ARM

PROGRAMIRANJE V ZBIRNEM JEZIKU

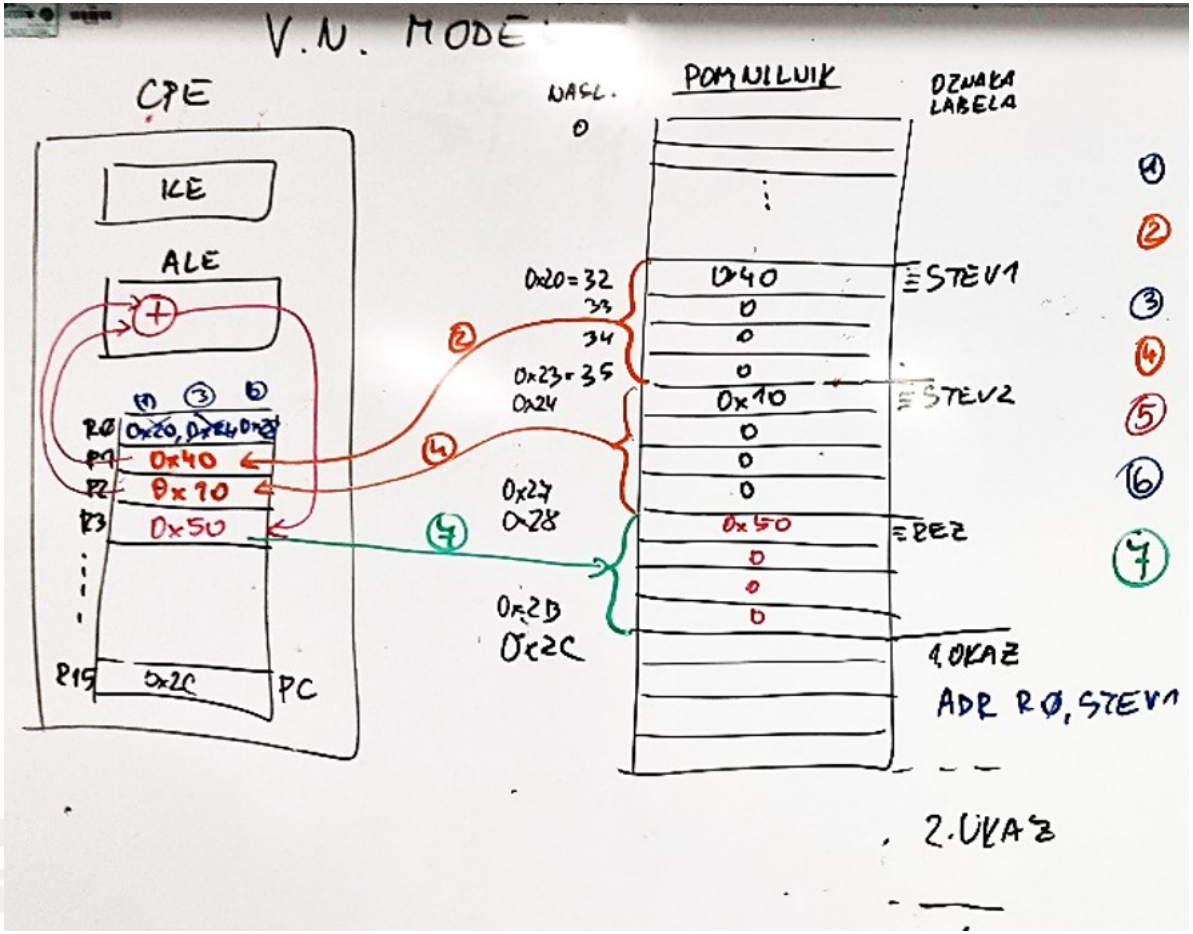
1. del

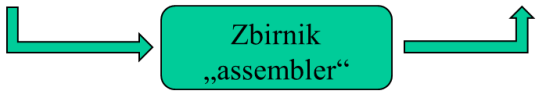
Uvodna vaja: Programiranje v zbirniku

Zgled seštevanja dveh števil :

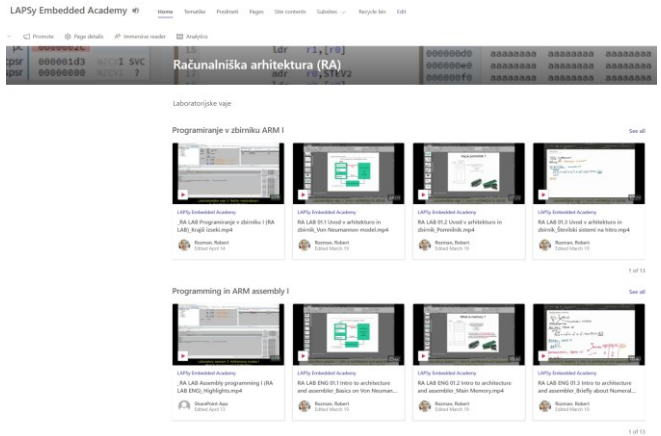
rez := stev1 + stev2

Zbirni jezik	Opis ukaza	Strojni jezik
adr r0, stev1	R0 ← nasl. stev1	0xE24F0014
ldr r1, [r0]	R1 ← M[R0]	0xE5901000
adr r0, stev2	R0 ← nasl. stev2	0xE24F0018
ldr r2, [r0]	R2 ← M[R0]	0xE5902000
add r3, r2, r1	R3 ← R1 + R2	0xE0823001
adr r0, rez	R0 ← nasl. rez	0xE24F0020
str r3, [r0]	M[R0] ← R3	0xE5803000





