



RAČUNALNIŠKA ARHITEKTURA

8 Pomnilniške tehnologije



8 Pomnilniške tehnologije

☐ Lastnosti pomnilniških elementov

- Hitrost dostopa
- Način dostopa
 - ☐ Navadni pomnilniki – dostop z naslovom
 - ☐ Asociativni pomnilnik – dostop z vsebino

☐ Pomnilniške tehnologije

- SRAM - Statični RAM
- DRAM - Dinamični RAM
- SDRAM – Sinhronski dinamični RAM
- Flash (bliskovni) pomnilnik
 - ☐ SSD – polprevodniški disk
- HDD – magnetni disk



- Glavni pomnilnik
- Pomožni pomnilnik (tudi sekundarni pomnilnik, masovni ali počasni pomnilnik) – štejemo jih tudi med V/I naprave.
- Razlika med glavnim pomnilnikom in pomožnimi pomnilniki:
 - Do glavnega pomnilnika ima CPE **neposreden dostop** s strojnimi ukazi (npr. LOAD, STORE).
 - Do pomožnega pomnilnika (SSD, HD, trakovi, CD in DVD) je **posreden dostop** preko V/I ukazov z V/I programom.



■ Razlogi za delitev:

- ☐ Včasih tehnološki (z obstoječo tehnologijo ni bilo mogoče izdelati glavni pomnilnik večji od nekaj tisoč besed)
- ☐ Danes ekonomski

Vrsta pomnilnika	Cena za 1 GB (dec. 2015)
Glavni pomnilnik - SDRAM (DDR3, DDR4)	< 6 €/GB
Pomožni pomnilnik - SSD (polprevodniški disk)	< 1 €/GB
Pomožni pomnilnik - HDD (magnetni disk)	< 0,1 €/GB

SDRAM – Synchronous Dynamic Random Access Memory - Sinhronski Dinamični RAM

SSD – Solid State Disk – Polprevodniški disk

HDD – Hard Disk Drive – Trdi (magnetni) disk



8.1 Lastnosti pomnilniških elementov

- Lastnosti pomnilniških elementov ocenjujemo glede na različne kriterije:
 - ☐ Cena – $[\text{€/GB}]$
 - ☐ Čas dostopa - $t_a [ns]$ in hitrost dostopa $b_a [b/s; B/s, T/s]$
 - ☐ Način dostopa – z naslovom / z vsebino
 - ☐ Spremenljivost vsebine – bralni (ROM) / bralno-pisalni (RAM)
 - ☐ Obstojnost vsebine – obstojna / neobstojna
 - ☐ Zanesljivost – verjetnost za pojav napake



Hitrost dostopa

- Zmogljivost pomnilnika je določena s hitrostjo branja in pisanja informacije v pomnilnik.
- Kot merilo za hitrost se običajno uporablja povprečen čas, ki je potreben za branje ene besede iz pomnilnika.
- Ta čas imenujemo **čas dostopa** (access time) in ga označujemo s t_a in merimo v [ns].



- Čas dostopa je običajno definiran kot čas, ki preteče od trenutka, ko pomnilnik dobi naslov, do trenutka, ko:
 - Je pri **branju** zahtevana informacija prisotna na izhodu pomnilnika
 - Pri **pisanju** informacija na vhodu pomnilnika ni več potrebna
- Čas za pisanje je pri večini današnjih pomnilnikov približno enak času za branje.
- **Hitrost dostopa (access rate) b_a** je največje možno število prenesenih besed ali bitov ali bajtov na sekundo, ali pa kar prenosov na sekundo.



- Pri DRAM pomnilnikih mora po vsakem dostopu preteči nek čas (mrtvi čas t_m), preden se lahko prične naslednji dostop.
- Pri DRAM pomnilnikih je hitrost dostopa b_a zato:

$$b_a = \frac{1}{t_a + t_m} = \frac{1}{t_c}$$

Enote: b/s – biti/sekundo ali
B/s – bajti/sekundo ali
T/s – prenosi/sekundo

- Čas t_c je čas cikla, to je čas med dvema zaporednima dostopoma.



Način dostopa

- Glede na način izbire pomnilniške besede, do katere se želi dostop, se današnji pomnilniki delijo v dve skupini:
 - ☐ **Navadni pomnilniki** – vsaka pomnilniška beseda ima svoj fiksen naslov, dostop do želene besede je z naslovom
 - ☐ **Asociativni pomnilniki** – pomnilniške besede nimajo naslova, dostop do želene besede je preko vsebine ali dela vsebine te besede
- Asociativni pomnilniki se zato imenujejo tudi vsebinsko naslovljivi.



Navadni pomnilniki – dostop z naslovom pomn. lokacije

- Pri navadnih z naslovom naslovljivih pomnilnikih imamo pri različnih vrstah pomnilnikov štiri različne načine dostopa:
 - ☐ Naključni dostop (polprevodniški – solid state pomnilniki)
 - ☐ Zaporedni dostop (magnetni trakovi)
 - ☐ Krožni dostop (magnetni bobni)
 - ☐ Direktni dostop (magnetni diski, optični diski)



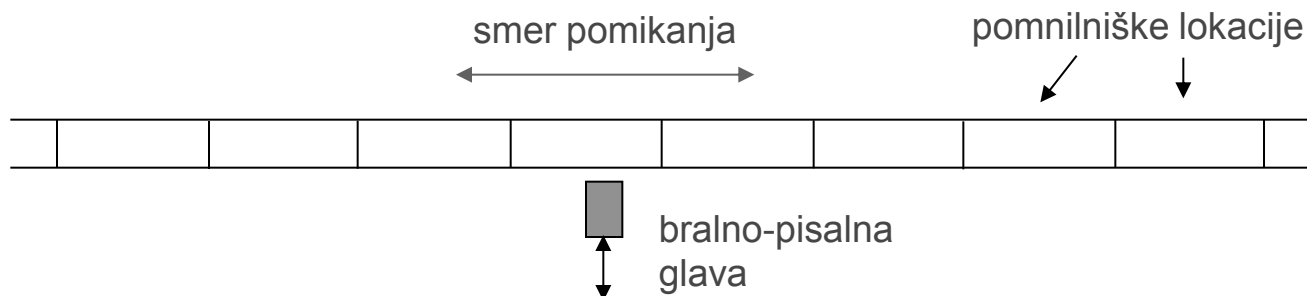
■ Naključni dostop (random access)

- ☐ Čas dostopa do poljubne pomnilniške besede je neodvisen od naslova in od vrstnega reda naslovov pred tem naslovljenih besed.
- ☐ Vsaka pomnilniška lokacija je dostopna preko logičnega vezja za naslavljanje v enakem času t_a , ne glede na pred tem naslovljene lokacije.
- ☐ Vsi polprevodniški pomnilniki (solid-state memory) so pomnilniki z naključnim dostopom.



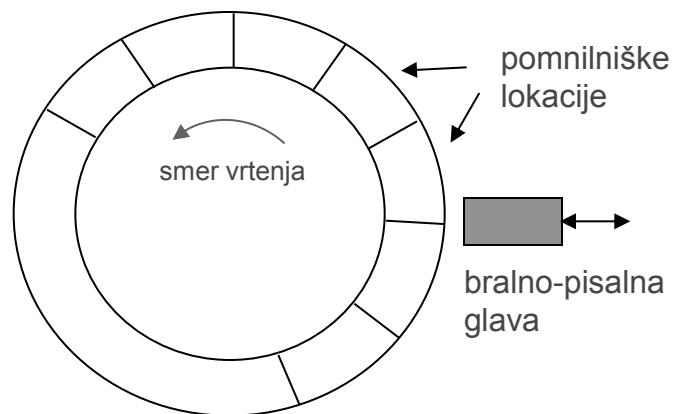
■ Zaporedni dostop (serial access)

- Čas dostopa do določene besede je odvisen od naslova besede, do katere je bil narejen dostop pred tem
- To pomeni, da je čas dostopa t_a močno odvisen od zaporedja naslovov do katerih želimo dostopati
- Magnetni trak je pomožni pomnilnik z zaporednim dostopom



■ Krožni dostop (rotational access)

- Posebna vrsta zaporednega dostopa, kjer so pomnilniške lokacije razporejene po krožnici.
- Povprečni čas dostopa t_a je enak polovici časa enega obrata.
- Pomnilnika s krožnim dostopom sta bila magnetni boben in magnetni disk s fiksnimi bralno-pisalnimi glavami.





