Laboratorij za načrtovanje integriranih vezij

Univerza *v Ljubljani*
Fakulteta *za elektrotehniko*

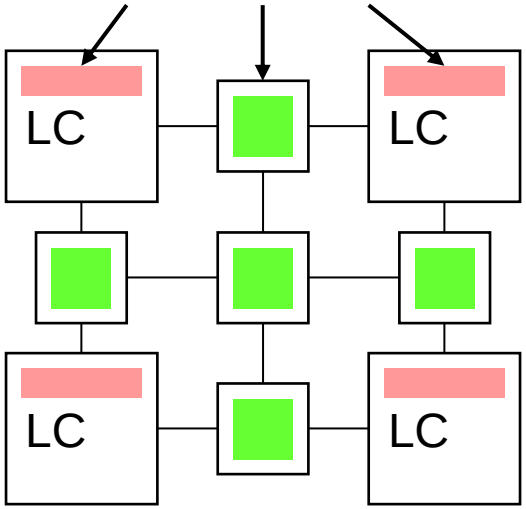
Digitalni Elektronski Sistemi

Programirljiva vezja in mikro-programiranje

mikrosekvenčnik in mikroprocesor

Programirljiva vezja / mikroprocesorji

- programirljivo vezje
  - programski biti določajo strukturo (konfiguracijo)

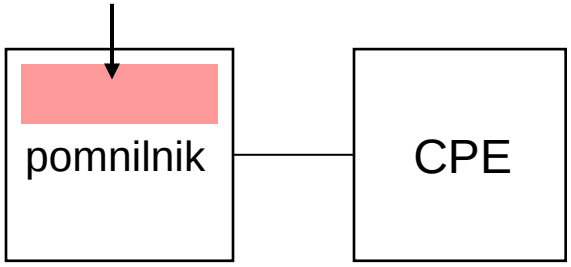


delovanje logičnih celic (LC)

