Gb/palec² [3]

Vsaka sled na površini plošče je različne dolžine, prav tako ni nobena sled zapisana z enako gostoto, kar pomeni, da linearna gostota ni konstantna in se zmanjšuje od notranjih proti zunanjim sledem.

Delna rešitev je tako imenovan conski zapis (ZBR - Zone Bit Recording), ki se danes uporablja v vseh trdih diskih. Sosednje sledi na plošči so združene v cone.



Slika 14: Conski zapis [3]

Hitrost zapisa je na sledih ene cone konstantna, najmanjša je na notranji coni in narašča proti zunanjim conam. Zato je tudi število sektorjev na zunanjih conah večje kot na notranjih. Na ta način dosežemo približno enako gostoto na vseh sledih, zunanjih in notranjih.

Cona	Štev.sledi v coni	Štev.sektorjev na sledi
0	624	792
1	1424	780
...
14	1815	370

Tabela 4: Razdelitev sledi v cone pri disku IBM Deskstar 14 GXP

Trenutna površinska gostota je presegla že 500 Gbit/palec². Proizvajalci pa težijo k povečanju površinske gostote s povečevanjem linearne gostote in gostote sledi. Ker so biti bližje en drugemu, se dogajajo interference med njimi. To se rešuje z zmanjševanjem magnetnih domen zapisanih na plošči, kar pa povzroči problem stabilnosti namagnetjenja,

bralno-pisalne glave pa morajo biti dovolj senzibilne in dovolj blizu površine, da lahko preberejo podatke. Zato morajo lebdeti nižje, vendar morajo biti zato plošče dovolj gladke, da se prepreči možnost trka glave s površino plošče. S pravokotnim zapisom in izboljšanimi bralno-pisalnimi glavami se predvideva doseči površinsko gostoto do 1 Tb/palec².

5.2 Format zapisa na trdem disku

Zgradba zapisa na sledi mora omogočati, da lahko shranjene podatke z diska zopet preberemo, zato morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:

- Možnost izbire poljubne sledi na disku s premikom bralno-pisalne glave
- Preverjanje položaja bralno-pisalne glave
- Dobro definirana referenčna točka
- Možnost večkratnega pisanja vzdolž sledi
- Lociranje predhodno zapisanih zapisov
- Določanje začetka zapisa

Dodatne zahteve so še:

- Detekcija in korekcija napak pri branju
- Identifikacija neuporabnih delov diska

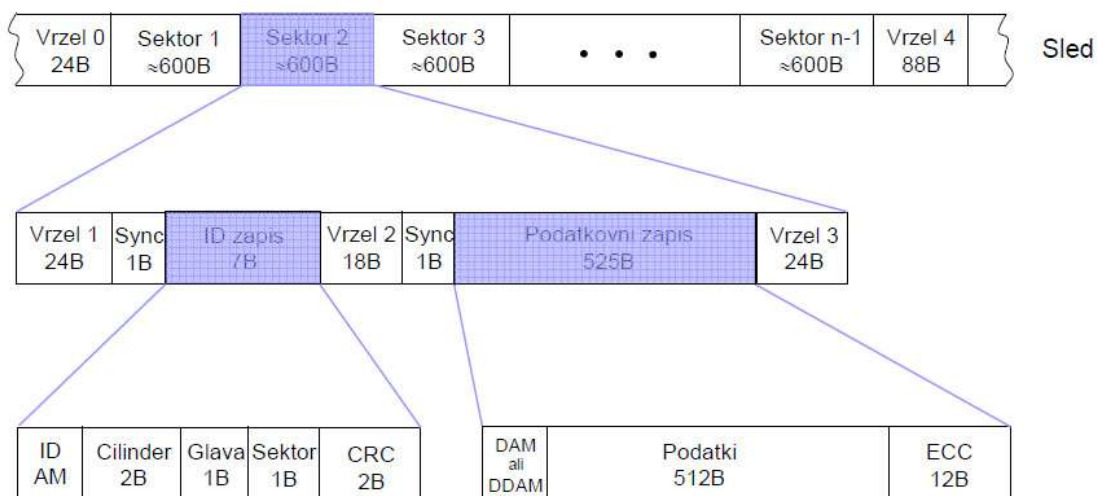
Vse to omogoča format zapisa, ki določa število sektorjev na sledi in zgradbo sektorja ter vrzeli in servozapis. Format sestavljajo štiri deli:

- Servozapis, ki služi za pozicioniranje bralno-pisalne glave točno na sredino sledi. V servozapis sta pri novejših diskih vključena tudi številka sledi in sektorja. To je No-ID format, pri katerem potem ni potreben poseben ID zapis z naslovom sledi in sektorja, ki zasede od 5 do 10% prostora na sledi.
- Uvod ali adresna marka je enolična kombinacija bitov, ki določajo začetek sektorja oziroma zapisa na sektorju
- Podatkovni zapis je del sektorja v katerem so shranjeni podatki. Pri večini diskov je podatkovni zapis dolg 512 bajtov.

- Biti za detekcijo in korekcijo napak, ki se izračunajo in zapišejo na koncu podatkovnega zapisa pri vsakem pisanju sektorja. Teh bitov je običajno od 64 do 128 in se pri branju uporabijo za detekcijo in popravljanje napak.