LEA portal – RA LAB
Video posnetki
RA Vaje

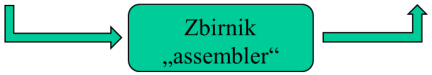


Uvodna vaja: Programiranje v zbirniku

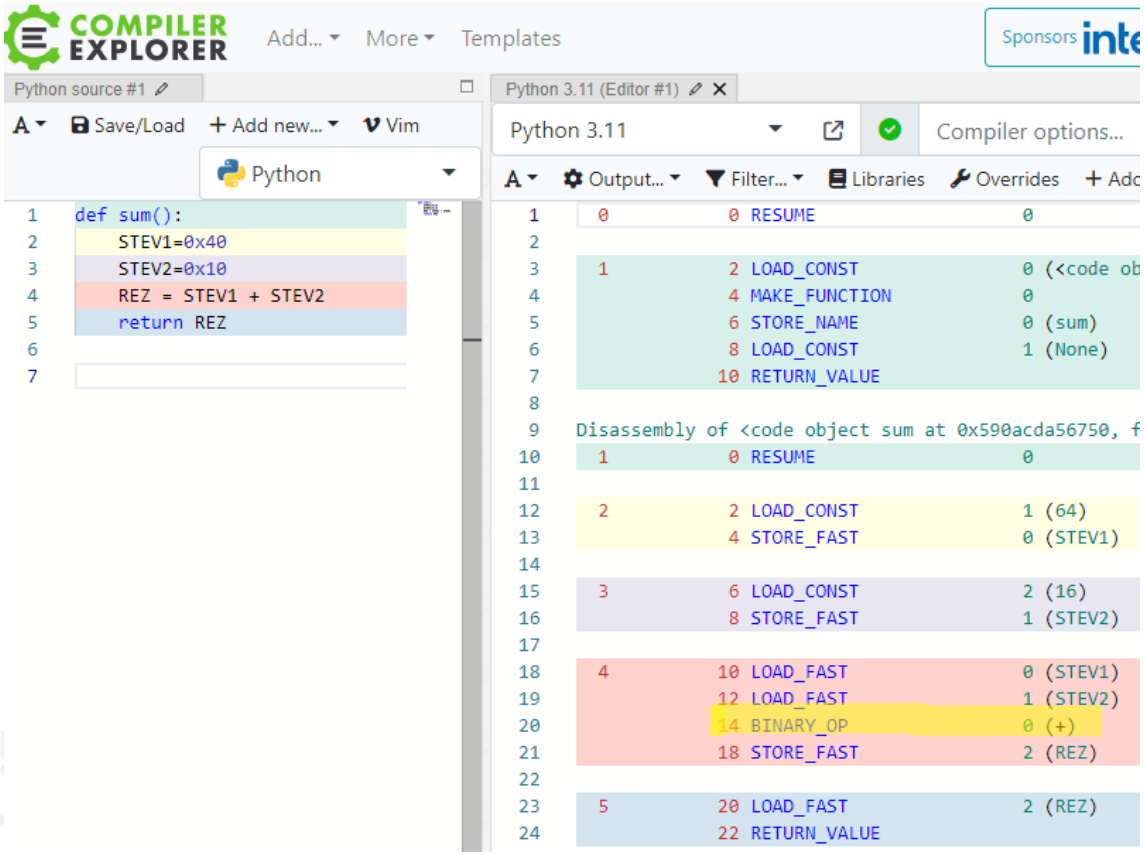
https://godbolt.org/

Zgled seštevanja dveh števil - Python:
rez := stev1 + stev2

Zbirni jezik	Opis ukaza	Strojni jezik
adr r0, stev1	R0 ← nasl. stev1	0xE24F0014
ldr r1, [r0]	R1 ← M[R0]	0xE5901000
adr r0, stev2	R0 ← nasl. stev2	0xE24F0018
ldr r2, [r0]	R2 ← M[R0]	0xE5902000
add r3, r2, r1	R3 ← R1 + R2	0xE0823001
adr r0, rez	R0 ← nasl. rez	0xE24F0020
str r3, [r0]	M[R0] ← R3	0xE5803000



Primer Python kode delno prevedene v „byte code“




```
def sum():
    STEV1=0x40
    STEV2=0x10
    REZ = STEV1 + STEV2
    return REZ
```

Primer Python: Sum

Uvodna vaja: Programiranje v zbirniku

https://godbolt.org/

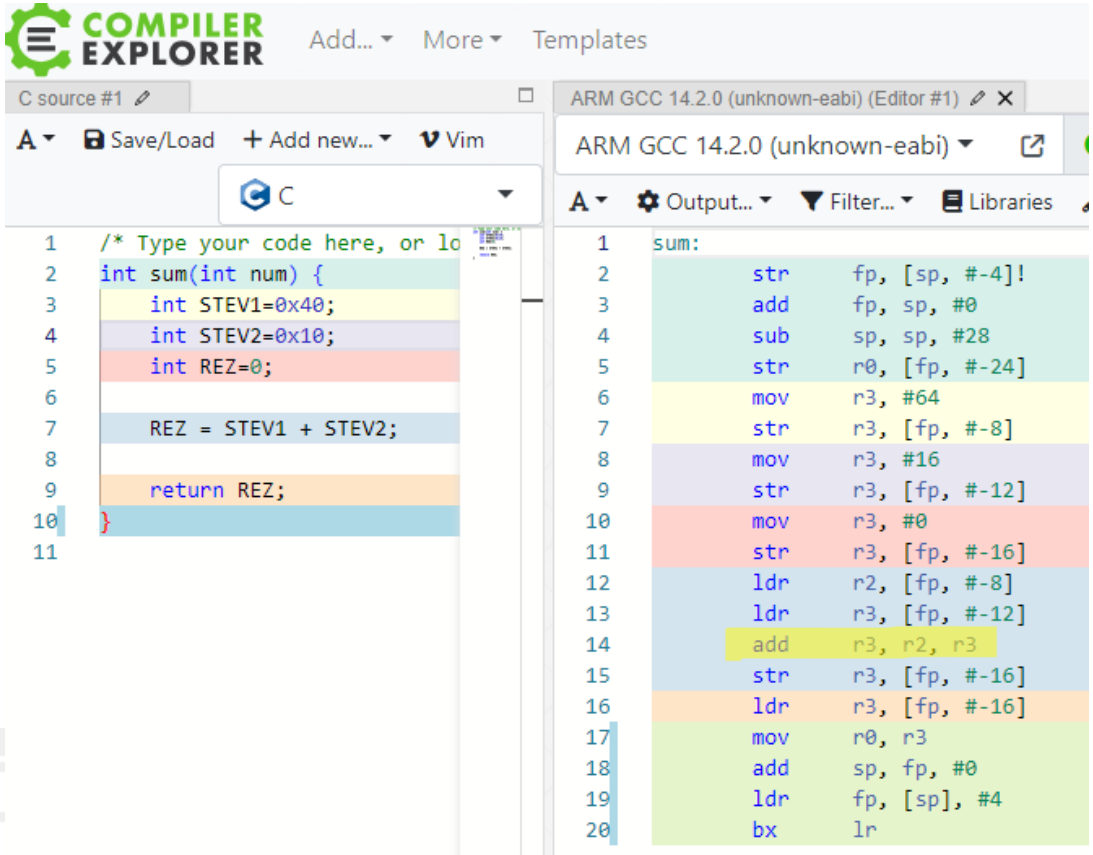
Zgled seštevanja dveh števil - Python:

rez := stev1 + stev2

Zbirni jezik	Opis ukaza	Strojni jezik
adr r0, stev1	R0 ← nasl. stev1	0xE24F0014
ldr r1, [r0]	R1 ← M[R0]	0xE5901000
adr r0, stev2	R0 ← nasl. stev2	0xE24F0018
ldr r2, [r0]	R2 ← M[R0]	0xE5902000
add r3, r2, r1	R3 ← R1 + R2	0xE0823001
adr r0, rez	R0 ← nasl. rez	0xE24F0020
str r3, [r0]	M[R0] ← R3	0xE5803000

Zbirnik „assembler“

Primer C kode prevedene v zbirnik




```
int sum(int num) {
    int STEV1=0x40;
    int STEV2=0x10;
    int REZ=0;

    REZ = STEV1 + STEV2;

    return REZ;
}
```

Primer C: Sum

ARM (Advanced RISC Machine) = RISC ?

