Zásobník

AUTOMATICKÉ I UŽIVATELSKÉ POUŽITÍ ZÁSOBNÍKU

♣ Zásobník

- slouží k **automatickému** uložení návratové adresy při zavolání podprogramu nebo přerušení.
- Může být využit k dočasnému uložení proměnných.
- U ARM existují tři zásobníky:
  - **Jednoúrovňový realizovaný** registrem **LR** (R14) – rychlý přístup k návratové adrese. Vyzvednutí může být z LR nebo přímo do PC. Instrukci CALL nahrazují skoky s uložením do LR (BL,BLX).
  - **Hlavní zásobník**, na který ukazuje ukazatel **MSP** (defaultní SP pro operační systém a přerušení)
  - **Uživatelský zásobník** - ukazatel **PSP** (používaný v aplikačním programu).

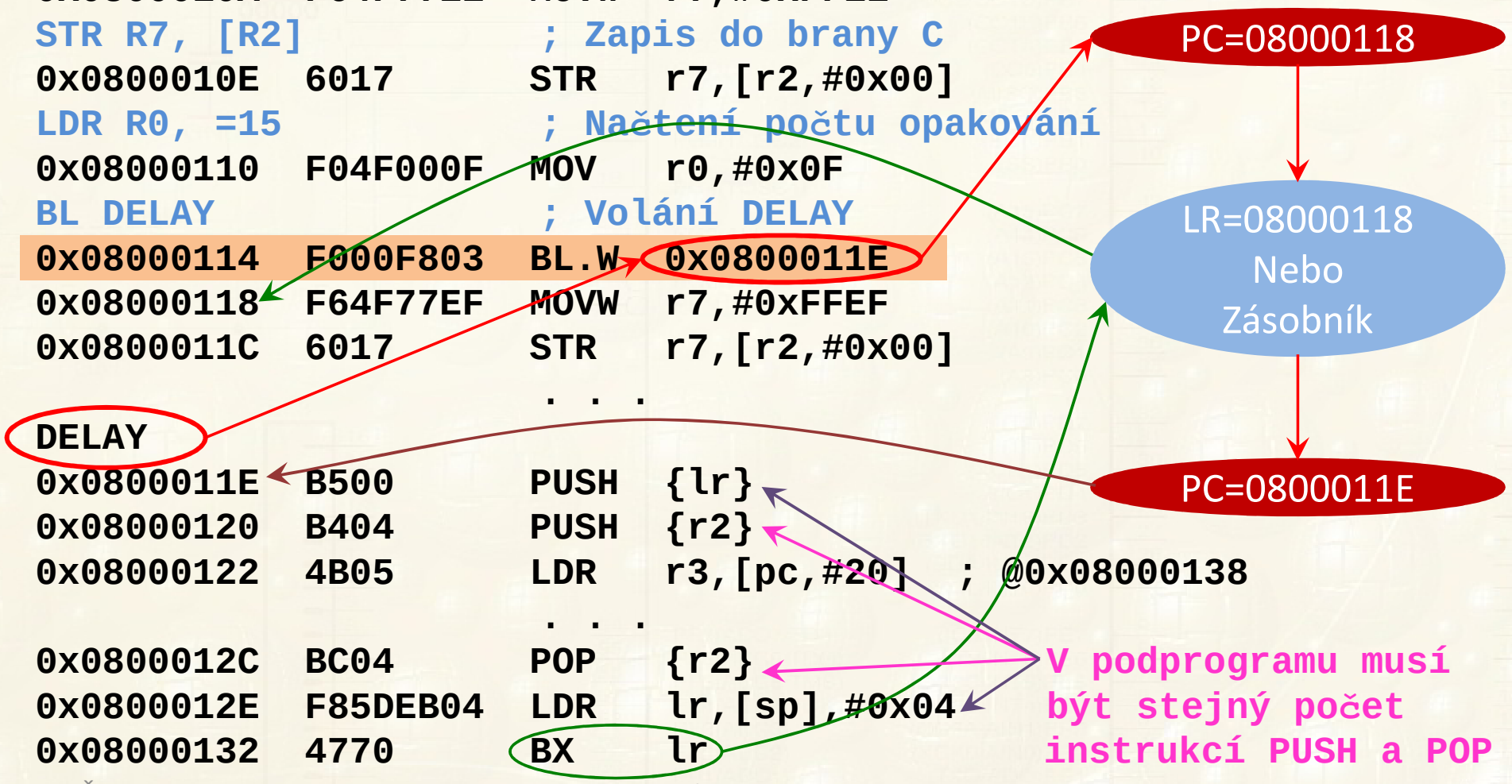
Při zřetězeném volání podprogramů LR ⇒ do MSP, PSP.

