

Pole, ukazatel, textový řetězec

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 04

B0B36PRP – Procedurální programování

Přehled témat

- Část 1 – Pole, ukazatele a řetězce

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce

S. G. Kochan: kapitoly 7, 10, 11

- Část 2 – Zadání 4. domácího úkolu (HW04)

Část I

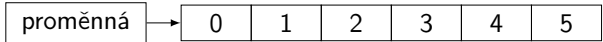
Pole a ukazatele

Pole

- Datová struktura pro uložení **více hodnot stejného typu**.
- Slouží k reprezentaci posloupnosti hodnot v paměti. *Hodnoty uloženy v souvislém bloku paměti.*
- Jednotlivé prvky mají identickou velikost a jejich relativní adresa vůči počátku pole je jednoznačně určena.
 - Prvky můžeme adresovat pořadím prvku v poli.

Relativní „adresa“ vůči prvnímu prvku.

„adresa“= $\text{velikost_prvku} * \text{index_prvku_v_poli}$



- Proměnná typu pole reprezentuje adresu vyhrazeného paměťového prostoru, kde jsou hodnoty uloženy.
 $\text{Adresa_prvku} = \text{adresa_prvního_prvku} + \text{velikost_typu} * \text{index_prvku_v_poli}$
- Definici proměnné dochází k alokaci paměti pro uložení definovaného počtu hodnot příslušného typu.
- **Velikost pole statické délky nelze měnit.**

Garance souvislého přístupu k položkám pole.

Definice pole

- Hodnota proměnné typu pole je odkaz (adresa) na místo v paměti, kde je pole uloženo.
- Definice proměnné typu pole se skládá z typu prvků, jména proměnné a hranatých závorek [].

typ proměnná [];

- Závorky [] slouží také k přístupu (adresaci) prvku.

proměnná _typu _pole [index _prvku _pole]

Příklad definice proměnné typu pole hodnot typu int.
Alokace paměti pro až 10 prvků pole.

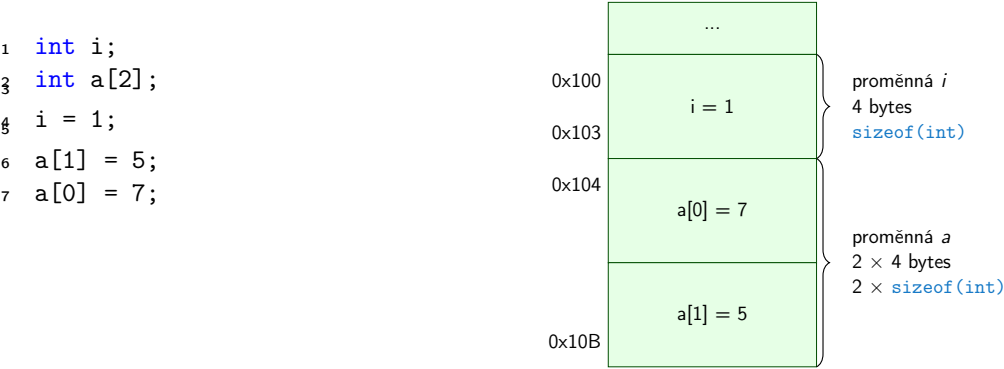
```
int array[10];  
printf("Size of array %lu\n", sizeof(array));  
printf("Item %i of the array is %i\n", 4, array[4]);  
Size of array 40  
Item 4 of the array is -5728
```

Tj. $10 \times \text{sizeof}(\text{int})$

Hodnoty pole nejsou inicializovány!

Pole – Příklad vizualizace alokace přiřazení hodnot

- Proměnná typu pole označuje na začátek paměti, kde jsou alokovány jednotlivé prvky pole.
 - Přístup k prvkům pole je prostřednictvím indexového operátoru [], který určí adresu prvku.
- Jako začátek paměti + číslo prvku $\times$ pamětová velikost prvku, proto je důležitý typ a všechny prvky pole jsou stejného typu.



Pro účely vizualizace začíná alokace proměnných na adrese 0x100. Automatické proměnné na zásobníku jsou však zpravidla alokovány od nižší adresy.

Pole (array)

- Pole je posloupnost prvků stejného typu.
- K prvkům pole se přistupuje pořadovým číslem prvku.
- Index prvního prvku je vždy roven 0.
- Prvky pole mohou být proměnné libovolného typu. *Těž strukturované typy, viz další přednáška.*
- Pole může být jednorozměrné nebo vícerozměrné. *Pole polí (...) prvků stejného typu.*
- Prvky pole určuje: jméno, typ, počet prvků.
- Prvky pole tvoří v paměti souvislou oblast!
- Velikost pole (v bajtech) je dána počtem prvků pole n a typem prvku, tj. $n \times \text{sizeof}(\text{typ})$.
- Textový řetězec je pole typu `char`, kde poslední prvek je `'\0'`.

C nekontroluje za běhu programu, zdali je index platný!

Např. přístup do pole `a[1000]`.

Pole – Příklad 1/3

- Definice jednorozměrného a dvourozměrného pole.
- Přístup k prvkům pole `m[1][2] = 2*1;`
- Příklad definice pole a tisk hodnot prvků

```
#include <stdio.h>  
int main(void)  
{  
    int array[5];  
    printf("Size of array: %lu\n", sizeof(array));  
    for (int i = 0; i < 5; ++i) {  
        printf("Item[%i] = %i\n", i, array[i]);  
    }  
    return 0;  
}
```

Size of array: 20
Item[0] = 1
Item[1] = 0
Item[2] = 740314624
Item[3] = 0
Item[4] = 0

lec04/array.c

Pole	Ukazatele	Funkce a předávání parametrů	Vstup a výstup programu	Ukazatele a pole	Textové řetězce
Pole – Příklad 2/3 – Definice pole					
<pre>1 #include <stdio.h> 3 int main(void) 4 { 5 int array[10]; 7 for (int i = 0; i < 10; i++) { 8 array[i] = i; 9 } 11 int n = 5; 12 int array2[n * 2]; 14 for (int i = 0; i < 10; i++) { 15 array2[i] = 3 * i - 2 * i * i; 16 } 18 printf("Size of array: %lu\n", sizeof(array)); 19 for (int i = 0; i < 10; ++i) { 20 printf("array[%i]=%+2i \t array2[%i]=%6i\n", i, array[i], i, array2[i]); 21 } 22 return 0; 23 }</pre>				<pre>Size of array: 40 array[0]=+0 array2[0]= 0 array[1]=+1 array2[1]= 1 array[2]=+2 array2[2]= -2 array[3]=+3 array2[3]= -9 array[4]=+4 array2[4]= -20 array[5]=+5 array2[5]= -35 array[6]=+6 array2[6]= -54 array[7]=+7 array2[7]= -77 array[8]=+8 array2[8]= -104 array[9]=+9 array2[9]= -135</pre>	
Jan Faigl, 2025	B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele				10 / 52

