



ORGANIZACIJA RAČUNALNIKOV

7 Vhodno-izhodni sistem

Namen in cilji 7. poglavja:

- Osnove vhodno izhodnih naprav
 - zmogljivost, zanesljivost, ...
- Poudarki :
 - magnetni disk, Flash pomnilniki
 - kodiranje z detekcijo in korekcijo napak
 - **V/I sistem računalnika:**
 - **Naslavljanje V/I naprav**
 - **Načini prenosa V/I podatkov**
 - **Prenosi eksplozijski, protokolski, izvorno sinhronski prenos**
 - Multiprogramski računalnik (preplet CPE in V/I operacij)

V/I sistem :

- je pri obravnavi sistemov običajno spregledan
 - „saj lahko preklapljam med programi“ – kaj pa odzivnost ?

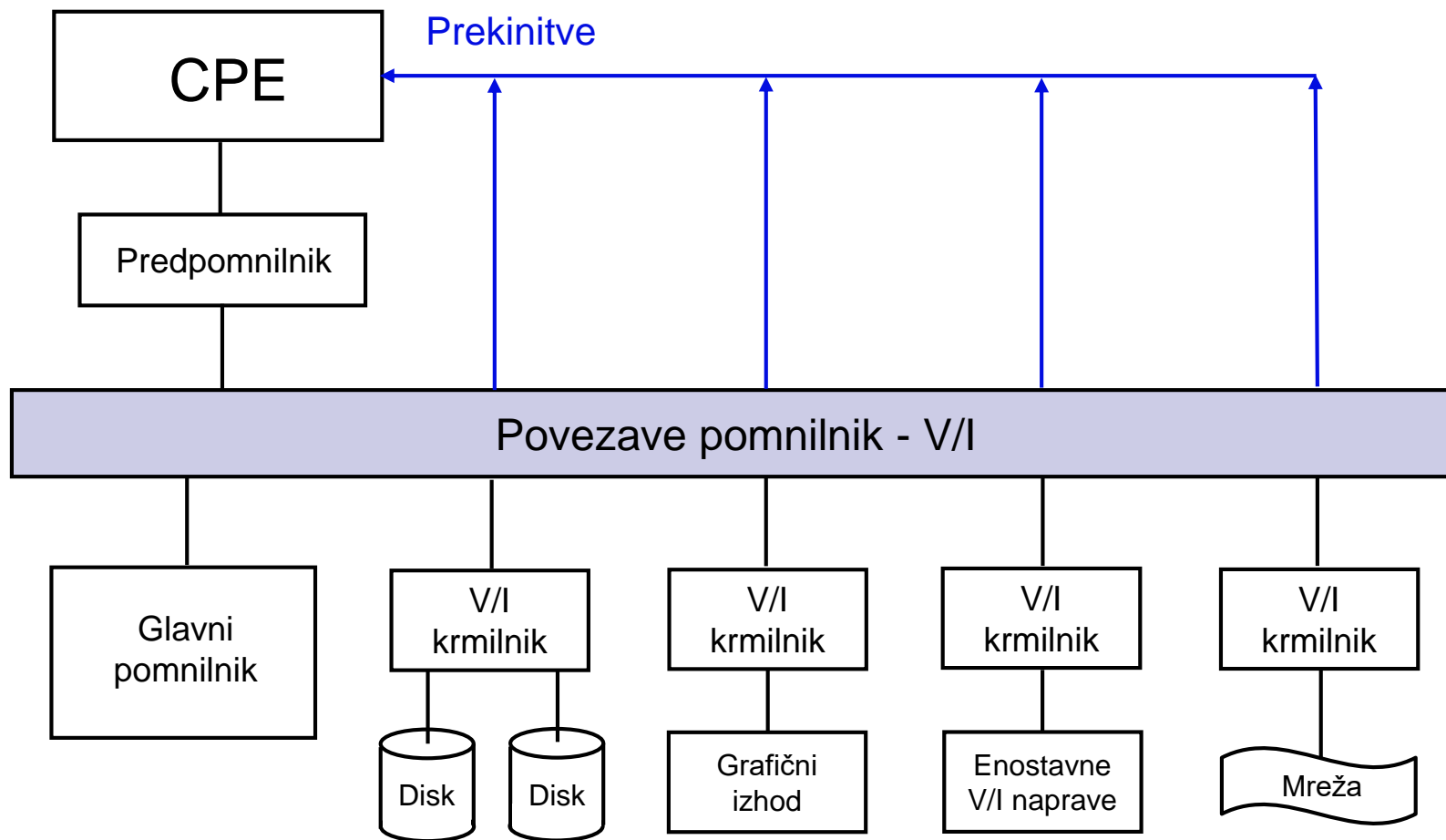
- zahteve po zanesljivosti pri shranjevanju podatkov so višje kot za obdelave podatkov.
 - **CPE&pomn.** : poudarek na zmogljivosti in ceni,
 - **V/I sistemi** (tudi sekundarni pomn.): poudarek na zanesljivosti in ceni.

- zmogljivost pri V/I sistemih ni na prvem mestu, je pa mnogo bolj kompleksna, saj nanjo vpliva več dejavnikov:
 - karakteristike V/I naprav
 - povezave med V/I napravami in procesorjem
 - pomnilniška hierarhija
 - operacijski sistem

V/I sistem:

- pri načrtovanju je potrebno predvideti tudi možnost razširitve.
- na zanesljivost, razširljivost in zmogljivost V/I sistema vplivajo vse komponente računalnika.
- povezave med V/I napravami, procesorjem in pomnilnikom :
 - iz zgodovinskih (in marketinških) razlogov se še vedno imenujejo vodila, čeprav je danes večina V/I povezav serijskih točka-v-točko (P2P).

komunikacija med V/I napravami in procesorjem poteka s prekinitvami in protokoli po povezavah.