Mějme program volající podprogram DELAY.

```
    . . . . .
    BL DELAY              ; Volání podprogramu DELAY
    . . . . .
;*****************************************************
;* Jméno funkce         : DELAY - Softwarové zpožděni procesoru
;* Vstup                : R0 = počet opakováni cyklu zpoždění
;* Ničí registry        : R3,R0
;*****************************************************
DELAY                   ; Navěstí začátku podprogramu
        PUSH {LR}       ; Návratová adresa do zásobníku
WAIT1   LDR R3,=20000   ; Konstanta pro prodlevu do R3
WAIT    SUBS R3,R3,#1   ; R3=R3-1,nastaveni registru PSR
        BNE  WAIT       ; Skok při nenulovosti R3
        SUBS R0,R0,#1
        BNE WAIT1
;Návrat z podprogramu
        POP {LR}        ; Obnovení hodnoty LR ze zásobníku
        BX  LR          ; Návratová adresa do PC
;       POP {PC}        ; Náhrada předchozích dvou řádku
;*****************************************************
        END               ; Konec programu, další text se
                          ; nepřekládá
```

Proč potřebujeme zásobník?

```
LDR R2, =GPIOC_ODR      ; Adresy brany C ODR do R2
0x08000108  4A0A        LDR   r2,[pc,#40]  ; @0x08000134
LDR R7, =0xFFEE         ; R7 zapisovaná hodnota
0x0800010A  F64F77EE    MOVW  r7,#0xFFEE
STR R7, [R2]            ; Zapis do brany C
0x0800010E  6017        STR   r7,[r2,#0x00]
LDR R0, =15             ; Načtení počtu opakování
0x08000110  F04F000F    MOV   r0,#0x0F
BL DELAY                ; Volání DELAY
0x08000114  F000F803    BL.W  0x0800011E
0x08000118  F64F77EF    MOVW  r7,#0xFFEF
0x0800011C  6017        STR   r7,[r2,#0x00]
                        . . .
DELAY
0x0800011E  B500        PUSH  {lr}
0x08000120  B404        PUSH  {r2}
0x08000122  4B05        LDR   r3,[pc,#20]  ; @0x08000138
                        . . .
0x0800012C  BC04        POP   {r2}
0x0800012E  F85DEB04    LDR   lr,[sp],#0x04
0x08000132  4770        BX    lr
```



PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]  ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]  ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	Nepoužitý