povezave znotraj LC

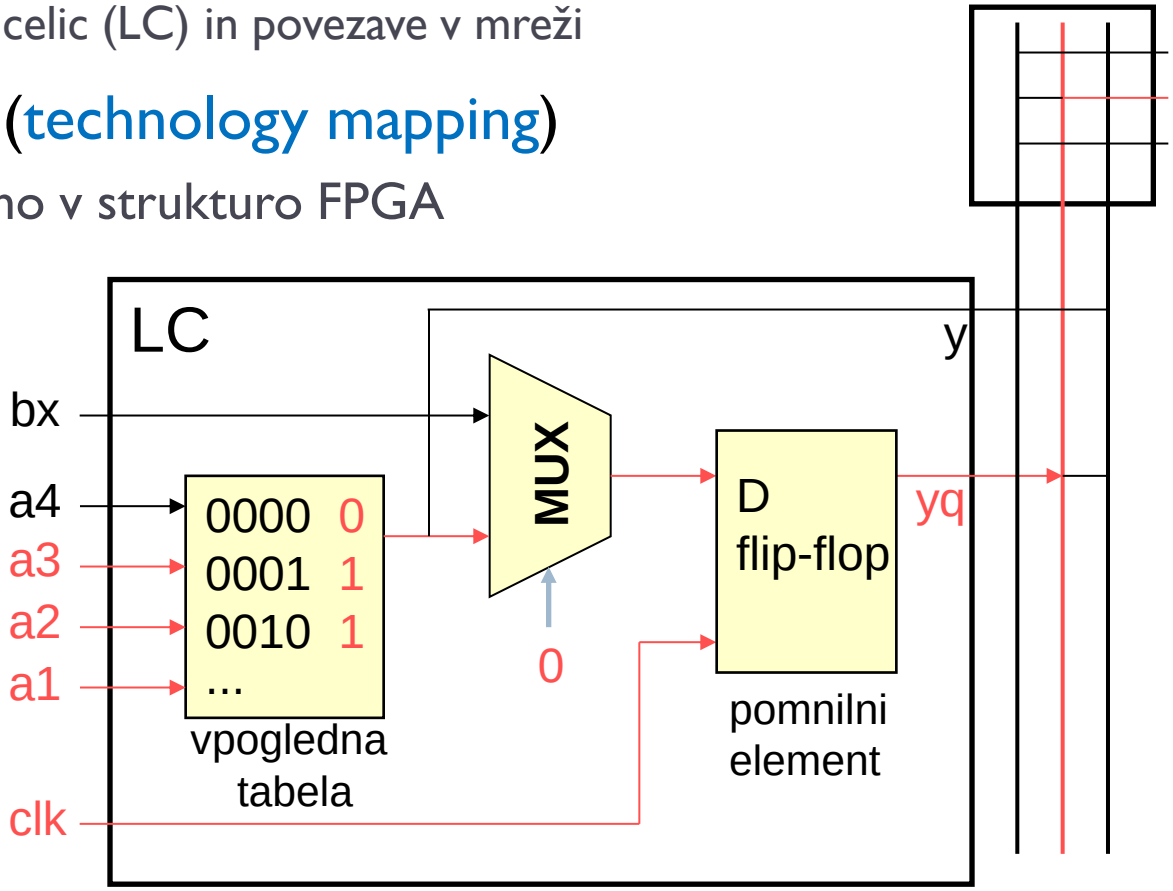
povezave v povezovalni mreži

- mikroprocesor
  - program določa ukaze, ki jih CPE izvaja

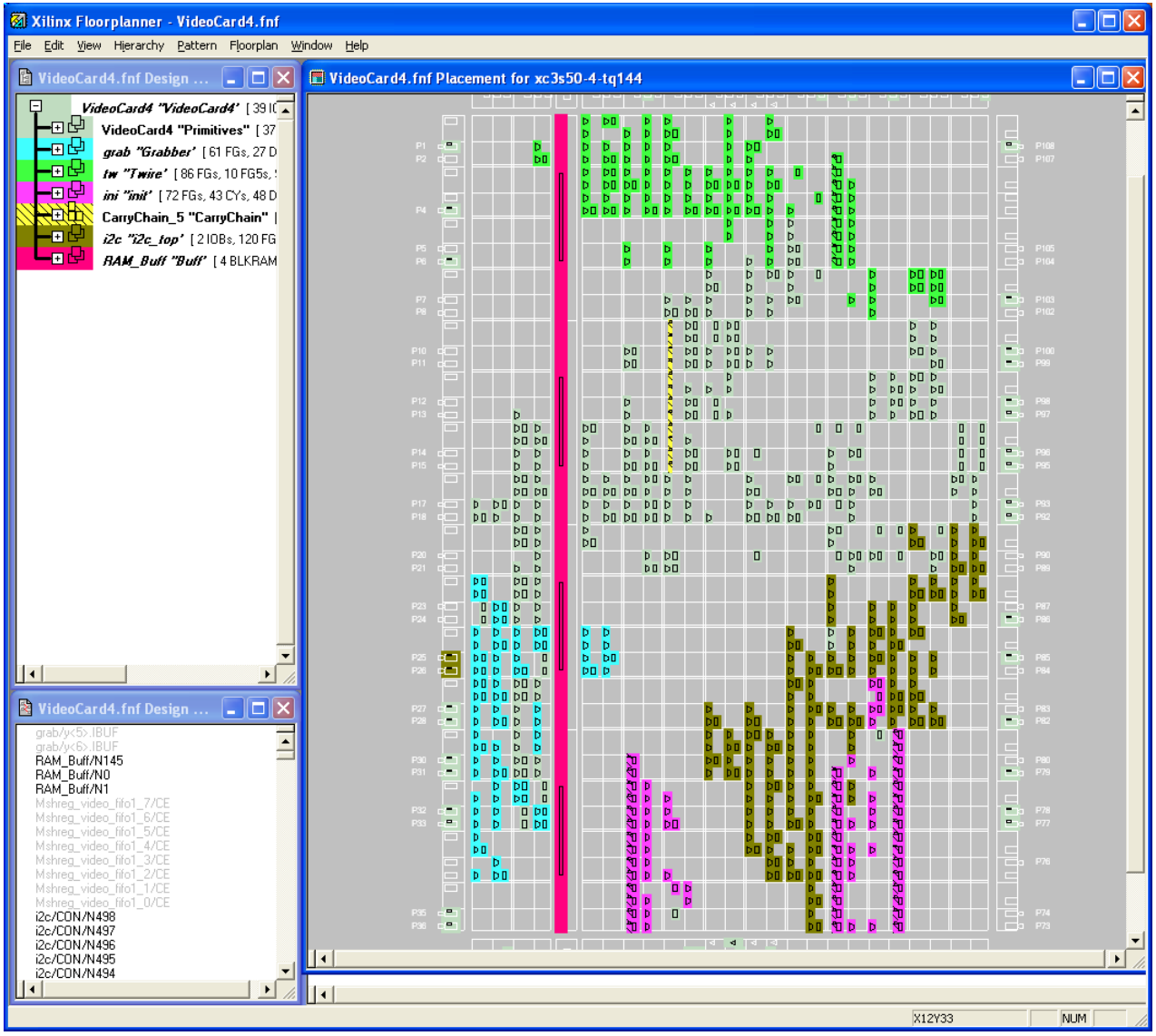


Podrobnejša zgradba FPGA

- pri programiranju (configuration) vpišemo vrednosti v konfiguracijski RAM
  - določa delovanje logičnih celic (LC) in povezave v mreži
- tehnološka preslikava (technology mapping)
  - digitalno vezje preslikamo v strukturo FPGA
- logična celica
  - LUT, MUX, DFF
  - prenosna logika
  - dodatne funkcije



Tehnološko preslikano vezje



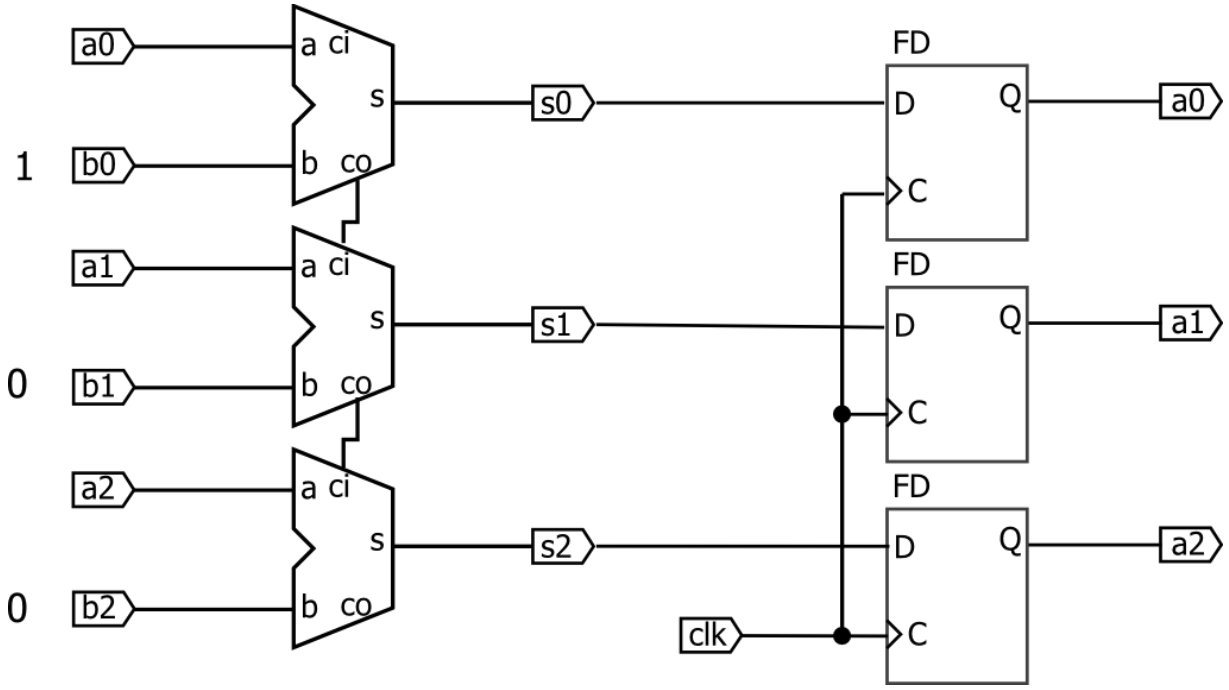
Načrt FPGA (floorplan)

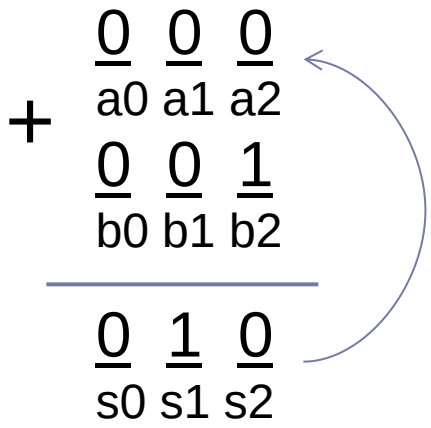
- rezultat avtomatične preslikave
- načrtovanje vezja poteka na višjem nivoju

xc3s50 tq144
500 tabel (LUT)
280 D flip-flopov
8 kB DPRAM
~ 270k vrat ASIC

Sekvenčno vezje s povratno vezavo

- 3-bitni seštevalnik in 3-bitni register = 3-bitni števec
  - vezje zasede 3 logične celice