7.1 Vrste V/I naprav

■ V/I delimo v 2 večji skupini:

- prenos podatkov med: CPE, gl. pomnilnik ↔ „zunanji svet“
- pomožni pomnilniki:
 - magn. diski, diskete, magn. trakovi

■ V/I naprave se med seboj zelo razlikujejo. Pri razvrščanju lahko pomagajo trije kriteriji:

- Uporaba:
 - vhod (branje), izhod (samo pisanje), ali pomožni (sekundarni) pomnilnik (večkratno branje in običajno tudi večkratno pisanje)
- Povezava:
 - človek ↔ računalnik ali računalnik ↔ računalnik
- Hitrost prenosa:
 - največja hitrost s katero se podatki prenašajo med V/I napravo in glavnim pomnilnikom ali procesorjem

V/I naprava	Uporaba	Povezava	Hitrost v b/s
Tipkovnica	Vhod	Človek	100 b/s
Miška	Vhod	Človek	3800 b/s
Glasovni vhod	Vhod	Človek	64 Kb/s
Zvočni vhod (2 kanalni)	Vhod	Računalnik	3 Mb/s
Skener	Vhod	Človek	3,2 Mb/s
Laserski tiskalnik	Izhod	Človek	3,2 Mb/s
Grafični zaslon	Izhod	Človek	800 Mb/s – 8000 Mb/s
Žični LAN	Vhod/Izhod	Računalnik	100 Mb/s – 10 Gb/s
Brezžični LAN	Vhod/Izhod	Računalnik	11 Mb/s – 54 Mb/s
Optični disk	Pomožni pomnilnik	Računalnik	80 Mb/s– 220 Mb/s
Magnetni trak	Pomožni pomnilnik	Računalnik	5 Mb/s – 120 Mb/s
Flash pomnilnik	Pomožni pomnilnik	Računalnik	32 Mb/s – 200 Mb/s
Magnetni disk	Pomožni pomnilnik	Računalnik	800 Mb/s – 3000 Mb/s

10 Mb/s = $10 * 10^6$ b/s = 10.000.000 b/s

1 Gb/s = $1 * 10^9$ b/s = 1.000.000.000 b/s

7.6 Vhodno izhodni sistem računalnika

Vhodno izhodni sistem rač. je sestavljen iz 3 gradnikov :

- V/I naprave
- krmilniki V/I naprav
- programi za izvajanje V/I operacij

V/I operacije delimo:

- osnovne** :
 - prenos podatkov v ali iz izbrane naprave
- pomožne** :
 - izbiro (naslavljanje) naprave
 - preverjanje stanja ali pripravljenosti naprave

7.6.1 Naslavljanje V/I naprav

Naslavljanje V/I naprave:

- če želimo, da določena V/I naprava izvede neko operacijo, je napravo treba **izbrati**.
- vsak register v krmilniku mora imeti svoj enoveljaven naslov, da je do njega možen bralni ali pisalni dostop.

Vsi današnji računalniki uporabljajo enega (ali več) od **treh načinov naslavljanja V/I naprav**:

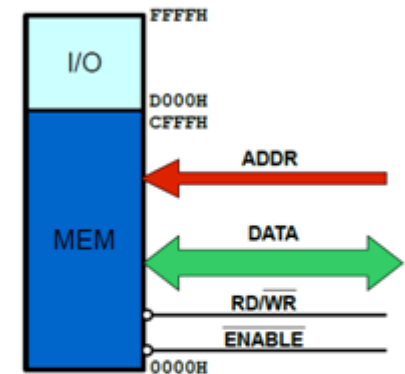
- pomnilniško preslikan vhod/izhod
- ločen vhodno/izhodni naslovni prostor
- posredno preko vhodno/izhodnih procesorjev

Pomnilniško preslikan vhod/izhod (memory mapped I/O)

Značilnosti:

- + registri krmilnikov so iz CPE videti **enako kot pomnilniške lokacije**.
- + uporabijo se **običajni ukazi za dostop do pomnilnika**:
 - posebni V/I ukazi niso potrebni
- del pomnilniškega naslovnega prostora je uporabljen za V/I naprave
 - ni na voljo za pomnenje !!!
- potrebna je **dodatna logika za naslavljanje**

Memory Mapped I/O



Naslovi V/I registrov morajo biti v fizičnem pomnilniku:

- v navideznem pomnilniku mora biti preslikovanje izključeno,
- naslovi se ne smejo preslikati v predpomnilnik.

Ločen vhodno/izhodni naslovni prostor

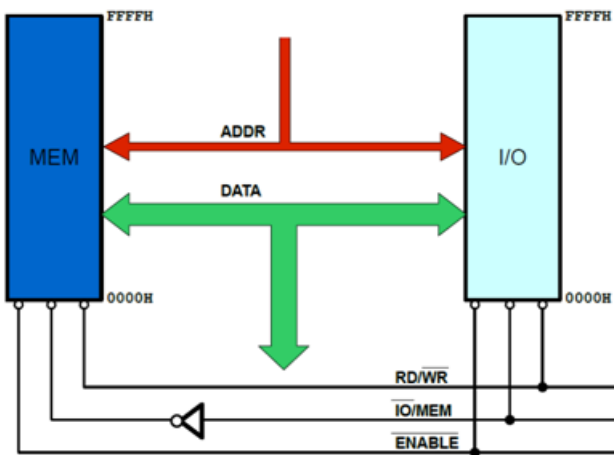
Značilnosti:

- naslovi registrov krmilnikov V/I naprav so v posebnem vhodno/izhodnem naslovnem prostoru – ločenem od pomnilniškega.
- CPE dostopa do registrov naprav s posebnimi vhodno/izhodnimi ukazi:
 - ki naslavljajo vhodno/izhodni naslovni prostor
 - so privilegirani.
- ob izvajanju teh ukazov CPE aktivira posebne signale, ki omogočajo dostop do V/I naslovnega prostora.