Pole	Ukazatele	Funkce a předávání parametrů	Vstup a výstup programu	Ukazatele a pole	Textové řetězce
Pole variabilní délky (VLA – Variable Length Array)					
■ C99 umožňuje definovat tzv. pole variabilní délky – délka pole je určena za běhu programu. <i>Dá se na to pohlížet jako na variantu dynamické alokace, ale na zásobníku. Pole variabilní délky však nelze v definici inicializovat.</i> ■ Délka pole může být, např. argument funkce, lokální pole definované ve funkci zaniká při opuštění funkce.					
<pre>1 void fce(int n) 2 { 3 int array[n]; 4 // počítání s array 5 { 6 int array2[n*2]; 7 } // po skončení bloku array2 8 // automaticky zaniká zde již 9 // není array2 přístupné 10 } // po skončení funkce, 11 // pole array automaticky zaniká</pre>	<pre>1 int *fce(int n) 2 { 3 int array[n]; 4 return array; // návratová 5 hodnota 6 // je adresa paměti pole array 7 // po opuštění funkce zaniká 8 // odkazuje tak neplatnou paměť 9 }</pre>	<pre>1 void fce(int n, int array[n]) 2 { 3 for (int i = 0; i < n; ++i) { 4 array[i] = i; 5 } 6 // proměnná array je ukazatel 7 // v hlavičce funkce však přímo 8 // vidíme, že n je velikost pole 9 // paměťového bloku na adrese 10 // uložené v array 11 }</pre>		Předávaná hodnota je adresa začátku pole – hodnota ukazatele! ■ VLA se alokuje na zásobníku (je relativně malý jednotky/desítky MB). Alokaci s ohledem na velikost zásobníku nemáme přímo pod kontrolou. VLA je tak potenciálně nebezpečné. <i>Pokud paměť na zásobníku dojde, program havaruje.</i>	
Jan Faigl, 2025	B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele				12 / 52

Pole	Ukazatele	Funkce a předávání parametrů	Vstup a výstup programu	Ukazatele a pole	Textové řetězce
Pole – Příklad 3/3 – Definice pole s inicializací					
<pre>1 #include <stdio.h> 3 int main(void) 4 { 5 int array[5] = {0, 1, 2, 3, 4}; 7 printf("Size of array: %lu\n", sizeof(array)); 8 for (int i = 0; i < 5; ++i) { 9 printf("Item[%i] = %i\n", i, array[i]); 10 } 11 return 0; 12 }</pre>				<pre>Size of array: 20 Item[0] = 0 Item[1] = 1 Item[2] = 2 Item[3] = 3 Item[4] = 4</pre>	
Jan Faigl, 2025	B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele				11 / 52

Pole	Ukazatele	Funkce a předávání parametrů	Vstup a výstup programu	Ukazatele a pole	Textové řetězce
Ukazatel (pointer)					
■ Ukazatel (pointer) je proměnná jejíž hodnota je adresa paměti jiné proměnné. ■ Pointer <i>odkazuje</i> na jinou proměnnou. <i>Odkazuje na oblast paměti, kde je uložena hodnota proměnné</i> ■ Ukazatel má typ proměnné, na kterou může ukazovat. <i>Důležité pro ukazatelovou aritmetiku</i> ■ Ukazatel na hodnoty (proměnné) základních typů: char, int, ... ■ „Ukazatel na pole“; <i>ukazatel na funkci</i>; <i>ukazatel na ukazatele</i> ■ Ukazatel může být též bez typu (void). ■ Velikost proměnné nelze z vlastnosti ukazatele určit. ■ Pak může obsahovat adresu libovolné proměnné. ■ Prázdná adresa ukazatele je definovaná hodnotou konstanty NULL. Textová konstanta (makro) preprocesoru definovaná jako „null pointer constant“. C99 – lze též použít „int“ hodnotu 0. C za běhu programu nekontroluje platnost adresy (hodnoty) ukazatele. <i>Ukazatele umožňují psát efektivní kódy, při nebezpečném používání mohou vést k chybám. Proto je důležité osvojit si princip nepřímého adresování a pochopit organizaci a přístup do paměti.</i>					
Jan Faigl, 2025	B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele				14 / 52

Referenční a dereferenční operátor

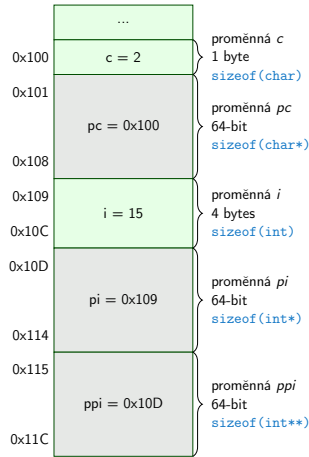
- **Referenční (adresní) operátor – &**
 - Vrací adresu paměti, kde je uložena hodnota proměnné, před kterou je uveden.
- **Dereferenční operátor – *** (operator hvězdička) zpřístupní hodnotu na adrese.
 - Vrací **l-hodnotu** (l-value) odpovídající hodnotě na adrese ukazatele.
- Umožňuje číst a zapisovat hodnotu na adrese dané obsahem ukazatele, např. ukazatel na hodnotu typu `int` (tj. `int *`).
 - `*p = 10;` // zápis hodnoty 10 na adresu uloženou v proměnné p
 - `int a = *p;` // čtení hodnoty z adresy uložené v p
- Pro tisk hodnoty ukazatele (adresy) lze ve funkci `printf()` použít řídicí řetězec `"%p"`.

```
1 int a = 10;
2 int *p = &a;
4 printf("Value of a %i, address of a %p\n", a, &a);
5 printf("Value of p %p, address of p %p\n", p, &p);
7 Value of a 10, address of a 0x7fffffff95c
8 Value of p 0x7fffffff95c, address of p 0x7fffffff950
```

Ukazatele – Příklad vizualizace alokace přiřazení hodnot

```
1 char c;
2 c = 10;
5 char *pc;
7 pc = &c;
9 int i = 17;
10 int *pi = &i;
12 *pi = 15;
13 *pc = 2;
15 int **ppi = &pi;
```

Pro účely vizualizace začíná alokace proměnných na adrese 0x100. Automatické proměnné na zásobníku jsou však zpravidla alokovány od horní adresy k adresám nižším.