■ **Direktni dostop (direct access)**

- ☐ Kombinacija zaporednega in krožnega dostopa, ki se uporablja pri magnetnih in optičnih diskih s premičnimi glavami.
- ☐ Zapis na magnetnem disku je v obliki koncentričnih krogov (sledi), pomnilniške lokacije (sektorji) pa so razporejene vzdolž sledi.
- ☐ Bralno pisalna glava se najprej premakne na ustrezno sled (zaporedni dostop) nato pa je na vrsti krožni dostop do želene lokacije na sledi.



Asociativni pomnilnik – dostop z vsebino pomn. lokacije

- Asociativni pomnilnik – pomnilniške lokacije nimajo naslovov.
- Dostop do določene pomnilniške besede je z njeno vsebino (ali delom vsebine).
- Iskanje vsebine je realizirano elektronsko z logičnim vezjem po vseh besedah hkrati (paralelno).
- Realizacija zahteva kompleksno logično vezje, zato so asociativni pomnilniki redko večji od nekaj 100 besed.



- Asociativni pomnilnik
= vsebinsko-naslovljiv
= paralelno-iskalni
- Čas dostopa t_a je zaradi primerjave vsebine še nekoliko daljši kot do običajnih pomnilnikov.
- Iskanje določene vsebine v asociativnem pomnilniku pa je zelo hitro \Rightarrow uporaba v prepomnilnikih
- Iskanje določene vsebine v navadnem pomnilniku?



8.2 Pomnilniške tehnologije

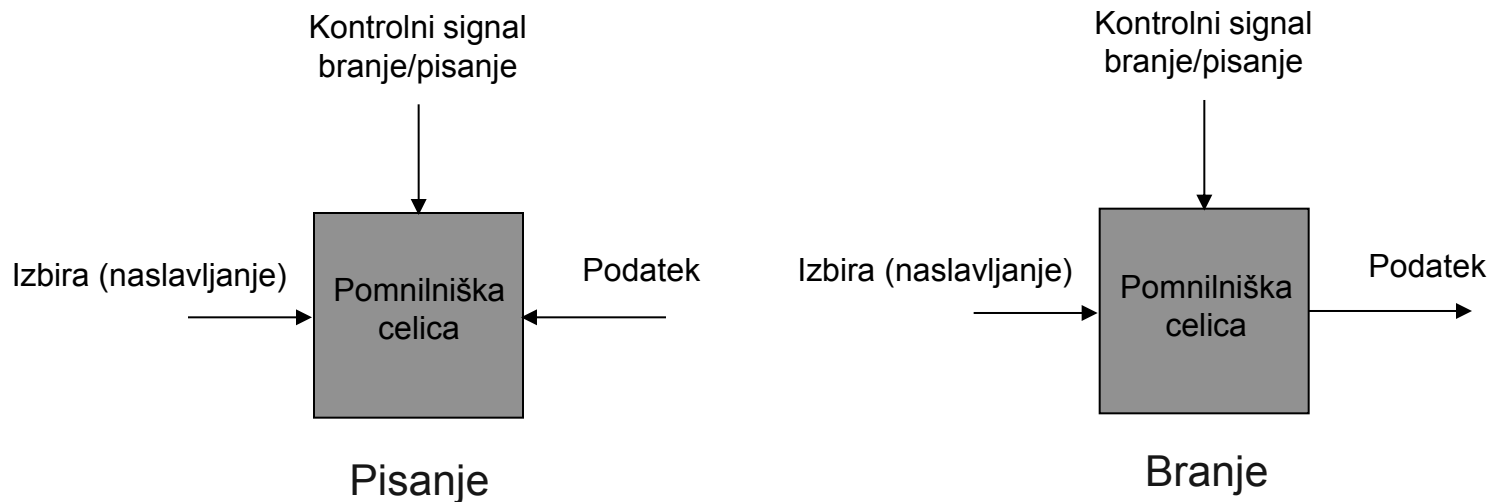
- Danes se v pomnilniški hierarhiji uporabljajo štiri osnovne tehnologije:
- Polprevodniški (solid-state) pomnilniki:
 - SRAM Static Random Access Memory
 - DRAM – Dynamic Random Access Memory
 - Flash pomnilniki (vrsta EEPROM pomnilnikov)
- Magnetni pomnilniki (magnetni diski, magnetni trakovi)



- Polprevodniški pomnilniki (SRAM, DRAM in Flash pomnilniki) so pomnilniki z naključnim dostopom (Random Access).
 - Najmanjša pomnilniška enota je enobitna pomnilniška celica.
 - Najmanjša naslovljiva pomnilniška lokacija je pomnilniška beseda.
 - Vsaka pomnilniška lokacija je dostopna preko logičnega vezja za naslavljanje v enakem času, ne glede na pred tem naslovljene lokacije.
 - Čas dostopa je vedno enak, ne glede na naslov in zaporedje naslovov do katerih dostopamo.



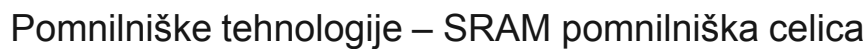
- Enobitna pomnilniška celica je realizirana s tranzistorji (polprevodniki)
 - Pomnilniška celica je lahko v enem od dveh možnih stabilnih stanj, ki predstavljata vrednost 0 in 1
 - Vanjo je možno pisati (vsaj enkrat) in s tem določiti stanje 0 ali 1
 - Stanje v katerem je celica, je možno prebrati oz. zaznati (sense)



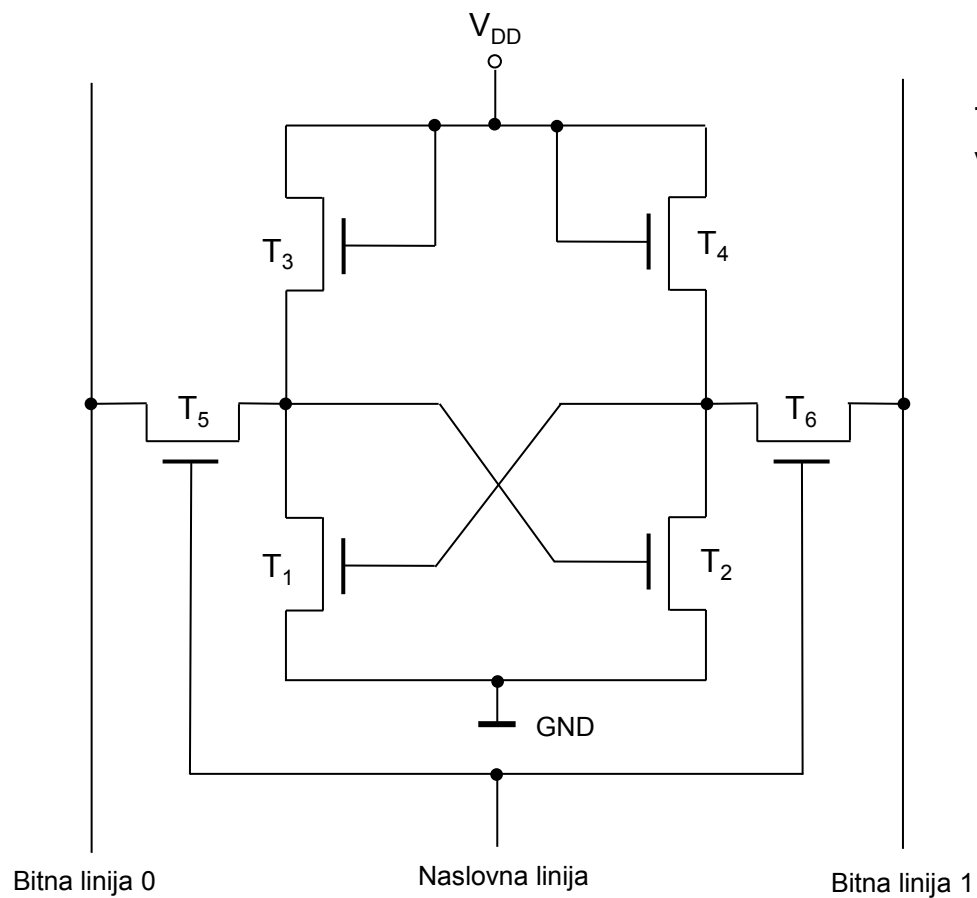


8.2.1 SRAM – Statični RAM

- **SRAM pomnilniška celica** je zgrajena kot flip-flop običajno s šestimi tranzistorji.
- Bit, ki se zapiše v SRAM celico, ostane nespremenjen, dokler se v celico ne vpiše nova vsebina.
- SRAM pomnilniška celica ohrani vsebino samo dokler je priključena na električno napajanje.
- Čas dostopa je kratek (0,5 – 2,5 ns), ker je preklon tranzistorjev iz enega stanja v drugo zelo hiter.