	0x200001FE	Nepoužitý
	0x200001FD	Nepoužitý
	0x200001FC	Nepoužitý
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	Nepoužitý
	0x200001FE	Nepoužitý
	0x200001FD	Nepoužitý
	0x200001FC	Nepoužitý
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	Nepoužitý
	0x200001FE	Nepoužitý
	0x200001FD	Nepoužitý
	0x200001FC	Nepoužitý
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	Nepoužitý
	0x200001FE	Nepoužitý
	0x200001FD	Nepoužitý
	0x200001FC	Nepoužitý
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	Nepoužitý
	0x200001FE	Nepoužitý
	0x200001FD	Nepoužitý
	0x200001FC	Nepoužitý
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	Nepoužitý
	0x200001FE	Nepoužitý
	0x200001FD	Nepoužitý
	0x200001FC	Nepoužitý
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
→	0x200001FC	0x19 (0x18)
	0x200001FB	Nepoužitý
	0x200001FA	Nepoužitý
	0x200001F9	Nepoužitý
	0x200001F8	Nepoužitý
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
→	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
→	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
→	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
→	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
→	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
→	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
→	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

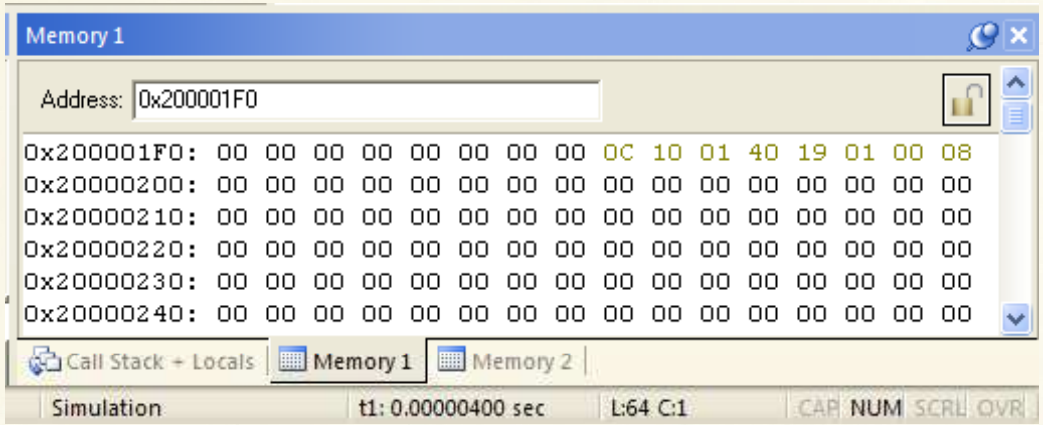
```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

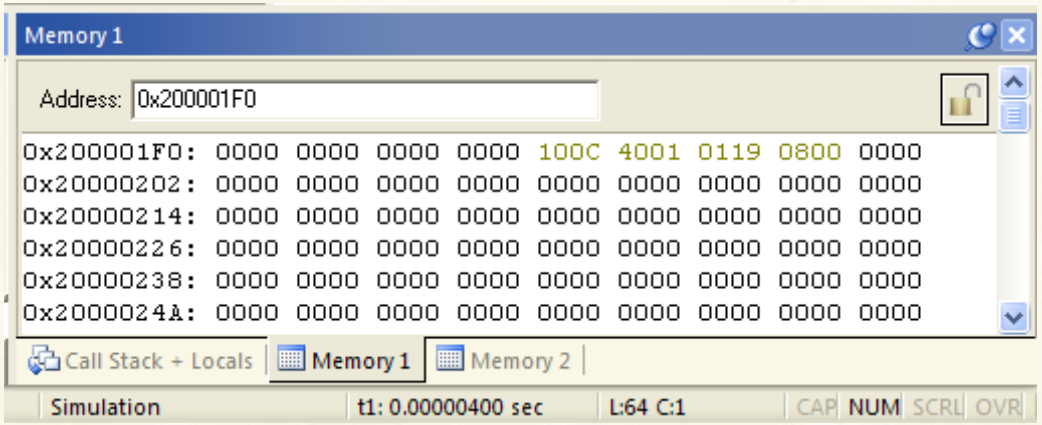
Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý

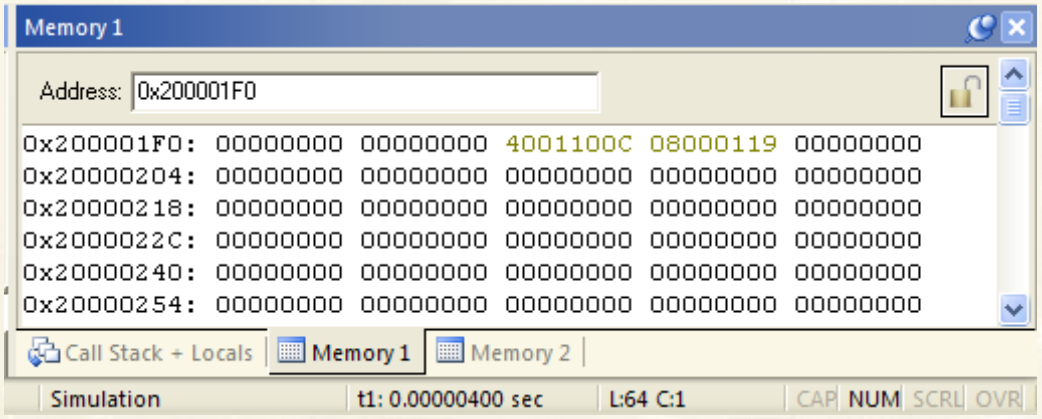
PŘÍKLAD NA FUNKCI ZÁSOBNÍKU PŘI VOLÁNÍ PODPROGRAMU

```
0x08000108   4A0A       LDR    r2,[pc,#40]   ; @0x08000134
0x0800010A   F64F77EE   MOVW   r7,#0xFFEE
0x0800010E   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
0x08000110   F04F000F   MOV    r0,#0x0F
0x08000114   F000F803   BL.W   0x0800011E
0x08000118   F64F77EF   MOVW   r7,#0xFFEF
0x0800011C   6017       STR    r7,[r2,#0x00]
DELAY
0x0800011E   B500       PUSH   {lr}
0x08000120   B404       PUSH   {r2}
WAIT