- Ukazatele jsou proměnné, které uchovávají adresy jiných proměnných.

Proměnné typu ukazatel (pointer) – příklady

```
1 int i = 10; /* i -- promenna typu int
2           &i -- adresa promenne i */
4 int *pi;    /* definice promenne typu pointer
5           pi -- pointer na promenu typu int
6           *pi -- promenna typu int */
8 pi = &i;    /* do pi se ulozi adresa promenne i */
10 int b;     /* promenna typu int */
12 b = *pi;   /* do promenne b se ulozi obsah adresy ulozene v ukazeteli pi */
```

Ukazatel (pointer) – 2. příklad

```
1 printf("i: %d -- pi: %p\n", i, pi); // 10 0x7fffffff8fc
2 printf("&i: %p -- *pi: %d\n", &i, *pi); // 0x7fffffff8fc 10
3 printf("*(&i): %d -- &(*pi): %p\n", *(&i), &(*pi));
5 printf("i: %d -- *pj: %d\n", i, *pj); // 10 10
6 i = 20;
7 printf("i: %d -- *pj: %d\n", i, *pj); // 20 20
9 printf("sizeof(i): %lu\n", sizeof(i)); // 4
10 printf("sizeof(pi): %lu\n", sizeof(pi)); // 8
12 long l = (long)pi;
13 printf("0x%lx %p\n", l, pi); /* print l as hex -- %lx */
14 // 0x7fffffff8fc 0x7fffffff8fc
16 l = 10;
17 pi = (int*)l; /* possible but it is nonsense */
18 printf("l: 0x%lx %p\n", l, pi); // 0xa 0xa
```

lec04/pointers.c

Ukazatele (pointery), proměnné a jejich hodnoty

- Proměnné jsou názvy adres, kde jsou uloženy hodnoty příslušného typu.
- Kompilátor pracuje přímo s adresami.
V případě kompilace se zpravidla jedná o adresy relativní, které jsou absolutizovány při linkování nebo spouštění programu.
- Ukazatel (pointer) je proměnná, ve které je uložena adresa. Na této adrese se pak nachází hodnota nějakého typu (např. `int`).
- Ukazatele realizují tzv. **nepřímé adresování (indirect addressing)**.
- Dereferenční operátor `*` přistupuje na proměnnou adresovanou hodnotou ukazatele.
 - Hodnota je získána z adresy, která je uložena v paměti, na kterou odkazuje hodnota proměnné typu ukazatel.
- Operátor `&` vrací adresu, kde je uložena hodnota proměnné.

Funkce a předávání parametrů

- V C jsou **parametry funkce předávány hodnotou**.
- Parametry jsou lokální proměnné funkce (alokované na zásobníku), které jsou inicializované na hodnotu předávanou funkcí.

```
void fce(int a, char *b)
{ /*
  a - je lokální proměna typu int (uložena na zásobníku)
  b - je lokální proměna typu ukazatel na proměnou
      typu char (hodnota je adresa a je také na zásobníku)*/
}
```
- Lokální změna hodnoty proměnné neovlivňuje hodnotu proměnné vně funkce.
- Při předání ukazatele, však máme přístup na adresu původní proměnné, kterou můžeme měnit.
- **Ukazatelem v podstatě realizujeme „volání odkazem.“**

Ukazatele (pointery) a kódovací styl

- Typ ukazatel se značí symbolem `*`.
- `*` můžeme zapisovat u jména typu nebo jména proměnné.
- Preferujeme zápis u proměnné, abychom předešli omylům.

```
char* a, b, c;           char *a, *b, *c;
```

Pointer je pouze a *Všechny tři proměnné jsou ukazatele.*
- Zápis typu ukazatele na ukazatel `char **a;`.
- Zápis pouze typu (bez proměnné): `char*` nebo `char**`.
- Ukazatel na proměnnou prázdného typu zapisujeme jako `void *ptr`.
- Prokazatelně neplatná adresa má symbolické jméno `NULL`.
Definovaná jako makro preprocesoru (C99 lze použít 0).
- Proměnné v C nejsou automaticky inicializovány a ukazatele tak mohou odkazovat na neplatnou paměť, proto může být vhodné explicitně inicializovat ukazatele na `0` nebo `NULL`.
Např. `int *i = NULL;`

Funkce a předávání parametrů – příklad

- Proměnná `a` realizuje **volání hodnotou**, proměnná `b` realizuje „**volání odkazem**.“

```
1 void fce(int a, char* b)
2 {
3     a += 1;
4     (*b)++;
5 }
6 int a = 10;
7 char b = 'A';
8 printf("Before call a: %d b: %c\n", a, b);
9 fce(a, &b);
10 printf("After call a: %d b: %c\n", a, b);
```
- Výstup
Before call a: 10 b: A
After call a: 10 b: B
lec04/function_call.c

PoleUkazateleFunkce a předávání parametrůVstup a výstup programuUkazatele a poleTextové řetězce

Funkce main a její tvary

- Základní tvar funkce `main`

```
int main(int argc, char *argv[]) { ... }
```
- Alternativně pak také

```
int main(int argc, char **argv) { ... }
```
- Argumenty funkce nejsou nutné

```
int main(void) { ... }
```
- Rozšířená funkce o nastavení proměnných prostředí

Pro Unix a MS Windows

```
int main(int argc, char **argv, char **envp) { ... }  
Přístup k proměnným prostředí funkcí getenv() z knihovny <stdlib.h>.  
lec04/main_env.c
```
- Rozšířená funkce o specifické parametry Mac OS X

```
1 int main(int argc, char **argv, char **envp, char **apple);
```

Jan Faigl, 2025B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele24 / 52

PoleUkazateleFunkce a předávání parametrůVstup a výstup programuUkazatele a poleTextové řetězce

Předávání parametrů programu

- Při spuštění programu můžeme předat parametry programu prostřednictvím argumentů.

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     printf("Number of arguments %i\n", argc);
6     for (int i = 0; i < argc; ++i) {
7         printf("argv[%i] = %s\n", i, argv[i]);
8     }
9     return argc > 1 ? 0 : 1;
10 }
```

clang demo-arg.c -o arg
./arg one two three
Number of arguments 4
argv[0] = ./arg
argv[1] = one
argv[2] = two
argv[3] = three
lec04/demo-arg.c
- Voláním `return` ve funkci `main()` vrátíme z programu návratovou hodnotu, se kterou můžeme dále pracovat.

Např. v interpretu příkazů (shellu).