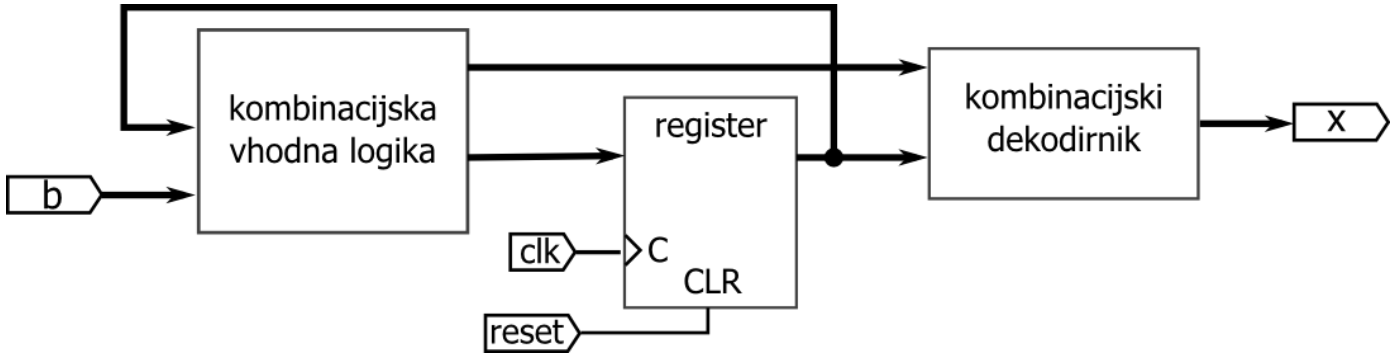




- Sekvenčno vezje ima $2^3 = 8$ stanj (000 do 111)

Sekvenčno vezje: sekvenčni stroj – avtomat

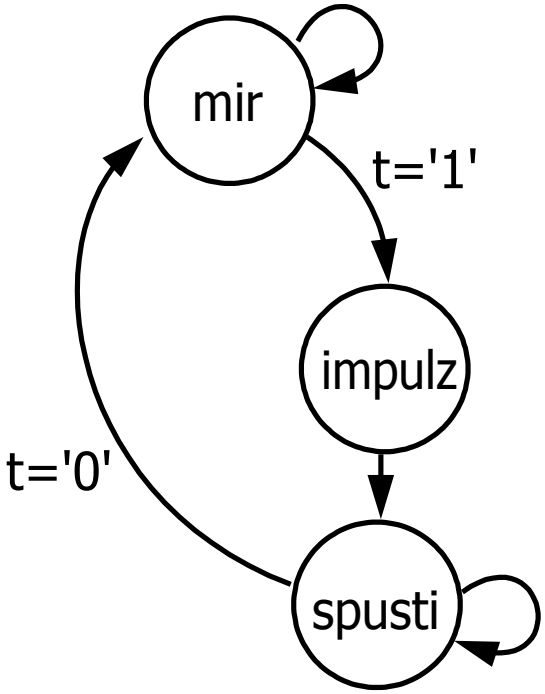
- Sekvenčni stroj vsebuje n-bitni register za 2^n stanj

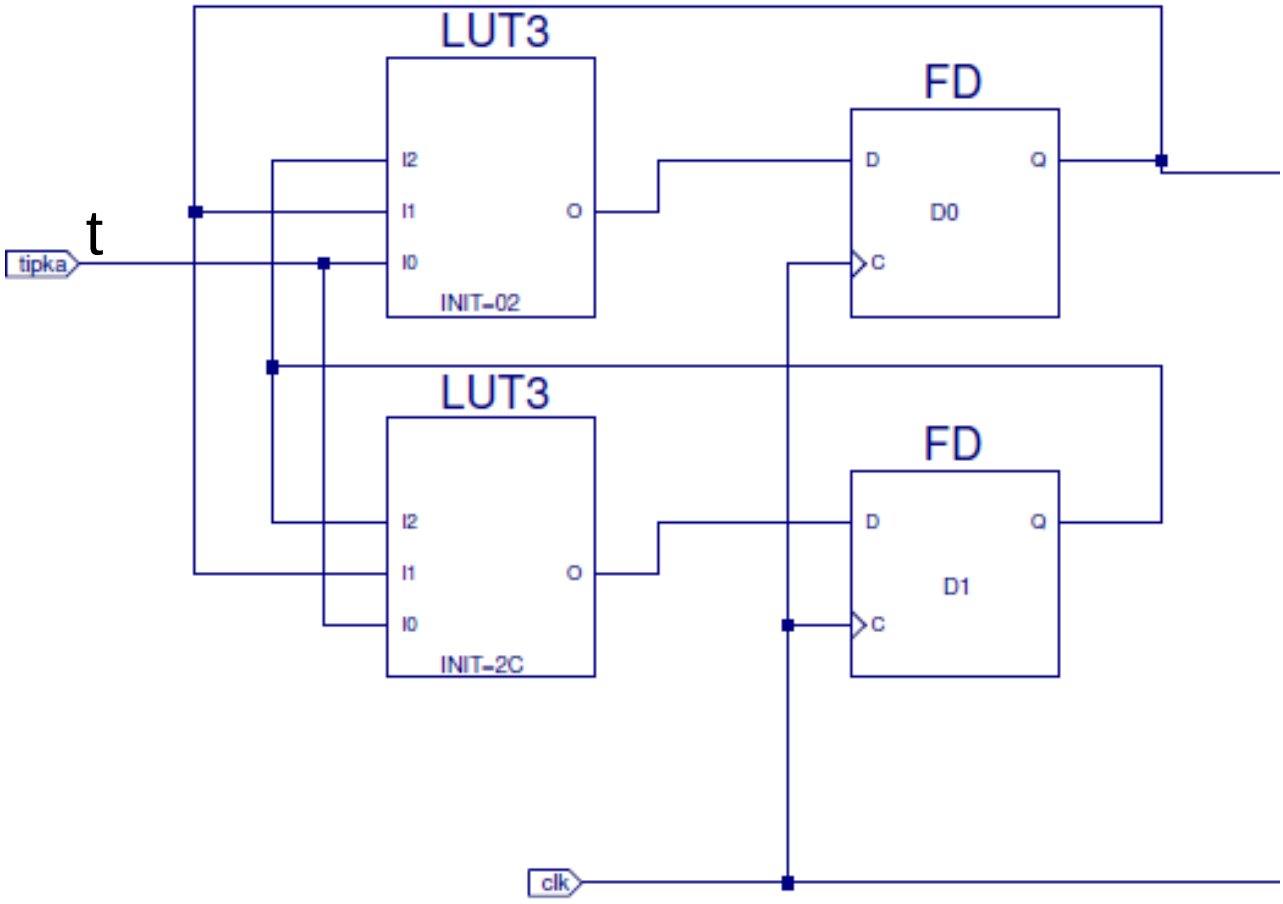


- Vhodna logika je v vezju FPGA narejena s tabelami (LUT)
  - s spremembo vsebine tabel spremenimo delovanje vezja !