Na sledi so tudi vrzeli, ki ločujejo med seboj posamezne zapise. Vrzeli so potrebne, ker zaradi nenatančnosti vrtenja diska ni mogoče zagotoviti, da se bo zapis vedno zapisal natančno na isto mesto in da bo njegova fizična dolžina vedno enaka. Vsebina vrzeli ni definirana, ker so v njej lahko ostanki prejšnjih pisanj.

Uporabniku je viden samo podatkovni zapis in njegov naslov. Število bajtov, ki jih lahko shranimo v vse sektorje je formatirana velikost diska, ki je seveda manjša od neformatirane, ki vključuje tudi vrzeli, uvod, naslov in bite za detekcijo in korekcijo napak.



Slika 15: Primer formata sledi na trdem disku

6 ZMOGLJIVOST TRDIH DISKOV

Pri izbiri trdega diska je ena izmed najpomembnejših lastnosti zmogljivost (hitrost) trdega diska. Trdi diski imajo širok razpon zmogljivostnih sposobnosti (zmožnosti). Kot velja za mnogo stvari, je eden izmed najboljših kazalcev zmogljivosti trdega diska njegova cena.

Zmogljivost trdega diska se ponavadi podaja na dva načina:

- s prenosno hitrostjo
- s povprečnim dostopnim časom

6.1 Prenosna hitrost

Prenosna hitrost je verjetno bolj pomembna pri celotni zmogljivosti sistema kot katerakoli drug parameter, vendar je lahko tudi ena izmed najbolj zavajajočih specifikacij. Problem je v tem, da je za dani trdi disk lahko podanih več prenosnih hitrosti.

Zmešnjava izhaja iz dejstva, da lahko proizvajalci podajajo do sedem različnih prenosnih hitrosti za nek trdi disk. Morda je najmanj pomembna prenosna hitrost vmesnika, ki je za večino ATA diskov ali 100 MB/s ali 133 MB/s, ali pa 150 MB/s oziroma 300 MB/s za serijske ATA diske. Na žalost se malo uporabnikov zaveda, da trdi diski dejansko berejo in zapisujejo podatke veliko počasneje od te hitrosti.

Med najbolj pomembne podatke o hitrosti prenosa spadajo:

- Notranja prenosna hitrost (Media Transfer Rate)
- Stalna ali zunanja prenosna hitrost (Sustained Transfer Rate)
- Prenosna hitrost vmesnika (Interface Transfer Rate)

Notranja prenosna hitrost (Media Transfer Rate) je največja hitrost s katero se lahko biti berejo ali pišejo na sled. Proizvajalci jo običajno podajajo v Mbitih/s, odvisna pa je od:

- Hitrosti vrtenja plošče
- Linearne gostote na sledi
- Položaja sledi na plošči (število sektorjev je na zunanjih sledih večje kot na notranjih)

Običajno je podana samo maksimalna notranja prenosna hitrost (na zunanjih sledih). Pri tem so upoštevani vsi biti na sledi (ID zapis, ECC biti, vrzeli, ...) ne pa samo podatkovni biti.

Stalna ali zunanja prenosna hitrost (Sustained Data Rate) je hitrost, s katero se berejo ali pišejo na sledi podatkovni biti v sektorju (običajno 512 B). Tudi ta hitrost je odvisna od:

- Hitrosti vrtenja plošče
- Števila sektorjev na sledi

Običajno jo proizvajalci podajajo v MB/s. Zaradi conskega zapisa, pri katerem je število sektorjev na zunanjih sledih večje kot na notranjih za zunanjo in notranjo sled, je običajno podana minimalna in maksimalna vrednost, čeprav večina proizvajalcev podaja samo maksimalno vrednost.

Prenosna hitrost vmesnika pa je hitrost prenosa med krmilnikom trdega diska in računalnikom in je običajno podana v MB/s in je odvisna od vrsta vmesnika. Ta hitrost je že pri običajnem vmesniku ATA/100 (100MB/s) bistveno večja, kot pa je stalna prenosna hitrost. To je tudi glavni razlog, da imajo vsi moderni trdi disk predpomnilnik.

Za primer pogledjmo trdi disk Hitachi Deskstar 120GXP, ki velja za hiter ATA disk. Hitrost plošč je 7,200 obr/min z vmesnikom ATA/100 (Ultra DMA Mode 5, s hitrostjo prenosa 100MB/s).

Če poznamo število sektorjev na sledi (SPT), dolžino podatkovnega zapisa v sektorju in hitrost vrtenja diska, lahko izračunamo stalno prenosno hitrost za določeno sled.:

$$\text{Stalna prenosna hitrost [MB/s]} = \text{SPT} \times 512 \text{ B} \times \text{Število obratov/min} / 60 \text{ sek}$$

Maksimalna stalna prenosna hitrost na zunanji coni je tako:

$$928 \text{ sektorjev} \times 512 \text{ B} \times (7,200 / 60) \text{ s}^{-1} = 57.016.32042 \text{ B/s} = 57,016 \text{ MB/s}$$

Tabela 5 prikazuje specifikacije za disk Hitachi Deskstar 120 GXP disk s 7,200 obr/min in vmesnikom Ultra-ATA/100.