```
./arg >/dev/null; echo $?  
1  
./arg first >/dev/null; echo $?  
0
```

 - Návratová hodnota programu je uložena v proměnné `$?`, kterou lze vypsát příkazem `echo`.
 - `>/dev/null` přeměruje standardní výstup do `/dev/null`.

Jan Faigl, 2025B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele27 / 52

PoleUkazateleFunkce a předávání parametrůVstup a výstup programuUkazatele a poleTextové řetězce

Argumenty funkce main

- Základní tvar funkce `main`

```
1 int main(int argc, char *argv[]) { ... }
```
- `argc` – obsahuje počet argumentů programu.

Včetně jména spouštěného programu.

 - Argumenty jsou textové řetězce oddělené mezerou (bílým znakem).
- `argv` – pole ukazatelů na hodnoty typu `char`.

Typ „čteme“ zprava doleva.

 - Pole `argv` má velikost (počet prvku) daný hodnotou `argc`.
 - Každý prvek pole `argv[i]` obsahuje adresu, kde je uložen textový řetězec argumentu (typ `char*`).
 - Textový řetězec (argument) je posloupnost znaků (typ `char`) zakončený znakem `'\0'`.

„null character“ – konec textového řetězce
 - Alokace paměti pro uložení argumentů (textových řetězců) je provedena při spuštění programu.

V případě programu pro OS zajišťuje zavaděč programu („loader“) a standardní knihovna C.

Jan Faigl, 2025B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele25 / 52

PoleUkazateleFunkce a předávání parametrůVstup a výstup programuUkazatele a poleTextové řetězce

Interakce programu s uživatelem

- Funkce `int main(int argc, char *argv[])`
 - Při spuštění programu lze předat parametry (textové řetězce).
 - Při ukončení programu lze předat návratovou hodnotu.

Konvence 0 bez chyb, ostatní hodnoty chybový kód.
- Při běhu programu lze číst ze standardního vstupu a zapisovat na standardní výstup.

Např. `scanf()` nebo `printf()`
- Při spuštění programu lze vstup i výstup přesměrovat z/do souboru.

Program tak nečeká na vstup uživatele (stisk klávesy „Enter“).
- Každý program (terminálový) má standardní vstup (`stdin`) a výstup (`stdout`) a dále pak standardní chybový výstup (`stderr`), které lze v shellu přesměrovat.

```
./program <stdin.txt >stdout.txt 2>stderr.txt
```
- Alternativou k `scanf()` a `printf()` lze využít `fscanf()` a `fprintf()`.
 - Funkce mají první argument soubor jinak, je syntax identická.
 - Soubory/proudy `stdin`, `stdout` a `stderr` jsou definovány v `<stdio.h>`.

Jan Faigl, 2025B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele28 / 52

Příklad programu s výstupem na stdout a přesměrováním

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int ret = 0;
6     fprintf(stdout, "Program has been called as %s\n", argv[0]);
7     if (argc > 1) {
8         fprintf(stdout, "1st argument is %s\n", argv[1]);
9     } else {
10        fprintf(stdout, "1st argument is not given\n");
11        fprintf(stderr, "At least one argument must be given!\n");
12        ret = -1;
13    }
14    return ret;
15 }
```

lec04/demo-stdout.c

■ Příklad výstupu – `clang demo-stdout.c -o demo-stdout`

```
./demo-stdout; echo $?          ./demo-stdout 2>stderr
Program has been called as ./demo-stdout
1st argument is not given      Program has been called as ./demo-stdout
```

Jan Faigl, 2025

B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele

29 / 52

Příklad kompilace funkce s předáváním pole 1/2

■ Argument funkce je pole.

```
1 void fce(int array[])
2 {
3     int local_array[] = { 2, 4, 6 };
4     printf("sizeof(array) = %lu -- sizeof(local_array) = %lu\n",
5           sizeof(array), sizeof(local_array));
6     for (int i = 0; i < 3; ++i) {
7         printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i], i, local_array[i]);
8     }
9 }
10 ...
11 int array[] = { 1, 2, 3 };
12 fce(array);
```

lec04/fce_array.c

■ Po překladi (`gcc -std=c99`) na amd64

- `sizeof(array)` vrátí velikost 8 bajtů (64-bitová adresa);
- `sizeof(local_array)` vrátí velikost 12 bajtů (3×4 bajty – `int`).

■ Pole se funkcím předává jako ukazatel na adresu prvního prvku.

Jan Faigl, 2025

B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele

32 / 52

Ukazatele (pointery) a pole

■ Pointer ukazuje na vyhrazenou část paměti proměnné.

Předpokládáme správné použití.

■ Pole je označení souvislého bloku paměti.

```
int *p; //ukazatel (adresa) kde je ulozena hodnota int
int a[10]; //souvisly blok pameti pro 10 int hodnot
sizeof(p); //pocet bytu pro ulozeni adresy (8 pro 64bit)
sizeof(a); //velikost alokovaneho pole je 10*sizeof(int)
```

■ Obě proměnné odkazují na paměť, kompilátor s nimi však pracuje **rozdílně**.

- Proměnná typu pole je symbolické jméno pro místo v paměti, kde jsou uloženy hodnoty prvků pole. *Kompilátor nahrazuje jméno přímo pamětovým místem.*
- Ukazatel obsahuje adresu, na které je příslušná hodnota (nepřímé adresování).

■ Při předávání pole jako parametru funkce je předáváno pole jako pointer (ukazatel).

Viz kompilace souboru `main_env.c` překladačem `clang`.

Jan Faigl, 2025

B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele

31 / 52

Příklad kompilace funkce s předáváním pole 2/2

■ Kompilátor `clang` (ve výchozím nastavení) upozorňuje na záměnu `int*` za `int []`.

```
clang fce_array.c
fce_array.c:7:16: warning: sizeof on array function parameter will
return size
of 'int *' instead of 'int []' [-Wsizeof-array-argument]
    sizeof(array), sizeof(local_array));
    ^
fce_array.c:3:14: note: declared here
void fce(int array[])
    ^
1 warning generated.
```

lec04/fce_array.c

- Program lze zkompileovat, ale u předávaného pole se nelze spoléhat na velikost `sizeof`.
- Ukazatel nenese informaci o velikosti alokované paměti!