Veliko računalnikov uporablja oba načina (IBM PC računalniki):

- običajno celo tako, da nekaj naprav na enem, nekaj na drugem

I/O Mapped I/O (Port I/O)



Posredno preko vhodno/izhodnih procesorjev

Večina današnjih računalnikov ima enega ali več **V/I procesorjev**, ki skrbijo za operacije z V/I napravami.

Značilnosti:

■ CPE:

- pri tem načinu nima neposrednega dostopa do registrov V/I naprav.
- izbere enega od V/I procesorjev in eno od nanj priključenih naprav.
- zahtevo sporoči V/I procesorju, ta pa poskrbi, da se zahteva izvrši.

■ V/I procesor mora CPE obvestiti (običajno s prekinitvijo):

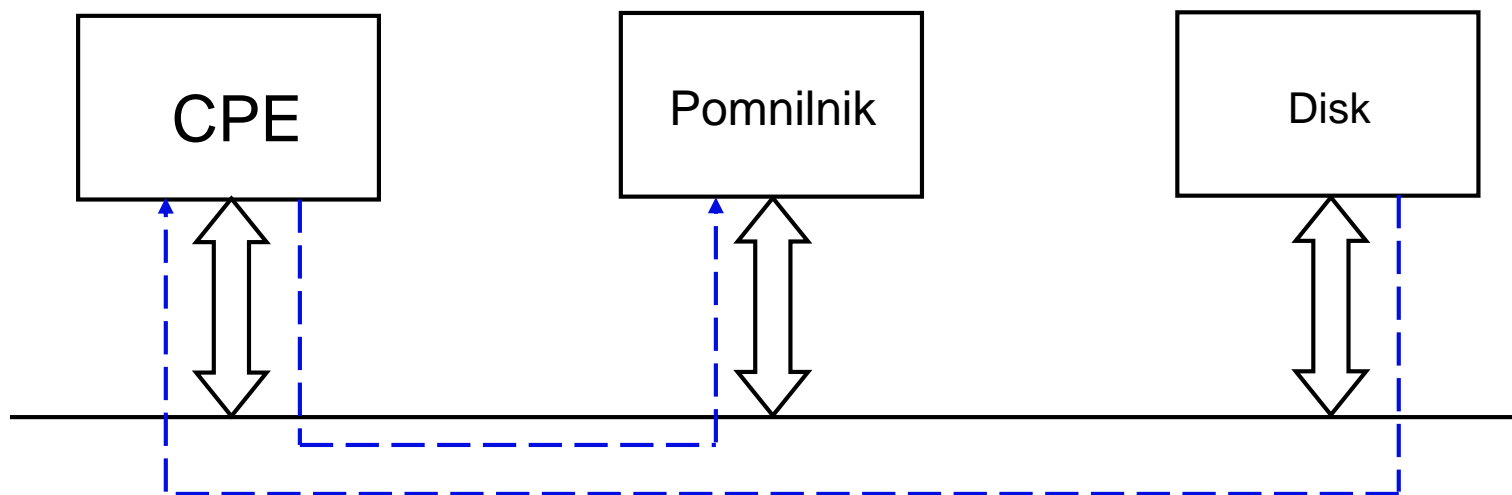
- ali je bila zahteva izvršena,
- ali je morda prišlo do napake.

7.6.2 Prenos vhodno/izhodnih podatkov

- Osnovna V/I operacija je **prenos določene količine podatkov** iz glavnega pomnilnika v napravo ali obratno.
- Količina podatkov in hitrost prenosa je odvisna od naprave in znaša od nekaj 10 bitov/s pri tipkovnici do 300MB/s (600 MB/s SATA 3.0) pri trdih diskih.
- Rešitve delimo glede na **stopnjo sodelovanja CPE pri V/I prenosi** v štiri skupine:
 - programski vhod/izhod (programmed I/O - PIO)
 - programski vhod/izhod z uporabo prekinitev
 - neposreden dostop do pomnilnika (Direct Memory Access - DMA)
 - vhodno/izhodni procesorji