32-bitna ukazna arhitektura (ISA):

+ load/store arhitektura

+ cevovodna zgradba

+ reduciran nabor ukazov, vsi ukazi 32-bitni

+ ortogonalen registrski niz. Vsi registri 32-bitni

- veliko načinov naslavljanja

- veliko formatov ukazov

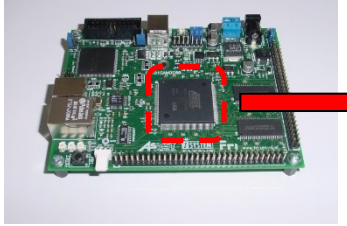
- nekateri ukazi se izvajajo več kot en cikel (npr. *load/store multiple*) – obstaja nekaj kompleksnejših ukazov, kar omogoča manjšo velikost programov

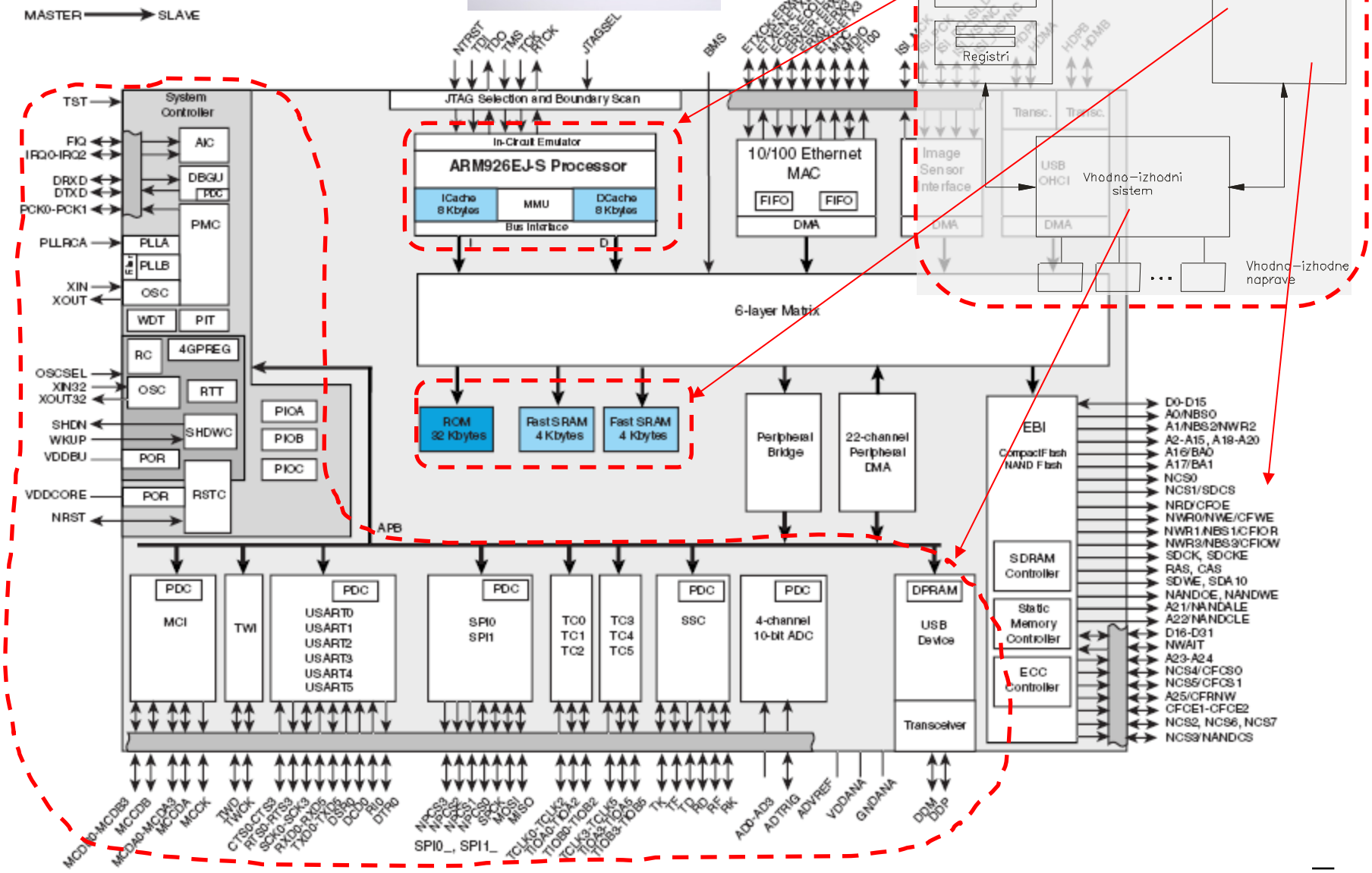
- dodaten 16-bitni nabor ukazov Thumb omogoča krajše programe

- pogojno izvajanje ukazov – ukaz se izvede le, če je stanje zastavic ustrezno.

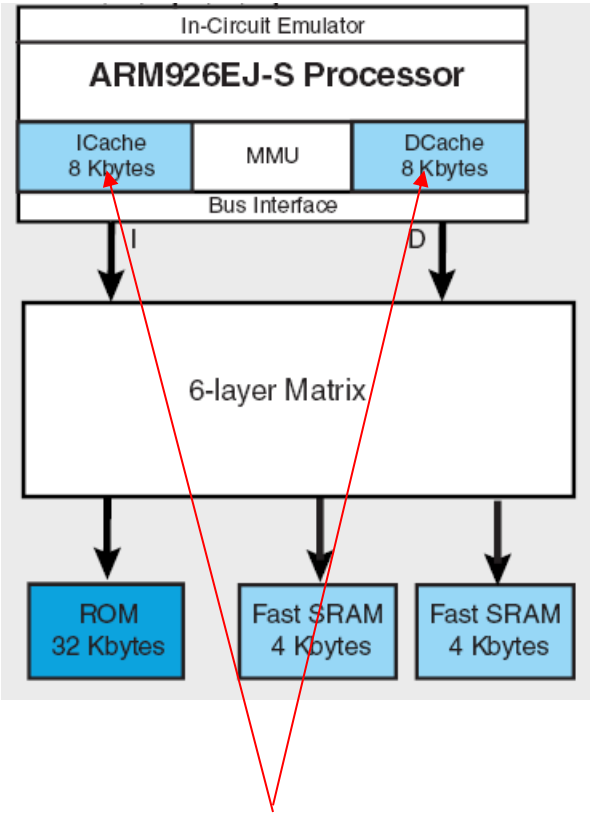
AT91SAM9260

(mikrokrmilnik)