Pole ano „hlídá za nás kompilátor.“

Jan Faigl, 2025

B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele

33 / 52

Ukazatele a pole

■ Proměnná pole `int a[3] = {1,2,3};`

a odkazuje na adresu prvního prvku pole.

■ Proměnná ukazatel `int *p = a;`

Ukazatel `p` obsahuje adresu prvního prvku pole.

■ Hodnota `a[0]` přímo reprezentuje hodnotu na adrese `0x10`.

■ Hodnota `p` je adresa `0x10`, kde je uložena hodnota prvního prvku pole.

■ Přiřazení `p = a` je legitimní.

■ Přístup ke druhému prvku lze `a[1]` nebo `p[1]`.

■ Oběma přístupy se dostaneme na příslušné prvky pole, způsob je však odlišný — ukazatele využívají tzv. *pointerovou aritmetiku*.

variable names

a →

int a[3]={1,2,3};

1

2

3

0x10

0x14

0x18

p →

0x10

0x1C

p=a;

Kompilátor zajistí přiřazení adresy prvního prvku do ukazatele.

memory

<http://eli.thegreenplace.net/2009/10/21/are-pointers-and-arrays-equivalent-in-c>

Jan Faigl, 2025 B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele 34 / 52

Pole Ukazatele Funkce a předávání parametrů Vstup a výstup programu Ukazatele a pole Textové řetězce

Příklad předání ukazatele na pole

■ Předáním pole jako ukazatele nemáme informaci o počtu prvků.

■ Proto můžeme explicitně předat počet prvků v proměnné `n`.

```
#include <stdio.h>
void fce(int n, int *array);
int main(void)
{
    int array[] = {1, 2, 3};
    fce(sizeof(array)/sizeof(*array), array); // určení počtů prvků pole
    // Správně pouze pokud array je lokální statické pole s velikostí známou při překladu.
    return 0;
}
void fce(int n, int *array) // array je lokální proměnná
{ // typu ukazatel, můžeme změnit obsah paměti proměnné definované v main()
    int local_array[] = {2, 4, 6};
    printf("sizeof(array) = %lu, n = %i -- sizeof(local_array) = %lu\n",
           sizeof(array), n, sizeof(local_array));
    for (int i = 0; i < 3 && i < n; ++i) { //testujeme take n!
        printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i], i, local_array[i]);
    }
}
```

lec04/fce_pointer.c

■ Přes ukazatel `array` v `fce()` máme přístup do pole definovaného v `main()`.

Jan Faigl, 2025 B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele 36 / 52

Pole Ukazatele Funkce a předávání parametrů Vstup a výstup programu Ukazatele a pole Textové řetězce

Příklad ukazatele a pole

```
1 int a[] = { 1, 2, 3, 4 };
2 int b[] = { [3] = 10, [1] = 1, [2] = 5, [0] = 0 }; //initialization
4 // b = a; It is not possible to assign arrays
5 for (int i = 0; i < 4; ++i) {
6     printf("a[%i] = %3i    b[%i] = %3i\n", i, a[i], i, b[i]);
7 }
9 int *p = a; //you can use *p = &a[0], but not *p = &a
10 a[2] = 99;
12 printf("\nPrint content of the array 'a' with pointer arithmetic\n");
13 for (int i = 0; i < 4; ++i) {
14     printf("a[%i] = %3i    p+%i = %3i\n", i, a[i], i, *(p+i));
15 }
```

a[0] = 1 b[0] = 0

a[1] = 2 b[1] = 1

a[2] = 3 b[2] = 5

a[3] = 4 b[3] = 10

Print content of the array 'a' using pointer arithmetic

a[0] = 1 p+0 = 1

a[1] = 2 p+1 = 2

a[2] = 99 p+2 = 99

a[3] = 4 p+3 = 4

lec04/array_pointer.c

Jan Faigl, 2025 B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele 35 / 52

Pole Ukazatele Funkce a předávání parametrů Vstup a výstup programu Ukazatele a pole Textové řetězce

Příklad předání pole včetně velikosti využitím VLA

■ VLA (Variable Length Array) – délka pole určena za běhu programu. Pole je však stále předáváno jako ukazatel.

Získáváme tak především přehlednost kódu.

```
1 void print_array(int n, int a[n]);
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int n = 10;
6     if (argc > 1 && sscanf(argv[1], "%d", &n) != 1) {
7         fprintf(stderr, "Warning: cannot parse number from argv[1]!\n");
8     }
9     printf("Size of the array is %lu\n", sizeof(array));
10    int array[n]; //vla array size depends on n
11    for (int i = 0; i < n; ++i) {
12        array[i] = 2*i;
13    }
14    print_array(n, array);
15    return 0;
16 }
18 void print_array(int n, int a[n])
19 {
20     printf("Size of the array a is %lu\n", sizeof(a));
21     for (int i = 0; i < n; ++i) {
22         printf("array[%i]=%i\n", i, a[i]);
23     }
24 }
```

lec04/fce_vla.c

Program je funkční (nebo alespoň budí takový dojem). Co na něm **není správně?**

Jan Faigl, 2025 B0B36PRP – Přednáška 04: Pole a ukazatele 37 / 52

Vícerozměrná pole

- Pole můžeme definovat jako vícerozměrná, např. 2D matice.

```
1 int m[3][3] = {
2     { 1, 2, 3 },
3     { 4, 5, 6 },
4     { 7, 8, 9 }
5 };
7 printf("Size of m: %lu == %lu\n", sizeof(m), 3*3*sizeof(int));
9 for (int r = 0; r < 3; ++r) {
10     for (int c = 0; c < 3; ++c) {
11         printf("%3i", m[r][c]);
12     }
13     printf("\n");
14 }
```

Size of m: 36 == 36
1 2 3
4 5 6
7 8 9
lec04/matrix.c

Pole a vícerozměrná pole jako parametr funkce

- Parametr funkce je ukazatel na pole, např. typu `int m[3][3]`.

```
1 int (*p)[3] = m; // pointer to array of int
3 printf("Size of p: %lu\n", sizeof(p));
4 printf("Size of *p: %lu\n", sizeof(*p)); // 3 * sizeof(int) = 12
```

Size of p: 8
Size of *p: 12

- Funkci nelze deklarovat s argumentem typu `[][]`, např.

```
int fce(int a[] []);
```

neboť kompilátor nemůže určit adresu pro přístup na `a[i][j]`, neboť se používá adresová aritmetika odpovídající 2D poli.

