# RAČUNALNIŠKA ARHITEKTURA

## 5 Operandi

# 5 Operandi - cilji:

- Razumevanje različnih formatov zapisovanja operandov
  - Abecede (znaki)
  - Števila v fiksni vejici (nepredznačena, predznačena – dvojiški kompl.)
  - Števila v plavajoči vejici
- Razumevanje izvedbe osnovnih operacij nad operandi
  - Prednosti, slabosti zapisov, predstavitev, …
  - Pomen standardne izvedbe operacij

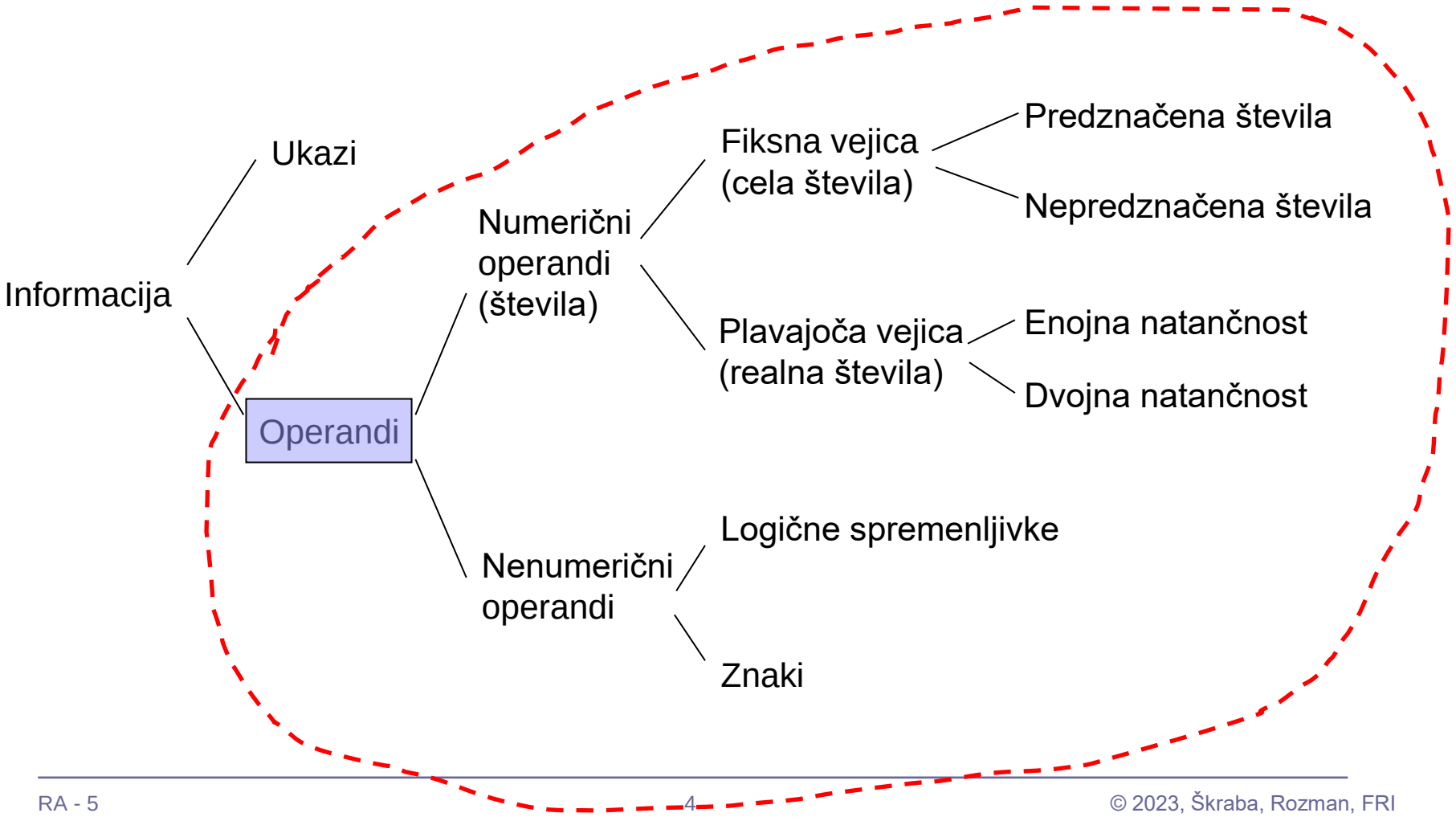
 

# 5 Operandi - vsebina



# Osnovne vrste informacije v računalniku



## Primer 32-bitne vsebine:

1110 0000 1000 0000 0101 0000 0000 0001(bin) = E0805001(hex)

- Zasede v 8-bitnem pomnilniku 4 zaporedne pomnilniške besede in lahko predstavlja:
  - Strojni ukaz (ARM 9): add r5, r0, r1 /* R5 ← R0 + R1
  - Celo število brez predznaka: 3.766.505.473
  - Celo število s predznakom (dvojiški komplement): – 528.461.823
  - Realno število v plavajoči vejici (enojna natančnost): $-73{,}967 * 10^{18}$
    točno: $-73{,}96712907602604851 2 * 10^{18}$
  - Štiri znake v ASCII abecedi: ŕ nedefiniran znak P NUL
  - Še marsikaj drugega

# 5.1 Predstavitev nenumeričnih operandov

- Nenumerični operandi
  - Znaki (angl. character)
  - Nizi (angl. string) - sestavljeni iz znakov
  - Znak je predstavljen z neko abecedo

Why use Unicode if your program is English only?
The company I work for, as a policy, will only release software in English, even though we have customers throughout the world.

What if I want to store a customer name which uses non-english characters? Or the name of a place in another country?

- Abeceda je predpis, ki določa preslikavo elementov ene množice v elemente druge množice.

# Vrste abeced, ki (so) se uporabljajo v računalnikih

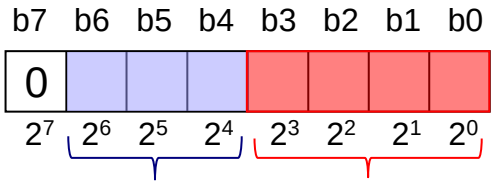
- **BCD abeceda**
  - 6-bitna ($2^6$ = 64 različnih znakov)
  - 26 črk angleške abecede, 10 številk, 28 posebnih znakov
  - V uporabi do leta 1964 (6-bitne besede)
- **EBCDIC abeceda** (8-bitna)
  - Uporabljalo predvsem podjetje IBM na velikih računalnikih (1963/64 IBM System/360 )

Danes sta bolj v uporabi 8-bitna abeceda ASCII in 8 ali več-bitna abeceda Unicode (UCS)

- **ASCII abeceda** (8-bitna)
  - V osnovi 7-bitna, vendar se danes v računalnikih uporablja 8-bitna oblika
    - Bit 7 = 0 - osnovna oblika
    - Bit 7 = 1 - razširjena ASCII abeceda, definiranih je dodatnih 128 znakov (IBM PC)
      - Dodatnih 128 znakov je za različne države različnih in tvorijo nacionalne ASCII abecede (npr. Latin2 = ISO 8859-2)

| Hex | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | .A | .B | .C | .D | .E | .F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0. | NUL | SOH | STX | ETX | EOT | ENQ | ACK | BEL | BS | HT | LF | VT | FF | CR | SO | SI |
| 1. | DLE | DC1 XON | DC2 | DC3 XOFF | DC4 | NAK | SYN | ETB | CAN | EM | SUB | ESC | FS | GS | RS | US |
| 2. | SP | ! | " | # | $ | % | & | ' | ( | ) | * | + | , | - | . | / |
| 3. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | : | ; | < | = | > | ? |
| 4. | @ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 5. | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | [ | \ | ] | ^ | _ |
| 6. | ` | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o |
| 7. | p | q | r | s | t | u | v | w | x | y | z | { | \| | } | ~ | del |

# Osnovna 7-bitna ASCII abeceda
# bit7 = 0




| Hex | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | .A | .B | .C | .D | .E | .F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0. | NUL | SOH | STX | ETX | EOT | ENQ | ACK | BEL | BS | HT | LF | VT | FF | CR | SO | SI |
| 1. | DLE | DC1 XON | DC2 | DC3 XOFF | DC4 | NAK | SYN | ETB | CAN | EM | SUB | ESC | FS | GS | RS | US |
| 2. | SP | ! | " | # | $ | % | & | ' | ( | ) | * | + | , | - | . | / |
| 3. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | : | ; | < | = | > | ? |
| 4. | @ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 5. | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | [ | \ | ] | ^ | _ |
| 6. | ` | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o |
| 7. | p | q | r | s | t | u | v | w | x | y | z | { | \| | } | ~ | del |

# Razširjena 8-bitna ASCII abeceda Latin2 (ISO 8859-2) - dodatni znaki (b7=1)

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | |
| $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |

NBSP = A0(hex) Non Breaking Space
SHY = AD(hex) Soft Hyphen

| Hex | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | .A | .B | .C | .D | .E | .F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8. | Neuporabljeno | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A. | NBSP | Ą | ˘ | Ł | ¤ | Ľ | Ś | § | ¨ | Š | Ş | Ť | Ź | SHY | Ž | Ż |
| B. | ° | ą | ˛ | ł | ´ | ľ | ś | ˇ | ¸ | š | ş | ť | ź | ˝ | ž | ż |
| C. | Ŕ | Á | Â | Ă | Ä | Ĺ | Ć | Ç | Č | É | Ę | Ë | Ě | Í | Î | Ď |
| D. | Đ | Ń | Ň | Ó | Ô | Ő | Ö | × | Ř | Ů | Ú | Ű | Ü | Ý | | ß |
| E. | ŕ | á | â | ă | ä | ĺ | ć | ç | č | é | ę | ë | ě | í | î | ď |
| F. | đ | ń | ň | ó | ô | ő | ö | ÷ | ř | ů | ú | ű | ü | ý | t | ˙ |