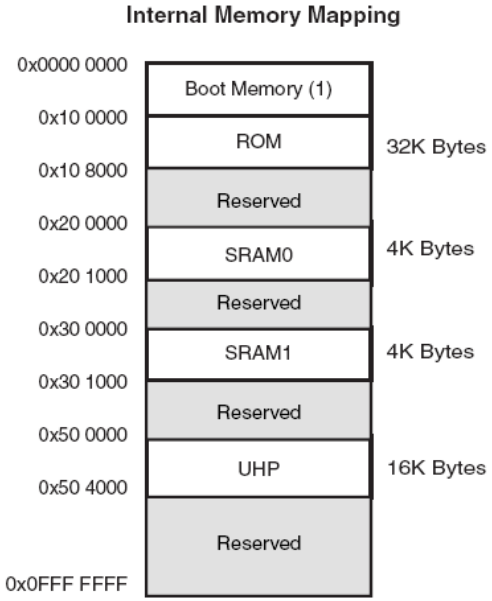


AT91SAM9260



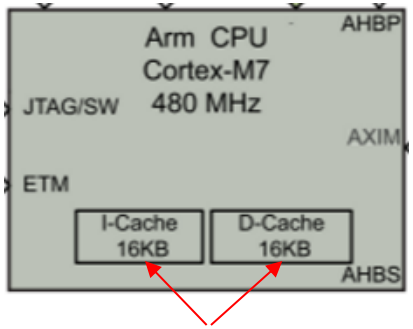
Harvardska arhitektura predpomnilnikov

Shema pomnilniškega prostora



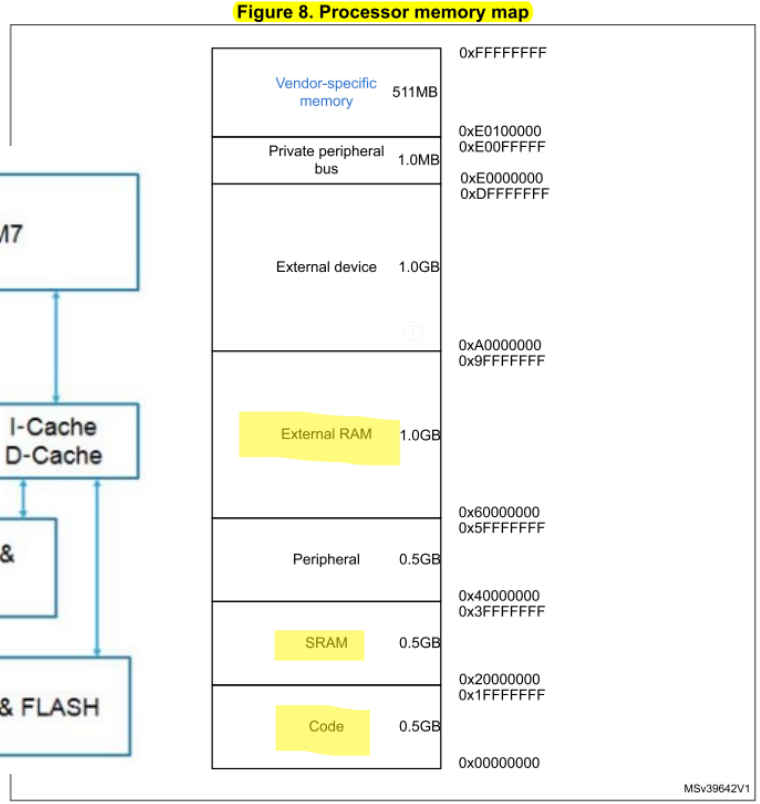
Princetonska arhitektura glavnega pomnilnika

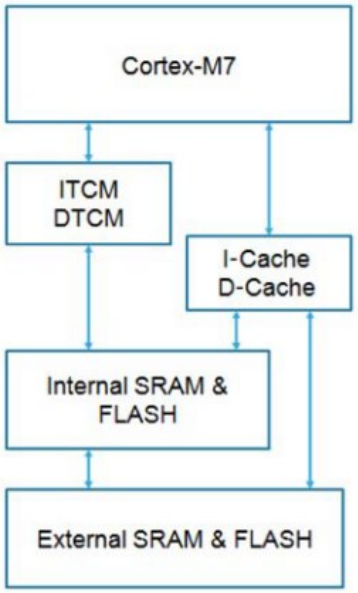
STM32H750XB

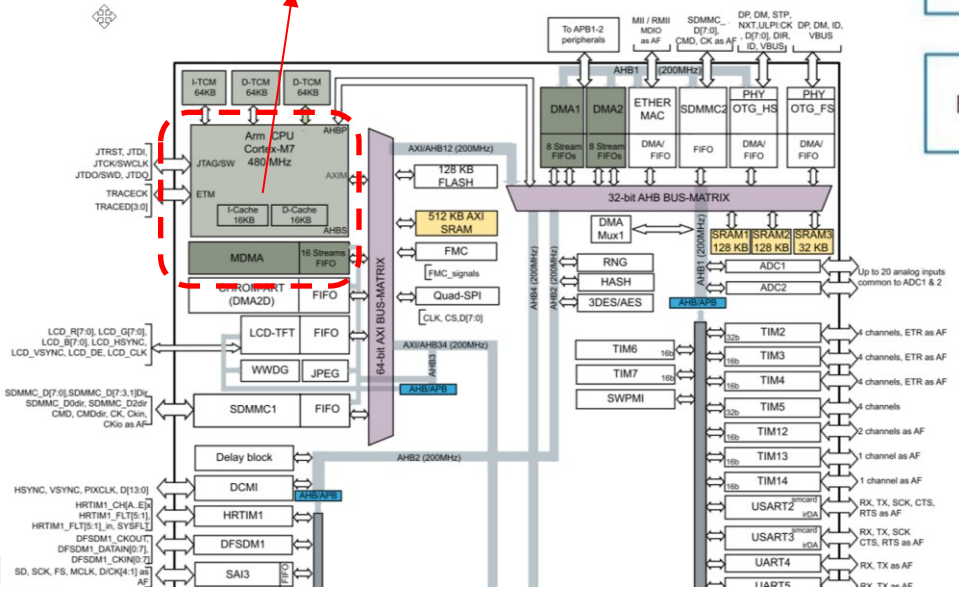


Harvardska arhitektura predpomnilnikov

Shema pomnilniškega prostora





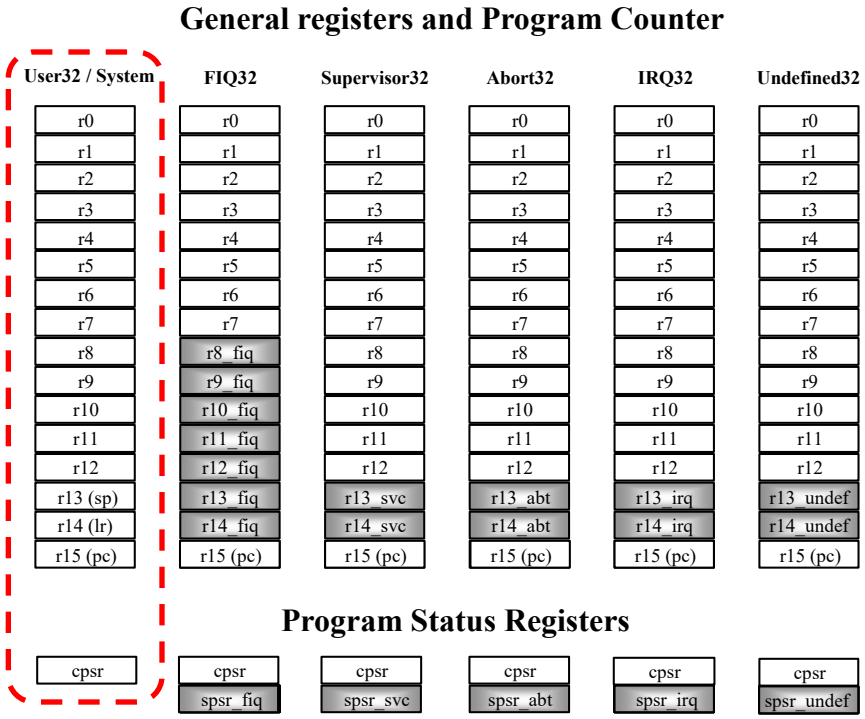


Princetonska arhitektura glavnega pomnilnika

```
MEMORY
{
 FLASH (rx)    : ORIGIN = 0x08000000, LENGTH = 128K
 DTCMRAM (xrw) : ORIGIN = 0x20000000, LENGTH = 128K
 RAM_D1 (xrw)  : ORIGIN = 0x24000000, LENGTH = 512K
 RAM_D2 (xrw)  : ORIGIN = 0x30000000, LENGTH = 288K
 RAM_D3 (xrw)  : ORIGIN = 0x38000000, LENGTH = 64K
 ITCMRAM (xrw) : ORIGIN = 0x00000000, LENGTH = 64K
}
```