Pro `int m[row][col]` totiž `m[i][j]` odpovídá hodnotě na adrese `*(m + col * i + j)`

- Je však možné funkci deklarovat například jako

- `int g(int a[]);` což odpovídá deklaraci `int g(int *a);`
- `int fce(int a[][13]);` – je znám počet sloupců
- nebo `int fce(int a[3][3]);`.

Vícerozměrná pole a vnitřní reprezentace

- Vícerozměrné pole je **vždy** souvislý blok paměti.

Např. `int a[3][3];` reprezentuje alokovanou paměť o velikosti `9*sizeof(int)`, tj. zpravidla 36 bytů. Operátor `[]` nám tak především zjednodušuje zápis programu.

```
1 int *pm = (int *)m; // ukazatel na souvislou oblast m
2 printf("m[0][0]=%i m[1][0]=%i\n", m[0][0], m[1][0]); // 1 4
3 printf("pm[0]=%i pm[3]=%i\n", m[0][0], m[1][0]); // 1 4
```

lec04/matrix.c

- Dvourozměrné pole lze také definovat jako ukazatel na ukazatele (pole ukazatelů) na hodnoty konkrétního typu, např.

- `int **a;` – ukazatel na ukazatele.
- V obecném případě však takový ukazatel nemusí odkazovat na souvislou oblast, kde jsou alokovány jednotlivé prvky.
- Proto při přístupu jako do jednorozměrného pole

```
int *b = (int *)a;
```

nelze garantovat přístup do druhého řádku jako v přechozím příkladě.

Inicializace pole

- Při definici můžeme hodnoty prvků pole inicializovat postupně nebo indexovaně.
2D pole jsou inicializována po řádcích.
- Při částečné inicializaci jsou ostatní prvky nastaveny na 0.

```
1 #define ROWS 3
2 #define COLS 3
3 void print(int rows, int cols, int m[rows][cols])
4 {
5     for (int r = 0; r < rows; ++r) {
6         for (int c = 0; c < cols; ++c) {
7             printf("%4i", m[r][c]);
8         }
9         printf("\n");
10    }
11 }
13 int m0[ROWS][COLS];
14 int m1[ROWS][COLS] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 };
15 int m2[ROWS][COLS] = { 1, 2, 3 };
16 int m3[ROWS][COLS] =
17 { [0][0] = 1, [1][1] = 2, [2][2] = 3 };
19 print(ROWS, COLS, m0);
20 print(ROWS, COLS, m1);
21 print(ROWS, COLS, m2);
22 print(ROWS, COLS, m3);
```

m0 - not initialized
-584032767743694227
0 1 0
740314624 0 0
m1 - init by rows
1 2 3
4 5 6
7 8 9
m2 - partial init
1 2 3
0 0 0
0 0 0

Řetězcové literály

- Formát – posloupnost znaků a řídicích znaků (escape sequences) uzavřená v uvozovkách.
"Řetězcová konstanta s koncem řádku\n"
 - Řetězcové konstanty oddělené oddělovači (white spaces) se sloučí do jediné, např.
"Řetězcová konstanta" " s koncem řádku\n"
se sloučí do
"Řetězcová konstanta s koncem řádku\n".

- Typ
 - Řetězcová konstanta je uložena v poli typu char a zakončená znakem '\0'.
Např. řetězcová konstanta "word" je uložena jako

'w'	'o'	'r'	'd'	'\0'
-----	-----	-----	-----	------

Pole tak musí být vždy o 1 položku delší než je vlastní text!

Načítání textových řetězců

- Správnost alokace vstupních argumentů je zajištěna při spuštění.
int main(int argc, char *argv[])
 - Načtení textového řetězce funkcí scanf().
 - Použitím %s může dojít k přepisu paměti.

```
1 char str0[4] = "PRP"; // +1 \0
2 char str1[5]; // +1 for \0
3 printf("String str0 = '%s'\n", str0);
4 printf("Enter 4 chars: ");
5 scanf("%s", str1);
6 printf("You entered string '%s'\n", str1);
7 printf("String str0 = '%s'\n", str0);
```

Příklad výstupu programu:

String str0 = 'PRP'

Enter 4 chars: 1234567

You entered string '1234567'

String str0 = '67'

lec04/str_scanf-bad.c

- Načtení maximálně 4 znaků zajistíme řídicím řetězcem "%4s".

```
1 char str0[4] = "PRP";
2 char str1[5];
3 ...
4 scanf("%4s", str1);
5 printf("You entered string '%s'\n", str1);
6 printf("String str0 = '%s'\n", str0);
```

Příklad výstupu programu:

String str0 = 'PRP'

Enter 4 chars: 1234567

You entered string '1234'

Textový řetězec

- Textový řetězec můžeme inicializovat jako pole znaků, tj. char[].

```
1 char str[] = "123";
2 char s[] = {'5', '6', '7' };
3
4 printf("Size of str %lu\n", sizeof(str));
5 printf("Size of s %lu\n", sizeof(s));
6 printf("str '%s'\n", str);
7 printf(" s '%s'\n", s);
```

Size of str 4
Size of s 3
str '123'
s '567123'
lec04/array_str.c

- Pokud není řetězec zakončen znakem '\0', jako v případě proměnné char s[], pokračuje výpis řetězce až do nejbližšího znaku '\0'.
- Na textový řetězec lze odkazovat ukazatelem na znak char*.

```
1 char *sp = "ABC";
2 printf("Size of ps %lu\n", sizeof(sp));
3 printf(" ps '%s'\n", sp);
```

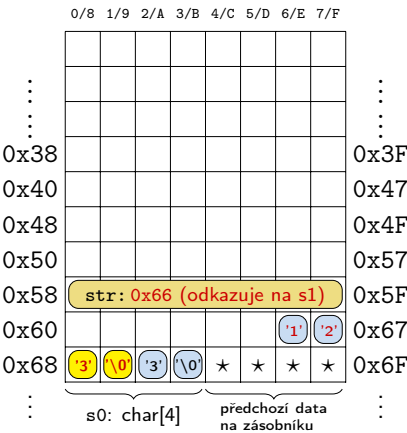
Size of ps 8
ps 'ABC'

- Velikost ukazatele je 8 bytů (pro 64-bit architekturu).
- Textový řetězec musí být zakončen znakem '\0'.

Alternativně lze řešit vlastní implementaci s explicitním uložením délky řetězce.