# Razširjena 8-bitna ASCII abeceda Latin2 (ISO 8859-2)

| Hex | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | .A | .B | .C | .D | .E | .F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0. | NUL | SOH | STX | ETX | EOT | ENQ | ACK | BEL | BS | HT | LF | VT | FF | CR | SO | SI |
| 1. | DLE | DC1 XON | DC2 | DC3 XOFF | DC4 | NAK | SYN | ETB | CAN | EM | SUB | ESC | FS | GS | RS | US |
| 2. | SP | ! | " | # | $ | % | & | ' | ( | ) | * | + | , | - | . | / |
| 3. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | : | ; | < | = | > | ? |
| 4. | @ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 5. | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | [ | \ | ] | ^ | _ |
| 6. | ` | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o |
| 7. | p | q | r | s | t | u | v | w | x | y | z | { | \| | } | ~ | del |
| 8. | Neuporabljeno | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A. | NBSP | Ą | ˘ | Ł | ¤ | Ľ | Ś | § | ¨ | Š | Ş | Ť | Ź | SHY | Ž | Ż |
| B. | ° | ą | ˛ | ł | ´ | ľ | ś | ˇ | ¸ | š | ş | ť | ź | ˝ | ž | ż |
| C. | Ŕ | Á | Â | Ă | Ä | Ĺ | Ć | Ç | Č | É | Ę | Ë | Ě | Í | Î | Ď |
| D. | Đ | Ń | Ň | Ó | Ô | Ő | Ö | × | Ř | Ů | Ú | Ű | Ü | Ý | | ß |
| E. | ŕ | á | â | ă | ä | ĺ | ć | ç | č | é | ę | ë | ě | í | î | ď |
| F. | đ | ń | ň | ó | ô | ő | ö | ÷ | ř | ů | ú | ű | ü | ý | t | ˙ |

# Unicode – UCS abeceda (standard ISO 10646)

- >= 8-bitna: omogoča predstavitev znakov v praktično vseh znanih svetovnih jezikih: $(17 \times 2^{16}) - 2^{11} = 1112064$ različnih znakov.
- UCS ravnine (Universal Coded Character Set):
  - hhhh podmnožice $2^{16}$ znakov
  - hhhh spodnjih 16 bitov + ravnina (zg. biti) hh

U+hhhhhh

- BMP (Basic Multilingual Plane) ali ravnina #0:
  - najbolj pogosto uporabljani znaki + vsi starejši standardi
  - 0x000000 .. 0x00FFFF

U+00hhhh

U+000000

U+00FFFF

...

pogosto skrajšamo

U+hhhh

- UCS vsakemu znaku določa kodo in tudi uradno ime.
  - Šestnajstiško število (UCS ali Unicode kodo), ima predpono U+
    - npr.: *U+0041 za znak A (Latin capital letter A)*
    - Unicode Utilities: Character Properties

# Unicode – UCS abeceda (standard ISO 10646)

- >= 8-bitna: omogoča predstavitev znakov v praktično vseh znanih svetovnih jezikih ($2^{32}$ različnih znakov).
- UCS ravnine (Universal Coded Character Set): podmnožice $2^{16}$ znakov, pri katerih se elementi (v 32-bitni predstavitvi) razlikujejo samo v spodnjih (najlažjih) 16 bitih.
- BMP (Basic Multilingual Plane) ali Plane 0: najbolj pogosto uporabljani znaki, kjer so vključeni tudi vsi starejši standardi, so zbrani v prvi ravnini (0x000000 .. 0x00FFFF). Se pogosto skrajša v U+hhhh.
- UCS vsakemu znaku določa kodo in tudi uradno ime
  - Šestnajstiško število (UCS ali Unicode kodo), ima predpono U+
    - npr.: *U+0041 za znak A (Latin capital letter A)*

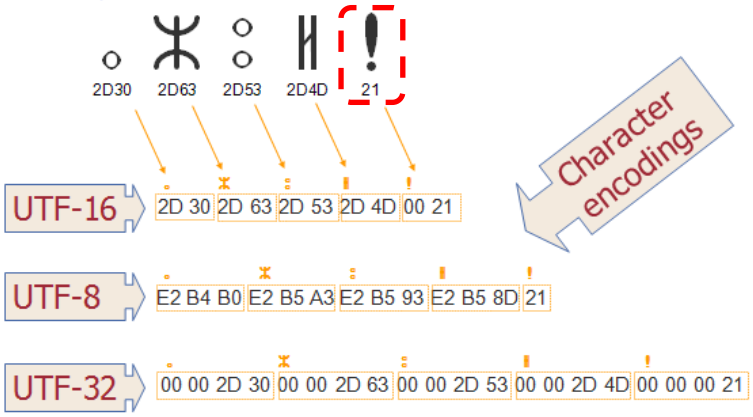
 

# Definiranih je več vrst transformacij (UTF - UCS Transformation Format) za predstavitev znakov z zaporedjem bajtov

- npr. UTF-8 in UTF-16.

- **UTF-16** (Windows, Java)
  - En znak zasede 2 bajta (ali 4)
  - Spremenljiv vrstni red bajtov (debeli/tanki konec)

- **UTF-8** (www, e-mail)
  - Spremenljiva dolžina 1 do 4 bajte
  - Kompatibilna s 7-bitno ASCII abecedo (128 znakov)

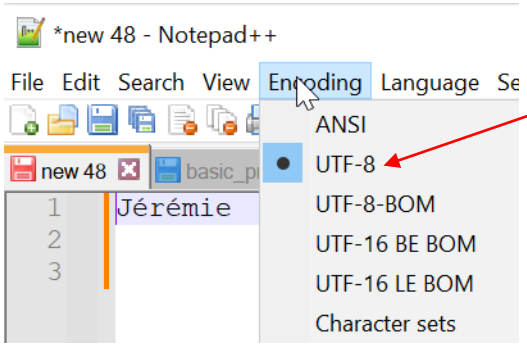



**UTF-32** (redka)
Fiksna dolžina 4 bajte

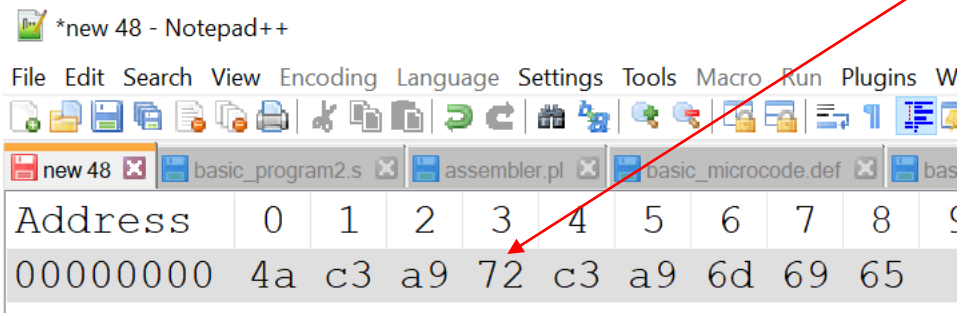
| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

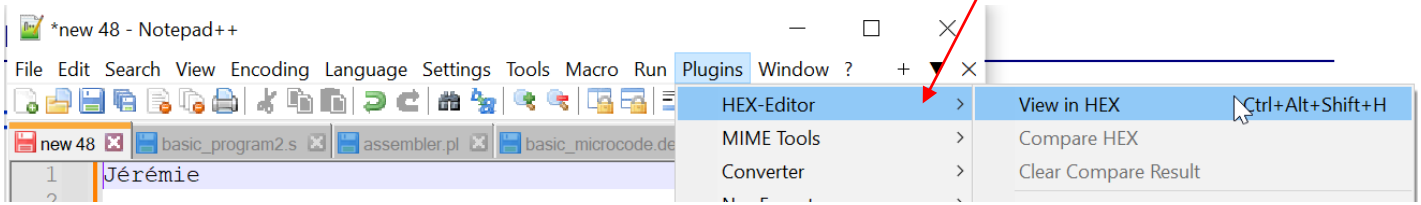

 

# Praktični primer: Notepad++ (Encoding->UTF-8, Plugins->Hex-Editor)







- Unicode abecedo so kot standard sprejeli IBM, Microsoft, Apple, HP, Sun, Oracle in drugi.
- Uporaba: programski jezik Java, JavaScript, XML, …
- http://www.unicode.org

| Znak | Unicode | UTF-16<br>Pravilo debelega konca | UTF-16<br>Pravilo tankega konca | UTF-8 |
|---|---|---|---|---|
| Z | U+005A | 005A | 5A00 | 5A |
| Ž | U+017D | 017D | 7D01 | C5BD |

# Primer zapisa ‚Ž‘ v UTF-8 :

- Ž (Unicode) = U+017D = 0000 0001 0111 1101

0001 0111 1101

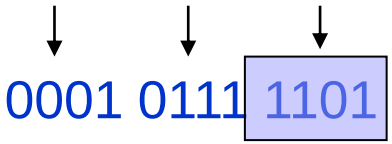
- Pravilo za transformacijo v obliko UTF-8 za znake s kodami od U+00000080 do U+000007FF je:

110XXXXX 10XXXXXX

| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

# Primer zapisa ‚Ž‘ v UTF-8 :

- Ž (Unicode) = U+017D = 0000 0001 0111 1101

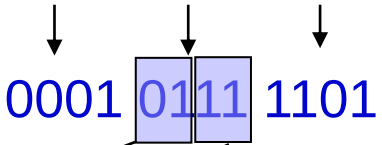



- Ž (UTF-8) = 110X XXXX 10XX XXXX

| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

# Primer zapisa ‚Ž' v UTF-8 :

- Ž (Unicode) = U+017D = 0000 0001 0111 1101



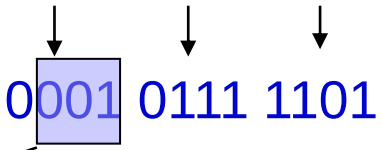

- Ž (UTF-8) = 110X XXXX 10XX 1101

| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

# Primer zapisa ‚Ž‘ v UTF-8 :

- Ž (Unicode) = U+017D = 0000 0001 0111 1101




- Ž (UTF-8) = 110X XX01 1011 1101

| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

# Primer zapisa ‚Ž‘ v UTF-8 :

- Ž (Unicode) = U+017D = 0000 0001 0111 1101

  0001 0111 1101

- Ž (UTF-8) = 1100 0101 1011 1101

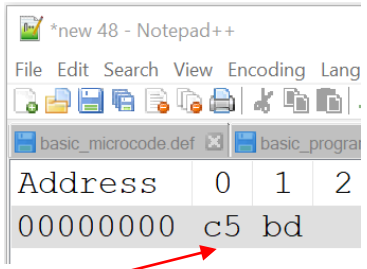
| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