0x08000122   4B05       LDR    r3,[pc,#20]   ;
0x08000124   1E5B       SUBS   r3,r3,#1
0x08000126   D1FD       BNE    0x08000124
0x08000128   1E40       SUBS   r0,r0,#1
0x0800012A   D1FA       BNE    0x08000122
0x0800012C   BC04       POP    {r2}
0x0800012E   F85DEB04   LDR    lr,[sp],#0x04
0x08000132   4770       BX     lr
0x08000134   100C       DCW    0x100C
0x08000136   4001       DCW    0x4001
0x08000138   9250       DCW    0x9250
0x0800013A   0004       DCW    0x0004
```

Zásobník		
SP	Adresa	Obsah
→	0x20000200	Obsazená
	0x200001FF	0x08
	0x200001FE	0x00
	0x200001FD	0x01
	0x200001FC	0x19
	0x200001FB	0x40
	0x200001FA	0x01
	0x200001F9	0x10
	0x200001F8	0x0C
	0x200001F7	Nepoužitý
	0x200001F6	Nepoužitý





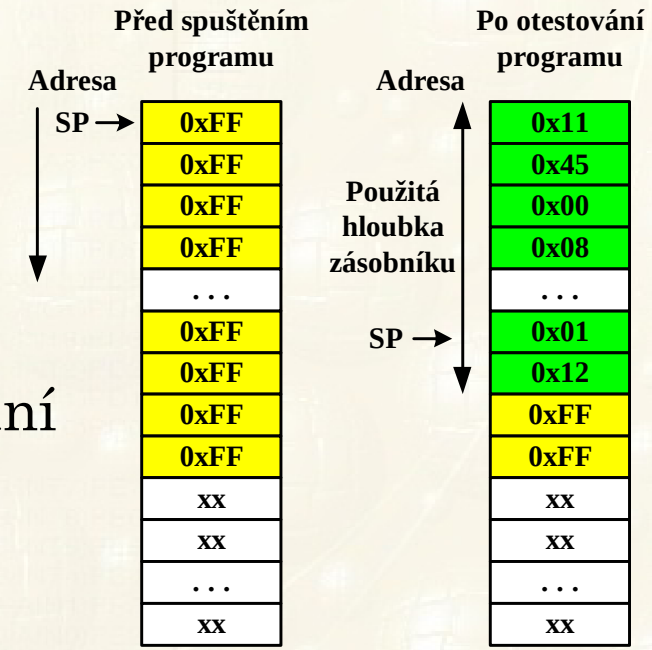


0x19 místo 0x18 - U procesorů se sadou Thumb a Thumb-2 jsou adresy na instrukce odlišeny od ARM bitem **b0=1**. Pokud budeme sledovat v prostředí KEIL obsah paměti přidělené zásobníku při krokování předcházejícího příkladu, musíme dát pozor v jakém formátu se zobrazuje datová paměť tj. po bytech (Char), slovech (Short) nebo (Int). Obsahy pak vypadají následovně (Little-Endian) a mohou vést k představě o jiném umístění bytů v datové paměti.

ZÁSOBNÍK PŘI VÝVOJI PROGRAMŮ

Při vývoji programů v jazyce C nemusíme, u některých vývojových prostředí, být schopni zjistit potřebnou hloubku zásobníku. Na konci vývoje programu je potom vhodné u aplikace **otestovat** programem využívanou **hloubku zásobníku**.

- Zásobník v předpokládaném paměťovém prostoru vyplníme nějakou hodnotou (např. FFh).
- Spustíme program včetně všech přerušení, volání, atd.
- Po určité době zjistíme kolik hodnot zůstalo v paměti nedotčených viz obrázek.
- Situaci opakujeme i pro jiné počáteční hodnoty, aby náhodou nedošlo ke shodě s částí návratové adresy.



Umístění proměnných a zásobníku?
Prostor pro lokální proměnné (nevolání podprogramu s lokálními proměnnými uloženého ve zdrojovém kódu, calloc(), malloc(), realloc(), free()).

Formát instrukcí a dat

FORMÁT INSTRUKCÍ A DAT

Operační kód instrukce – obsahuje bity určující instrukci.