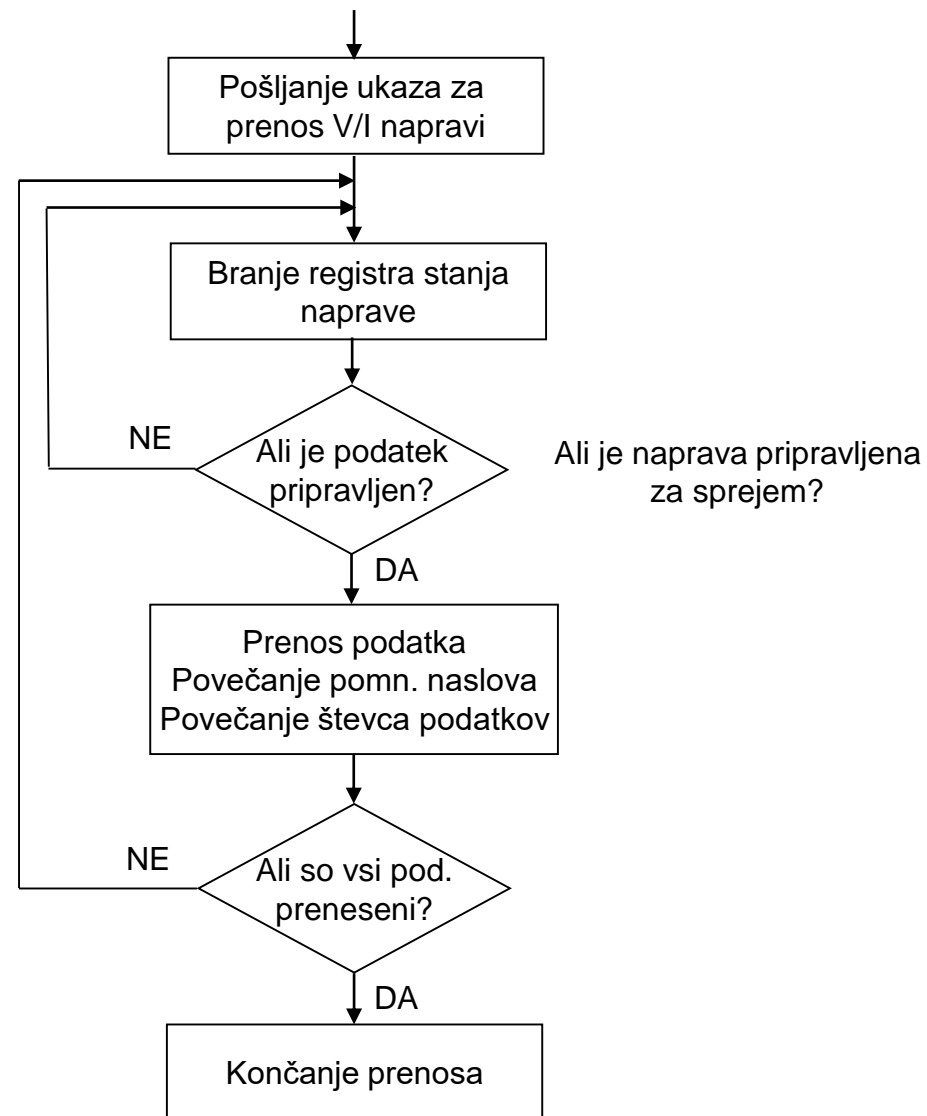
7.6.2.1 Programski vhod/izhod (PIO)

- Delovanje V/I naprave je pod **neposrednim nadzorom CPE**. Stopnja sodelovanja CPE je pri tem načinu prenosa največja.
- CPE izvaja program, ki:
 - prične V/I operacijo
 - nadzoruje njeno izvajanje
 - prenaša podatke
 - zaključi V/I operacijo
- Vsi podatki se prenašajo skozi CPE, običajno iz registra krmilnika v nek register v CPE in od tam v pomnilnik, ali obratno.



- za prenos vsakega podatka sta potrebna **najmanj dva ukaza** za prenos podatka:
 - register krmilnika → register v CPE
 - register v CPE → pomnilnik (ali v obratni smeri)
- veliko računalnikov poleg drugih načinov prenosa omogoča tudi programski vhod/izhod, ker je nezahteven glede strojne opreme (PIO mode).
- dogajanje pri programskem V/I prenosu lahko ponazorimo z diagramom poteka (za vsak prenos je potreben en obhod zunanje zanke):

Dogajanje pri programskem V/I prenosu lahko ponazorimo z diagramom poteka (za vsak prenos je potreben en obhod zunanje zanke):



Pri tem načinu prenosa

- lahko CPE porabi veliko časa
 - za preverjanje stanja naprave
 - čakanje na naslednji podatek, ali
 - čakanje, da je naprava pripravljena za sprejem naslednjega podatka)
- ker je večina V/I naprav mnogo počasnejših kot CPE, to pomeni veliko nekoristno izgubljenih ukazov CPE.
- preverjanje stanja naprave imenujemo programsko izpraševanje (polling) in ga lahko nadomestimo s prekinitvami.

7.6.2.2 Programski vhod/izhod z uporabo prekinitev

- Če se za obveščanje CPE o spremembah stanja V/I naprave:

- podatek pripravljen za oddajo ali
- naprava pripravljena na sprejem podatka

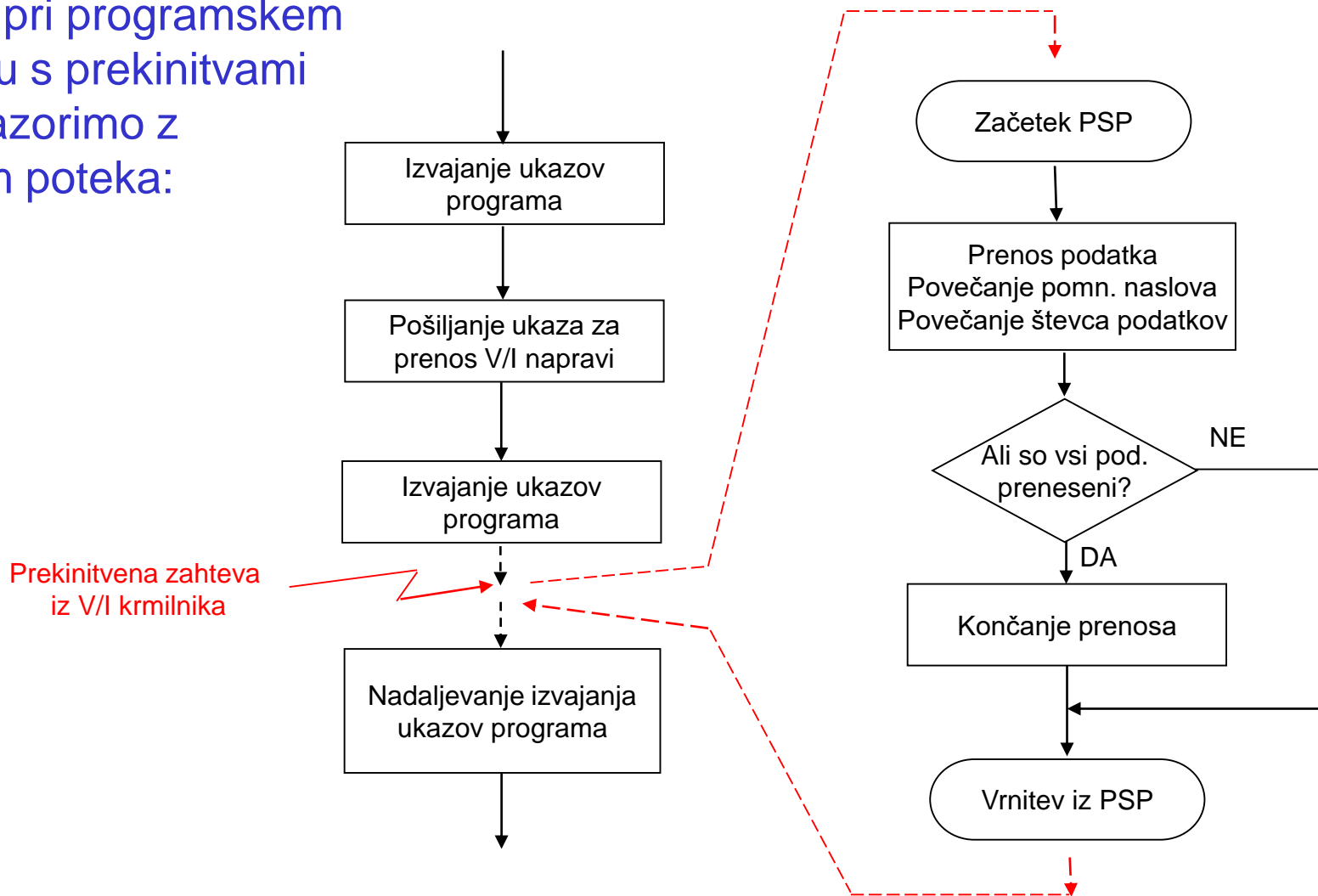
uporabijo prekinitve, **se izkoriščenost CPE izboljša.**

- Pri tem načinu **CPE ni treba preverjati** stanja naprave:

- CPE pošlje napravi ukaz za prenos
- CPE nadaljuje z izvajanjem programa
- ko je naprava pripravljena, pošlje v CPE zahtevo za prekinitev
- vključi se prekinitveni servisni program (PSP), ki prenese podatek

- Programski prenos s prekinitvami posebno pri počasnih V/I napravah zelo **malo obremenjuje CPE** in zglada kot da bi **potekal istočasno** z izvajanjem drugih programov.
- CPE mora imeti vgrajen nek **prekinitveni mehanizem** (kar imajo danes vsi procesorji), krmilnik V/I naprave pa mora v CPE pošiljati **zahteve za prekinitev**, ki jih CPE prepozna.

Dogajanje pri programskem V/I prenosu s prekinitvami lahko ponazorimo z diagramom poteka:



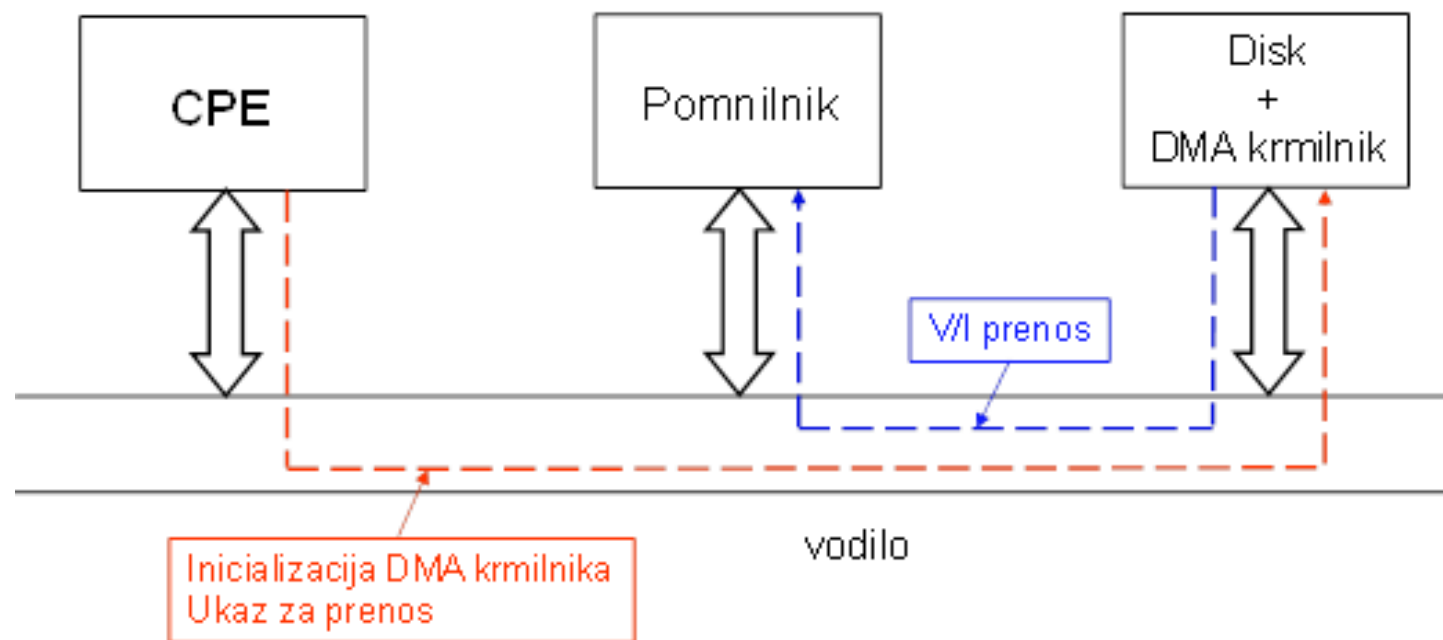
7.6.2.3 Neposreden dostop do pomnilnika (DMA)