# Primer zapisa ‚Ž‘ v UTF-8 :

- Ž (Unicode) = U+017D = 0000 0001 0111 1101

Ž

**017D**
LATIN CAPITAL LETTER Z
WITH CARON
Latin Script

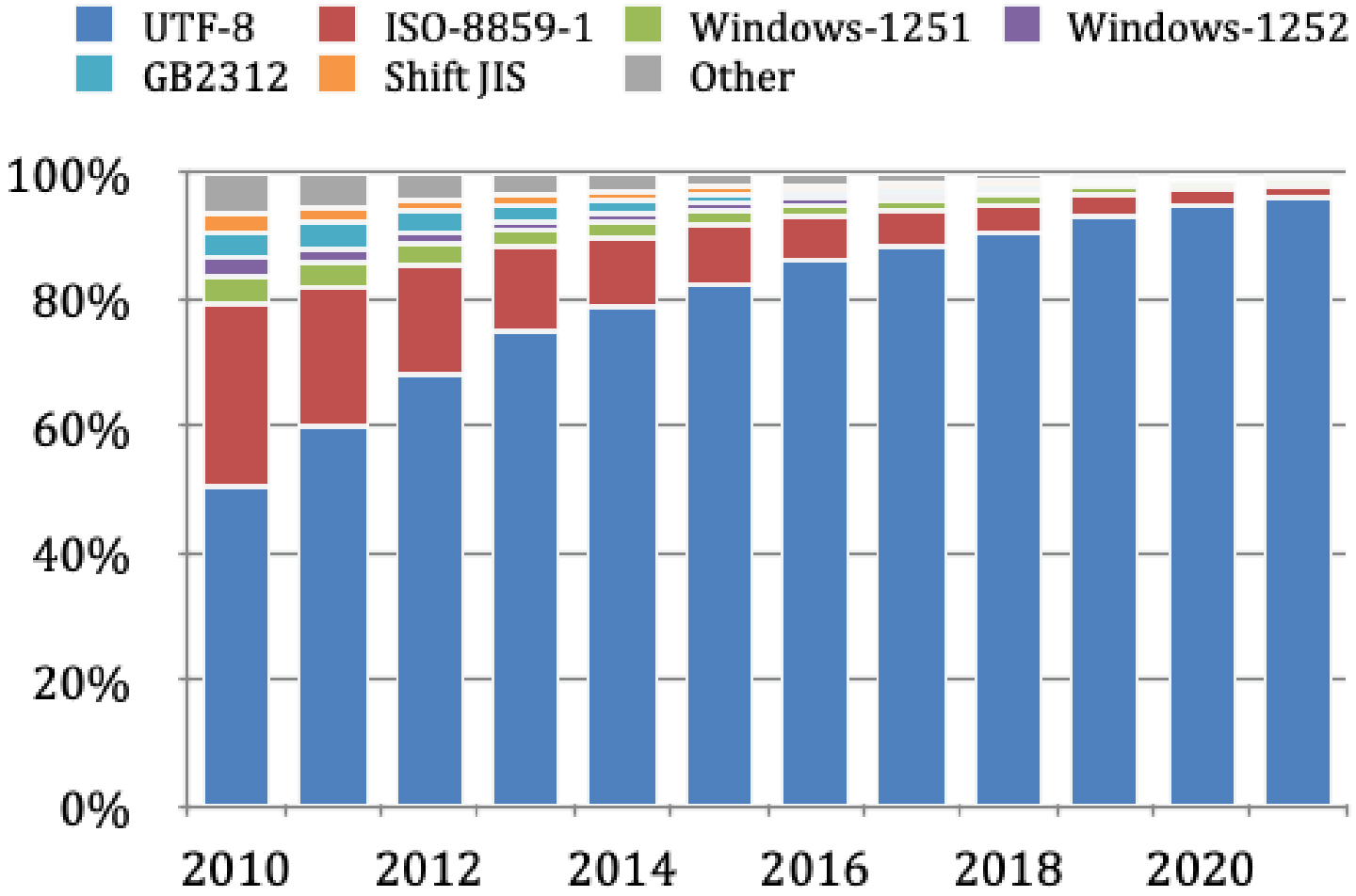



- Ž (UTF-8) = 1100 0101 1011 1101 = C5BD (hex)

ZAPIS: C 5 B D

| Number of bytes | Bits for code point | First code point | Last code point | Byte 1 | Byte 2 | Byte 3 | Byte 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | U+0000 | U+007F | 0xxxxxxx | | | |
| 2 | 11 | U+0080 | U+07FF | 110xxxxx | 10xxxxxx | | |
| 3 | 16 | U+0800 | U+FFFF | 1110xxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | |
| 4 | 21 | U+10000 | U+10FFFF | 11110xxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx | 10xxxxxx |

Declared character set for the 10 million most popular websites since 2010




https://en.wikipedia.org/wiki/UTF-8

# 5.2 Predstavitev numeričnih operandov v fiksni vejici

- Vejica je na vnaprej določenem fiksnem mestu - zapis s fiksno vejico.
- Če je vejica desno od bita z najnižjo težo, je število celo število (integer) ), sicer je lahko tudi necelo.
- Cela števila („integer“) so delno tudi sinonim za predstavitev s fiksno vejico.

# Nepredznačeno število :

- Najmanjše in največje predstavljivo nepredznačeno (pozitivno) število, ki ga lahko predstavimo z *n biti* je:

$$0 \leq x \leq 2^n - 1$$

- Pri 8-bitni dolžini (n = 8) $n = 8 \qquad 0_D \leq x \leq 255_D$

- Pri 32-bitni dolžini (n = 32) $n = 32 \quad 0_D \leq x \leq 4.294.967.295$

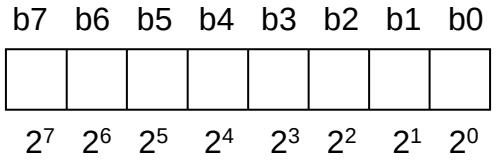
- **Prenos** (angl. carry) - če je rezultat seštevanja ali odštevanja pozitivnih (nepredznačenih) števil izven območja, pride do prenosa iz najvišjega bita (mesta)

# Predznačeno število :

- Za cela števila s predznakom se uporabljajo (ali so se uporabljali) štirje načini predstavitev:
  - Predznak in velikost
  - Predstavitev z odmikom
  - Eniški komplement (v komplementu so samo negativna števila)
  - Dvojiški komplement (v komplementu so samo negativna števila)

- *n*-bitno zaporedje $b_{n-1}\ldots b_2 b_1 b_0$ v vsakem od načinov predstavlja neko predznačeno celo število




8-bitno zaporedje

# 1. Predznak in velikost :

$$V(b) = (-1)^{b_{n-1}} \sum_{i=0}^{n-2} b_i 2^i$$

- Najvišji bit je predznak (1 – negativno, 0 pozitivno število)

$10001110_{(2)} = (-1)^1(1x2^3+1x2^2+1x2^1) = (-1)(14) = -14_{(10)}$

- Postopek pretvorbe iz desetiškega števila v n-bitno dvojiško število
  1. Pretvori število v dvojiško na n-1 bitov
  2. Najvišji bit nastavi glede na predznak

# 1. Predznak in velikost :

- Primera:

  $-25_{(10)}$ = 10011001

  $33_{(10)}$ = 00100001

- Najvišje število na 8ih bitih
  - $01111111_{(2)} = +127_{(10)}$
- Najmanjše število na 8ih bitih
  - $11111111_{(2)} = -127_{(10)}$
- Ničla
  - $00000000_{(2)} = +0_{(10)}$
  - $10000000_{(2)} = -0_{(10)}$

## 2. Predstavitev z odmikom :

**VREDNOST = ZAPIS - ODMIK**

**8b: -128 .. 127 = 0 .. 255 - 128**

$$V(b) = \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i - odmik$$

- Po pretvorbi v desetiško številu odštejemo odmik
  - v tem primeru odmik $2^{n-1}$

$$10001110_{(2)} =$$

$$(1x2^7+1x2^3+1x2^2+1x2^1)-(2^7)=128+8+4+2-128= 14_{(10)}$$

# 2. Predstavitev z odmikom :

- Postopek pretvorbe iz desetiškega števila v n-bitno dvojiško število
  1. Številu prištejemo *odmik*
  2. Pretvorimo kot nepredznačeno število

**ZAPIS** = **VREDNOST** + **ODMIK**

- Postopek pretvorbe iz n-bitnega dvojiškega števila v desetiško število
  1. Pretvorimo kot nepredznačeno število
  2. Številu odštejemo *odmik*

**VREDNOST** = **ZAPIS** - **ODMIK**

## 2. Predstavitev z odmikom :

**VREDNOST = ZAPIS - ODMIK**

**8b: -128 .. 127 = 0 .. 255 - 128**

- Primera (odmik = $2^{n-1} = 128$) :

  $-26_{(10)} = 01100110$

  $32_{(10)} = 10100000$

- Najvišje število na 8ih bitih
  - $11111111_{(2)} = +127_{(10)}$
- Najmanjše število na 8ih bitih
  - $00000000_{(2)} = -128_{(10)}$
- Ničla
  - $10000000_{(2)} = 0_{(10)}$

# 3. Eniški komplement :

$$V(b) = \sum_{i=0}^{n-2} b_i 2^i - b_{n-1}(2^{n-1} - 1)$$

- Pri pretvorbi v desetiško vrednost, številu odštejemo $2^{n-1}$-1 če je najpomembnejši bit enica

  $10001110_{(2)} = (1x2^3+1x2^2+1x2^1)-1x(2^7-1)=8+4+2-127= -113_{(10)}$

- Postopek pretvorbe iz desetiškega števila v n-bitno dvojiško število
  1. Pretvorimo kot nepredznačeno število
  2. Če je število negativno, negiramo („obrnemo“) bite

# 3. Eniški komplement :

**8b: -127 .. 127**

- Primera

  $-25_{(10)} = 11100110$

  $33_{(10)} = 00100001$

- Najvišje število na 8ih bitih
  - $01111111_{(2)} = +127_{(10)}$
- Najmanjše število na 8ih bitih
  - $10000000_{(2)} = -127_{(10)}$
- Ničla
  - $00000000_{(2)} = +0_{(10)}$
  - $11111111_{(2)} = -0_{(10)}$