Cona plošče	Štev. sektorjev/sled	Stalna prenosna hitrost
Zunanja cona	928	57.02 MB/s
Notranja cona	448	27.53 MB/s
Povprečje	688	42.27 MB/s

Tabela 5: Stalna prenosna hitrost glede na cono

Kot se vidi iz tabele, je stalna prenosna hitrost za ta disk med 57,02 MBps in 27.53 MBps, ali povprečna okoli 42.27 MBps – manj kot polovica prenosne hitrosti vmesnika ATA/100.

Vprašanje, ki se pri tem poraja, je o smiselnosti nadgradnje ATA vmesnika v sistemu. Iz primerjave hitrosti vmesnika (100 MB/s) in maksimalne stalne prenosne hitrosti (57,02 MB/s) lahko sklepamo, da bo višja hitrost vmesnika koristna le pri prenosu med predpomnilnikom diska in računalnikom.

6.2 Povprečni dostopni čas

Dostop do podatkov v zelenem sektorju na disku je sestavljen iz dveh korakov:

- Iskanje zelene sledi
- Vrtilna zakasnitev

Čas za pomik bralno-pisalne glave na zeleno sled imenujemo iskalni čas (seek time). Proizvajalci običajno podajajo maksimalni, minimalni in povprečni iskalni čas. Minimalni čas dobimo pri premiku na sosednjo sled, maksimalni pa pri pomiku glave iz ene skrajne sledi do druge. Za povprečni iskalni čas velja pravilo, da je to vsota časov vseh možnih iskanj, deljeno s številom vseh možnih iskanj.

Vrtilna zakasnitev ali latenca (rotational latency) je čas, ki je potreben, da se potem ko je bralno-pisalna glava že na zeleni sledi, zeleni sektor zavrti pod bralno-pisalno glavo. V povprečju je vrtilna zakasnitev polovico časa enega obrata plošče. Plošča, ki se vrti dvakrat hitreje, ima polovično latenco.

Latenca je pomemben faktor pri bralni in pisalni zmogljivosti diska. Zmanjšanje latence poveča hitrost dostopa do podatkov ali datotek. Vrednosti latence za hitrosti najbolj popularnih diskov so prikazane v tabeli 6.

Hitrost plošče obr/min	Hitrost plošče obr/sek	Latenca ms (10^{-3} s)
3,600	60	8.33
5,400	90	5.56
7,200	120	4.17
10,000	167	3.00
15,000	250	2.00

Tabela 6: Vrtilna zakasnitev pri standardnih hitrostih plošč

Večina današnjih diskov se vrti s hitrostjo 7,200 obr/min, medtem ko so diski s 10.000 ali 15.000 obr/min redkejši. Hitrost vrtenja plošče direktno vpliva na notranjo prenosno hitrost, celotne sledi namreč ni mogoče prebrati ali napisati hitreje, kot pa je čas enega obrata.

Povprečni dostopni čas je tako vsota povprečnega iskalnega časa in vrtilne zakasnitve. Pri disku Hitachi Deskstar 120 GXP s 7200 obr/min je povprečni iskalni čas 8,5 ms, vrtilna zakasnitev pa 4,17 ms.

Če želimo izračunati povprečni čas za branje ali pisanje enega sektorja dolžine 512 B na disk, moramo poleg povprečnega dostopnega časa upoštevati še čas za prenos sektorja z notranjo prenosno hitrostjo. Pri disku Deskstar 120 GXP je podana samo maksimalna notranja prenosna hitrost 592 Mb/s. Tako lahko izračunamo povprečni čas za branje (ali pisanje) sektorja na zunanjih sledih:

$$T = 8,5 * 10^{-3} s + 4,17 * 10^{-3} s + 512 * 8 / (592 * 10^6) s = 8,5 ms + 4,17 ms + 0,00692 ms = 12,67 ms$$

6.3 Vpliv predpomnilnika na zmogljivost trdega diska

Ko trdi diski še niso imeli predpomnilnika, so operacijski sistemi poskušali pohitrili prenose z diska s programi za shranjevanje prebranih in uporabljenih podatkov z diska v glavni pomnilnik (RAM). To so bili tako imenovani navidezni predpomnilniki.

Na programskem nivoju so imeli programi za krmiljenje predpomnilnika, kot sta npr. SMARTDRV (DOS) in VCACHE (Windows), lahko precejšen vpliv na zmogljivost trdega diska. Ti programi so prestrezali bralne in pisalne klice BIOS-u iz aplikacijskih programov in gonilnikov naprav.

Ko želi aplikacijski program brati podatke iz diska, program predpomnilnika prestreže bralno zahtevo, prenese bralno zahtevo krmilniku trdega diska na običajen način, prebrane podatke posreduje aplikacijskemu programu in hkrati te podatke shrani tudi v začasni predpomnilnik. Pri npr 2 MB velikem predpomnilniku v glavnem pomnilniku je lahko vanj shranjenih 4096 sektorjev.

Pri naslednjem branju program predpomnilnika ponovno prestreže zahtevo in pregleda, ali so želeni podatki že v predpomnilniku. Če so, program takoj preda podatke nazaj iz predpomnilnika aplikaciji, brez dodatnih operacij trdega diska. Zaradi shranjenih podatkov v predpomnilniku ta metoda izredno pohitri dostop in lahko zelo vpliva na meritve zmogljivosti trdega diska.

Vsi moderni trdi diski imajo sedaj vgrajen večji ali manjši hitri pomnilnik, ki ga imenujemo kar predpomnilnik diska. Velikost predpomnilnika na disku se giblje od 2 MB pri starejših trdih diskih do 32 MB pri najzmogljivejših.