Počet bitů určuje maximální možný počet instrukcí, který může i nemusí být využit. Zbývající bity instrukce určují:

Registry účastnící se instrukce , **Data** nebo **Adresu** (podprogramu, skoku nebo paměťového místa pro čtení/zápis)

Větší počet bitů instrukce → umožňuje realizaci **jednoslovných instrukcí.** Rozsah **dat** může být menší roven nebo širší, než počet bitů datové sběrnice.

Se znalostí formátu instrukcí se setkáváme zřídka – obvykle při hledání:

- Chyby v překladači
- Chyby v paměťovém prostoru (najdeme i jinak)
- Nutnosti vytvořit zpětný překladač (realizace **disassembleru**) – (z paměti, z object file) pozor na tabulky.

FORMÁT INSTRUKCÍ A DAT

Uložení dat v datové paměti

- **Jedinečné** – při tvorbě programu v JSA (assembleru)
- **Big endian** – adresa přiřazená symbolickému názvu proměnné ukazuje na nejvyšší byte hodnoty proměnné. Další byty jsou na vyšších adresách.
- **Little endian** - adresa přiřazená symbolickému názvu proměnné ukazuje na nejnižší byte hodnoty proměnné. Další byty jsou na vyšších adresách.

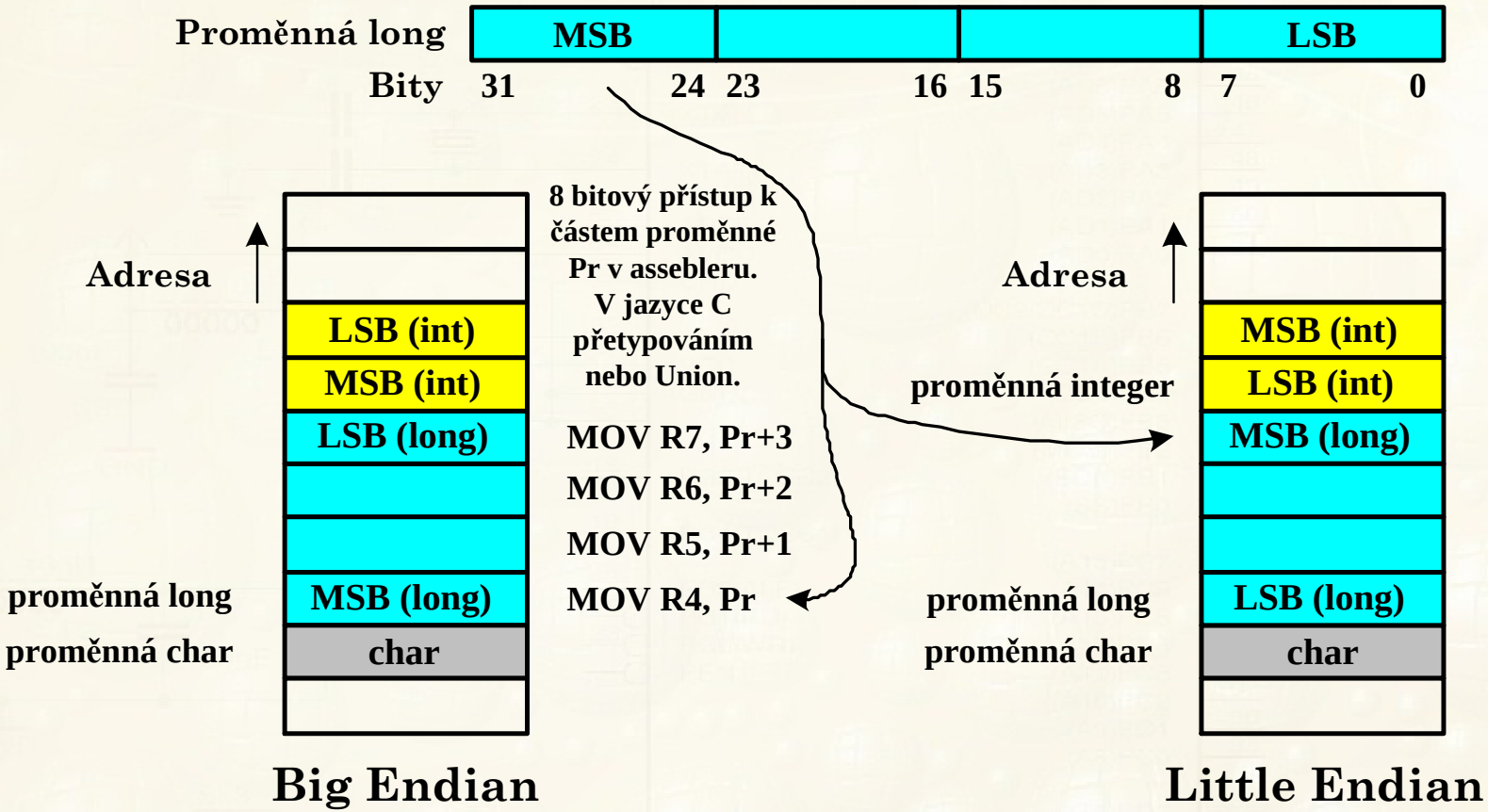
Znalost formátu → **důležitá u smíšených programů** tj. vložený assembler do jazyka C.