- Pri napravah, ki zahtevajo hiter prenos velike količine podatkov, postane programski V/I prenos prepočasen.
- Prenos podatkov pri trdih diskih s hitrostjo npr.
 - 133MB/s (ATA 133) zahteva prenos 16 bitov vsakih 15 ns
 - 300 MB/s (SATA 2.0) pa 8 bitov vsake 3,3 ns
- Večina CPE v tem času **ne uspe izvesti vse potrebne ukaze** (en obhod zanke), če pa jih, bi bila popolnoma zasedena z V/I prenosom.
- Rešitev za tako hitre prenose je **neposreden dostop do pomnilnika - DMA**.

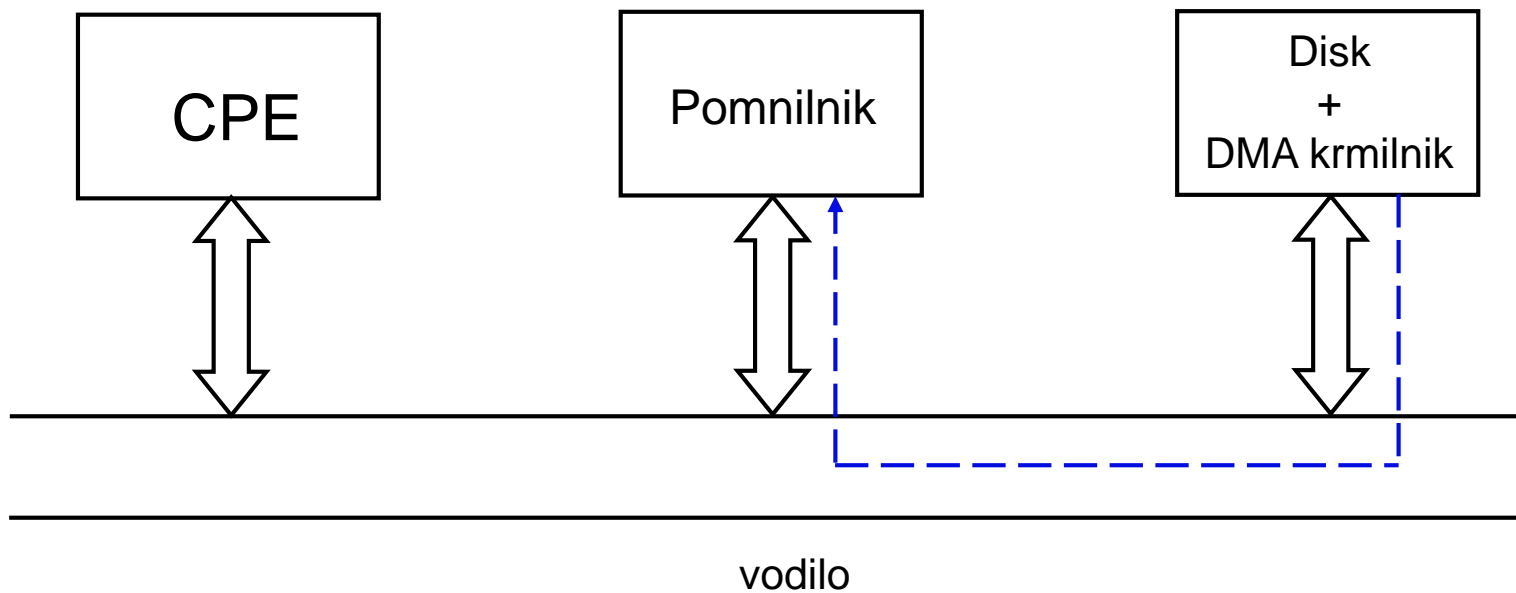
Podatki se v pomnilnik iz V/I naprave (ali obratno) ne prenašajo preko CPE, temveč neposredno. Izpolnjena morata biti dva pogoja:

- obstajati mora neposredna povezava med krmilnikom V/I naprave in glavnim pomnilnikom
- DMA krmilnik mora biti sposoben:
 - tvoriti pomnilniške naslove in kontrolne signale za dostop do pomnilnika
 - šteti prenesene besede
 - izvršiti prenos, ko je podatek pripravljen
- Pri V/I prenosu lahko pride do primerov, ko CPE in DMA krmilnik hkrati zahtevata dostop do glavnega pomnilnika.
 - krmilnik pomnilnika omogoča
 - da do glavnega pomnilnika istočasno dostopata CPE in DMA krmilnik
 - pogoj pa je, da je glavni pomnilnik narejen z uporabo pomnilniškega prepletanja.