7 ZANESLJIVOST TRDIH DISKOV

Pri nakupu trdega diska je pomemben podatek MTBF (Mean Time Between Failures), ki pomeni povprečni čas med napakama. Pri razumevanju podatka o MTBF, je treba vedeti, kako proizvajalci pridejo do teh rezultatov in kaj pomenijo. Veliko proizvajalcev ima dolgo zgodovino proizvodnje diskov, ki so doživeli milijone ur kumulativnega delovanja. Proizvajalci lahko upoštevajo število izpadov pri prejšnjih modelih diskov z enakimi komponentami in izračunajo predvideno število izpadov novih diskov, ki temeljijo na komponentah, ki sestavljajo trdi disk. Za elektronsko vezje lahko uporabijo tehnike industrijskega standarda za predvidevanje izpadov elektronike. To jim omogoča izračun predvidenega števila izpadov za celoten trdi disk.

Za razumevanje teh podatkov je treba vedeti, da se MTBF nanaša na populacijo diskov, ne pa na posamičen trdi disk. To pomeni, da če naj bi imel disk MTBF 500,000 ur, se lahko pričakuje izpad v populaciji diskov v 500,000 urah skupne delovne dobe. Če je milijon diskov tega modela na testiranju in vsi delajo simultano, se lahko pričakuje, da bo en disk iz celotne populacije izpadel na vsake pol ure. Podatek MTBF ni uporaben za predvidevanje izpada posamičnega diska ali majhne skupine diskov.

Prav tako je potrebno razumeti pomen besede izpad. V tem kontekstu pomeni izpad napako, ki zahteva, da se disk vrne proizvajalcu v popravilo, ne pa slučajno napako pri branju ali pisanju datoteke.

Tekom let je bilo zbranih precej podatkov o vrstah vzrokov, ki so privedli do izpadov diskov v računalniških centrih in telekomunikacijskih sistemih. Iz rezultatov, zbranih v tabeli 6 sledi, da je poglobitveni vzrok za napake človeški faktor, to so operaterji sistemov.

Nekateri proizvajalci opozarjajo, da bi se ta mera, povprečni čas med izpadoma, morala imenovati »povprečni čas prvega izpada«. »Med izpadi« pomeni, da se disk pokvari, se vrne na popravilo, in potem na neki točki zopet odpove. Interval med popravilom in drugim izpadom se imenuje MTBF. Ker se v večini primerov poškodovani disk, ki bi potreboval proizvajalčevo popravilo, raje zamenja kot pa popravlja, je celoten koncept MTBF napačno imenovan.

Vzrok napake			Sistem	Leto zbiranja podatkov
Operater	Prog. oprema	Strojna oprema		
42%	25%	18%	Rač. center Tandem	1985
15%	55%	14%	Rač. center Tandem	1989
18%	44%	39%	Rač. center DEC VAX	1985
50%	20%	30%	Rač. center DEC VAX	1993
50%	14%	19%	Javno telef. omrežje ZDA	1996
54%	7%	30%	Javno telef. omrežje ZDA	2000
60%	25%	15%	Ponudniki internetnih storitev	2003

Tabela 7: Vzroki napak diskov [2]

Za določen trdi disk podatek MTBF ni natančno merilo zanesljivosti. Vseeno je za sistemske administratorje, ki nameravajo kupiti na tisoče namiznih računalnikov ali diskov na leto, in sistemske prodajalce, ki podpirajo tisoče sistemov, vredno pregledati te številke in preučiti metode, ki jih pri izračunu uporabljajo proizvajalci.

7.1 Predvidevanje možnosti napake na trdih diskih

Prvi nadzorni sistem za trde diske je leta 1992 predstavil IBM pri diskovnem polju računalniškega sistema AS/400. To leto je IBM začel proizvajati 3.5 palčne diske, opremljene s sistemom za »analizo predvidljivih izpadov« PFA (Predictive Failure Analysis).

Compaq in proizvajalci trdih diskov Seagate, Quantum in Conner so svojo verzijo sistema za nadzor delovanja trdih diskov imenovali IntelliSafe. Leta 1995 je Compaq ta sistem predlagal za standardizacijo. Prizadevanja za standardizacijo so podprli proizvajalci trdih diskov IBM, Seagate, Quantum, Conner in Western Digital. Rezultat je bil skupno razvit standard, ki so ga poimenovali S.M.A.R.T. (Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology – v nadaljevanju SMART)

Ko je delovanje SMART omogočeno pri določenem disku, se avtomatsko nadzoruje vnaprej določene parametre, ki nakazujejo na nepravilnosti v delovanju diska. Na osnovi sprememb vrednosti nadzornih parametrov se lahko napove možnost izpada. Osnovna informacija, ki jo daje sistem SMART, je SMART status, ki ima samo dve vrednosti:

- prag ni presežen
- prag je presežen

Pri povečani verjetnosti izpada diska na osnovi SMART statusa lahko sistemski BIOS ali gonilniki obvestijo uporabnika, preden pride do izpada diska in tako omogočajo uporabniku, da pravočasno naredi varnostno kopijo podatkov na disku.

Napovedljivi izpadi so vrsta izpadov, ki jih SMART poskuša zaznati. Ti izpadi so rezultat postopnega zmanjševanja zmogljivosti diska. Po mnenju Seagate-a je 60% izpadov diskov mehanske narave, ki jih SMART lahko napove.