Sekvenčni stroj z diagramom stanj

- Vsebina vpoglednih tabel (LUT) določa prehajanje stanj

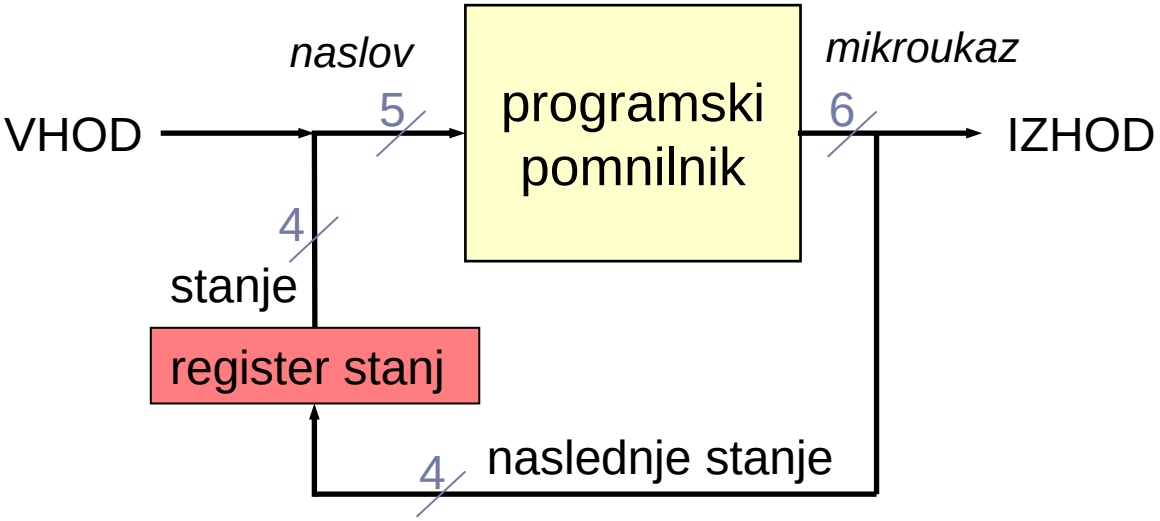




Mikro-programirano sekvenčno vezje

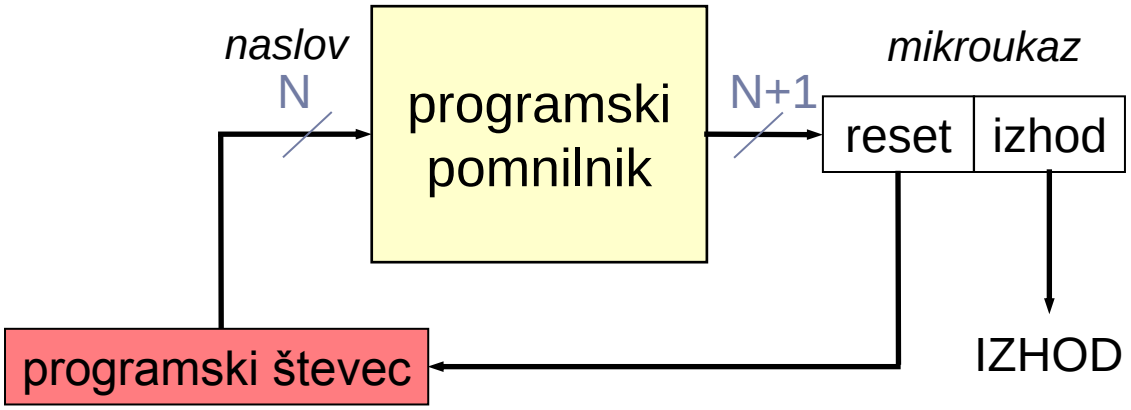
- Sekvenčni stroj narejen s tabelami je mikroprogramiran - mikrosekvenčnik
  - *mikroprogramirano vezje* ima krmilne vrednosti shranjene v pomnilniku vrste ROM ali RAM

- *mikroukazi* so besede v pomnilniku
- *mikroprogram* je zaporedje *mikroukazov*
- *v programski pomnilnik* vrste RAM lahko vpisujemo *mikroukaze*



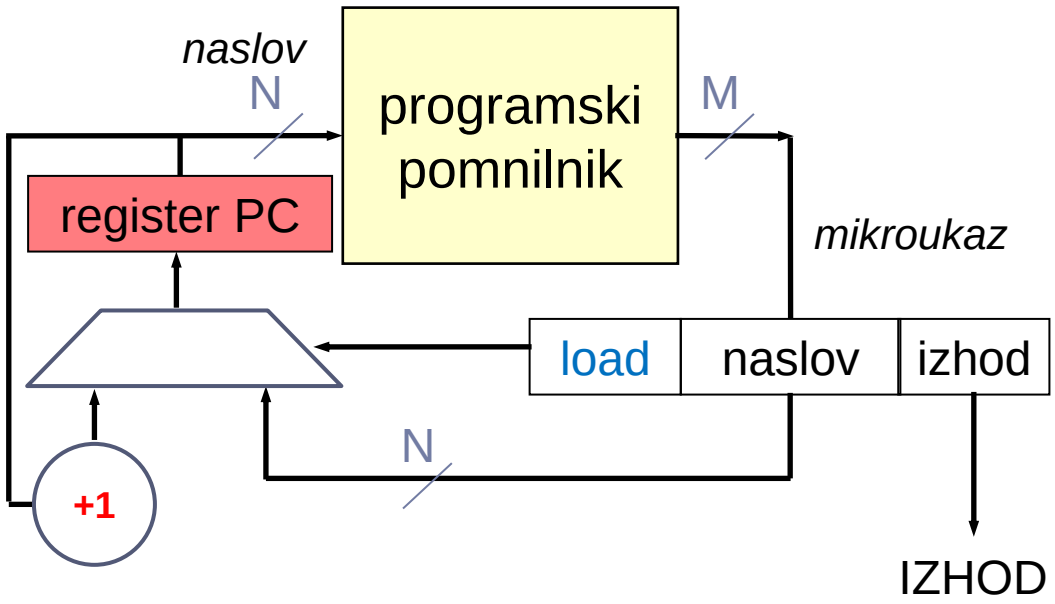
Mikrosekvenčnik s programskim števcem

- Register nadomestimo s števcem, ki avtomatsko povečuje naslove
  - izvedba diagramov z enim samim zaporedjem (sekvenco) stanj
  - zaporedje se izvaja ob uri (ni krmilnih vhodov)
  - npr. štetje po modulu