$T_1 - T_6$ tranzistorji
 V_{DD} napajalna napetost



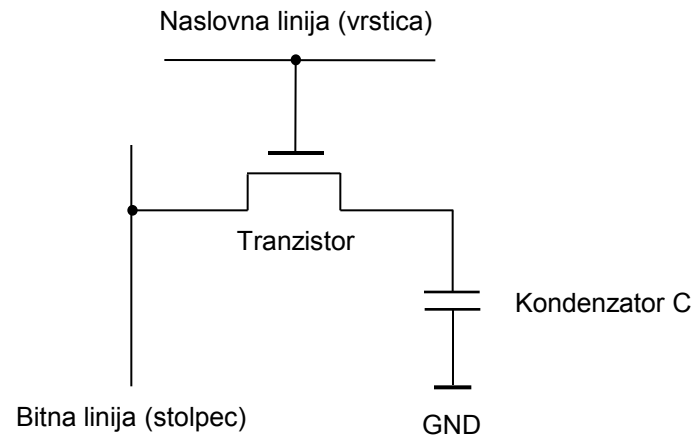


8.2.2 DRAM – Dinamični RAM

- **DRAM pomnilniška celica** je zgrajena z enim tranzistorjem in kondenzatorjem z zelo majhno kapacitivnostjo ($C < 0,1 \text{ pF}$)
- Informacija, ki se zapiše v DRAM celico, se shrani v obliki naboja na kondenzatorju.
- Naboj na kondenzatorju ni obstojen ($T = \text{nekaj } 10 \text{ ms}$), zato je potrebno vsebino DRAM pomnilniških celic periodično obnavljati (osveževanje).
- Pri današnji tehnologiji je potrebno osvežiti celotno vsebino pomnilniškega čipa vsakih 64 ms.



DRAM (Dinamični RAM) pomnilniška celica

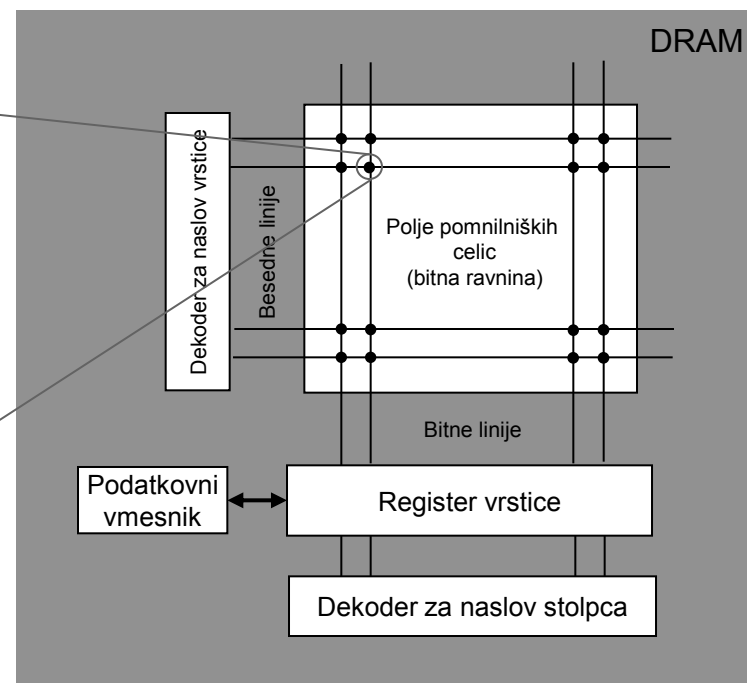
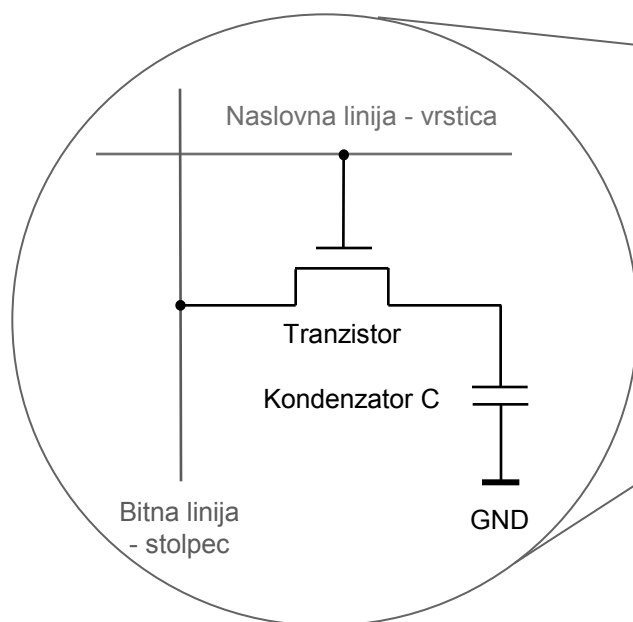




- Čas dostopa je daljši kot pri SRAM, ker je za preklop iz enega stanja v drugo ($0 \rightarrow 1$ ali $1 \rightarrow 0$) potrebno polnjenje ali praznjenje kondenzatorja.
- Zato je čas dostopa do DRAM pomnilniške celice 10 do 100-krat daljši kot pri SRAM pomnilniški celici.
- Osveževanje pri DRAM pomnilniških čipih danes predstavlja tipično 1 do 2% aktivnega časa DRAM pomnilnika.
- Za branje in pisanje torej ostane 98 do 99% ciklov.



- Enobitne DRAM pomnilniške celice so urejene v obliki pravokotnega polja z vrsticami in stolpci, ki ga imenujemo bitna ravnina.





- Primerjava lastnosti SRAM in DRAM pomnilniških celic:
 - Vsebina v obeh, SRAM in DRAM celicah, je ob prekinitvi električnega napajanja neobstoja
 - DRAM celica je enostavnejša (en tranzistor) in zato manjša
 - Gostota celic na enoto površine čipa je zato pri DRAM bistveno večja kot pri SRAM
 - Cena je nižja kot pri SRAM pomnilnikih
 - DRAM celice potrebujejo periodično osveževanje vsebine (refresh), za kar je potrebno posebno osveževalno vezje, SRAM celice pa ne.



- ☐ SRAM pomnilniške celice so hitrejšje (preklop tranzistorja) kot DRAM (polnjenje kondenzatorja)

- DRAM pomnilniki se zaradi nižje cene in večje gostote (več bitov na čip) uporabljajo za velike pomnilnike kot je glavni pomnilnik.

- SRAM pomnilniki pa se zaradi večje hitrosti in višje cene uporabljajo za manjše pomnilnike, to so predvsem predpomnilniki.