Seveda pa vsi izpadi niso napovedljivi in SMART ne more pomagati pri nenapovedljivih izpadih, ki se zgodijo brez kakšnega predhodnega opozorila. Ti so lahko povzročeni s statično elektriko, z nepravilnim rokovanjem, nenadnim šokom, ali napako v elektroniki.

Tehnologija SMART je danes industrijski standard za napovedovanja zanesljivosti delovanja v večini IDE/ATA, SATA in SCSI trdih diskov.

Tradicionalni diagnostični programi, kot je ScanDisk, preverjajo samo podatkovne sektorje površine plošče in ne kontrolirajo vseh funkcij diska, kot SMART. Večina modernih trdih diskov ohranja rezervne sektorje, ki se uporabijo kot nadomestilo za okvarjene sektorje. Ko se dodeli rezervni sektor namesto okvarjenega, to sistem SMART zazna (števec okvarjenih sektorjev), diagnostičnemu programu kot je ScanDisk pa površina še vedno zgleda popolnoma brez defektov.

Pri trdih diskih s tehnologijo SMART se nadzira množica parametrov, ki se razlikujejo med proizvajalci. Najbolj pogosto se nadzirajo parametri naslednjih sklopov:

- Bralno-pisalne glave in ročice
- Površina plošč
- Motor za pogon plošč in ležaji
- Elektronika krmilnika in vmesnika

Parametri, ki se nadzirajo pa so tipično:

- Višina lebdenja bralno-pisalnih glav
- Število okvarjenih sektorjev
- Hitrost vrtenja plošč
- Temperatura
- Število napačno prebranih bitov
- Paritetne napake pri prenosu
- Hitrost prenosa podatkov

Vsak parameter ima določen prag, ki se od proizvajalca do proizvajalca lahko razlikuje. Ko je prag pri določenem parametru presežen, se to odrazi v SMART statusu (prag presežen).

Osnovne zahteve za delovanje SMART v računalniku so preproste. Potreben je samo SMART zmožljiv trdi disk in SMART BIOS ali gonilnik trdega diska za posamezen operacijski sistem. Če določen BIOS ne podpira SMART so na voljo koristni programi, ki podpirajo SMART na danem sistemu. To so npr. »Norton Utilities« (Symantec), »EZ Drive« (StorageSoft) in »Data Advisor« (Ontrack).

Odlično brezplačno orodje, SMARTDefender je na voljo na Hitachijevi spletni strani. Ta program kontrolira SMART status diskov v ozadju in je lahko ročno zagnan za preverjanje SMART statusa diska. Vključuje SMART monitor aplikacijo, ki izvaja SMART teste in kontrolo zmožljivosti, glede nastavitve SMARTDefenderja. SMARTDefender ikona se pojavi v sistemskem pladnju, ko je monitor zagnan. Spremljanje parametrov se lahko onemogoči (SMART monitor) in se požene SMARTDefender ročno za preverjanje trenutnega stanja trdega diska kot tudi izvajanje raznih testov:

- SMART status preverjanje. Izvede hitro preverjanje SMART statusa trdega diska.
- SMART kratek samo-test. Izvaja kratek (okoli 90 sekund) samo-test trdega diska.
- SMART razširjen samo-test. Izvaja obširen samo-test trdega diska za identifikacijo neizbežnih izpadov, ki pa je lahko časovno precej zahteven.

Ko je presežen prag v spremljanih parametrih, pride SMART status v stanje »prag presežen«, in disk pošlje opozorilno sporočilo preko IDE/ATA ali SCSI ukaza h gonilniku trdega diska v sistemskem BIOSU, ki potem posreduje sporočilo operacijskemu sistemu. Operacijski sistem potem prikaže opozorilno sporočilo na sledeč način:

Takoj naredite varnostno kopijo podatkov in zamenjajte trdi disk. Izpad je lahko neizbežen.

To sporočilo lahko vsebuje dodatne informacije, katera fizična naprava je sprožila opozorilo, spisek logičnih pogonov (particij), ki ustrezajo fizičnim napravam, in celo tip proizvajalca ter serijsko številko naprave.

Če SMART status pri kateremkoli disku preide v stanje »prag presežen« ali »drive fail«, je treba upoštevati, da lahko tak disk izpade kadarkoli. Na takem disku je potrebno takoj narediti varnostno kopijo in razmisliti o zamenjavi diska, preden se zgodi dejanska izguba podatkov.

SMART opozorila so lahko povzročena tudi od zunanjih virov in morda ne kažejo dejansko stanje diska. Okoljske spremembe, kot je visoka ali nizka temperatura, lahko povzročijo SMART opozorilo, prav tako prekomerne vibracije v trdem disku, povzročene od zunanjih virov. Možne so tudi električne motnje motorjev ali drugih naprav na istem vezju, saj lahko računalnik povzroči ta opozorila.

Če se ne zgodijo dodatna opozorila, je vzrok lahko zunanja motnja in morda ni potrebna menjava diska. Če pa se pojavljajo nadaljnja opozorila, je priporočena zamenjava trdega diska.