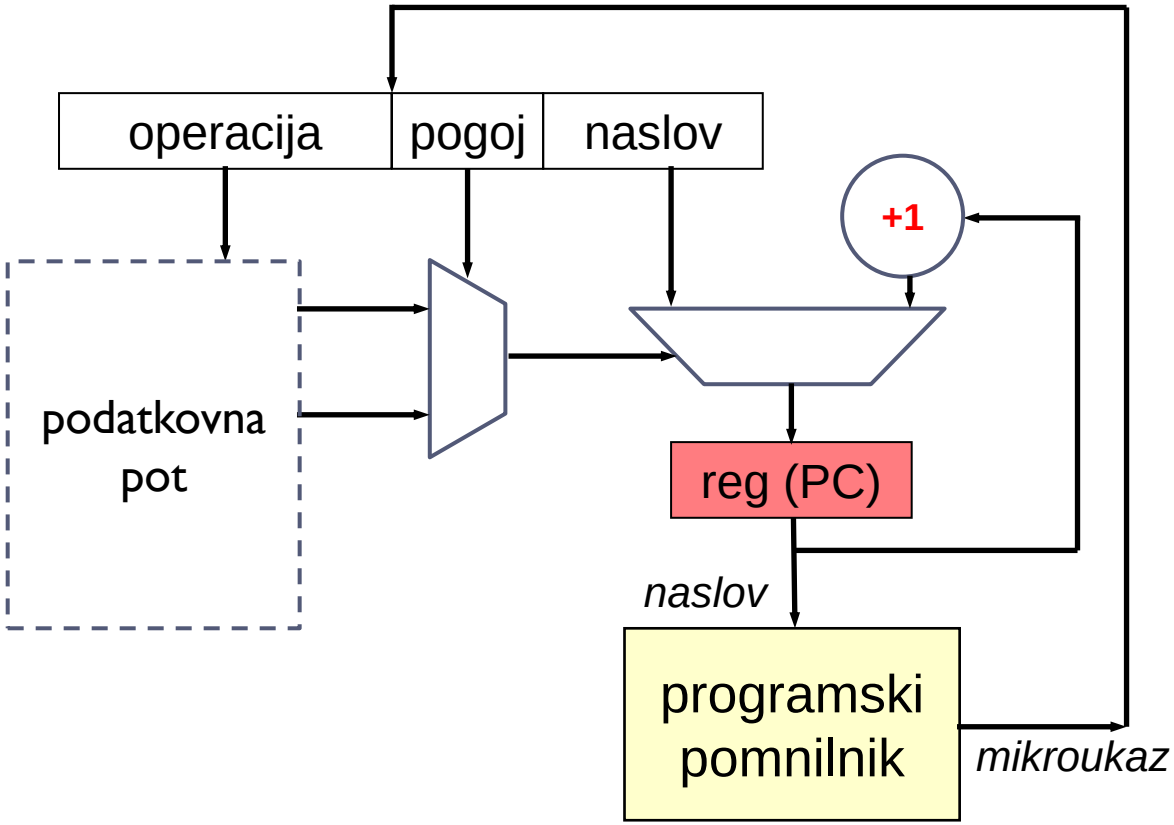
Mikrosekvenčnik s skočnimi ukazi

- Programski števec (PC) naloži nov naslov (load), kar omogoča izvedbo skokov
  - algoritmi, ki nimajo vseh mikroukazov v zaporedju



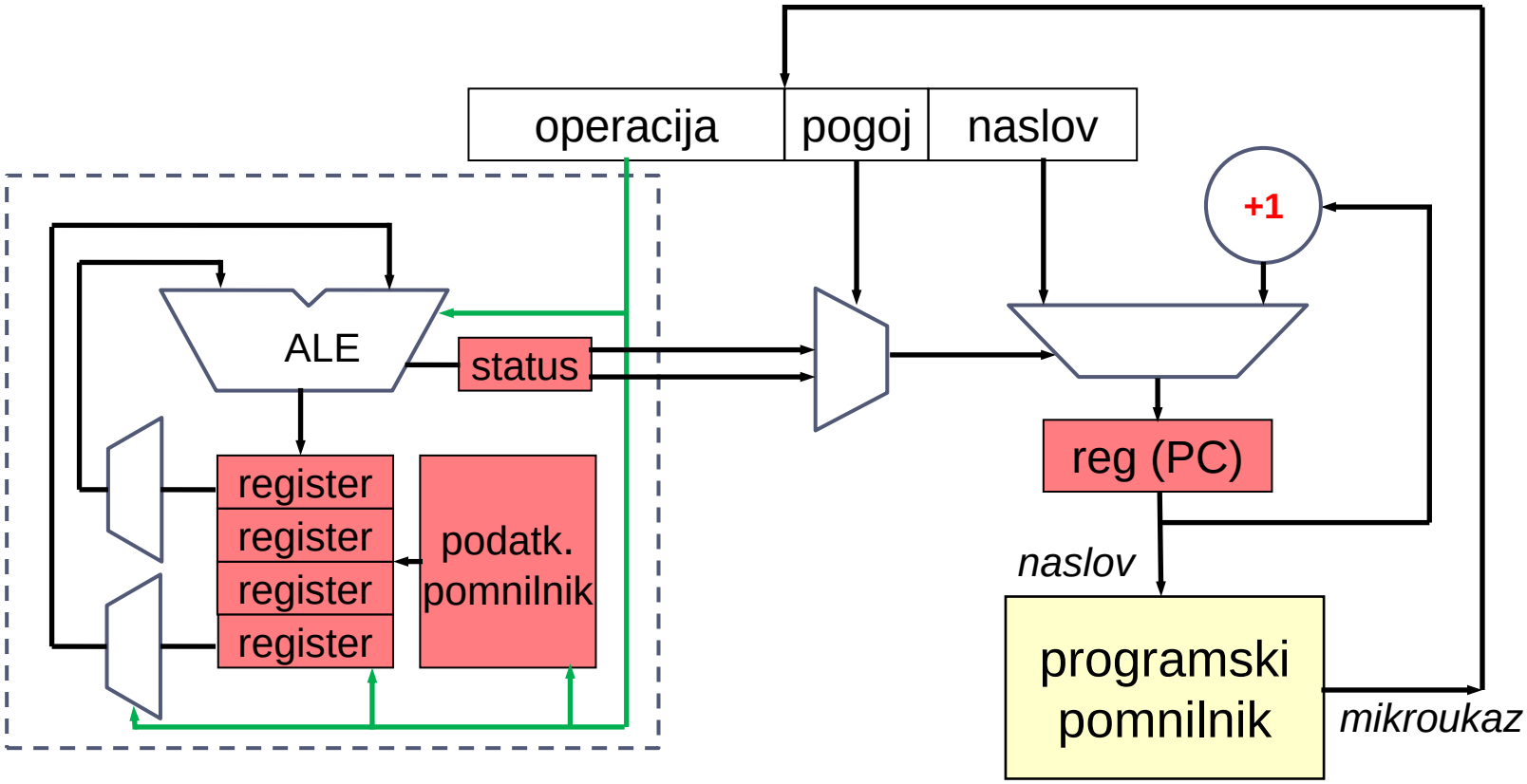
Mikrosekvenčnik in podatkovna pot

- Operacije krmilijo podatkovno pot



- Podatkovna pot izvaja registrske (mikro)operacije
  - registri, ALE, podatkovni pomnilnik

Mikroprogramirana krmilna (procesna) enota



Načrtovanje krmilne enote z ASM

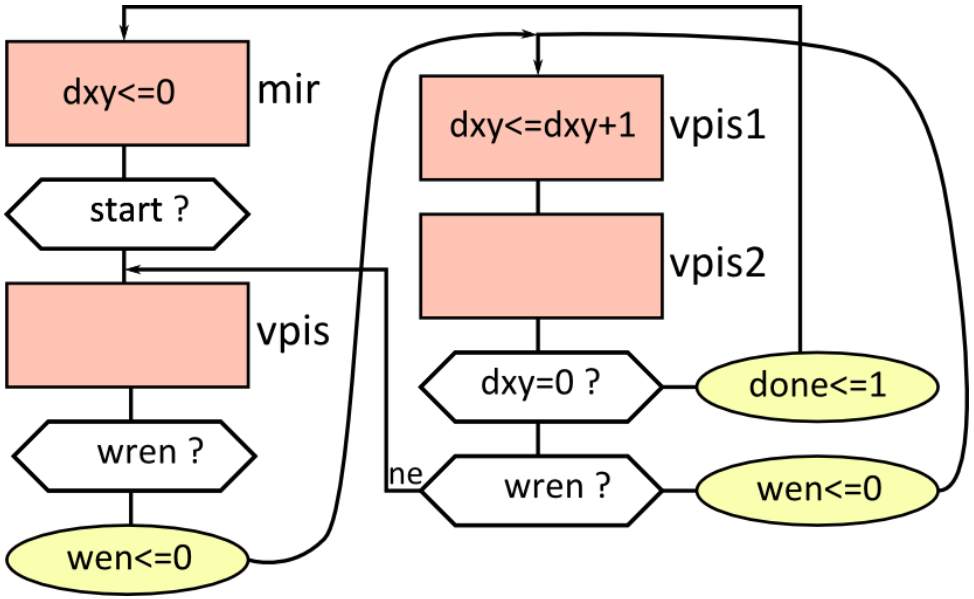
- ASM = Algoritmic State Machine
- Opišemo prehajanje stanj in podatkovne operacije
- Npr. krmilna enota za risanje kvadrata 8x8 (Pixel)