Práce s kratšími operandy může souviset

- S podporou instrukcí **SIMD**
- Se strukturami **pole bitů, union**, atd.

Neodůvodněná práce s kratšími operandy může vést k **neefektivnímu strojovému kódu**.

ULOŽENÍ DAT V DATOVÉ PAMĚTI

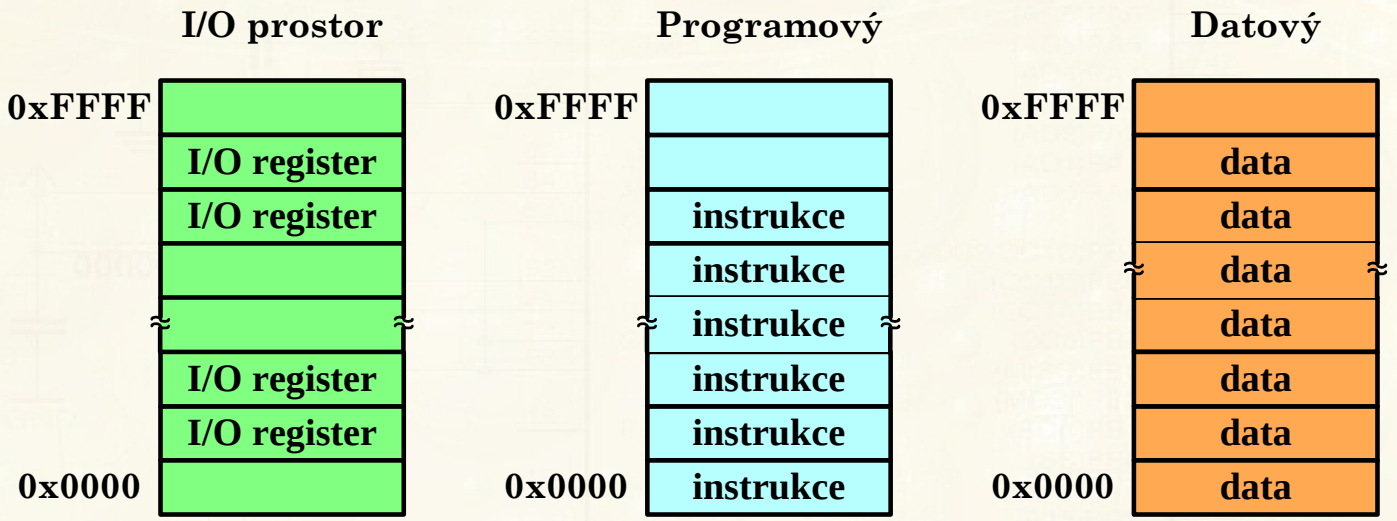


Ukázka nevhodné práce s krátkými operandy ARM

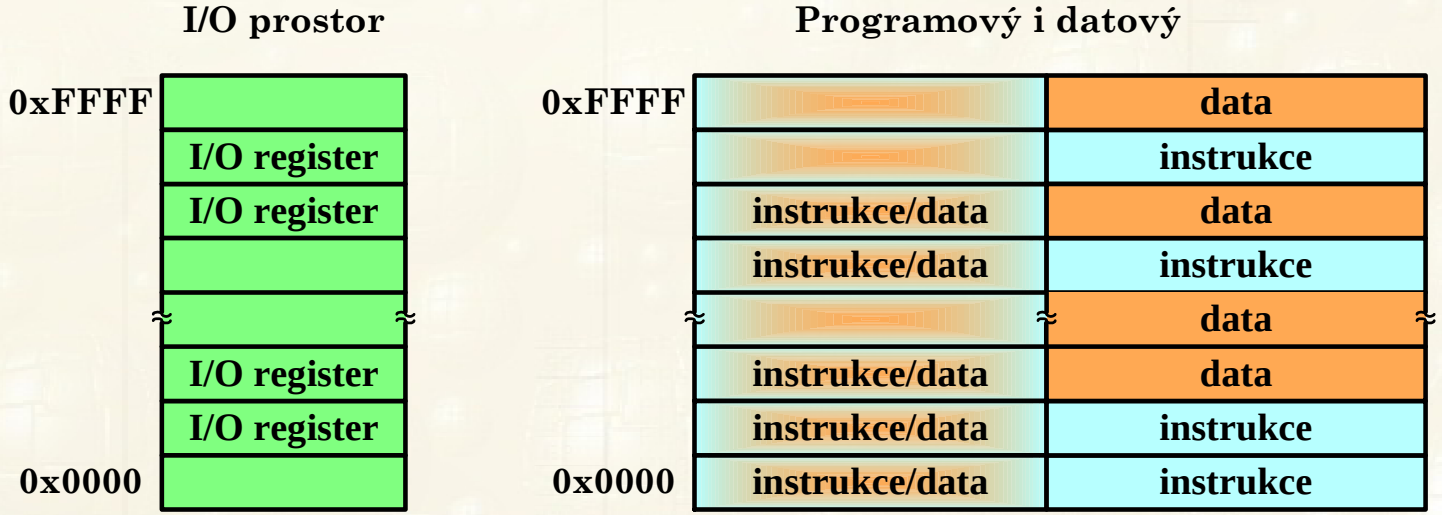
```
unsigned int a,b;          signed short a,b;
a=a+b;                     a=a+b;
                Může být přeložen
ADD r0,r0,r1               ADD r2,r0,r1   ;součet
                           LSL r2,r2,#16  ;logická rotace o 16b vlevo
                           ASR r0,r2,#16  ;aritmetická rotace vpravo
```

ADRESOVÉ PROSTORY PROCESORU

- Programový, datový a I/O prostor – zcela samostatné prostory

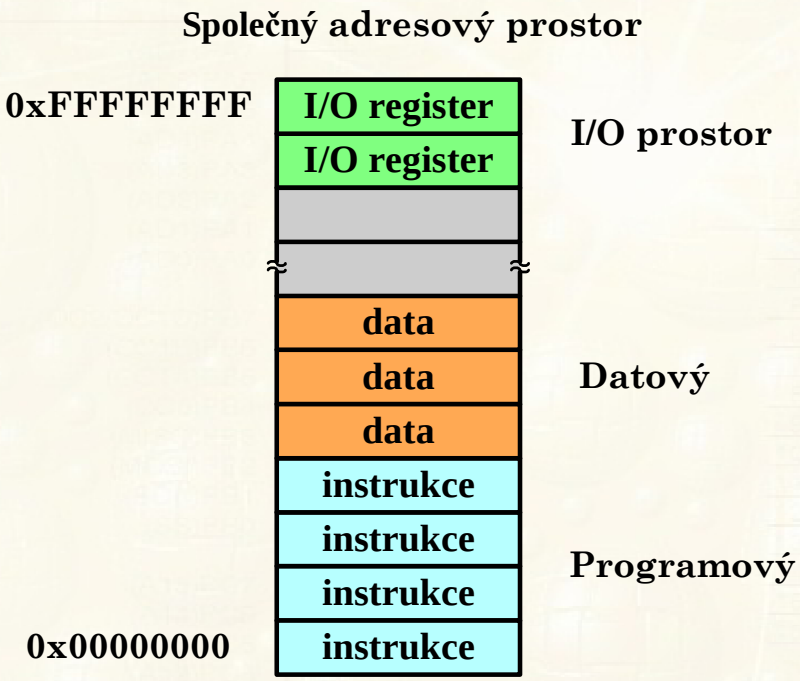


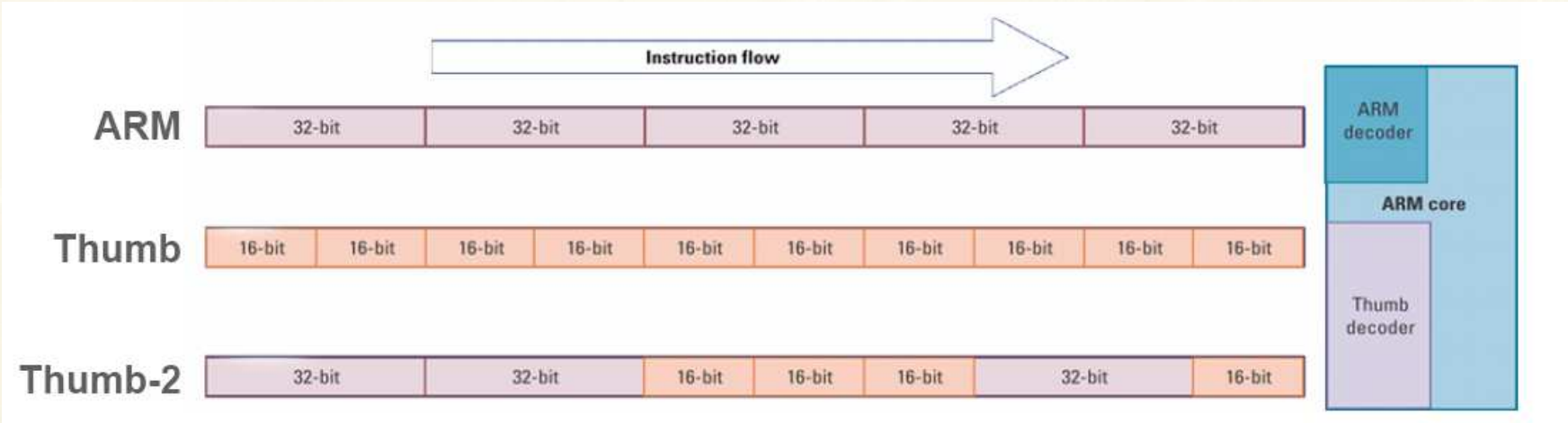
- Programový a datový prostor (operační paměť) je společný (Von Neumanovská architektura např. x86)



ADRESOVÉ PROSTORY PROCESORU S 32-BITOVOU ADRESOU