ARM programski model

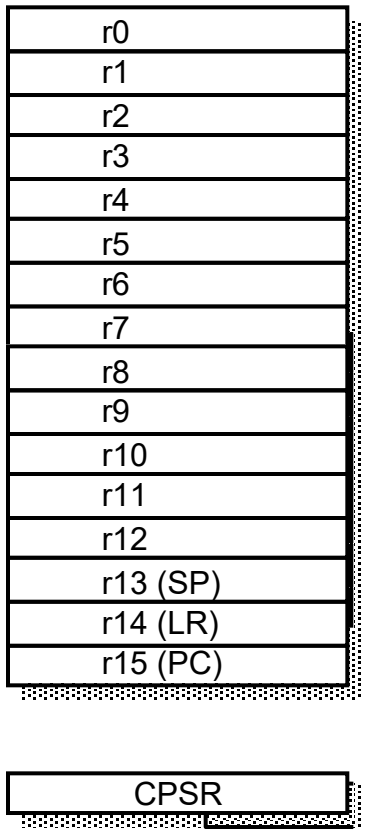
- **Programski model sestavlja 16 registrov ter statusni register CPSR (Current Program Status Register)**
- **Več *načinov delovanja*, vsak ima nekaj svojih registrov. Vseh registrov je v resnici 36**
- **Kateri registri so vidni je odvisno od načina delovanja procesorja (*processor mode*)**



- **Načine delovanja delimo v dve skupini:**
  - Privilegirani (dovoljena bralni in pisalni dostop do CPSR)
  - Neprivilegirani (dovoljen le bralni dostop do CPSR)

Varnost na nivoju CPE

Programski model – uporabniški način



Uporabniški način (*user mode*):

- edini neprivilegirani način
- v tem načinu se izvajajo uporabniški programi

Programsko je vidnih 17 32-bitnih registrov:

r0 – r15 ter CPSR

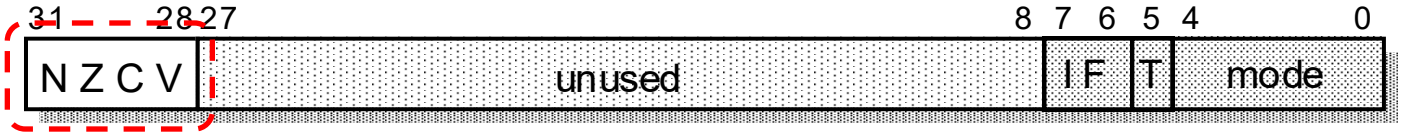
Vidni registri:

- r0-r12: splošnonamenski (ortogonalni) registri
- r13(sp): skladovni kazalec (*Stack Pointer*)
- r14(lr): povratni naslov (*Link Register*)
- r15(pc): programski števec (*Program Counter*)
- CPSR: statusni register (*Current Program Status Register*)

Register CPSR

Obravnavamo kasneje …

CPSR - Current Program Status Register



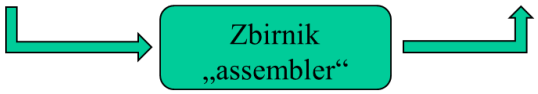
- zastavice (**N,Z,V,C**)
- maskirna bita za prekinitve (I, F)
- bit T določa nabor ukazov:
  T=0 : ARM arhitektura, procesor izvaja 32-bitni ARM nabor ukazov
  T=1: Thumb arhitektura, procesor izvaja 16-bitni Thumb nabor ukazov
- spodnjih 5 bitov določa način delovanja procesorja
- v uporabniškem (neprivilegiranem) načinu lahko CPSR beremo; ukazi lahko spreminjajo le zastavice.

Zastavice (lahko) ukazi spreminjajo glede na rezultat ALE:

N = 0: bit 31 rezultata je 0,	**N** = 1: bit 31 rezultata je 1	(*Negative*)
Z = 1: rezultat je 0,	**Z** = 0: rezultat je različen od nič	(*Zero*)
C = 1: rezultat je povzročil prenos,	**C** = 0: rezultat ni povzr. Prenosa	(*Carry*)
V = 1: rezultat je povzročil preliv,	**V** = 0: rezultat ni povzr. Preliva	(*oVerflow*)

Programiranje v zbirniku

Zbirni jezik	Opis ukaza	Strojni jezik
adr r0, stev1	R0 ← nasl. stev1	0xE24F0014
ldr r1, [r0]	R1 ← M[R0]	0xE5901000
adr r0, stev2	R0 ← nasl. stev2	0xE24F0018
ldr r2, [r0]	R2 ← M[R0]	0xE5902000
add r3, r2, r1	R3 ← R1 + R2	0xE0823001
adr r0, rez	R0 ← nasl. rez	0xE24F0020
str r3, [r0]	M[R0] ← R3	0xE5803000



- **V zbirniku simbolično opisujemo:**
  - ukaze (z mnemoniki),
  - registre,
  - naslove
  - konstante

- **Programerju tako ni treba:**
  - poznati strojnih ukazov in njihove tvorbe
  - računati odmikov ter naslovov

Prevajalnik za zbirnik (*assembler*) :
- prevede simbolično predstavitev ukazov v ustrezne strojne ukaze,
- izračuna dejanske naslove ter
- ustvari pomnilniško sliko programa

- **Program v strojnem jeziku ni prenosljiv:**
  - namenjen je izvajanju le na določeni vrsti mikroprocesorja