  - Simboli ASM:

stanje

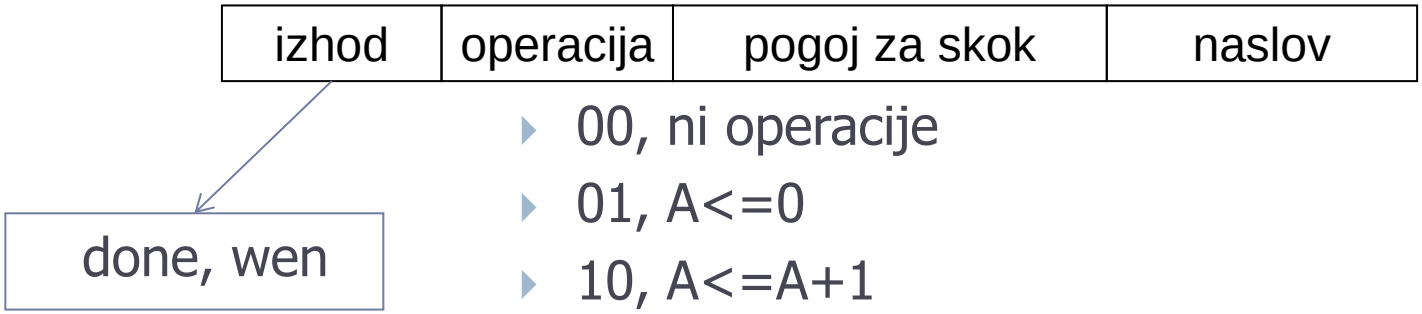
pogoj za prehod

akcija ob prehodu



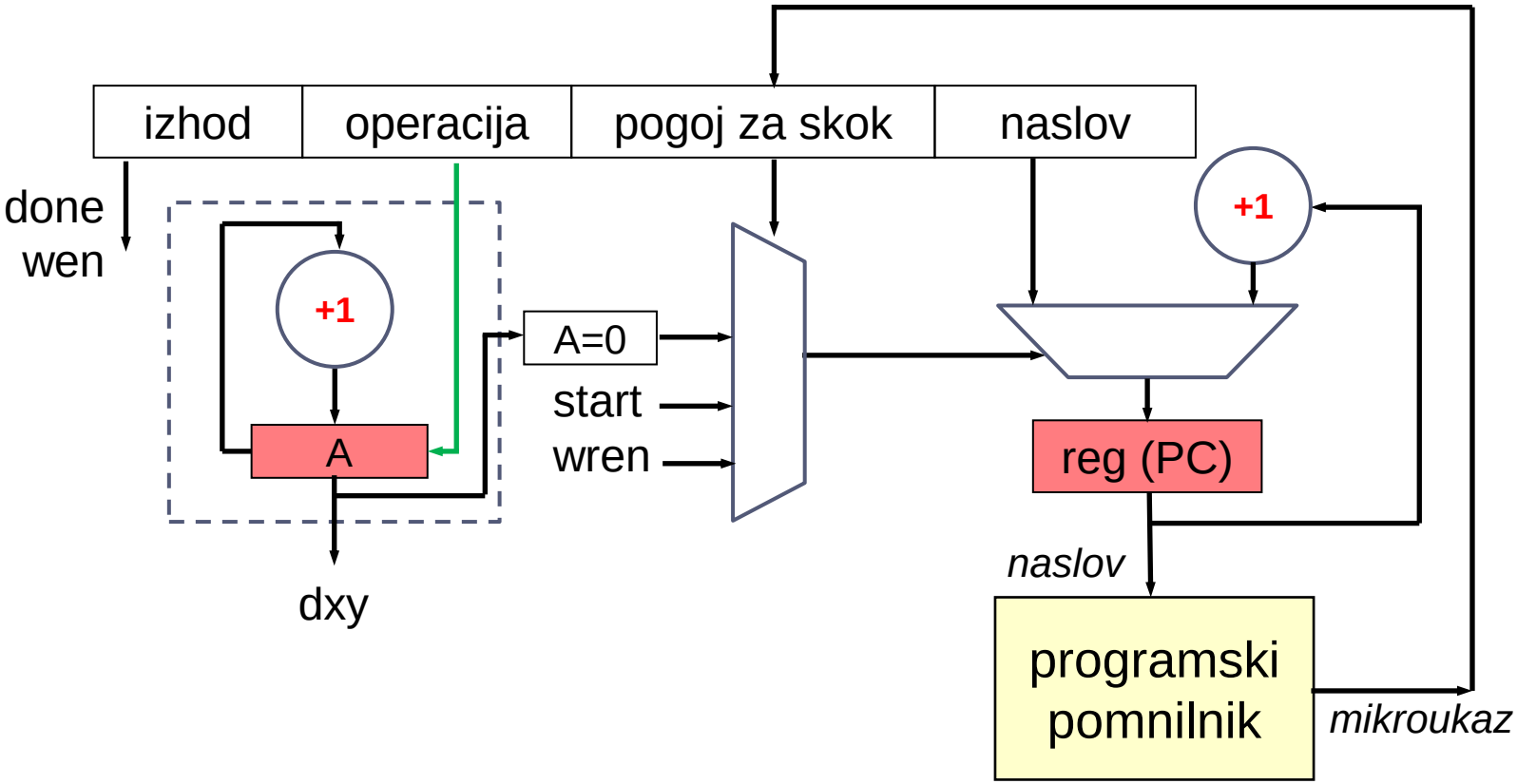
Načrtovanje mikroprogramirane enote

- Stanje določa programski števec
- Števec dxy je v registru A na podatkovni poti
- Določimo obliko mikroukazov:



Shema mikroprogramirane enote

- Podatkovna pot vsebuje register A (dxy)
  - operaciji: A<=0, A<=A+1
- Izhod: done, wen



Kodiranje mikroprogramirane enote

- deklaracija pomnilnika

```
type mem is array(0 to 7) of std_logic_vector(10 downto 0);
signal m: mem := (
    B"01_01_0001_000",  -- (0) a<=0, jmp 0 if start=0
    B"01_00_0010_001",  -- (1) jmp 1 if wren=0
    B"00_10_0000_000",  -- (2) a<=a+1, wen<=0
    B"01_00_0100_110",  -- (3) jmp 6 if a=0 (zero)
    B"01_00_0010_001",  -- (4) jmp 1 if wren=0
    B"01_00_1000_010",  -- (5) jmp 2
    B"10_00_1000_000",  -- (6) jmp 0, done<=1
```