# 4. Dvojiški komplement :

$$V(b) = \sum_{i=0}^{n-2} b_i 2^i - b_{n-1}(2^{n-1})$$

- Pri pretvorbi v desetiško vrednost
  - odštejemo $2^{n-1}$ če je najpomembnejši bit enica

    $10001110_{(2)} = (1x2^3+1x2^2+1x2^1)-1x(2^7)=8+4+2-128= -114_{(10)}$
  - ali če:
    - MSb=0: pretvorimo v vrednost,
    - MSb=1: izračunamo abs. vrednost z 1‘k+1 in dodamo predznak -

$10001110_{(2)}$ -> $01110001_{(2)}$ (1‘k) -> $01110010_{(2)}$ = 114 (+1) -> vrednost = $-114_{(10)}$

# 4. Dvojiški komplement :

- Postopek pretvorbe iz desetiškega števila v n-bitno dvojiško število
  1. Pretvorimo kot nepredznačeno število
  2. Če je število negativno obrnemo bite in prištejemo enico

- Postopek pretvorbe iz n-bitnega dvojiškega števila v desetiško število
  1. Če je število negativno, negiramo bite in prištejemo enico
  2. Sicer interpretiramo kot nepredznačeno število (vključujoč predznak)

# 4. Dvojiški komplement :

- Primera

  $-25_{(10)} = 11100111$

  $33_{(10)} = 00100001$

- Najvišje število na 8ih bitih
  - $01111111_{(2)} = +127_{(10)}$
- Najmanjše število na 8ih bitih
  - $10000000_{(2)} = -128_{(10)}$
- Ničla
  - $00000000_{(2)} = 0_{(10)}$

- Primer-1: Katero desetiško število predstavlja 8-bitna kombinacija 10010100 v vsaki od štirih predstavitev s fiksno vejico?

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |

uteži posameznih bitov

Predstavitev predznak in velikost: b7 = 1 $\Rightarrow$ število je negativno
Vrednost = $0x2^6 + 0x2^5 + 1x2^4 + 0x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 0x2^0 = 16 + 4 = 20$(dec)
V predstavitvi predznak in velikost predstavlja ta kombinacija število – 20(dec)

Predstavitev z odmikom: odmik je lahko $2^{n-1}=128$ ali $2^{n-1}-1=127$; izberemo npr. 128(dec)
Desetiška vrednost 8-bitne kombinacije 10010100 vključuje odmik in je 128+16+4=148
Odštejemo odmik: 148 – 128 = 20
V predstavitvi z odmikom 128 predstavlja ta kombinacija število + 20(dec)

Predstavitev z eniškim komplementom: b7 = 1 $\Rightarrow$ število je negativno torej je kombinacija 10010100 komplement ustreznega pozitivnega števila.
10010100 $\Rightarrow$ eniški komplement = 01101011 = 64+32+8+2+1=107(dec)
Kombinacija 10010100 v eniškem komplementu predstavlja število –107(dec)

## Predstavitev števil v fiksni vejici – primer

Predstavitev z dvojiškim komplementom: b7 = 1 ⇒ število je negativno torej je kombinacija 10010100 komplement ustreznega pozitivnega števila.
10010100 ⇒ dvojiški komplement = 01101100 = 64+32+8+4=108(dec)
Kombinacija 10010100 v dvojiškem komplementu predstavlja število –108(dec)

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |

= −20(dec) v predstavitvi predznak in velikost

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

= +20(dec) v predstavitvi z odmikom

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

= −107(dec) v predstavitvi z eniškim komplementom

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

= −108(dec) v predstavitvi z dvojiškim komplementom

- Katero desetiško število predstavlja 8-bitna kombinacija 00010100 v vsaki od štirih predstavitev s fiksno vejico?

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |

uteži posameznih bitov

Predstavitev predznak in velikost: b7 = 0 $\Rightarrow$ število je pozitivno
Vrednost = $0x2^6 + 0x2^5 + 1x2^4 + 0x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 0x2^0 = 16 + 4 = 20$(dec)
V predstavitvi predznak in velikost predstavlja ta kombinacija število +20(dec)

Predstavitev z odmikom: odmik je lahko $2^{n-1}=128$ ali $2^{n-1}-1=127$; izberemo npr. 128(dec)
Desetiška vrednost 8-bitne kombinacije 00010100 vključuje odmik in je 16+4=20
Odštejemo odmik 20 – 128 = −108
V predstavitvi z odmikom predstavlja ta kombinacija število −108(dec)

Predstavitev z eniškim komplementom: b7 = 0 $\Rightarrow$ število je pozitivno torej kombinacija 00010100 ni komplement in lahko vrednost izračunamo direktno.
00010100 =16+4 = +20(dec)
Kombinacija 00010100 v eniškem komplementu predstavlja število +20(dec)

Predstavitev z dvojiškim komplementom: b7 = 0 ⇒ število je pozitivno torej kombinacija 00010100 ni komplement in lahko vrednost izračunamo direktno.
00010100 =16+4 = +20(dec)
Kombinacija 00010100 v dvojiškem komplementu predstavlja število +20(dec)

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |

= +20(dec) v predstavitvi predznak in velikost

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

= −108(dec) v predstavitvi z odmikom

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

= +20(dec) v predstavitvi z eniškim komplementom

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

= +20(dec) v predstavitvi z dvojiškim komplementom

# Predznačeno število – obseg, preliv :

- Največje in najmanjše število, ki ga lahko z *n – biti* predstavimo v dvojiškem komplementu je:

$$-2^{n-1} \le x \le 2^{n-1} - 1$$

- Pri 8-bitni dolžini $n = 8$ $\quad -2^7 \le x \le 2^7 - 1$

$$-128_D \le x \le +127_D$$

- Pri 32-bitni dolžini $n = 32 \quad -2.147.483.648_D \le x \le +2.147.483.647_D$

- **Preliv (angl. overflow)** - če je rezultat operacije izven področja, ki je predstavljivo v dvojiškem komplementu

- Preliv ali prenos sta lahko vzrok za napako.

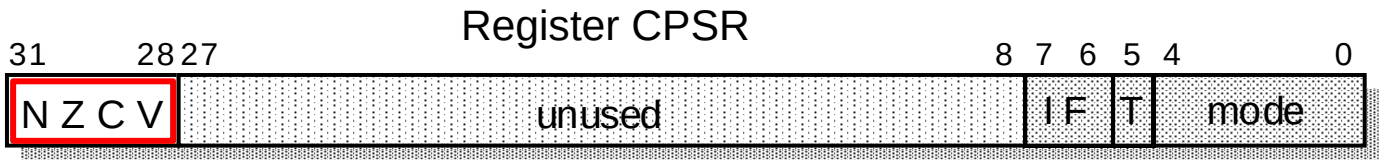
- V CPE mora biti vgrajen mehanizem, s pomočjo katerega lahko programer ugotovi, ali je pri rezultatu operacije prišlo do prenosa ali preliva.

- Bita (zastavici) C (Carry) in V (oVerflow) v registru pogojev v CPE, ki se ustrezno postavita in pokažeta ali je pri operaciji prišlo do prenosa oziroma preliva.

Primer registra pogojev (statusnega registra):

- register CPSR (Current Program Status Register) procesorja ARM9

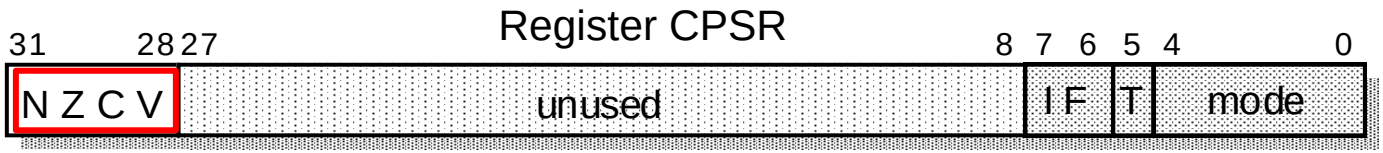



- Biti N, Z, C in V – zastavice (flag bits, status flags)

- Biti zastavic se lahko postavijo v stanje 1 ali 0 po izvršeni aritmetični ali logični operaciji glede na rezultat operacije.

- register CPSR (Current Program Status Register) procesorja ARM9




- **oVerflow** (bit 28) — V = 1: pri rezultatu je prišlo do preliva; V = 0: ni preliva
- **Carry** (bit 29) — seštevanje:
  - C = 1: pri rezultatu je prišlo do prenosa;
  - C = 0: ni prenosa

  odštevanje:
  - C = 0: pri rezultatu je prišlo do prenosa;
  - C = 1: ni prenosa
- **Zero** (bit 30) — Z = 1: rezultat je 0; Z = 0: rezultat je različen od 0
- **Negative** (bit 31) — N = 0: bit 31 rezultata je 0; N = 1: bit 31 rezultata je 1

# Nepredznačena in predznačena števila – primerjava 32bitov

$$0 \leq x \leq 2^n - 1$$

$$0_D \leq x \leq 4.294.967.295$$

$$-2^{n-1} \leq x \leq 2^{n-1} - 1$$

$$-2.147.483.648_D \leq x \leq +2.147.483.647_D$$

# 5.3 Aritmetika s števili v fiksni vejici

- Aritmetika - štiri osnovne operacije: seštevanje, odštevanje, množenje in deljenje.

- Aritmetične operacije se izvajajo v aritmetično-logični enoti (ALE), ki je del CPE.

- Vrsta in število operacij, ki jih zna izvajati ALE, se med računalniki razlikujeta - pri najpreprostejših samo seštevanje in logične operacije, druge operacije so realizirane s programi.

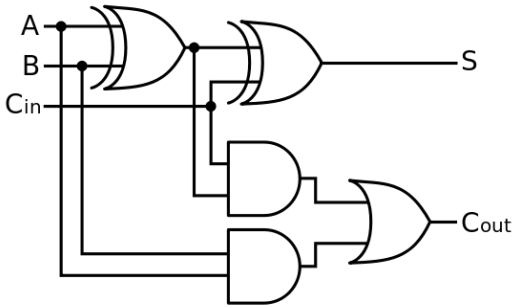
- Ključno vezje za realizacijo aritmetičnih operacij je n-bitni paralelni dvojiški seštevalnik, ki iz dveh nepredznačenih celih števil tvori njuno vsoto.