8 ALTERNATIVNE TEHNOLOGIJE SHRANJEVANJA PODATKOV

8.1 Hibridni trdi diski

Hibridni trdi disk (HHD) je standarden trdi disk opremljen z velikim pomnilnikom ali spominom, ki ne zahteva vrtenja plošč pri zapisovanju podatkov. Ta trajna oblika flash pomnilnika je vključena v HHD v prirastku do enega GB, kar daje rezultat v trdem disku, da v osnovi ustvarja varnostno kopijo pomnilnika.

Plošče v hibridnem trdem disku se zato začnejo vrteti in se vrtijo samo, ko je pomnilnik napolnjen, ali ko se prenašajo zelo velike datoteke. Posledica tega je, da se plošče vrtijo samo majhen del časa, ko je trdi disk v delovanju, v primerjavi s stodontnim časom vrtenja plošč standardnih trdih diskov.

Prednosti te oblike je več. Ker se plošče hibridnega trdega diska vrtijo samo deset odstotkov časa ali manj, porabi računalnik bistveno manj energije in ustvarja veliko manj toplote. Te prednosti so v glavnem koristne v prenosnih računalnikih, ki delujejo na baterijo. Dejstvo je tudi, da so prenosni računalniki omejeni pri video obdelavi zaradi pregrevanja. Vsako zmanjšanje v toploti v prenosnih računalnikih omogoča razširitev razpoložljivih funkcij.

Ko uporabnik uporablja hibridni trdi disk samo s spominom predpomnilnika, se s tem poveča hitrost. Velja pa ravno nasprotno, kadar je potrebno iskanje in nalaganje datoteke, shranjene na samem trdem disku. To zahteva, da se plošče začnejo vrteti in iskanje programske opreme za izvajanje njenih funkcij, kar je proces, ki je včasih počasnejši kot pri računalnikih opremljenih z standardnimi trdimi diski.

Hibridni trdi disk, katerega plošče se večinoma časa ne vrtijo, je zaradi tega tudi bolj tih, s čimer se zmanjša hrup računalnika. S tem konceptom se prav tako znatno zmanjšajo obrabe trdega diska, kar je rezultat v daljši življenjski dobi trdega diska. Ena izmed slabosti hibridnih trdih diskov je dejstvo, da se večina obrabe na trdem disku in večja poraba energije dogaja v stanju, ko se plošče začnejo vrteti. To pomeni, da konstantno zaganjanje in ustavljanje plošč ustvarja porabo energije in obrabo.

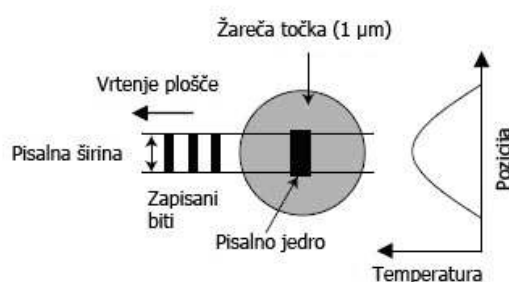
Obstaja tudi možnost izgube podatkov v dogodkih, ko se zruši računalnik. Flash spominska naprava izgubi vse podatke, ko se računalnik nenačrtovano ustavi. V nasprotju se pri klasičnih trdih diskih podatke lahko ob zrušitvi računalnika reši, za kar pa je potreben strokovnjak.

8.2 Magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja (HAMR)

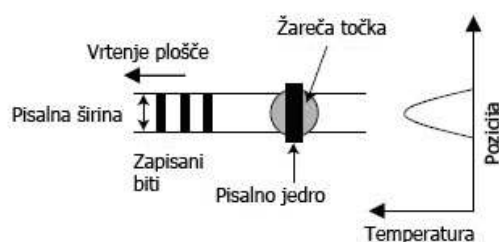
Magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja je novejša tehnika za zapisovanje podatkov na trdi disk podjetja Seagate za povečanje površinske gostote z uporabo bolj stabilnega zapisovalnega medija, ki ne podleže superparamagnetni meji. Osnovni princip delovanja te tehnike je ta, da laser začasno segreje področje zapisovanja, ki se potem ohladi na sobno temperaturo, zapisani biti pa ostanejo stabilni.

Magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja lahko reši temeljne probleme v zvezi s toplotno nestabilnostjo in pisalno zmožnostjo pri magnetnem zapisovanju, in se smatra za ključno tehnologijo za doseganje gostote, ki bo presegla 1 Tbit/palec². Ta tehnologija predvideva dva načina zapisovanja:

- optično prevladujoče zapisovanje
- magnetno prevladujoče zapisovanje



(a) Magnetno prevladujoče zapisovanje



(b) Optično prevladujoče zapisovanje

Slika 16: Magnetno in optično prevladujoče zapisovanje

Teoretična ocena v optičnem prevladujočem zapisovanju domneva, da magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja omogoča 10-krat večjo gostoto v primerjavi s konvencionalnim magnetnim zapisovanjem. Magnetno prevladujoče zapisovanje je bilo spremljano na vzdolžnem sintetičnem feromagnetnem snemalnem mediju za potrditev njegove temeljne učinkovitosti. Razmerje med signalom in šumom ter prepisljivost magnetnega zapisovanja s pomočjo segrevanja je bilo zagotovljeno brez toplotnega brisanja. Na novo predlagana optična glava z votlo mrežasto strukturo zagotavlja dobre optične karakteristike kot grelni element za optično prevladujoče zapisovanje, poleg tega je proces izdelave združljiv s procesom za konvencionalno magnetno zapisovanje.