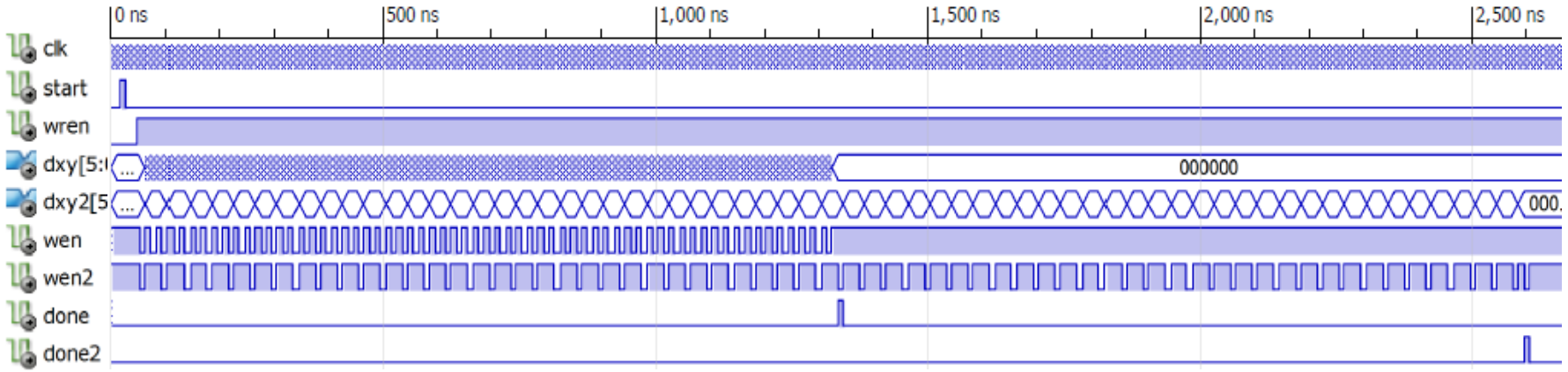
- opis vezja

```
if rising_edge(clk) then
    if inst(8 downto 7)="01" then a <= "000000";
    elsif inst(8 downto 7)="10" then a <= a + 1;
    end if;

    if inst(6 downto 3)="1000" or
      (inst(6 downto 3)="0100" and zero='1') or … then
          pc <= unsigned(inst(2 downto 0));
    else
          pc <= pc + 1;
```

Primerjava obeh izvedb

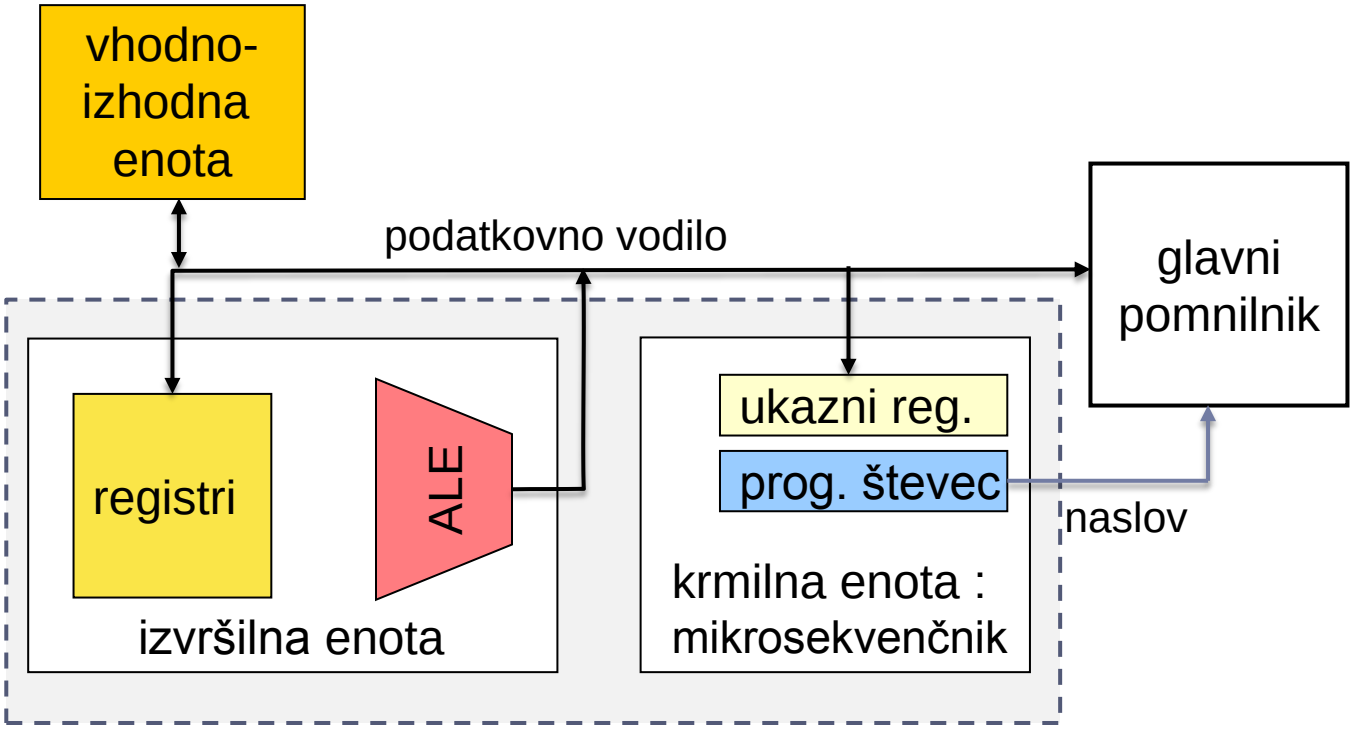
- Primerjava časovnih potekov na simulaciji
  - ASM cca. 2x hitrejši od procesne enote



- Kodiranje v jeziku VHDL
  - cca. 90 vrstic kode za opis obeh vezij
  - 2 notranja signala (ASM) in 6 signalov za procesor
- Velikost vezja
  - ASM zasede 25 LUT in 12 DFF
  - Procesor zasede 19 LUT in 9 FF

Von Neumannov model računalnika

- Centralno procesna enota (CPE) in glavni pomnilnik
  - vhodno – izhodna enota skrbi za komunikacijo z zunanjostjo



- delovanje CPE določa nabor ukazov
  - ukazi so prilagojeni programskim jezikom (C/C++, Java)

Vrste mikroprocesorjev

- Mikroprocesorji v zmogljivih računalnikih – CISC
- Mikroprocesorji v vgrajenih sistemih – RISC