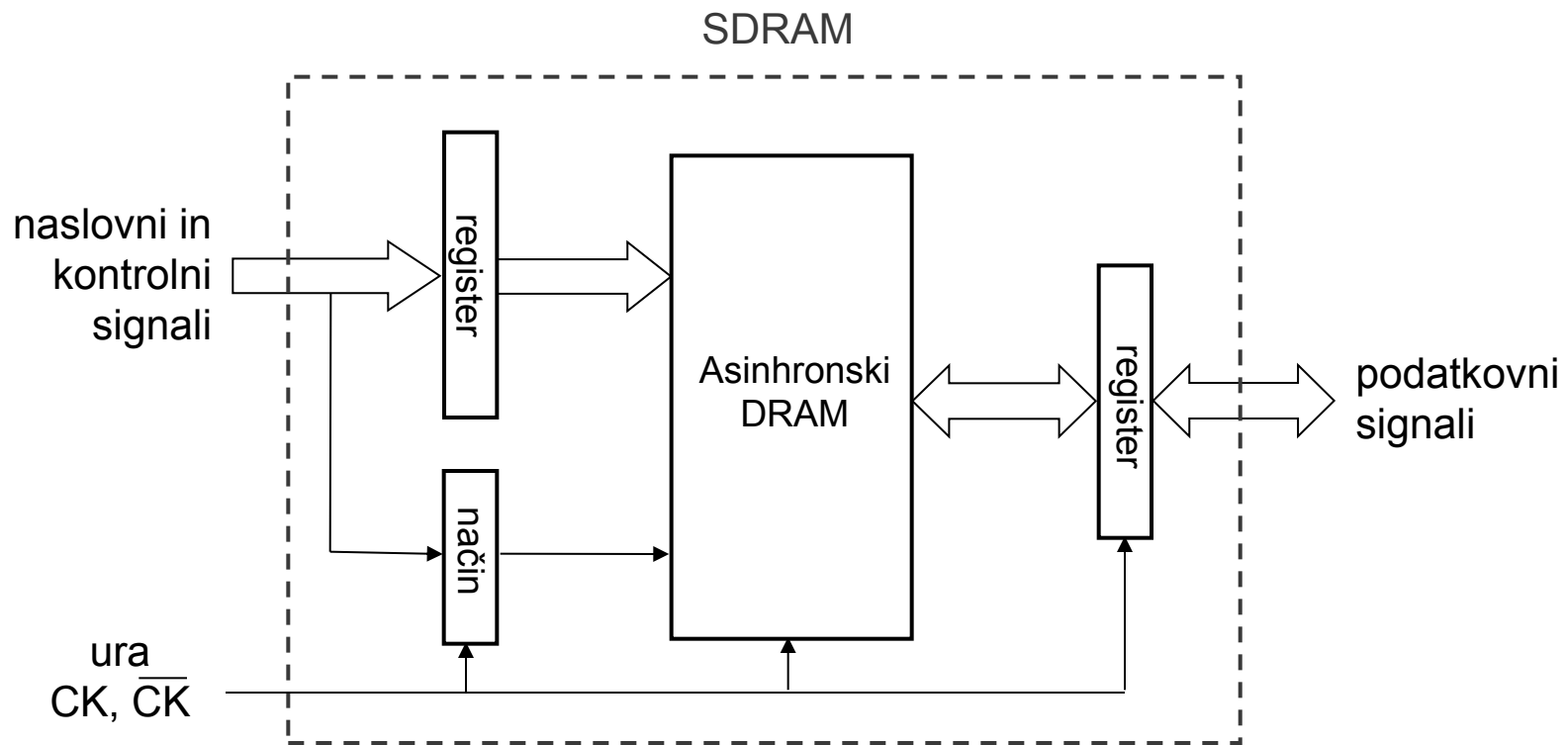


8.2.3 SDRAM – Sinhronski dinamični RAM

- Običajne DRAMe danes imenujemo asinhronski.
- Sinhronski DRAMi so narejeni v obliki enostavnega cevovoda, zato je za delovanje potreben urin signal.
- Osnova SDRAMa je asinhronski DRAM, ki so mu dodani registri, v katere se ob aktivni fronti urinega signala shranijo naslovni, kontrolni in podatkovni signali.
- Zahteva za naslednji dostop se lahko v SDRAM pošlje že, ko je DRAM še zaseden z izvajanjem predhodnega dostopa.



- Čas prvega dostopa je enak kot pri asinhronskih DRAMih, naslednji dostopi pa so hitrejši.





- Pri page mode dostopu do bitov v isti vrstici so SDRAMi hitrejši od asinhronskih, ker se zahteva za dostop zapiše v registre že med izvrševanjem predhodnega dostopa.
- SDRAMi so v proizvodnji od leta 1993, razvojne stopnje imajo oznake DDR, DDR2 in DDR3 in DDR4.
- Lastnosti SDRAMov so standardizirane, standarde izdaja organizacija JEDEC (Joint Electron Devices Engineering Council).
- Po letu 2000 se v računalnikih uporabljajo samo sinhronski DRAMi (SDRAM).



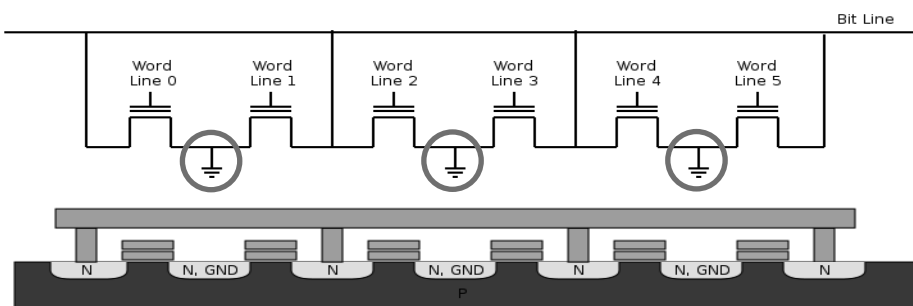
8.2.4 Flash (bliskovni) pomnilnik

- Flash pomnilnik je vrsta električno brisljivega polprevodniškega bralnega pomnilnika (EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), ki ohrani vsebino tudi po izklopu električnega napajanja.
- Preden lahko pišemo v flash pomnilniške celice, mora biti njihova vsebina izbrisana. Z eno hitro operacijo se briše veliko področje podatkov (blok), zato ime flash (bliskovni) pomnilnik.
- Število brisanj je omejeno na 3.000 do 100.000, odvisno od vrste pomnilniških celic.
- Izbrisane pomnilniške celice imajo vsebino 1 (stanje 1)
- Pisanje podobno kot pri EEPROM spreminja 1 v 0

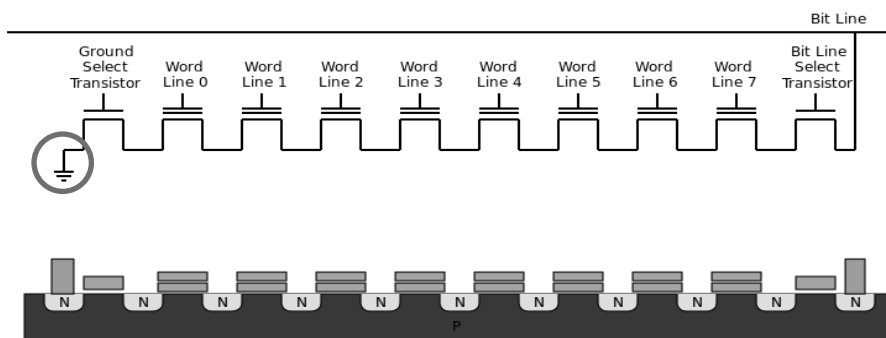


- Glede na povezavo pomnilniških celic obstajata dve vrsti flash pomnilnikov:

- NOR flash pomnilnik in NAND flash pomnilnik



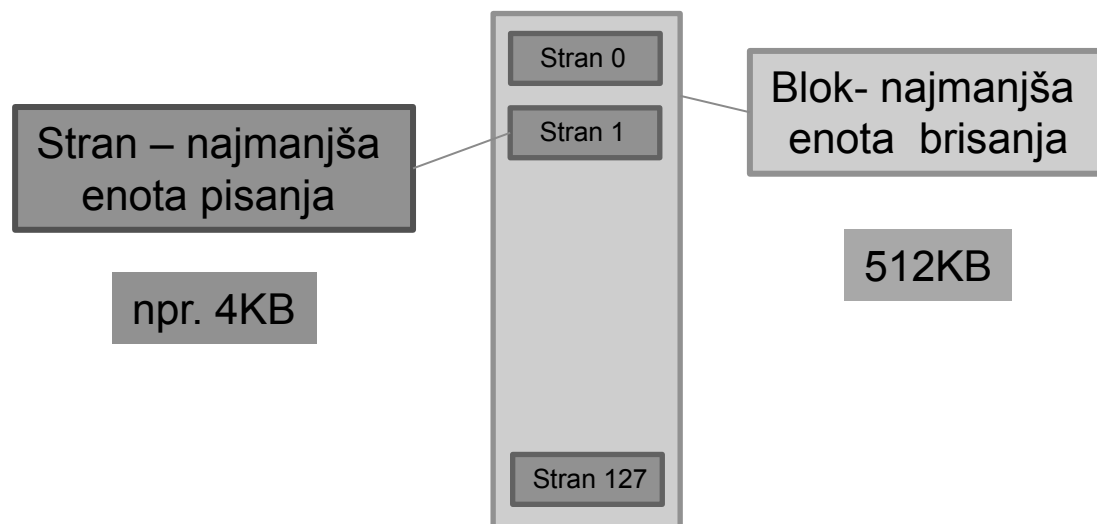
NOR flash pomnilnik:
Vsaka pomnilniška celica je povezana na bitno linijo in source linijo.