Za povečanje gostote morajo biti magnetna zrnca zmanjšana, da se zagotovi dovolj visoko razmerje signala proti šumu. Vendar pa drastično povečanje gostote ne bo možno zaradi problema toplotne nestabilnosti, pri katerem se magnetno snemalno področje zmanjša zaradi toplotnega razpada skozi čas, in je bolj izrazito, ko se velikost magnetnih zrnec manjša. Za premagovanje problema termičnega gibanja, je potrebno močno povečati koercivnost magnetne anizotropne konstante medija. Faktor stabilnosti, definiran kot $K_u V / k_B T$, mora biti večji kot 60 za zagotovitev 10 letne stabilnosti zapisa (K_u : magnetna anizotropna konstanta, V : volumen magnetnih zrnec, k_B : Boltzmann-ova konstanta, T : temperatura). Po drugi strani postane pisalno magnetno polje nestabilno, če ima medij koercivnost, ki presega 10 kOe [$1 \text{ Oe} = (1000/4\pi) \text{ A/m}$] zaradi temeljnih omejitev pisalnih glav.

8.3 Self-Ordered Magnetic Arrays (SOMA)

Tehnologija SOMA sloni na množici železovih in platinastih delcev. Od te nove tehnologije za zapisovanje podatkov se pričakuje, da bo presegla superparamagnetno mejo magnetnega zapisovanja za več kot faktor 100.

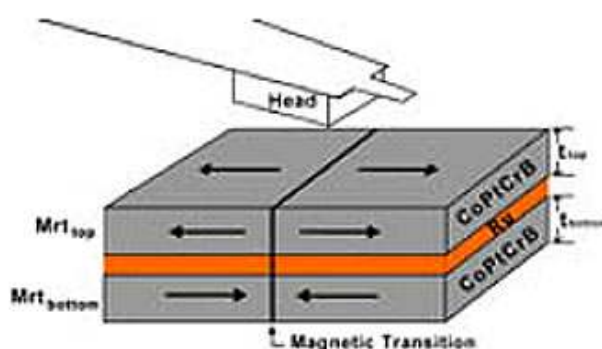
Tipični bit informacije je zgrajen iz okoli 100 zrnec materiala. Inženirji se ukvarjajo s tem, da bi vsako zrnce predstavljalo edinstven bit informacije. Rezultat tega bi bil velik dosežek v bitni gostoti. Ta tehnologija, ki je še v raziskovanju, bi bila lahko implementirana v nekakšni velikosti tipičnih polprevodniških čipov. Deluje kot skeniranje (odčitavanje) mikroskopa,

razen tega, da gre za množico mikroskopov (sond), ki berejo in zapisujejo podatke. Vsaka sonda naslavlja množico bitov informacije, sonde pa zapisujejo in berejo paralelno. Predvideva se, da bo možno shraniti 10 GB podatkov na čipu velikosti 1 cm². Sondino shranjevanje ni mišljeno kot nadomestilo za trde diske, ravno nasprotno, lahko bi se uporabljalo v velikem številu naprav potrošniške elektronike, ki zahtevajo zanesljive pomnilnike ter nizko porabo energije z zmerno kapaciteto. Prednosti te tehnologije so še, da ima višjo toplotno stabilnost, majhen šum in močnejši signal, kar vodi do višje površinske gostote in k boljšemu razmerju signala proti šumu.

8.4 Tehnologija *Pixie Dust*

Leta 2001 je IBM predstavil takrat novo tehnologijo, imenovano *Pixie Dust*. Ta tehnologija ima sposobnost povečanja površinske gostote za faktor 4. *Pixie Dust* je samo drugo ime za tehnologijo antiferomagnetno-združenega medija (Anti Ferromagnetic Coupled - AFC) zaradi visoke učinkovitosti uporabljene tanke plasti rutenija. Antiferomagnetno-združeni medij je sestavljen iz plasti elementa rutenija, ki je debel tri atome in nameščen med dve magnetni plasti.

Dve magnetni plasti delujeta ena proti drugi na obeh straneh plasti rutenija. Med seboj se ne potiskata (odbijata) stran, ampak imata nasprotno silo vzdolž plasti rutenija. Ko se bralno-pisalna glava premika od bita do bita, zaznava spremembe v smeri magnetne privlačnosti vsake od teh plasti. Bitno polje je tako lahko, z dvema magnetnima plastema na vsaki strani tanke plasti rutenija, veliko manjše, vendar kljub temu bolj stabilno.



Slika 13: Zgradba plasti pri tehnologiji *Pixie Dust*

Tehnologija antiferomagnetno-združenega medija rešuje problem superparamagnetizma tako da izredno tanka plast rutenija prisili sosednje plasti, da se magnetno orientirajo v nasprotnih smereh. Ta nasprotna orientacija naredi, da zgleda ta struktura plasti veliko tanjša, kot je v resnici. Zaradi tega so lahko na AFC medij zapisani manjši biti, kljub vsemu pa ohranjajo namagnetenje zaradi celotne debeline medija.

Tehnologija antiferomagnetno-združenega medija je bila najprej uporabljena v IBM-ovih 2.5" trdih diskih Travelstar za prenosnike, ko pa je Hitachi prevzel IBM-ov oddelek za trde diske, so prevzeli s tem tudi to tehnologijo.