Řetězce, ukazatele a pole – Příklad vizualizace

```
1 char s0[4] = "PRP";
2 char s1[2];
3 char *str = NULL;
4
5 str = s0; // str je ukazatel
6
7 str[2] = 'G'; // nepřímé adresování
8
9 // s1 zatím není null-terminated
10 s1[0] = 'X';
11 s1[1] = '\0';
12
13 set_string(s0); // pole jako ukazatel
14
15 // pohled na řetězce jako pole znaků
16 str = s1;
17 set_string(str);
18 ...
19
21 void set_string(char *s)
22 {
23     strcpy(s, "123");
24 }
```



Zjištění délky textového řetězce

- Textový řetězec v C je posloupnost znaků zakončená znakem `'\0'`.

Je to souvislý blok paměti zakončený `'\0'`.

- Paměť (blok znaků) alokujeme jako proměnnou typu pole `char[]`.
- Řetěz je ukazatel, hodnota je adresa v paměti, kde začíná posloupnost znaků, typ `char*`.

Např. textový literál `char *str = "Textový literál";`.

- Délku textového řetězce lze zjistit sekvenčním procházením odkazované části paměti znak po znaku až k `'\0'`.
 - Funkce `strlen()` ze standardní knihovny `<string.h>` pro práci s řetězci.
 - Z principu má takový dotaz na **délku řetězce lineární složitost $O(n)$** .

```
1 int getLength(char *str)
2 {
3     int ret = 0;
4     while (str && str[ret] != '\0') {
5         ret += 1;
6     }
7     return ret;
8 }
```

```
1 for (int i = 0; i < argc; ++i) {
2     printf("argv[%i]: getLength = %i -- strlen = %lu\n", i,
3           getLength(argv[i]), strlen(argv[i]));
4 }
```

```
$ clang string_length.c && ./a.out
argv[0]: getLength = 7 -- strlen = 7
```

lec04/string_length.c

Práce s textovými řetězci

- V C jsou řetězce pole znaků zakončené znakem `'\0'`.
- Základní operace jsou definovány v knihovně `<string.h>`, například pro kopírování nebo porovnání řetězců.
 - `char* strcpy(char *dst, char *src);`
 - `int strcmp(const char *s1, const char *s2);`
 - Funkce předpokládají dostatečný rozsah alokovaných polí
 - Funkce s explicitním limitem na maximální délku řetězců: `char* strncpy(char *dst, char *src, size_t len); int strncmp(const char *s1, const char *s2, size_t len);`
- Převod řetězce na číslo – `<stdlib.h>`
 - `atoi()`, `atof()` – převod celého a necelého čísla.
 - `long strtol(const char *nptr, char **endptr, int base);`
 - `double strtod(const char *nptr, char **restrict endptr);`
 - Funkce `atoi()` a `atof()` jsou „*obsolete*“, ale mohou být rychlejší.
 - Alternativně také např. `sscanf()`.

Více viz `man strcpy, strcmp, strtol, strtod, sscanf`.

Část II

Část 2 – Zadání 4. domácího úkolu (HW04)

Zadání 4. domácího úkolu HW04

Téma: Čestnost výskytu znaků

Povinné zadání: **3b**; Volitelné zadání: *není*; Bonusové zadání: *není*

- Motivace:** Rozvinout znalost pole, načítání a kontroly vstupu.
- Cíl:** Osvojit si zpracování textu jako pole znaků.
- Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw04>
 - Načtení textu (věty) jako posloupnosti znaků prvočinitele a určit počet výskytů znaků abecedy `'a'-'z'` a `'A'-'Z'` bez rozlišení malých velkých písmen.
- Termín odevzdání:** **08.11.2025, 23:59:59 PST.** *PST – Pacific Standard Time*

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Jednorozměrná a vícerozměrná pole a jejich inicializace
- Ukazatel
- Textový řetězec
- Rozdíl mezi polem a ukazatelem
- Předávání polí funkcím
- Vstup a výstup programu - argumenty programy a návratová hodnota
- **Příště: Ukazatele, dynamická alokace, práce s textem.**

Kódovací příklad – hexdump – 1/4

- Implementujme program, který vytiskne vstup načtený ze `stdin` na `stdout` v `hexa` formátu.
- Program vypíše na `stdout` nejvýše **16 hodnot** na řádek, oddělených čárkou.

Obdoba programu `hexdump`.

```
$ cat hw01-2.out
Desitková soustava: 3759 -10000
Sestnactková soustava: eaf ffffd8f0
Soucet: 3759 + -10000 = -6241
Rozdil: 3759 - -10000 = 13759
Soucin: 3759 * -10000 = -37590000
Podil: 3759 / -10000 = 0
Prumer: -3120.5
$ hexdump -C hw01-2.out
00000000 44 65 73 69 74 6b 6f 76 61 20 73 6f 75 73 74 61 |Desitkova sousta|
00000010 76 61 3a 20 33 37 35 39 20 2d 31 30 30 30 30 0a |va: 3759 -10000.|
00000020 53 65 73 74 6e 61 63 74 6b 6f 76 61 20 73 6f 75 |Sestnactkova sou|
00000030 73 74 61 76 61 3a 20 65 61 66 20 66 66 66 66 64 |stava: eaf ffffd|
00000040 38 66 30 0a 53 6f 75 63 65 74 3a 20 33 37 35 39 |8f0.Soucet: 3759|
00000050 20 2b 20 2d 31 30 30 30 20 3d 20 2d 36 32 34 | + -10000 = -624|
00000060 31 0a 52 6f 7a 64 69 6c 3a 20 33 37 35 39 20 2d |i.Rozdil: 3759 -|
00000070 20 2d 31 30 30 30 20 3d 20 31 33 37 35 39 0a | -10000 = 13759.|
00000080 53 6f 75 63 69 6a 3a 20 33 37 35 39 20 2a 20 2d |Soucin: 3759 * -|
00000090 31 30 30 30 20 3d 20 2d 33 37 35 39 30 30 30 |10000 = -3759000|
000000a0 30 0a 50 6f 64 69 6c 3a 20 33 37 35 39 20 2f 20 |0.Podil: 3759 / |
000000b0 2d 31 30 30 30 20 3d 20 30 0a 50 72 75 6d 65 |-10000 = 0.Prume|
000000c0 72 3a 20 2d 33 31 32 30 2e 35 0a |r: -3120.5.|
000000cb
```

```
$ clang hexdump.c -o hexdump && ./hexdump < hw01-2.out
HEXDUMP:
44, 65, 73, 69, 74, 6b, 6f, 76, 61, 20, 73, 6f, 75, 73, 74, 61
76, 61, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2d, 31, 30, 30, 30, 30, 0a
53, 65, 73, 74, 6e, 61, 63, 74, 6b, 6f, 76, 61, 20, 73, 6f, 75
73, 74, 61, 76, 61, 3a, 20, 65, 61, 66, 20, 66, 66, 66, 66, 64
38, 66, 30, 0a, 53, 6f, 75, 63, 65, 74, 3a, 20, 33, 37, 35, 39
20, 2b, 20, 2d, 31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 2d, 36, 32, 34
31, 0a, 52, 6f, 7a, 64, 69, 6c, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2d
20, 2d, 31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 31, 33, 37, 35, 39, 0a
53, 6f, 75, 63, 69, 6e, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2a, 20, 2d
31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 2d, 33, 37, 35, 39, 30, 30, 30
30, 0a, 50, 6f, 64, 69, 6c, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2f, 20
2d, 31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 30, 0a, 50, 72, 75, 6d, 65
72, 3a, 20, 2d, 33, 31, 32, 30, 2e, 35, 0a
HEXDUMP END
```