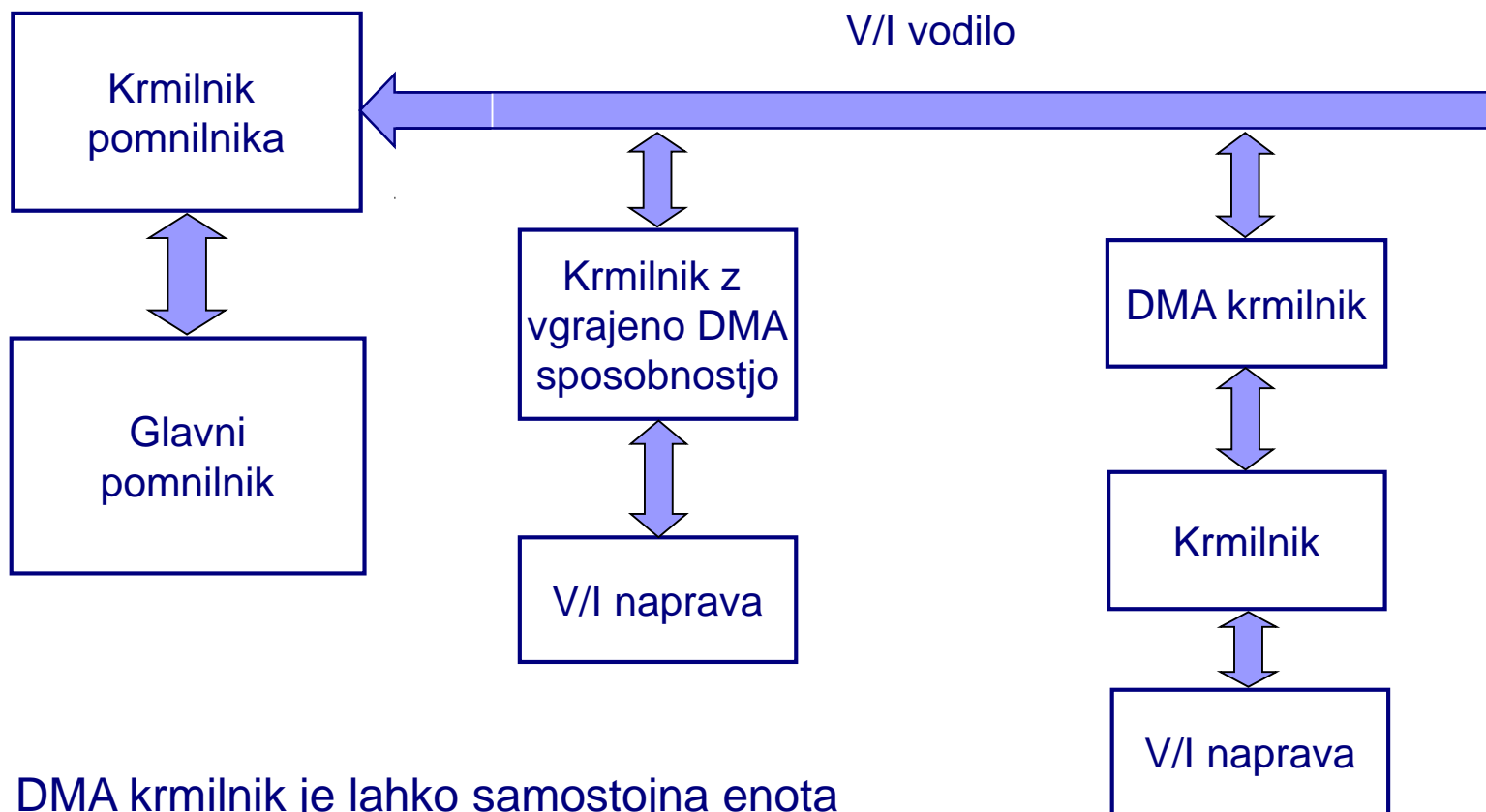
DMA V/I prenos



DMA V/I prenos



- Pri DMA prenosu mora CPE opraviti naslednje operacije:
 - v naslovni register DMA krmilnika vpisati začetni naslov polja v glavnem pomnilniku
 - dolžino polja (število besed), ki naj se prenese, vpisati v števeni register DMA krmilnika
 - v ustrezne registre vpisati vrednosti, ki določajo operacijo in način delovanja DMA krmilnika
 - v DMA krmilnik poslati ukaz za začetek izvajanja V/I prenosa
- DMA krmilnik nato prične z izvajanjem V/I operacije, ki poteka brez sodelovanja CPE.
- Ob zaključku V/I operacije **DMA krmilnik običajno obvesti CPE** s prekinitveno zahtevo, CPE pa preveri, ali je bila operacija uspešno izvedena.