Konec leta 2002 je IBM najavil, da je Pixie Dust tehnologija omogočila presežek v zapisovanju podatkov v takratnem času in za proizvodnjo prenosnih trdih diskov z najvišjo kapaciteto do tedaj. Ob času predstavitve tehnologije je bila dosežena površinska gostota 25.7 GB/palec². Leto kasneje se je povečala na 70 GB/palec², s tem da so dodali dodatno plast rutenija in še eno magnetno plast za skupno pet plasti.

9 ZAKLJUČEK

Magnetni diski so že od sredine 1950-ih let naprej najpomembnejša vrsta pomožnega pomnilnika. Delimo jih na gibke in trde diske. V diplomski nalogi so predstavljeni le slednji, ki se največ uporabljajo, gibki diski pa so že del zgodovine. Posebej sem se osredotočil na uporabljene tehnologije modernih trdih diskov, ki omogočajo znatno povečanje površinske gostote in zmogljivosti.

Pri tehnologiji vzdolžnega magnetnega zapisa, ki se je uporabljala več desetletij, je bila meja superparamagnetnosti že dosežena, zato je prišlo do razvoja alternativne tehnologije, pravokotnega magnetnega zapisa, ki omogoča bistveno večje gostote zapisovanja.

V uporabi je tudi že magnetno zapisovanje s pomočjo segrevanja, ki za povečanje površinske gostote uporablja bolj stabilen zapisovalni medij, ki ne podleže superparamagnetni meji. Osnovni princip delovanja te tehnike je ta, da laser začasno segreje področje zapisovanja, ki se potem ohladi na sobno temperaturo, zapisani biti pa ostanejo stabilni. S to tehnologijo se obeta površinska gostota, ki bo presegla 1TB/palec².

Še ena zanimiva tehnologija pa se imenuje Self-Ordered Magnetic Arrays, ki naj bi presegla superparamagnetno mejo magnetnega zapisovanja za več kot faktor 100. Ta tehnologija, ki je še v raziskovanju, bi bila lahko implementirana v nekakšni velikosti tipičnih polprevodniških čipov, za branje in pisanje podatkov pa se uporabljajo posebni mikroskopi oz. sonde.

Poleg uporabljenih tehnologij pa sem v diplomski nalogi opisal tudi zgradbo trdega diska, z vsemi njegovimi komponentami. Odkar obstajajo trdi diski, je prišlo do velike miniaturizacije njegovih sestavnih delov. Tako je pojav bralnih glav z učinkom gigantske magnetne upornosti, ki so izjemno majhne, omogočil povečanje površinske gostote.

Za prenos podatkov med trdim diskom in ostalimi deli računalnika se uporabljajo različni vmesniki. Z namenom povečanja hitrosti so paralelne vmesnike zamenjali serijski.

Na povečanje zmogljivosti bistveno vpliva tudi uporaba v trdi disk vgrajenega predpomnilnika.

Čeprav se trdim diskom že 30 let napoveduje, da jih bodo izpodrinile druge tehnologije, je skoraj zanesljivo, da bodo še dolgo najpomembnejša vrsta pomožnih pomnilnikov. Razlog temu je večja zmogljivost in večja cenovna ugodnost v primerjavi z alternativnimi tehnologijami.

10 LITERATURA

1. D. Kodek, Arhitektura in organizacija računalniških sistemov, Bi-Tim, d.o.o., 2008
2. Patterson David A., Hennessy John L., Computer Organization and Design, - 4th ed. Morgan Kaufmann Publishers, 2009
3. I. Škraba, Magnetni diski, Prosojnice pri predmetu Vhodno izhodne naprave, FRI, 2008
4. S. X. Wang, A. M. Taratorin, Magnetic Information Storage Technology, Academic Press, 1999
5. <http://www.ieemagnetics.org/Newsletter/2006October/magnews.htm>
6. http://www.pcworld.com/article/127105/timeline_50_years_of_hard_drives.html
7. <http://www.onlineearnings.net/pdf/article-34084.pdf>
8. <http://www.hclinfosystems.com/pdf/hamr-pixiedust.pdf>
9. [http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/F47BF010A4D29DFD8625716C005B7F34/\\$file/PMR_white_paper_final.pdf](http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/F47BF010A4D29DFD8625716C005B7F34/$file/PMR_white_paper_final.pdf)
10. [http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/9076679E3EE4003E86256FAB005825FB/\\$file/LoadUnload_white_paper_FINAL.pdf](http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/9076679E3EE4003E86256FAB005825FB/$file/LoadUnload_white_paper_FINAL.pdf)
11. [http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/089C4B963AEE9A6F86256D340075052F/\\$file/FD_White_Paper_FINAL.pdf](http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/089C4B963AEE9A6F86256D340075052F/$file/FD_White_Paper_FINAL.pdf)
12. <http://www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol42-1/paper10.pdf>
13. <http://h20000.www2.hp.com/bc/docs/support/SupportManual/c00301688/c00301688.pdf>
14. http://www.seagate.com/ww/v/index.jsp?locale=en-US&name=Interface_Technology&vgnextoid=11176dfcf53ad010VgnVCM100000d04090aRCRD
15. <http://www.isnare.com/?aid=143409&ca=Computers+and+Technology>
16. <http://www.anandtech.com/storage/showdoc.aspx?i=2474>