- Programový, datový a případně i vstupně-výstupní prostor leží v oddělených částech jednoho adresového prostoru. Např. ARM, 32bit. DSP
- Thumb a Thumb-2 efektivnější využití paměti programu, (též zrychlení čtení z FLASH, čtení 32 bitů – dvě instrukce najed-nou. Adresy instrukcí jsou proti ARM odlišeny bitem **b0=1**.





ČTENÍ PROGRAMU Z PAMĚŤOVÉHO PROSTORU

Čtení ovlivňuje nejenom počet bitů instrukce, ale také:

- Šířka programové (instrukční) sběrnice
- Schopnost procesoru číst z jednoho nebo více paměťových míst najednou

Procesor	Obsah instrukce		
8-bitový	Operační kód (se vším potřebným)		
	Operační kód	Data, Relativní adresa	
	Operační kód	Část Adresy, 16 bit.dat	Část Adresy, 16 bit.dat
16-bitový	Operační kód (se vším), případně za cenu menšího adresového prostoru		
	Operační kód	16 –bitová adresa, data	
32-bitový	Operační kód (se vším potřebným)		
	Dva 16-bitové operační kódy		
?	Operační kód + 32 bitová konstanta nebo adresa		

Jak načíst 32 bitovou adresu/data? Z připravené tabulky čteme instrukcí s relativním posunem obvykle vůči programovému čítači (PC). Např. součet aktuální adresy PC a hodnoty 160.

```
0x08000130   4828    LDR  r0,[pc,#160]  ;@0x0800 01D4
```

ULOŽENÍ PROGRAMU V PAMĚŤOVÉM PROSTORU

Adresa v tabulce je vypočtena následovně:

Instrukce je uložena na adrese 0x0800 0130 a jsou čteny 4 byty, další čtená adresa (se zarovnáním na hranici 4 byte) je

0x0800 0130 + 4 = 0x0800 0134, posun 160 = 0xA0 (hexadecimálně)

0x0800 0134 + 0xA0 = 0x0800 01D4

V protokolu se tedy objeví **@0x0800 01D4** a znak @ signalizuje, že adresa byla získána relativně.

Nevyužití všech bitů v 32 bitových instrukcí ARM ⇒ neefektivní využití paměťového prostoru.

Vznik 16-bitových instrukcí označovaných **Thumb** ⇒ lepší využití prostoru a zrychlení čtení.

Sada Thumb doplněna o některé 32 bitové instrukce ⇒ sada **Thumb-2** (strojový kód není shodný ARM).

Směs 16 a 32 bitových instrukcí u JSA vede k nutnosti zarovnávat adresy na modulo 4 (align).

Stejná situace je u DSP při kruhovém adresování.