- **Zbirnik (*assembly language*) je „nizkonivojski“ programski jezik**

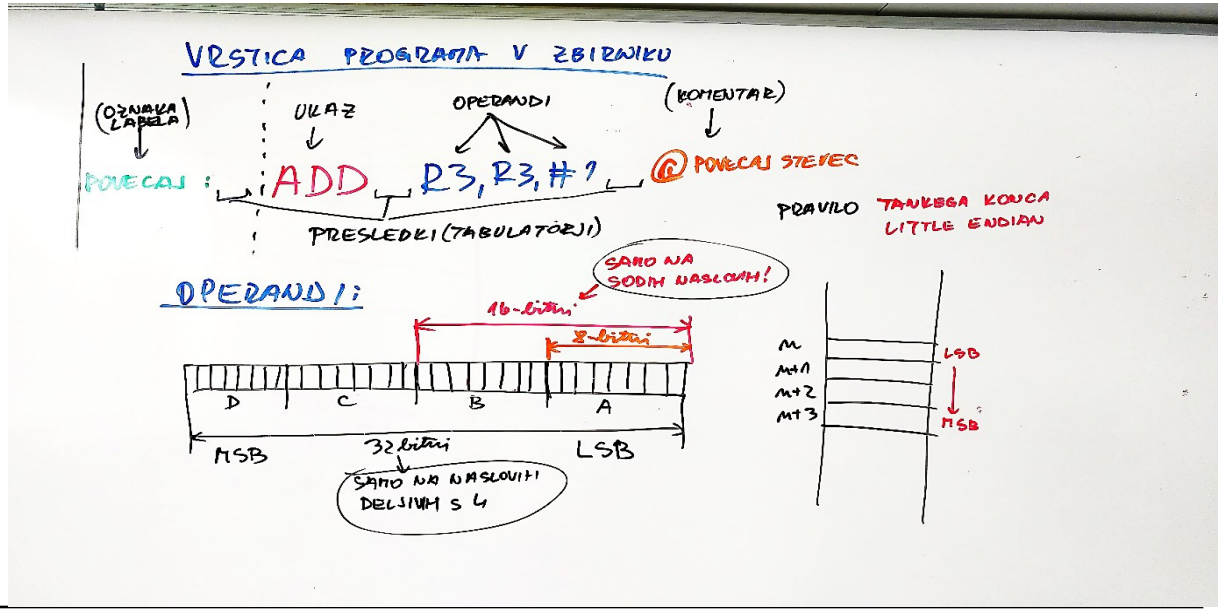
Programiranje v zbirniku – pripomočki

- **Spisek vseh ukazov**
  - E-učilnica

ARMv4T Partial Instruction Set Summary

Operation		Syntax
Move	Move	**mov**{*cond*}{**s**} *Rd*, *shift_op*
	with NOT	**mvn**{*cond*}{**s**} *Rd*, *shift_op*
	CPSR to register	**mrs**{*cond*} *Rd*, **cpsr**
	SPSR to register	**mrs**{*cond*} *Rd*, **spsr**
	register to CPSR	**msr**{*cond*} **cpsr**_*fields*, *Rm*
	register to SPSR	**msr**{*cond*} **spsr**_*fields*, *Rm*
	immediate to CPSR	**msr**{*cond*} **cpsr**_*fields*, *#imm8r*
	immediate to SPSR	**msr**{*cond*} **spsr**_*fields*, *#imm8r*
Arithmetic	Add	**add**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rn*, *shift_op*
	with carry	**adc**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rn*, *shift_op*
	Subtract	**sub**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rn*, *shift_op*
	with carry	**sbc**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rn*, *shift_op*
	reverse subtract	**rsb**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rn*, *shift_op*
	reverse subtract with carry	**rsc**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rn*, *shift_op*
	Multiply	**mul**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rm*, *Rs*
	with accumulate	**mla**{*cond*}{**s**} *Rd*, *Rm*, *Rs*, *Rn*
	unsigned long	**umull**{*cond*}{**s**} *RdLo*, *RdHi*, *Rm*, *Rs*
	unsigned long with accumulate	**umlal**{*cond*}{**s**} *RdLo*, *RdHi*, *Rm*, *Rs*
	signed long	**smull**{*cond*}{**s**} *RdLo*, *RdHi*, *Rm*, *Rs*
	signed long with accumulate	**smlal**{*cond*}{**s**} *RdLo*, *RdHi*, *Rm*, *Rs*

- **Lasten A4 list z zapiski – primer zapiskov na tablo**



Ukazi

- **Vsi ukazi so 32-bitni**

```
add r3, r2, r1 ⟹ 0xE0823001=0b1110…0001
```

- **Rezultat je 32-biten. Izjema je le množenje**

```
R1 + R2        ⟹    R3
```

- **Aritmetično-logični ukazi so 3-operandni**

```
add r3,r3,#1
```

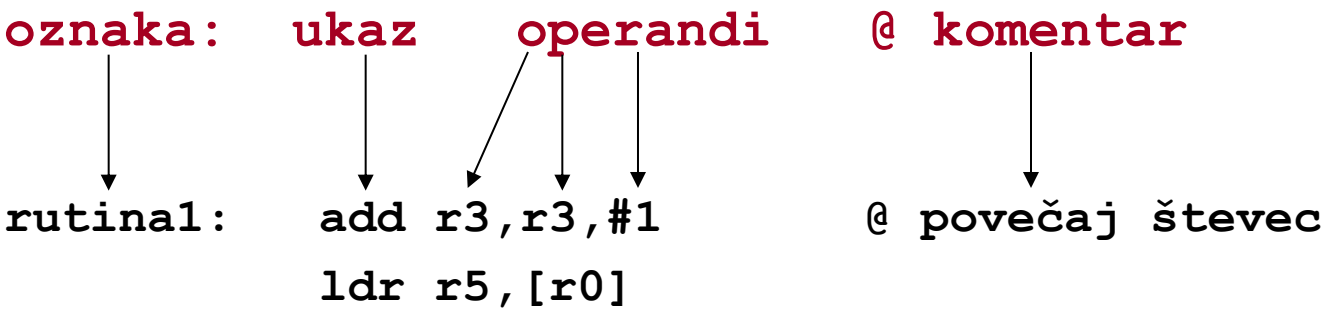
- **Load/store arhitektura (model delovanja)**

```
ldr r1, [r4]          @ prenos v registre
ldr r2, [r5]          @ prenos v registre
add r3, r2, r1        @ vsota registrov
str r3, [r6]          @ vsota v pomnilnik
```

Programiranje v zbirniku

- **Vsaka vrstica programa v zbirniku predstavlja običajno en ukaz v strojnem jeziku**

- **Vrstica je sestavljena iz štirih stolpcev:**



- **Stolpce ločimo s tabulatorji, dovoljeni so tudi presledki**

Operandi

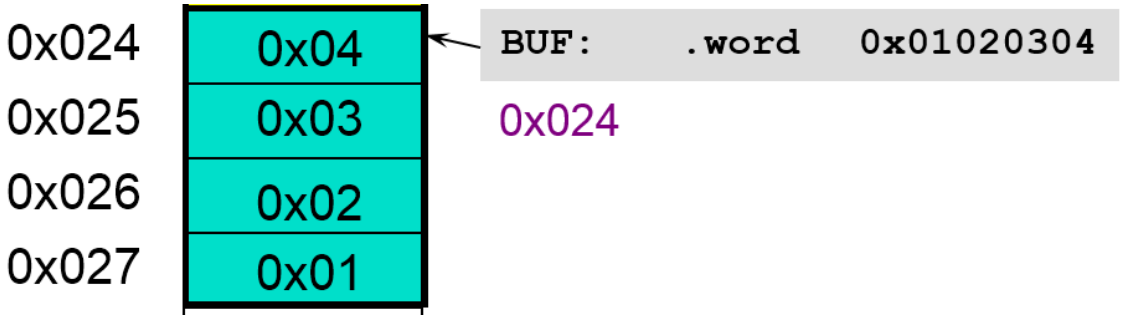
- **8, 16, 32-bitni ter predznačeni ali nepredznačeni pomnilniški operandi**

- **Obvezna poravnanost ukazov in operandov (16,32bitnih):**
  - 16-bitni poravnani na sodih naslovih
  - 32-bitni poravnani na naslovih, deljivih s 4

- **V CPE se vse izvaja 32-bitno (razširitev ničle ali predznaka)**

```
0xFF  ⟹  0x000000FF
```

- **Daljši operandi: uporablja se pravilo tankega konca**



Oznake (labele)

Oznaka je nam razumljivo **simbolično poimenovanje :**

- **pomnilniških lokacij** ali
- **vrstic** v programu

Oznake običajno uporabljamo na dva načina:

- s poimenovanjem pomnilniških lokacij

  dobimo „spremenljivke“

```
STEV1:      .word   0x12345678
STEV2:      .byte   1,2,3,4
REZ:        .space  4
```

- za poimenovanje ukazov (vrstic), na katere se sklicujemo pri skokih.

```
            mov r4,#10
LOOP:       subs r4, r4, #1
            ...
            bne LOOP
```

```
1           .text
2           .org 0x20
3
4   STEV1:  .word   0x10
5   STEV2:  .word   0x40
6   REZ:    .word   0
7
8           .align
9           .global _start
10  _start:
11
12              adr   r0,STEV1
13              ldr   r1,[r0]
14
15              adr   r0,STEV2
16              ldr   r2,[r0]
17
18              add   r3,r1,r2
19
20              adr   r0,REZ
21              str   r3,[r0]
22
23  end:        b     end
```

Psevdoukazi in direktive - ukazi prevajalniku

Psevdoukazi :

- niso dejanski strojni ukazi za CPE, temveč jih prevajalnik vanje prevede

```
Primer:
adr r0, stev1  prevajalnik nadomesti npr. s  sub r0, pc, #2c
          (ALE ukaz, ki izračuna pravi naslov v r0)
```

Direktive (označene s piko pred ukazom) uporabljamo za:

- določanje vrste pomnilniških odsekov **`.text .data`**
- poravnavo vsebine **`.align`**
- rezervacijo pomnilnika za „spremenljivke“ **`.space`**
- rezervacijo prostora v pomnilniku **`.space`**
- določanje začetne vsebine pomnilnika **`.(h)word, .byte,…`**
- pomnilniški naslov prevajanja **`.org`**
- ustavljanje prevajanja **`.end`**

Obojih v končnem strojnem programu (izvaja CPE) ni !!!