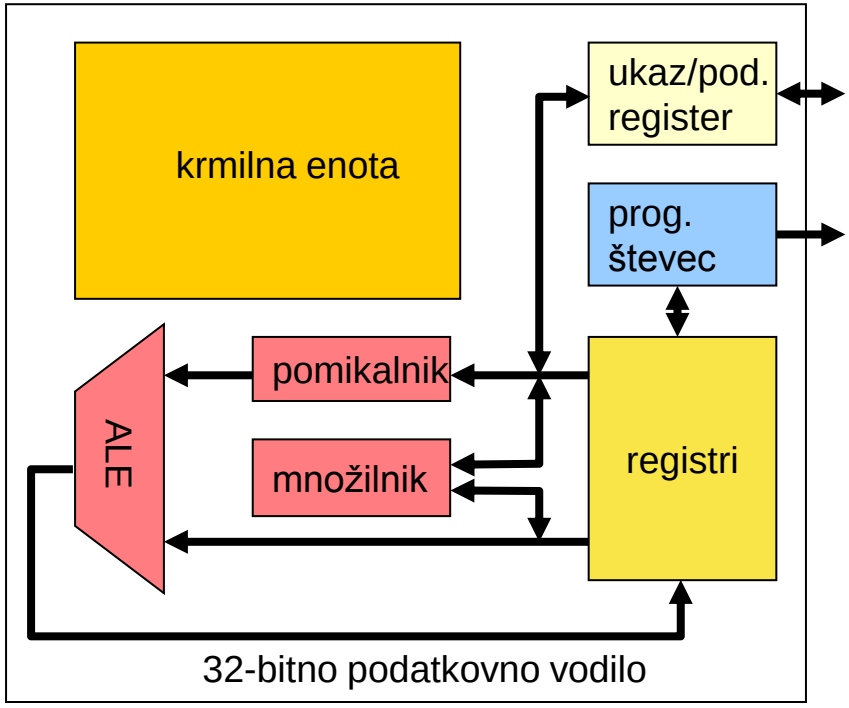
- Complex Instruction Set Computer - CISC
  - veliko število ukazov
  - enostavne mikrooperacije do sestavljenih operacij
  - čas za izvajanje ukazov je zelo različen
- Reduced Instruction Set Computer - RISC
  - manjši nabor ukazov
  - vse operacije so enostavne in učinkovite za izvrševanje
  - večina ukazov se izvede v enem urnem ciklu

Mikroprocesorji za vgrajene naprave

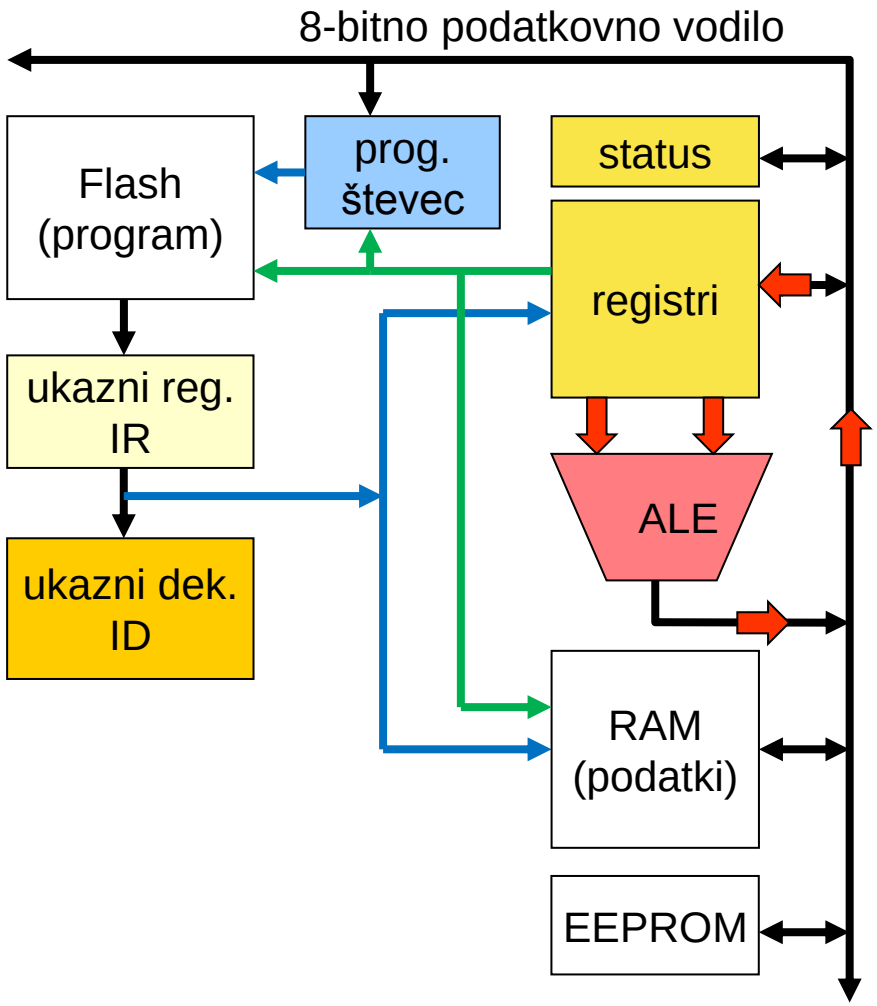
- Mikrokrmilniki so sistemi na integriranem vezju, ki vsebujejo
  - mikroprocesorsko jedro (izvršilno in krmilno enoto),
  - programski in podatkovni pomnilnik,
  - ter različne V/I vmesnike:
    - vzporedna vrata (Port)
    - zaporedne komunikacijske vmesnike: I2C, SPI, UART
    - analogno / digitalne (A / D) in D / A pretvornike
    - modulatorje (PWM), časovnike, števce…
    - komunikacijske krmilnike: Ethernet MAC, USB
- Primer mikrokrmilnikov
  - Atmel AVR, 8-bitni procesor na razvojnem sistemu Arduino
  - ARM-7, 32-bitni procesor na razvojnem sistemu Š-ARM

Gradniki CPE

ARM-7



Atmel AVR



Osnovni gradniki mikroprocesorja

- Mikroprocesor na integriranem vezju vsebuje izvršilno in krmilno enoto
- Mikroprocesor potrebuje za delovanje:
  - zunanjo uro in reset
  - zunanji pomnilnik s programskimi ukazi in podatki
  - vhodno in izhodno (periferno) enoto za komunikacijo z okolico
    - periferna enota je lahko del pomnilnika (na določenih naslovih)
    - ali pa poteka komunikacija preko posebnih V/I ukazov
- V praksi potrebujemo vsaj dve vrsti pomnilnika
  - za program takšnega, ki ohranja vsebino (ROM, Flash)
  - za delovne podatke pa pomnilnik s hitrim branjem in pisanjem (RAM – Random Access Memory)

Povzetek

- Kaj se zgodi ko naložimo program v mikroprocesor in ko naložimo program v programirljivo vezje (FPGA) ?
  - kaj predstavljajo programski biti ?
- Opiši mikroprogramirano sekvenčno vezje (mikrosekvenčnik).
- Navedi glavne gradnike mikroprocesorja.
  - V čem se zmogljivi procesorji razlikujejo od enostavnih ?
- Kako je sestavljen mikroprocesor za vgrajene naprave (mikrokrmilnik) ?