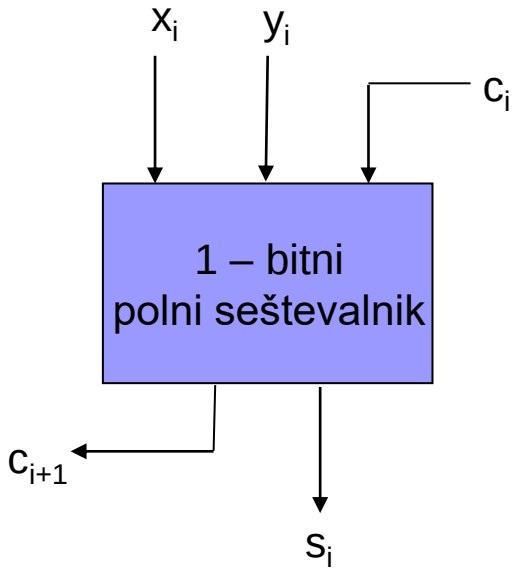
- Z njim so narejene vse operacije, tudi odštevanje (za predstavitev negativnih števil se običajno uporablja dvojiški komplement), lahko tudi množenje in deljenje (če ni posebnih enot).

- Osnovni element, s katerim zgradimo *n*-bitni seštevalnik, je *1*-bitni polni seštevalnik.

- *1*-bitni polni seštevalnik ima tri vhode
  - Dva sumanda $x_i$ in $y_i$
  - Vhodni prenos $c_i$
- in dva izhoda
  - Vsota $s_i$
  - Izhodni prenos $c_{i+1}$

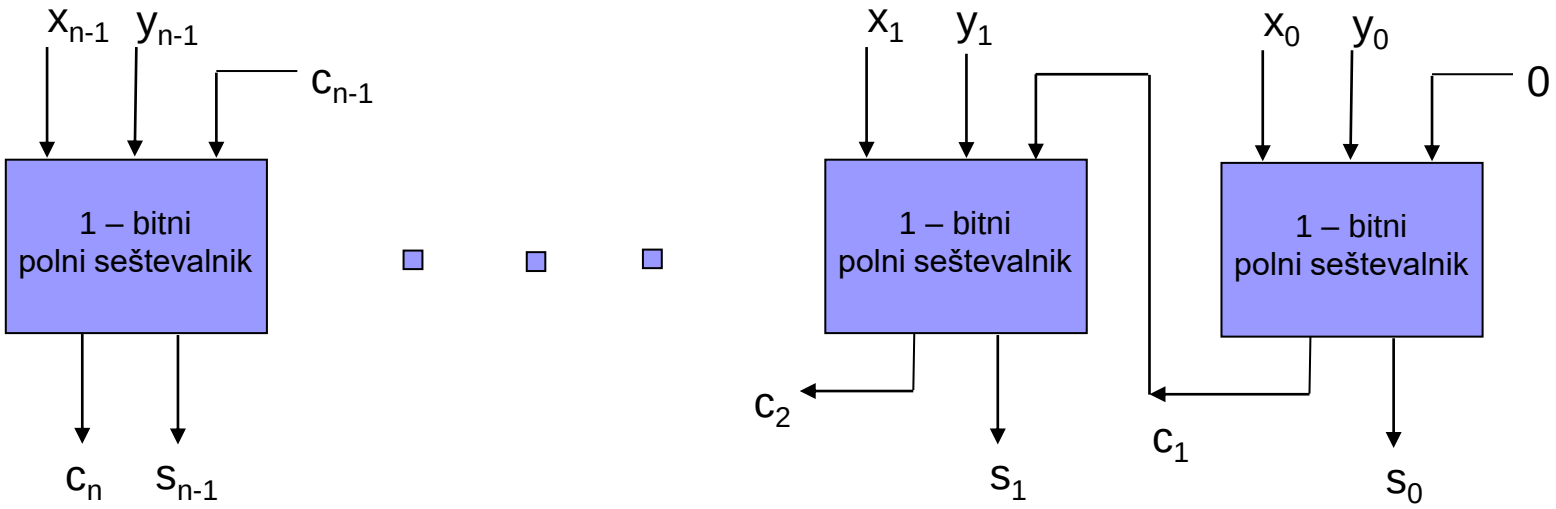



Pravilnostna tabela

| Vhodi | | | Izhodi | |
|---|---|---|---|---|
| $x_i$ | $y_i$ | $c_i$ | $s_i$ | $c_{i+1}$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

- *n*-bitni seštevalnik dobimo, če povežemo *n* eno-bitnih seštevalnikov - seštevalnik s plazovitim prenosom.



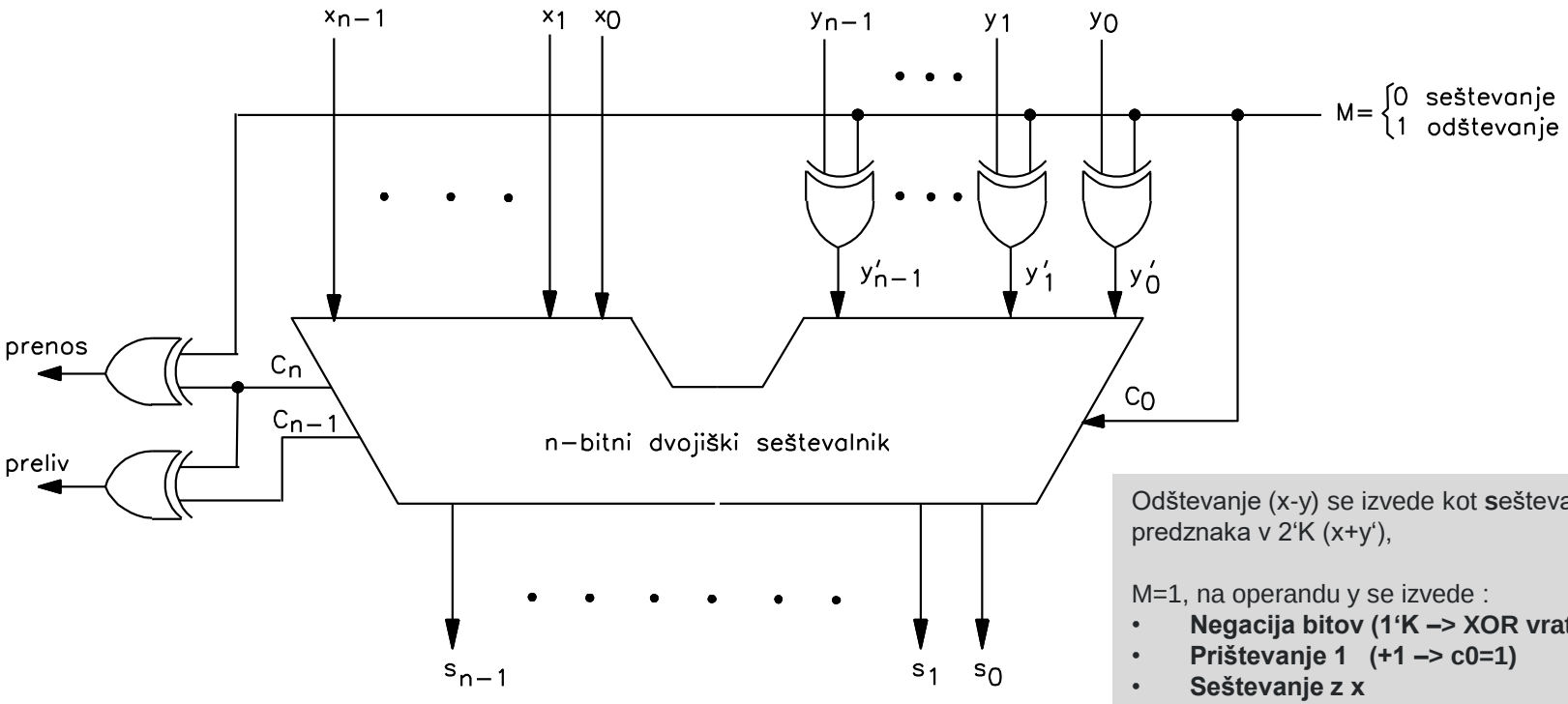

- seštevalnik s plazovitim prenosom („ripple carry“)
  - Slabost: počasnost (narašča s številom bitov)
  - Hitrejša, bolj zapletena rešitev

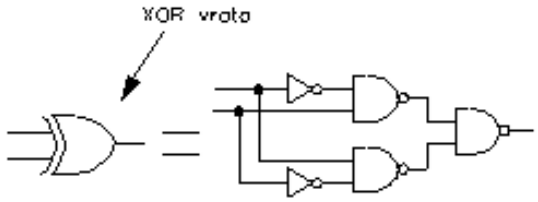
    -> seštevalnik z vnaprejšnjim prenosom („carry-lookahead adder“)

# *Univerzalni seštevalnik*

## *(seštevanje, odštevanje, nepredznačena in predznačena števila)*




Odštevanje (x-y) se izvede kot **s**eštevanje s spremembo predznaka v 2'K (x+y'),

M=1, na operandu y se izvede :

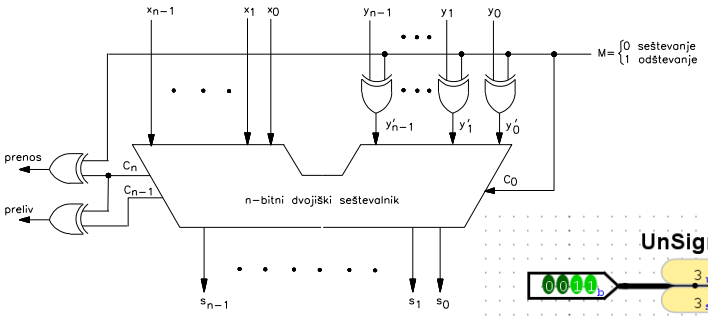
- **Negacija bitov (1'K –> XOR vrata)**
- **Prištevanje 1 (+1 –> c0=1)**
- **Seštevanje z x**

M=0, operand y nespremenjen, izvede se:

- **Seštevanje z x**

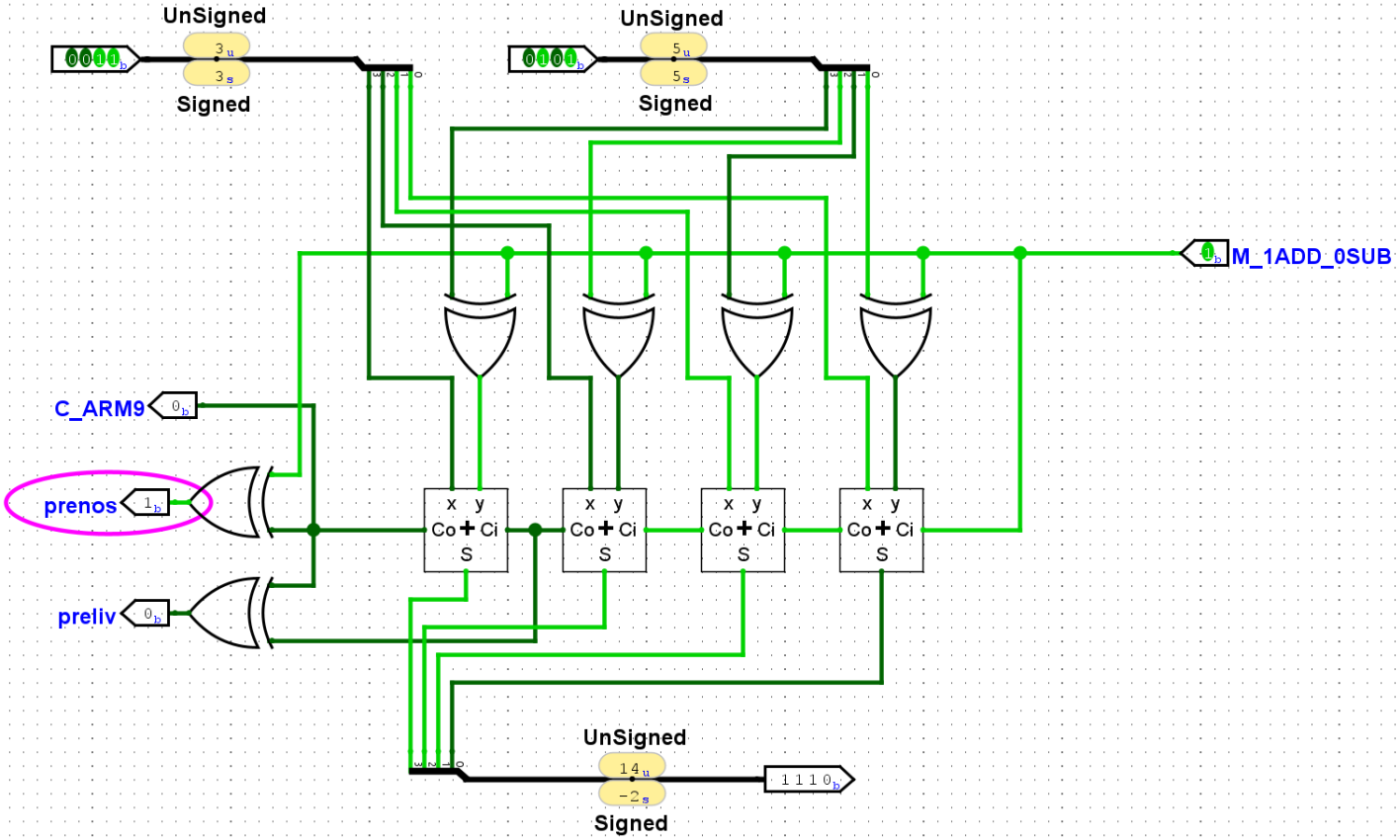
# *Univerzalni seštevalnik - Logisim*




Odštevanje (x-y) se izvede kot seštevanje s spremembo predznaka v 2'K (x+y'),

M=1, na operandu y se izvede :
- **Negacija bitov (1'K –> XOR vrata)**
- **Prištevanje 1 (+1 –> c0=1)**
- **Seštevanje z x**

M=0, operand y nespremenjen, izvede se:
- **Seštevanje z x**



# 5.4 Predstavitev numeričnih operandov v plavajoči vejici

- Obseg števil, ki jih lahko predstavimo v predstavitvi s fiksno vejico, je za tehnične probleme običajno premajhen.

- Ta števila pišemo običajno v znanstveni notaciji, ki omogoča predstavitev z razmeroma malo številkami.

$$3.200.000{,}00 = 3{,}20000000 \cdot 10^{6} = 0{,}03200000 \cdot 10^{8} = 32000000{,}0 \cdot 10^{-1} =$$

- Predstavitev števil v plavajoči vejici je samo za računalnik prirejena oblika znanstvene notacije.

- Splošna oblika

$$m \cdot r^{e} \rightarrow npr.: 0{,}03200000 \cdot 10^{8}$$

- $m$ – mantisa (koeficient, fraction, significand) = 0,03200000
- $r$ – baza (osnova, radiks) = 10
- $e$ – eksponent (karakteristika) = 8

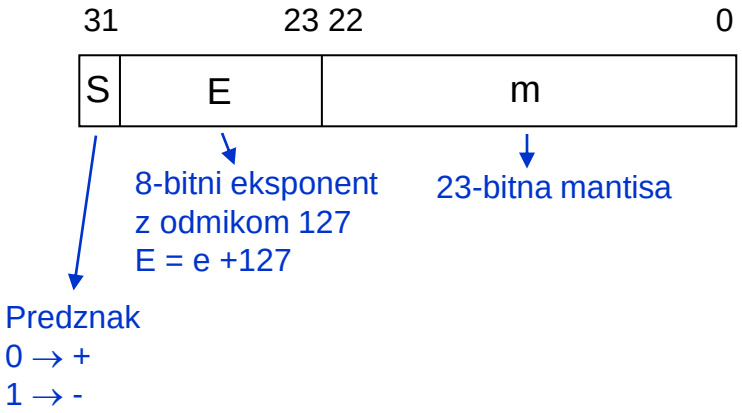
# Standard za predstavitev v plavajoči vejici

- Števila v plavajoči vejici se da predstaviti na veliko načinov:
  - različno število bitov za predstavitev mantise in eksponenta,
  - različni načini predstavitve eksponenta in mantise,
  - različni načini zaokroževanja.
- Proizvajalci računalnikov so veliko let uporabljali različne formate, ki med seboj niso bili kompatibilni. Isti program je zato na različnih računalnikih dal različne rezultate.
- Leta 1981 je bil v okviru organizacije IEEE predlagan standard za aritmetiko s plavajočo vejico, leta 1985 pa sprejet v končni obliki z oznako IEEE 754 in ga danes uporablja večina računalnikov.
- Poleg formata za predstavitev števil določa standard še načine izvajanja aritmetičnih operacij (zaokroževanje) in postopke v primeru napak (preliv, deljenje z 0, itn.).

- Osnovne lastnosti predstavitve števil v standardu IEEE 754
  - Standard uporablja bazo $r = 2$.
  - Mantisa je predstavljena v načinu predznak in velikost.
  - Implicitna predstavitev normalnega bita. Vejica je desno od normalnega bita (= levo od prvega bita mantise).
  - Eksponent je predstavljen v predstavitvi z odmikom.
  - Definirana sta dva formata:
    - *32*-bitni format ali enojna natančnost in
    - *64*-bitni format ali dvojna natančnost.

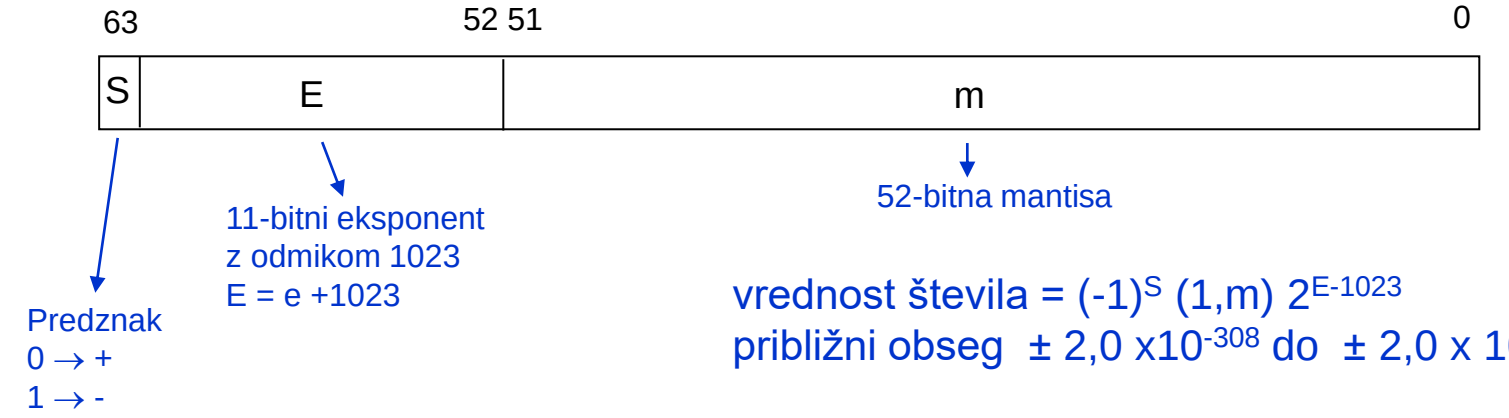
## 32-bitni format (enojna natančnost)