Določanje pomnilniških odsekov

Direktivi za določanje pomnilniške slike sta:

```
.data
.text
```

S tema direktivama določimo, kje v pomnilniku bodo program(i) in kje podatki.

Pri našem delu bomo tako za ukaze programa kot operande uporabljali isti segment

```
.text
```

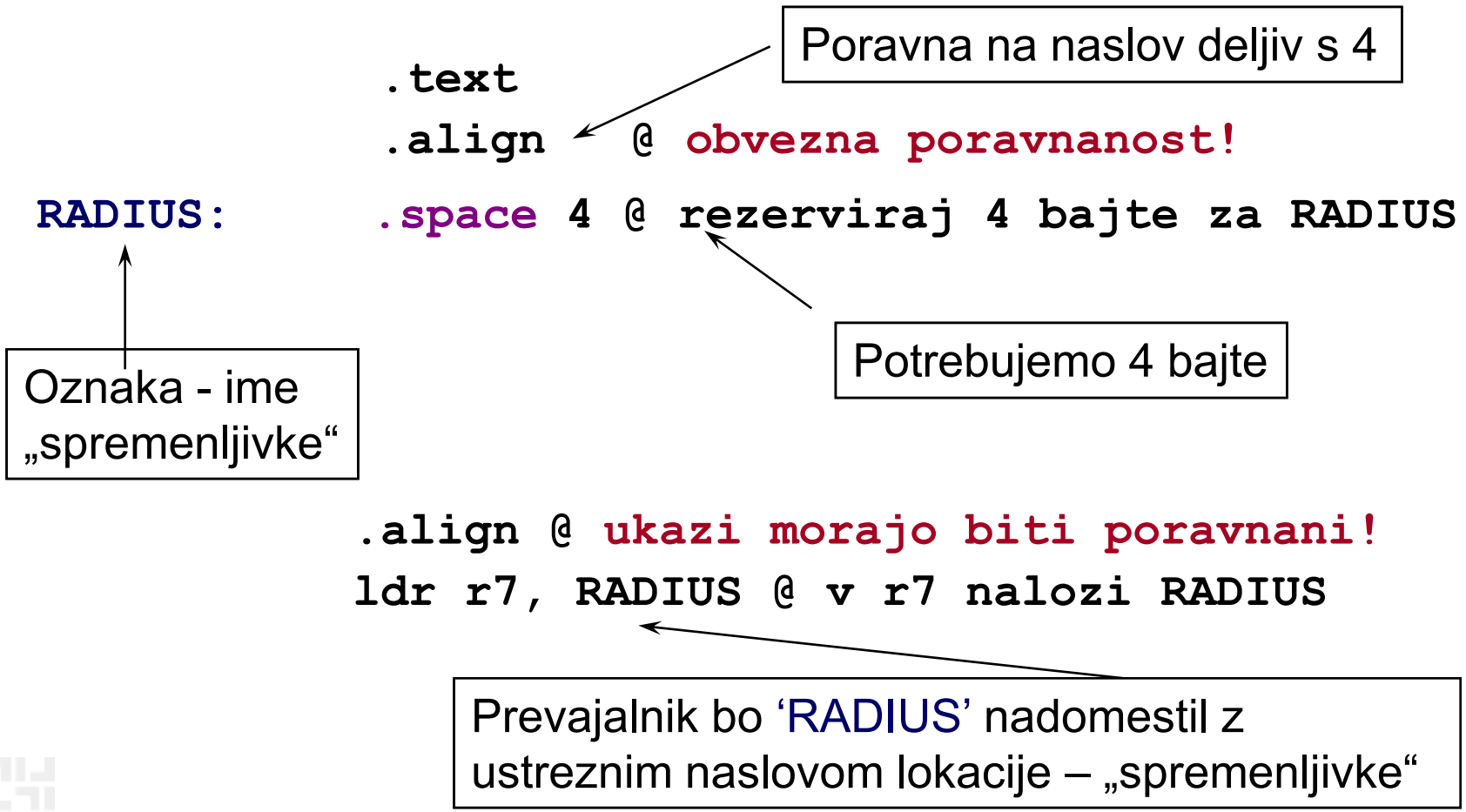
in začetni naslov 0x20

```
.org 0x20
```

```
.text
.org 0x20
@spremenljivke

.align
.global _start
_start:
@program

end: b end
```

Rezervacija pomnilnika za „spremenljivke“

Za spremenljivke moramo v pomnilniku rezervirati določen prostor.



Rezervacija prostora v pomnilniku

Oznake omogočajo boljši pregled nad pomnilnikom:
– pomnilniškim lokacijam dajemo imena in ne uporabljamo absolutnih naslovov (preglednost programa)

```
BUFFER:     .space 40     @rezerviraj 40 bajtov
BUFFER2:    .space 10     @rezerviraj 10 bajtov
BUFFER3:    .space 20     @rezerviraj 20 bajtov

;poravnanost? Če so v rezerviranih blokih bajti, ni
težav, sicer je (morda) potrebno uporabiti .align
```

- **oznaka BUFFER ustreza naslovu, od katerega naprej se rezervira 40B prostora**
- **oznaka BUFFER2 ustreza naslovu, od katerega naprej se rezervira 10B prostora. Ta naslov ja za 40 večji kot BUFFER**
- **oznaka BUFFER3 ustreza naslovu, od katerega naprej se rezervira 20B prostora. Ta naslov ja za 10 večji kot BUFFER2**

Rezervacija prostora z zač. vrednostmi

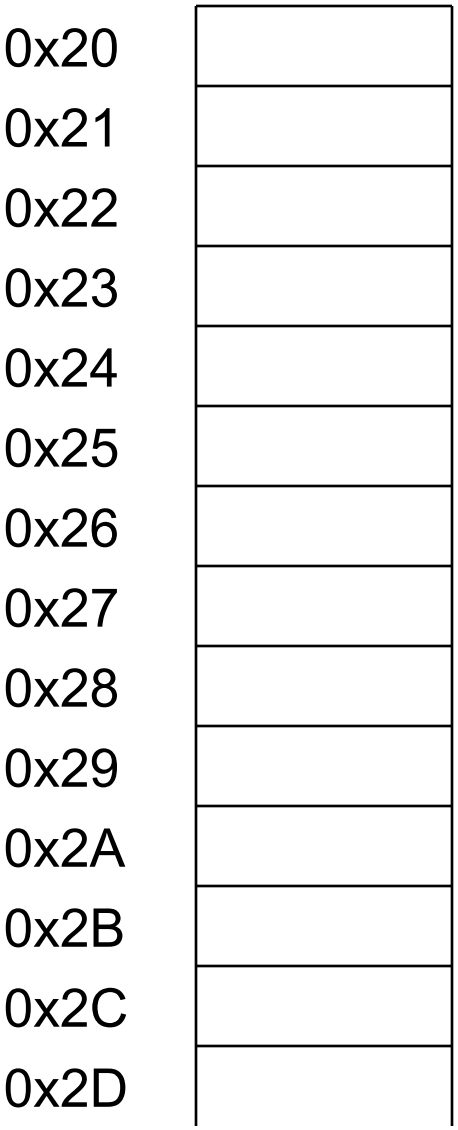
Večkrat želimo, da ima spremenljivka neko začetno vrednost.

```
niz1:   .asciz          "Dober dan"
niz2:   .ascii          "Lep dan"
        .align
stev1:  .word           512,1,65537,123456789
stev2:  .hword          1,512,65534
stev3:  .hword          0x7fe
stev4:  .byte           1, 2, 3
        .align
naslov: .word           niz1
```