NAND flash pomnilnik:
Več pomnilniških celic je vezanih zaporedno in si delijo bitno linijo. S tem se zmanjša število linij na čipu.



- NAND flash pomnilniki so razdeljeni na strani, ki so tipično velike 4 ali 8 KB.
- Več strani (tipično 64 ali 128 strani) tvori blok.
- Najmanjša zapisljiva enota je stran, najmanjša enota brisanja pa blok.
- Pred pisanjem v stran mora biti stran brisana.





Lastnosti polprevodniških pomnilnikov

Vrsta polprevodniškega pomnilnika	Dostop	Brisanje vsebine	Način pisanja	Obstojnost vsebine po izklopu napajanja
RAM	Bralno-pisalni pomnilnik	Električno - posamezen bajt	Električno	Neobstojna
ROM	Bralni pomnilnik	Ni možno	Maska pri izdelavi	Obstojna
PROM			Električno v programirni napravi	
EPROM	Pretežno bralni pomnilnik	UV svetloba - cel čip	Električno	
EEPROM		Električno - posamezen bajt		
Flash		Električno - posamezni bloki		

RAM – Random Access Memory

ROM – Read Only Memory

PROM – Programmable ROM

EPROM – Erasable PROM

EEPROM – Electrically Erasable PROM

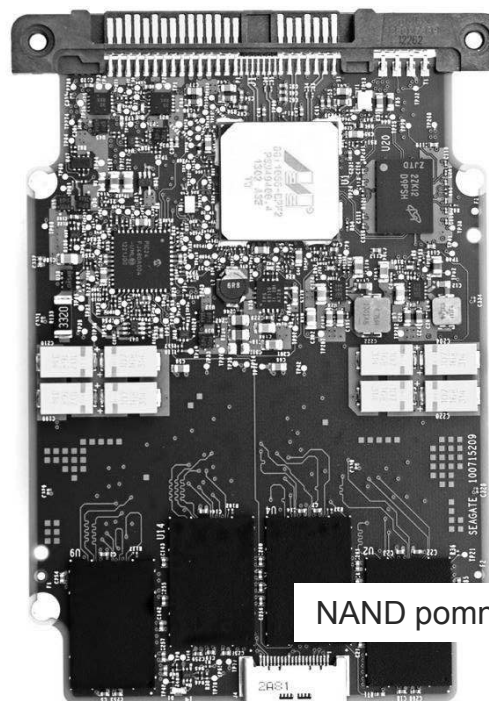


SSD – polprevodniški disk

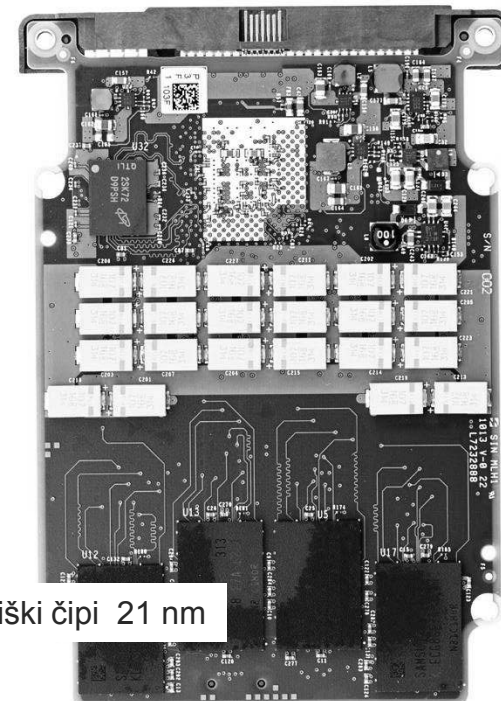
- SSD (Solid State Drive) enota je pomožni (sekundarni) pomnilnik, ki predstavlja kompatibilno zamenjavo za HDD (magnetni disk)
- V SSD in USB ključkih se uporabljajo NAND flash MLC pomnilniške celice in v primerjavi z magnetnimi diski nimajo gibljivih delov.
- MLC (Multi-Level Cell)
 - Ena MLC celica lahko shrani več bitov informacije. Trenutno so v uporabi MLC celice, ki lahko shranijo dva bita (4 stanja)
 - Večja gostota, nižja cena v primerjavi s SLC (Single-Level Cell)
 - 10.000 brisalno/pisalnih ciklov



Seagate 1200 SSD 400GB



NAND pomnilniški čipi 21 nm



Zgornja stran

Spodnja stran

tiskanega vezja

http://www.storagereview.com/seagate_1200_enterprise_ssd_review

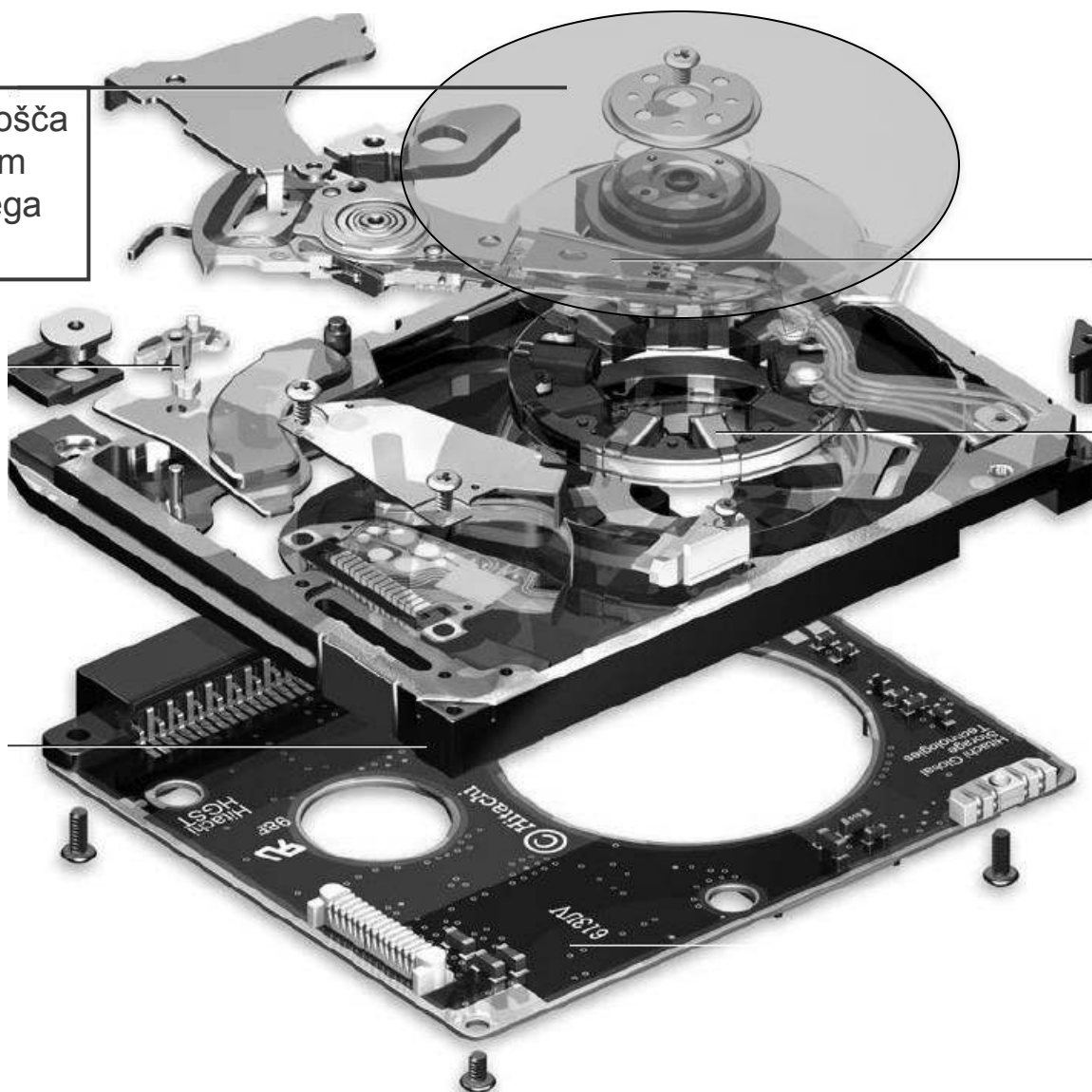


8.2.5 HDD - magnetni disk

- Magnetni disk je od leta 1956 naprej najpomembnejša vrsta pomožnega pomnilnika.
- Direktni dostop - kombinacija zaporednega in krožnega dostopa.
- Sestavni deli:
 - Plošče z magnetnim medijem in motor za pogon plošč. Plošče se vrtijo s konstantnim številom obratov.
 - Ročice z bralno-pisalnimi glavami
 - Elektronika za branje in pisanje
 - Elektromehanski servo in krmilni sistem za pozicioniranje bralno-pisalnih glav na sled
 - Krmilnik in vmesnik do vodila