vrednost števila = $(-1)^S\ (1,m)\ 2^{E-127}$

približni obseg $\pm\ 2,0 \times 10^{-38}$ do $\pm\ 2,0 \times 10^{38}$

## 64-bitni format (dvojna natančnost)




vrednost števila = $(-1)^S\ (1,m)\ 2^{E-1023}$

približni obseg $\pm\ 2,0 \times 10^{-308}$ do $\pm\ 2,0 \times 10^{308}$

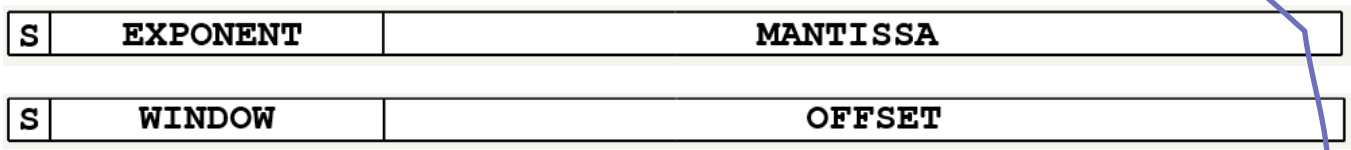
 

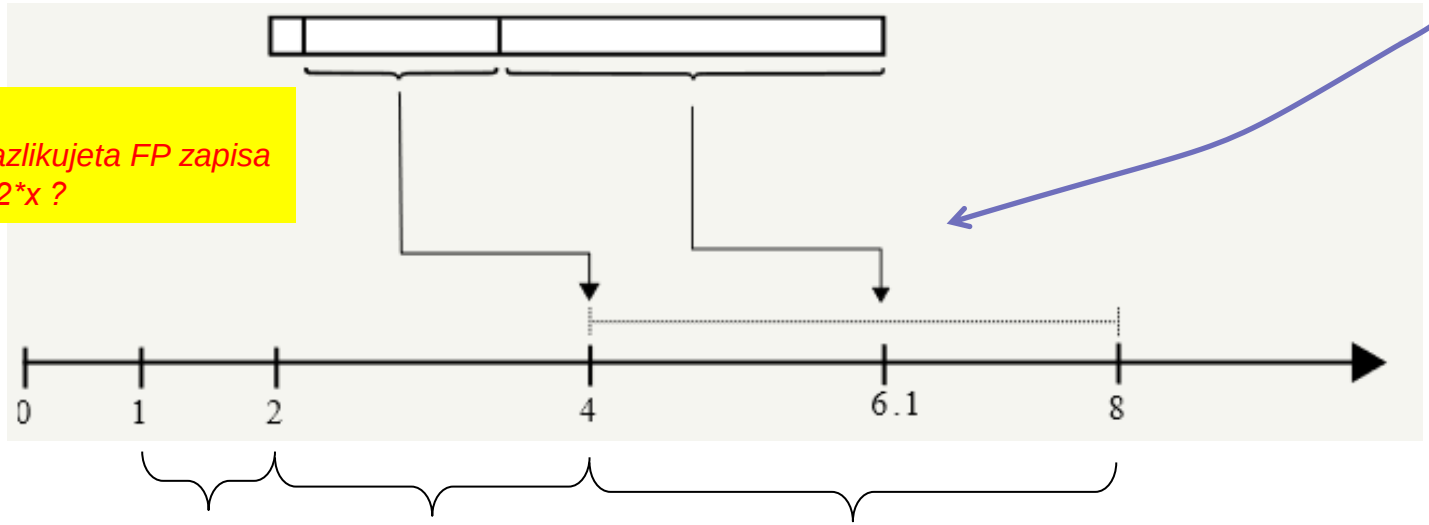
# Predstavitev števil po standardu IEEE 754

| Predstavljeno število | Eksponent E | Mantisa m |
|---|---|---|
| Normalizirano število (1,m) | 000…001 do 111…110 | karkoli |
| Denormalizirano število (0,m) | 000…000 | različna od 0 |
| Ničli ±0 | 000…000 | 000…000 |
| Neskončnost ± ∝ | 111…111 | 000…000 |
| Neveljavno število NaN | 111…111 | različna od 0 |

# Praktični poudarki v zvezi s predstavitvijo števil v plavajoči vejici 1.del:

- Vidik interpretacije :
  - 1 <= Mantisa <= 2, če eksponent = 0
  - 2 <= 2*Mantisa <= 4, če eksponent = 1
  - 4 <= 4*Mantisa <= 8, če eksponent = 2
  - Eksponent je okno, znotraj katerega je mantisa




*IZZIV:*
- *Kako se razlikujeta FP zapisa števil x in 2*x ?*

# Praktični poudarki v zvezi s predstavitvijo števil v plavajoči vejici 2. del:

- Še vedno le končno število bitov in posledično število: n bitov -> $2^n$ števil

- Omejitve (baza=2): ->
  - Primer: (8.5 - 8.4)
  - Primer: (0.1, 0.125)

*IZZIV: Razlaga?*

STEV1=8.5
STEV2=8.4
REZ = STEV1 – STEV

Print output (drag lower right corner to resize)

```
 STEV1 = 8.500000000000000000
-STEV2 = 8.400000000000035527
-------------
   REZ = 0.0999999999999964473
```

A=0.1
B=0.125
print "A=%.30f" % (A)
print "B=%.30f" % (B)

Print output (drag lower right corner to resize)

```
A=0.100000000000000005551115123126
B=0.125000000000000000000000000000
```

$2^0 = 1$

$2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2} = 0.5$

$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} = 0.25$

$2^{-3} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8} = 0.125$

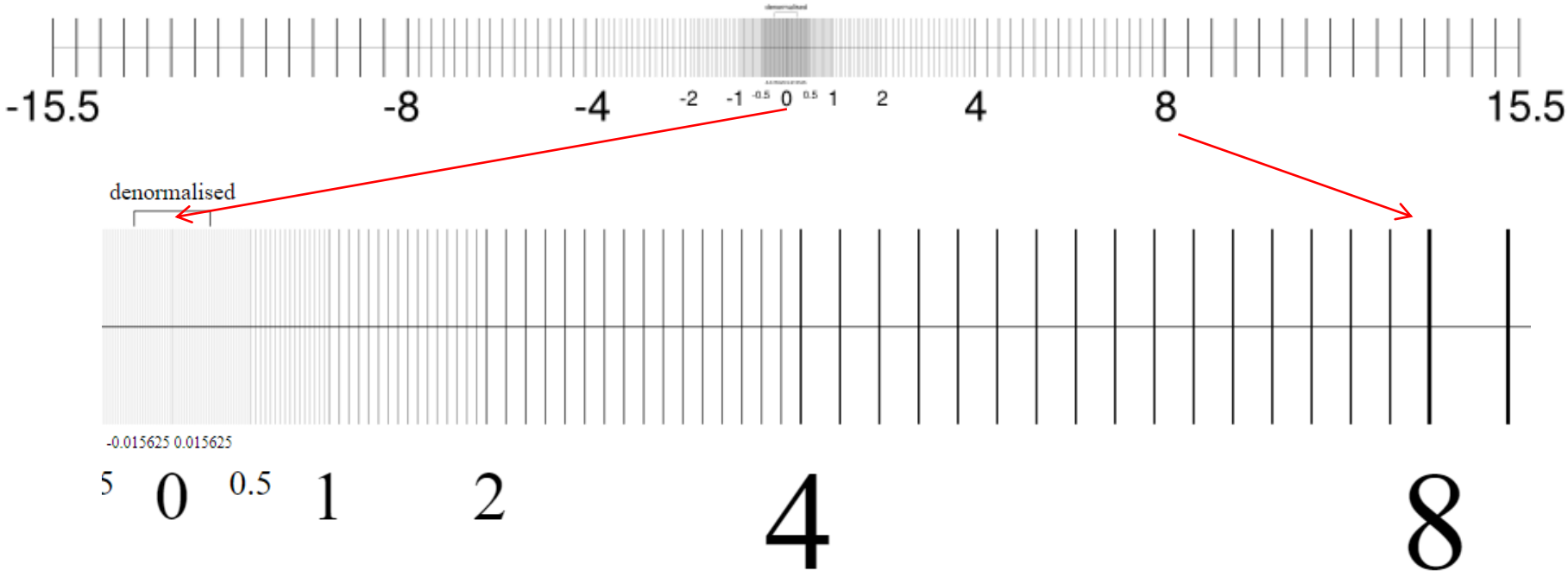
$2^{-4} = \frac{1}{2^4} = \frac{1}{16} = 0.0625$

$2^{-5} = \frac{1}{2^5} = \frac{1}{32} = 0.03125$

| Fraction | Base | Positional Notation | Rounded to 4 digits | Rounded value as fraction | Rounding error |
|---|---|---|---|---|---|
| 1/10 | 10 | 0.1 | 0.1 | 1/10 | 0 |
| 1/3 | 10 | 0.3 | 0.3333 | 3333/10000 | 1/30000 |
| 1/2 | 2 | 0.1 | 0.1 | 1/2 | 0 |
| 1/10 | 2 | 0.00011 | 0.0001 | 1/16 | 3/80 |

# Praktični poudarki v zvezi s predstavitvijo števil v plavajoči vejici 3. del:

- Neenakomerna gostota po „oknih“:
  - V vsakem „oknu“ enako število točk, ampak različen interval !
  - Primer: 8-bitni FP format (4-bitna mantisa, 3-bitni eksponent)



# Praktični poudarki v zvezi s predstavitvijo števil v plavajoči vejici 4. del:

- Samo okrajšani ulomki s potencami števila 2 v imenovalcu so lahko točno predstavljeni !!!!

$$2^{0} = 1$$

$$2^{-1} = \frac{1}{2^{1}} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$2^{-2} = \frac{1}{2^{2}} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$2^{-3} = \frac{1}{2^{3}} = \frac{1}{8} = 0.125$$

$$2^{-4} = \frac{1}{2^{4}} = \frac{1}{16} = 0.0625$$

$$2^{-5} = \frac{1}{2^{5}} = \frac{1}{32} = 0.03125$$

```
STEV1=8.5
STEV2=8.4
REZ = STEV1 – STEV
```

Print output (drag lower right corner to resize)

```
 STEV1 = 8.500000000000000000
-STEV2 = 8.400000000000035527
-------------
   REZ = 0.0999999999999964473
```

```
A=0.1
B=0.125
print "A=%.30f" % (A)
print "B=%.30f" % (B)
```

Print output (drag lower right corner to resize)

```
A=0.100000000000000005551115123126
B=0.125000000000000000000000000000
```

- Nenegativni FP zapisi so primerljivi tudi kot cela števila !

*IZZIV: Zakaj?*

| S | EXPONENT | MANTISSA |
|---|---|---|

- Primer 1: Zapiši negativno desetiško število −4,625 v predstavitvi s plavajočo vejico v enojni natančnosti.