- **„spremenljivke“, inicializirane na ta način, lahko kasneje v programu spremenimo (ker so le naslovi pomnilniških lokacij)**
- **če želimo, da je oznaka vidna tudi v drugih datotekah projekta, uporabimo psevdoukaz .global, npr:**

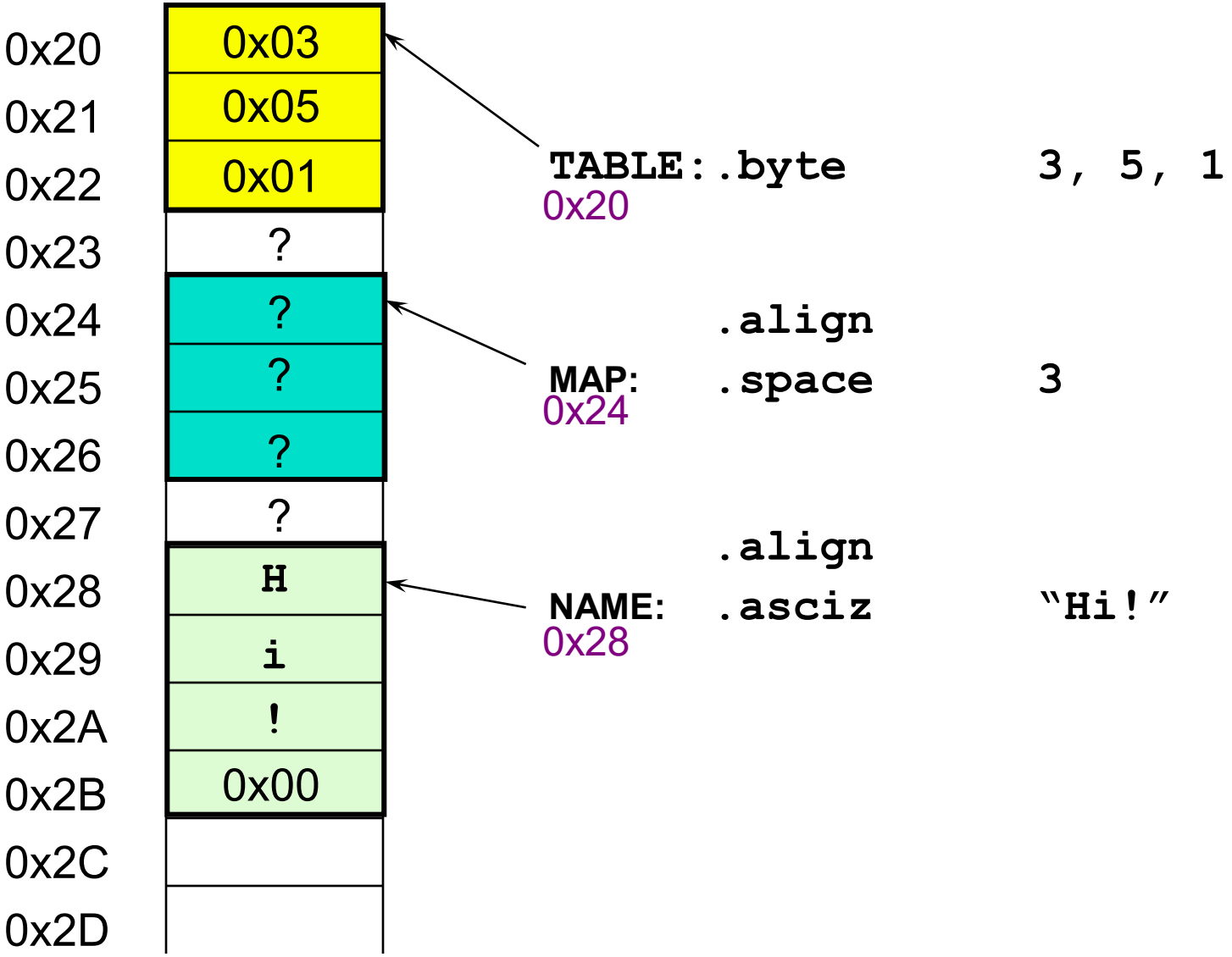
```
.global niz1, niz2
```

Povzetek – psevdoukazi in direktive

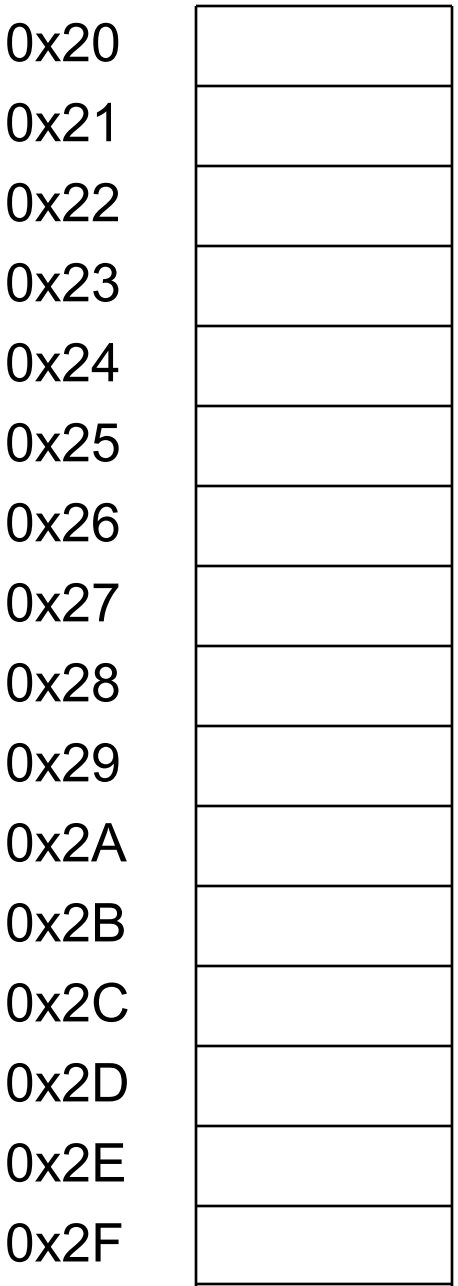



```
TABLE:.byte       3, 5, 1

      .align
MAP:  .space      3

      .align
NAME: .asciz      "Hi!"
```

Povzetek – psevdoukazi in direktive



Povzetek – prevajanje (psevdoukazi,ukazi)




```
TABLE:.byte     3, 5, 1, 2

BUF:    .word   0x01020304

A:      .byte   0x15

        .align

_START: mov     r0,#128
```

ZBIRNIK

Števec lokacij

0x20

Tabela oznak

https://cpulator.01xz.net/?sys=arm&loadasm=share/sOjDspT.s