Steklena plošča
z nanosom
magnetnega
medija



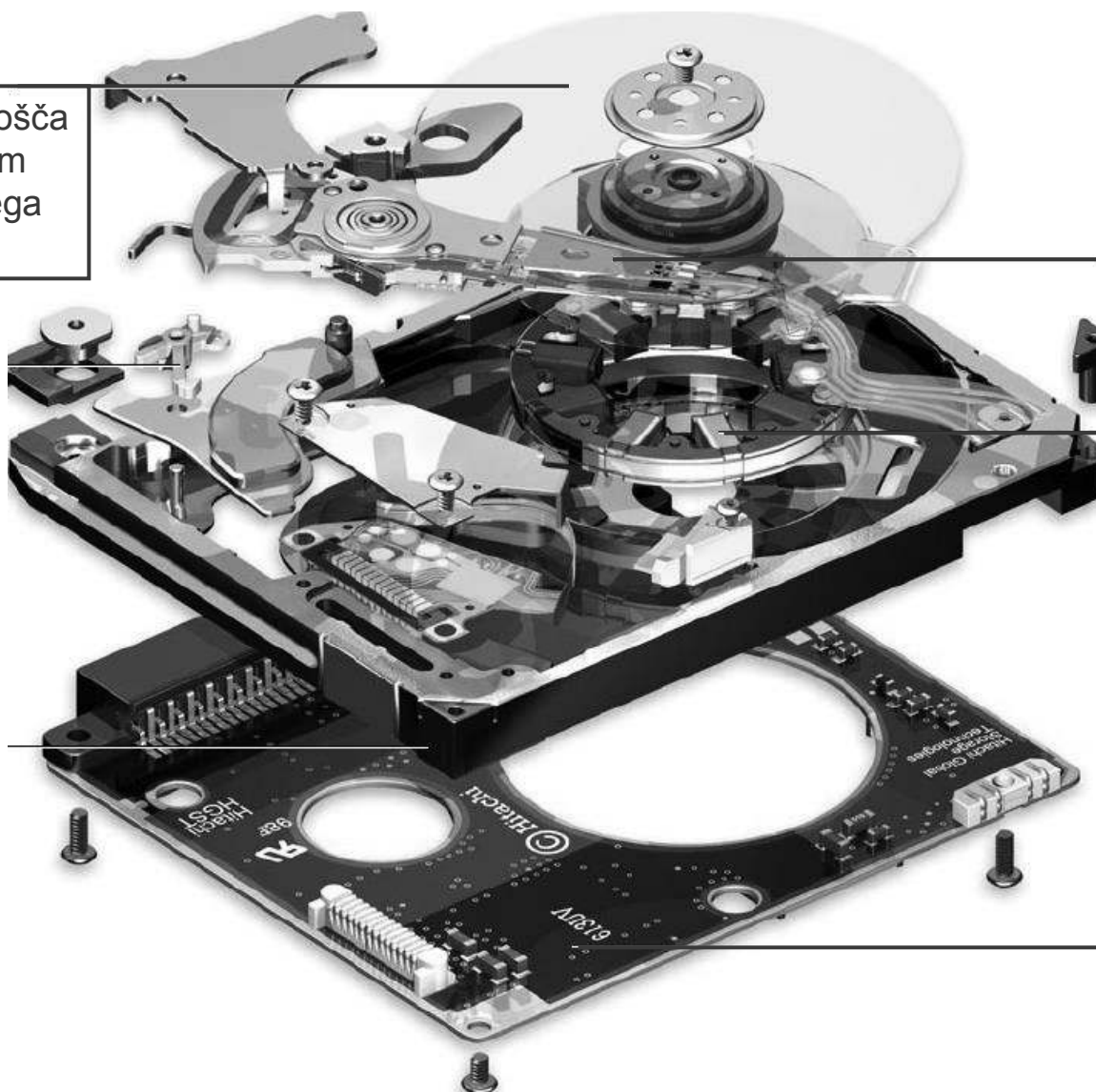


Steklena plošča
z nanosom
magnetnega
medija

Ročica z bralno
pisalno glavo in
tuljavo za krmiljenje
ročice

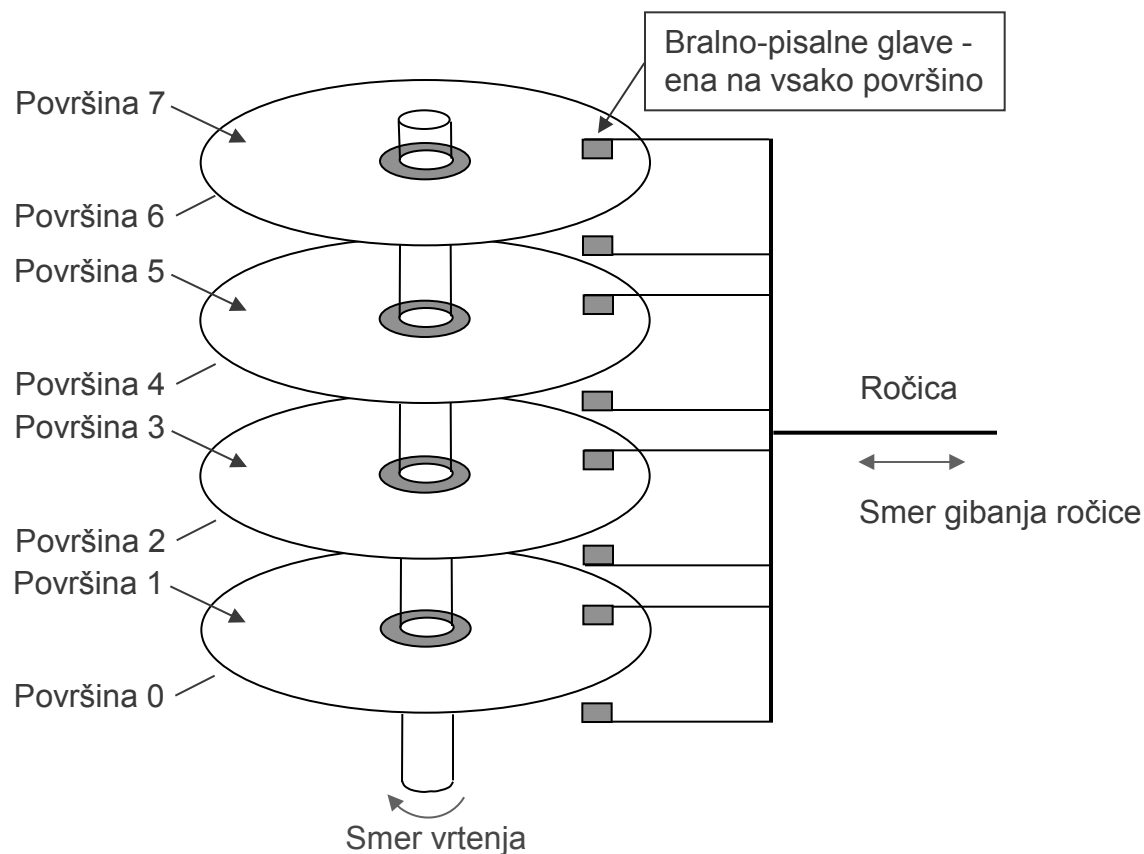
Motor za pogon
plošče

Tiskano vezje
s krmilnikom
diska



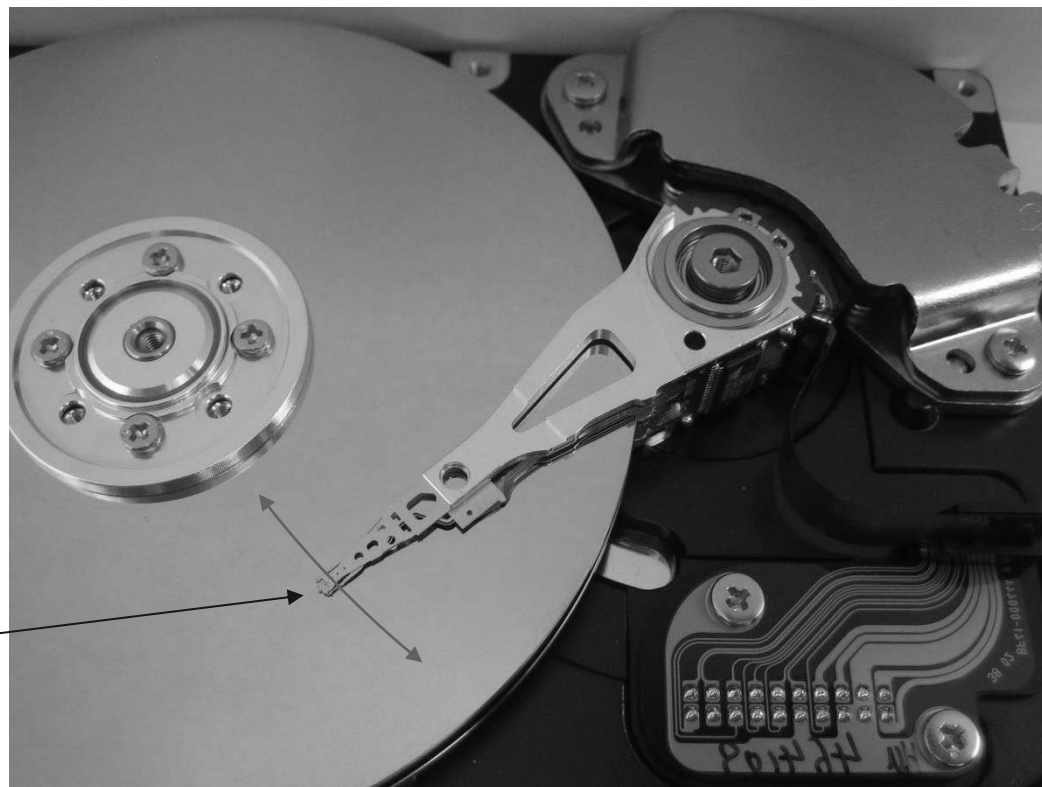
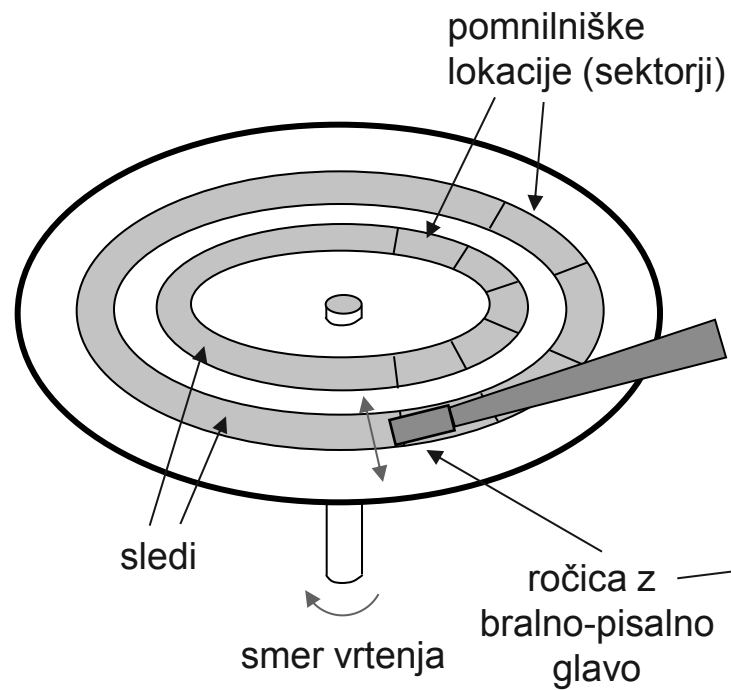