V dvojiško obliko pretvorimo posebej celi del in posebej ulomljeni del števila (za vejico)

- 4,625 = - (4 + 0,625)

4(dec) = 100 (bin) ⇐

4 : 2 = 2 ostanek 0 b0 (LSB) = 0
2 : 2 = 1 ostanek 0 b1 = 0
1 : 2 = 0 ostanek 1 b2 = 1

0,625(dec) = 0,101(bin) ⇐

0,625 x 2 = 1,25 ⇒ 0,1
0,25 x 2 = 0,5 ⇒ 0,10
0,5 x 2 = 1,0 ⇒ 0,101
0,0 x 2 = 0 ⇒ 0,1010

4,625 = 100,101 = 100,1010000…. zadaj lahko dodamo poljubno število ničel

## Predstavitev števil v plavajoči vejici – primer

Število normaliziramo tako, da vejico pomaknemo skrajno levo za prvo enico in korigiramo vrednost z množenjem s potenco števila 2

Število normaliziramo $\Rightarrow$ $100{,}101 = 1{,}00101 \times 2^2$

normalni bit

Vsak pomik vejice za eno mesto levo pomeni deljenje z dva, pomik desno pa množenje z dva.

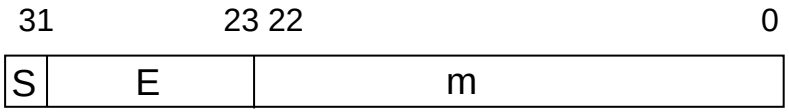
Da ohranimo vrednost števila, pomnožimo s potenco števila 2.

Če pomaknemo vejico za n–mest levo, pomnožimo z $2^n$ .

Če pomaknemo vejico za n-mest desno, pa pomnožimo z $2^{-n}$ .

## Predstavitev števil v plavajoči vejici – primer

$-4{,}625 = -1{,}00101 \times 2^2$



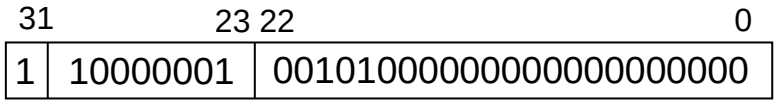

Število je negativno $\Rightarrow$ S = 1

Mantisa brez normalnega bita $\Rightarrow$ m = 001010…0

Eksponent $\Rightarrow$ e = 2

Eksponent v predstavitvi z odmikom 127(dec) $\Rightarrow$ E = e+127 = 2 + 127 = 129(dec)

E = 129(dec) = 10000001(bin)




Desetiško število – 4,624 v plavajoči vejici z enojno natančnostjo

# 5.5 Aritmetika s števili v plavajoči vejici

- Aritmetika v plavajoči vejici se je v računalnikih obravnavala ločeno od aritmetike v fiksni vejici
- Osnovne razlike glede na operacije v fiksni vejici so:
  - Pri operacijah je treba poleg mantise uporabiti še eksponent – za te operacije je potrebna aritmetika v fiksni vejici
  - Zaokroževanje – rezultat operacije mora biti enak matematično točni vrednosti, ki se nato zaokroži na dolžino bitov mantise
  - Pri rezultatu operacije v plavajoči vejici lahko poleg preliva (overflow) pride tudi do podliva (underflow)

- Preliv (overflow), če je rezultat operacije večji kot največje predstavljivo število (eksponent je večji kot ga omogoča število bitov eksponenta)
  - Če pride do preliva, se rezultat predstavi kot +∞ ali -∞.
- Podliv (underflow)
  - Pri predstavitvi števil v plavajoči vejici lahko pride tudi do podliva (underflow), če je rezultat operacije manjši kot je najmanjše predstavljivo število (ko je negativni eksponent premajhen za število bitov eksponenta).
  - Če pride do podliva, se število zamenja z ničlo, ali pa predstavi kot denormalizirano število.

# Čas izvedbe operacij (ukazov) - primerjava

## Intel Core arhitektura (2007): [Kodek]

| Ukaz | Latenca |
|---|---|
| ADD, SUB | 1 |
| IMUL | 3 |
| IDIV | 22 |
| FADD,FSUB | 3 |
| FMUL | 5 |
| FDIV | 32 |
| FSQRT | 58 |
| FCOS | 119 |

## ARM Cortex M7 (STM32H750)

**Table 8. Some floating-point single-precision data processing instructions**

| Instruction | Description | Cycles |
|---|---|---|
| VABS.F32 | Absolute value | 1 |
| VADD.F32 | Addition | 1 |
| VSUB.F32 | Subtraction | 1 |
| VMUL.F32 | Multiply | 1 |
| VDIV.F32 | Division | 14 |
| VCVT.F32 | Conversion to/from integer/fixed-point | 1 |
| VSQRT.F32 | Square root | 14 |

- Čas izvedbe operacij (ukazov) : SW in HW
  ARM Cortex M7 (STM32H750)

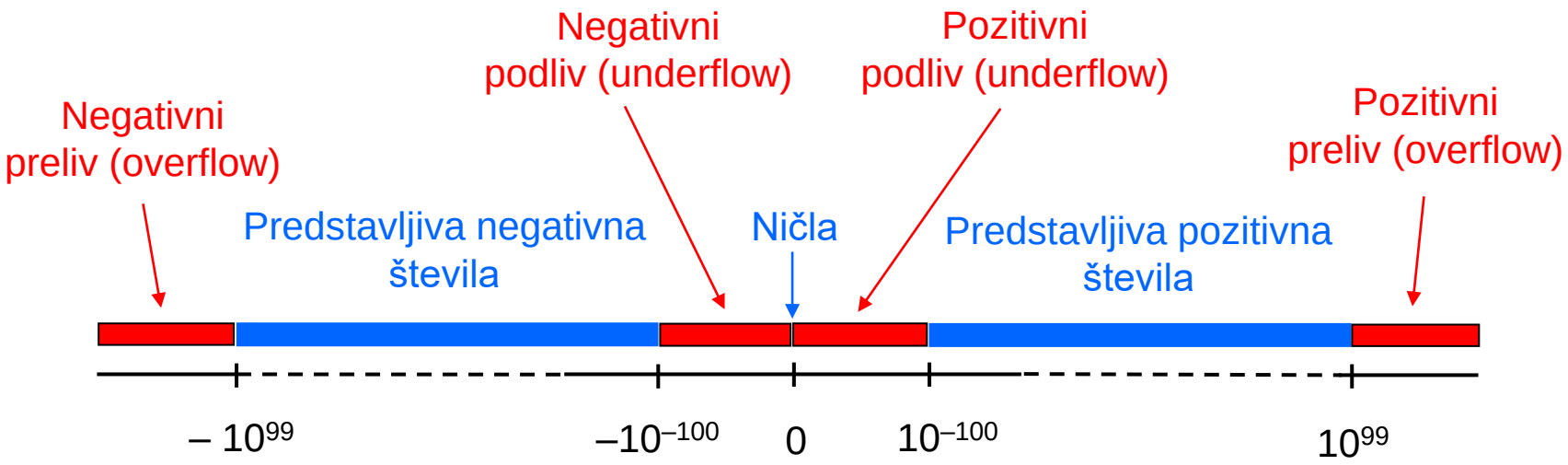
**Table 11. Cortex®-M7 performance comparison HW SP FPU vs. SW implementation FPU with MDK-ARM™ tool-chain V5.17**

| Frame | Zoom | Duration with HW FPU [ms] | Duration with SW implementation FPU [ms] | Ratio |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 120 | 134 | 1759 | 13,13 |
| 1 | 110 | 118 | 1519 | 12,87 |

**Table 12. Performance comparison HW DP FPU versus SW implementation FPU with MDK-ARM™ tool-chain V5.17**

| Frame | Zoom | Duration with HW DP FPU [ms] | Duration with SW implementation FPU [ms] | Ratio |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 120 | 408 | 2920 | 7,16 |
| 1 | 110 | 355 | 2523 | 7,11 |

# Primer številske premice desetiških realnih števil z dvomestnim eksponentom in trimestno mantiso z območjem $0{,}1 \leq |m| < 1$




Pozitivna: Min 0.1*10^-99 = 10^-100 Max 0.999*10^99

# 5.6 Dopolnitve standarda IEEE 754:

## ( IEEE 754 → IEEE 754-2008)

- Avgusta 2008 je bil objavljen dopolnjen standard IEEE 754-2008, ki zamenjuje Standard IEEE 754 iz leta 1985

  - Najpomembnejše dopolnitve:
    - Dva nova dvojiška formata z bazo $r = 2$
      - 128-bitni format (štirikratna natančnost) s 112-bitno mantiso in 15-bitnim eksponentom.
      - 16-bitni format (polovična natančnost) z 10-bitno mantiso in 5-bitnim eksponentom.
    - Dva nova desetiška formata z bazo $r = 10$
      - 64-bitni format s 16 mestno mantiso (16 desetiških števil)
      - 128-bitni format s 34 mestno mantiso

- Standard IEEE 754-2008 tako definira:
  - Šest osnovnih formatov, štiri dvojiške in dva desetiška.
  - Aritmetične formate, ki se uporabljajo pri aritmetičnih in drugih operacijah.
  - Formate za izmenjavo, ki se uporabljajo pri izmenjavi operandov v plavajoči vejici
  - Algoritme za zaokroževanje, ki določajo metode zaokroževanja števil pri računanju in pretvorbah.
  - Aritmetične in druge operacije nad aritmetičnimi formati.
  - Obravnavo izjemnih dogodkov (deljenje z 0, preliv, podliv, …).
- Najnovejša dopolnitev : IEEE 754-2019

# Predstavitev števil v plavajoči vejici – dopolnjen standard IEEE 754-2008

| Oznaka | Ime | Osnova | Število mest mantise * | E min | E max | Desetiška natančnost | Max desetiški eksponent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| binary32 | Enojna natančnost | 2 | 23+1 | −126 | +127 | 7,22 | 38,23 |
| binary64 | Dvojna natančnost | 2 | 52+1 | −1022 | +1023 | 15,95 | 307,95 |
| binary128 | Štirikratna natančnost | 2 | 112+1 | −16382 | +16383 | 34,02 | 4931,77 |
| decimal64 | | 10 | 15+1 | −383 | +384 | 16 | 384 |
| decimal128 | | 10 | 33+1 | −6143 | +6144 | 34 | 6144 |

* mantisa + 1 bit za predznak