DMA krmilnik je lahko samostojna enota ali pa je vgrajen v krmilnik V/I naprave

7.2.6.4 Vhodno/izhodni procesorji

Razlogi za uvedbo V/I procesorjev:

- pri velikih računalnikih, ki delujejo v multiprogramskem načinu, je tudi **majhna stopnja sodelovanja CPE pri V/I operacijah neekonomična**.
- **veliko V/I naprav, veliko V/I prenosov in visoka cena CPE** opravičuje stroške dodatnih V/I procesorjev.
- cilj rešitve je **CPE popolnoma razbremeniti** V/I prenosov.

V/I procesorji imajo:

- **svoj nabor ukazov,**
- **večinoma tudi svoj pomnilnik**

in jih lahko smatramo kot neke vrste **univerzalne DMA krmilnike**, ki so:

- poleg V/I prenosa **sposobni izvajati tudi svoj program.**

7.6.3 Prepletanje delovanja CPE in V/I operacij

- Med izvajanjem programov se izmenjujejo obdobja v katerih se **izvajajo**
 - **CPE operacije** in
 - v katerih se izvajajo **V/I prenosi**.
- Med V/I prenose spadajo tudi prenosi, ki so potrebni, ko pri navideznem pomnilniku pride do napake strani ⇒ **prenos strani iz navideznega pomnilnika** (trdi disk) v glavni pomnilnik.

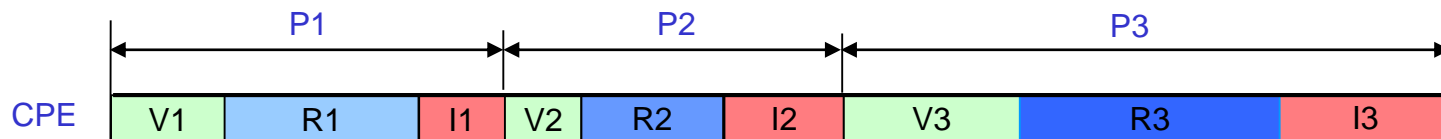
Računalnik z enim programom:

- če lahko računalnik izvaja en sam program, mora CPE med izvajanjem V/I prenosov čakati.

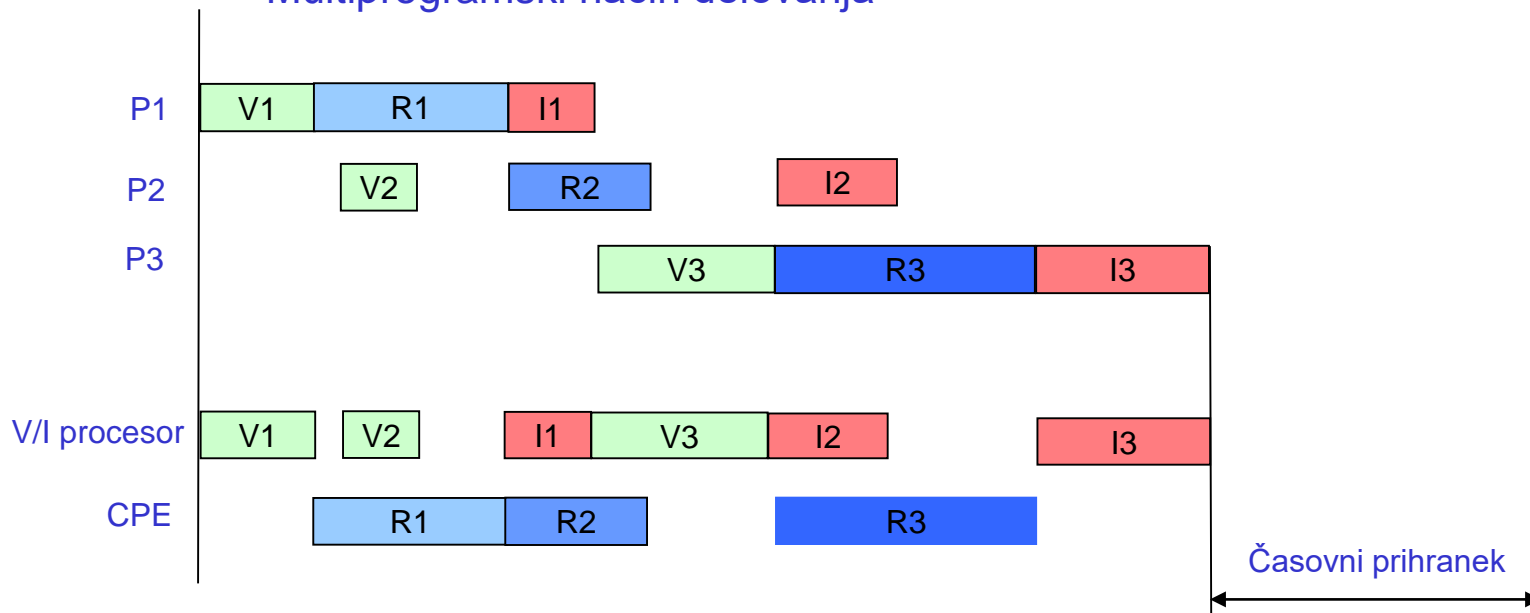
Multiprogramski računalnik

- večina večjih računalnikov danes deluje na **multiprogramski način**:
 - CPE vedno izvaja enega od več med seboj neodvisnih programov,
 - V/I procesorji pa izvajajo ostale programe.
- če je V/I procesorjev več, se lahko hkrati izvaja več V/I prenosov.
- tak način delovanja je možen tudi z DMA krmilniki brez V/I procesorjev.

Enoprogramski način delovanja



Multiprogramski način delovanja



P1, P2, P3 - programi V1, V2, V3 - vhodne V/I operacije programov I1, I2, I3 - izhodne V/I operacije