Magnetni disk s štirimi ploščami in osmimi površinami





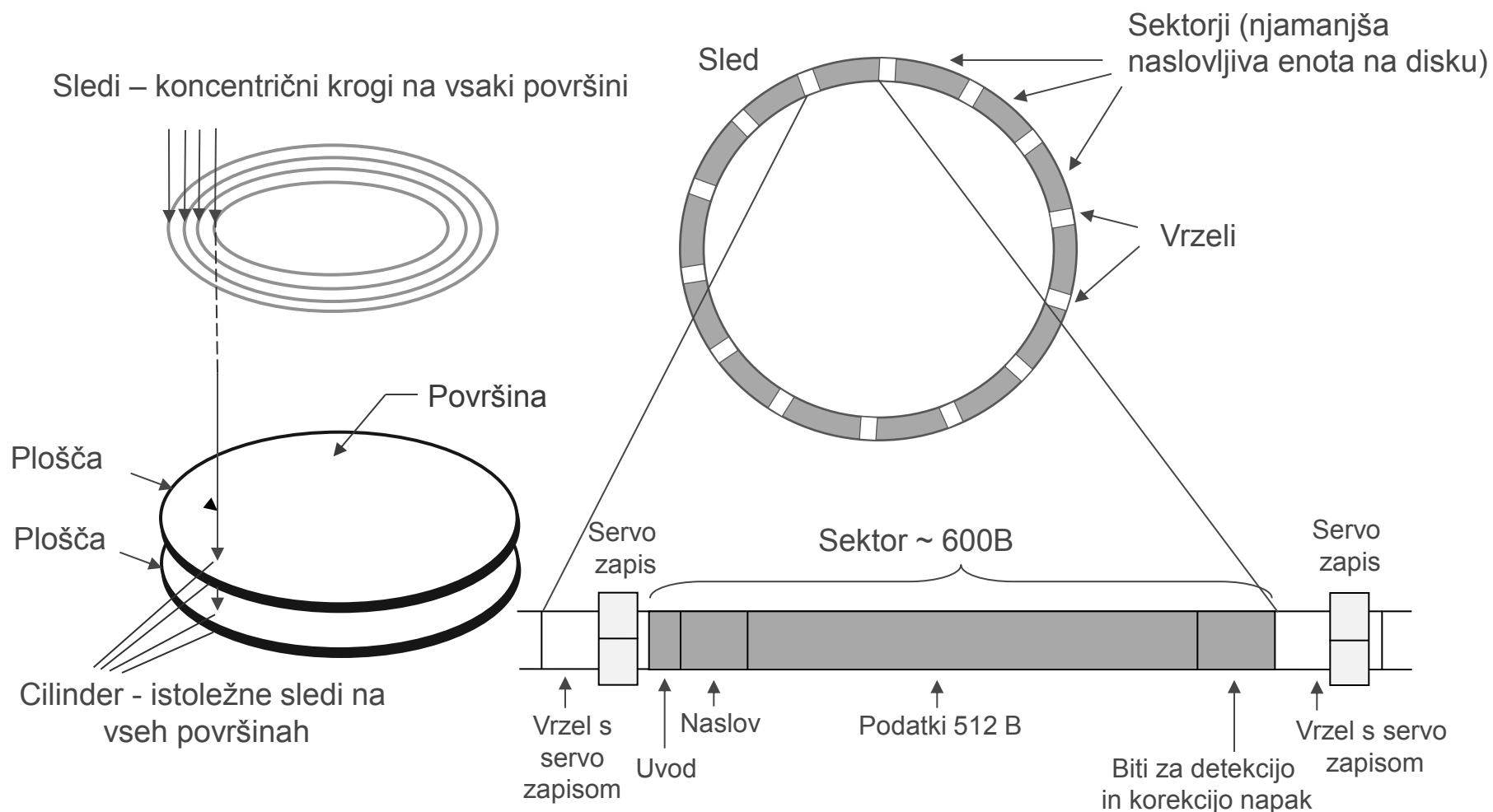
Pomnilniške tehnologije – magnetni disk



© mmi

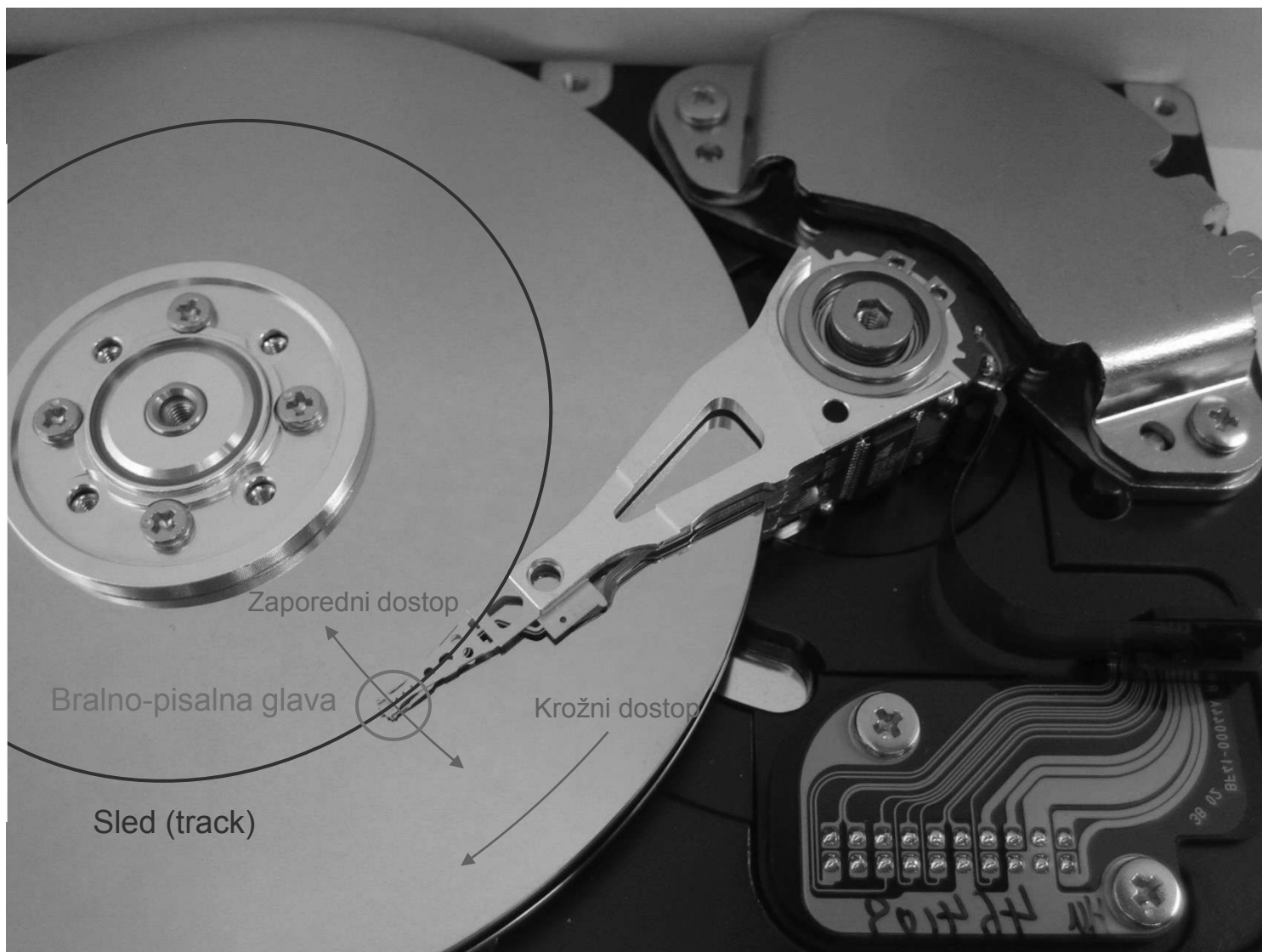


Organizacija podatkov na disku





Pomnilniške tehnologije – magnetni disk



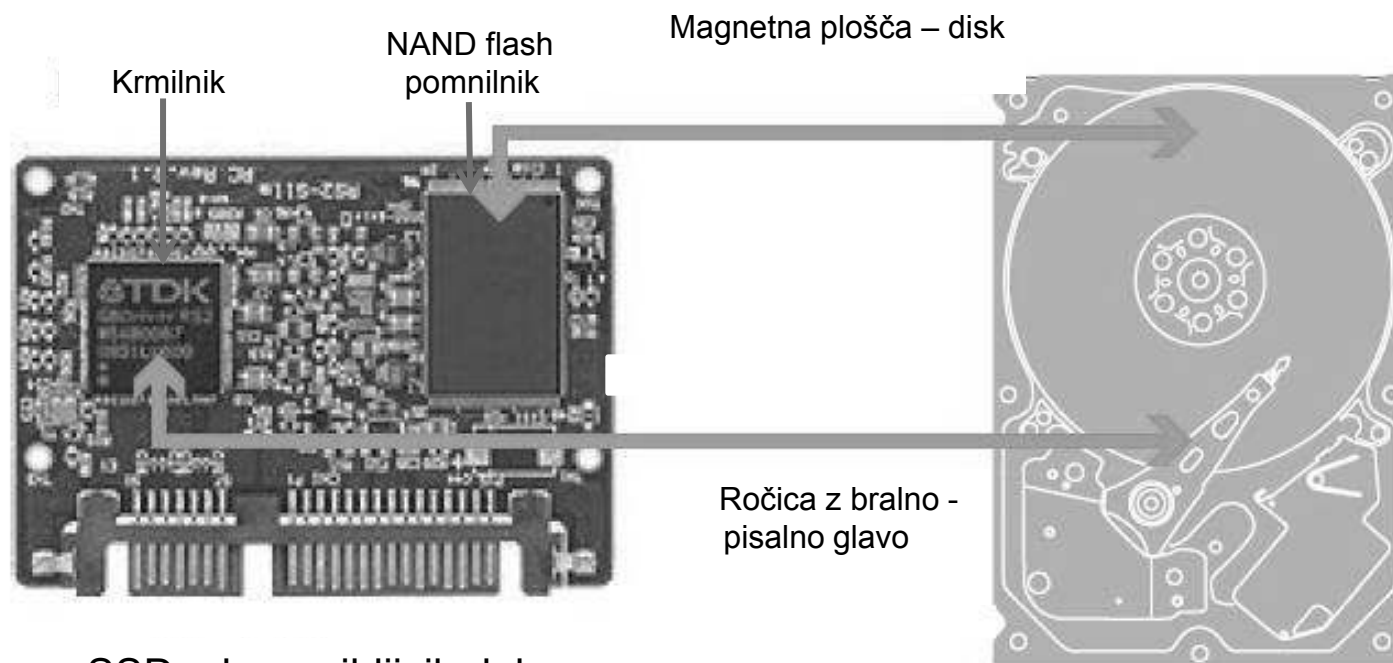
© mmi



- Dostop do sektorja na disku sestavljajo trije koraki:
 - Iskanje sledi - pomik glave na željeno sled (cilinder)
 - Povprečni iskalni čas 2 - 10 ms
 - Vrtilna zakasnitev (latenca) - povprečna vrtilna zakasnitev je $\frac{1}{2}$ časa enega obrata
 - Pri 5400 obr/min je latenca 5,56 ms
 - Pri 7200 obr/min 4,167 ms
 - Pri 15000 obr/min 2 ms
 - Prenos podatkov
 - Čas prenosa je odvisen od notranje prenosne hitrosti in števila prenesenih sektorjev
- Čas za dostop do sektorja je vsota vseh treh časov in je od 3 do 15 ms



Primerjava SSD - HD



SSD – brez gibljivih delov

HDD – elektromehanska naprava



Pomnilniške tehnologije

Vrsta pomnilnika	Čas dostopa	Cena za 1GB (dec. 2014)	Uporaba
SRAM (polprevodniški pomnilnik)	0,5 – 2,5 ns	200 – 700 €/GB	Predpomnilnik
SDRAM (polprevodniški pomnilnik)	35 – 50 ns	5 – 15 €/GB	Glavni pomnilnik
SSD (polprevodniški pomnilnik)	$5 \cdot 10^3$ – $200 \cdot 10^3$ ns	<1 €/GB	Navidezni pomnilnik Trajni pomnilnik
HDD (magnetni pomnilnik)	$3 \cdot 10^6$ – $15 \cdot 10^6$ ns	<0,1 €/GB	Navidezni pomnilnik Trajni pomnilnik

Magnetni disk je 10.000.000 – krat počasnejši od statičnega RAM pomnilnika

SRAM – Statični RAM (Static Random Access Memory)

SDRAM – Sinhronski Dinamični RAM

SSD – Polprevodniški flash disk (Solid State Drive)

HDD – Hard Disk Drive