- Na `stderr` vypíše na začátku `"HEXDUMP: \n"` a na konci `"HEXDUMP END \n"`.

Kódovací příklad – hexdump – 2/4

- Program napíšeme nejdříve kreativně, ale s počtem hodnot na řádek `MAX_WIDTH`.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
4  #ifndef MAX_WIDTH
5  #define MAX_WIDTH 16
6  #endif
8  int main(void)
9  {
10     int ret = EXIT_SUCCESS;
11     int n = 0; // initialize
12     int c; // we do not need to init.
14     fprintf(stderr, "HEXDUMP:\n");
15     while ((c = getchar()) != EOF) {
16         if (n >= MAX_WIDTH) {
17             n = 0;
18             putchar('\n');
19         }
20         if (n > 0) {
21             printf(", ");
22         }
23         printf("%02x", c);
24         n += 1;
25     } //end while loop
26     if (n > 0) {
27         putchar('\n');
28     }
29     fprintf(stderr, "HEXDUMP END\n");
30     return ret;
31 }
```

Kódovací příklad – hexdump – 4/4

- Program spustíme s přesměrováním `stdin` ze souboru, např. `hw01-2.out` a přesměrováním výstupu `stdout` do souboru `hex.out`.
- Při kompilaci definujeme počet hodnot na řádek `MAX_WIDTH=20` a program spustíme s přesměrováním `stderr` do souboru `hex.err`.

```
$ clang hexdump-2.c -o hexdump && ./hexdump < hw01-2.out > hex.out
HEXDUMP:
HEXDUMP END
$ cat hex.out
44, 65, 73, 69, 74, 6b, 6f, 76, 61, 20, 73, 6f, 75, 73, 74, 61, 3a, 20
76, 61, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2d, 31, 30, 30, 30, 30, 0a
53, 65, 73, 74, 6e, 61, 63, 74, 6b, 6f, 76, 61, 20, 73, 6f, 75
73, 74, 61, 76, 61, 3a, 20, 65, 61, 66, 20, 66, 66, 66, 66, 64
38, 66, 30, 0a, 53, 6f, 75, 63, 65, 74, 3a, 20, 33, 37, 35, 39
20, 2b, 20, 2d, 31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 2d, 36, 32, 34, 31, 0a, 52, 6f
31, 0a, 52, 6f, 7a, 64, 69, 6c, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2d
20, 2d, 31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 31, 33, 37, 35, 39, 0a
53, 6f, 75, 63, 69, 6e, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2a, 20, 2d
31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 2d, 33, 37, 35, 39, 30, 30, 30
30, 0a, 50, 6f, 64, 69, 6c, 3a, 20, 33, 37, 35, 39, 20, 2f, 20
2d, 31, 30, 30, 30, 20, 3d, 20, 30, 0a, 50, 72, 75, 6d, 65
72, 3a, 20, 2d, 33, 31, 32, 30, 2e, 35, 0a
```

```
$ clang -DMAX_WIDTH=20 hexdump.c -o hexdump && ./hexdump <hw01-2.out 2> hex.err
$ cat hex.err
HEXDUMP:
HEXDUMP END
```

- Obsah `stderr` není přesměrován, proto se vypíše na terminál.

Vyzkoušejte program s přesměrováním binárního souboru na `stdin` našeho `hexdump`.

Kódovací příklad – hexdump – 3/4

- Program upravíme redukcí počtu zanoření vyjmutím (dekompozice).

```
8  void print_hex(int c, int *n);
10 int main(void)
11 {
12     int n = 0;
13     int c; // we do not need to init
15     fprintf(stderr, "HEXDUMP:\n");
16     while ((c = getchar()) != EOF) {
17         print_hex(c, &n);
18     } //end while loop
19     if (n > 0) {
20         putchar('\n'); // final EOL
21     }
22     fprintf(stderr, "HEXDUMP END\n");
23     return EXIT_SUCCESS; // always ok
24 }
```

```
15 void print_hex(int c, int *n)
16 {
17     if (*n >= MAX_WIDTH) {
18         *n = 0;
19         putchar('\n');
20     }
21     if (*n > 0) {
22         printf(", ");
23     }
24     printf("%02x", c);
25     *n += 1;
26 }
```

- Předávání ukazatele (adresy) proměnné `n` je nutné.
- Vyzkoušejte chování programu s předáváním hodnoty `n`.
`void print_hex(int c, int n);`

Ukazatelová (pointerová) aritmetika

- S ukazately (pointery) lze provádět aritmetické operace `+` a `-` (přičítat nebo odčítat celé číslo).
 - `ukazatel = ukazatel stejného typu + (nebo -) a celé číslo (int)`.
 - Nebo lze používat zkrácený zápis např. `ukazatel += 1` a unární operátory např. `ukazatel++`.
- Aritmetické operace jsou užitečné pokud ukazatel odkazuje na více položek daného typu (souvislý blok paměti).
 - Např. pole položek příslušného typu;
 - Dynamicky alokovaný souvislý blok paměti.
- Přičtením hodnoty celého čísla k pointeru „posouváme“ hodnotu pointeru na další prvek, např.

```
1  int a[10];
2  int *p = a;
4  int i = *(p+2); //odkazuje na hodnotu 3. prvku pole a
```

- Podle typu ukazatele se hodnota adresy příslušně zvýší.
- `(p+2)` je ekvivalentní adrese `p + 2*sizeof(int)`.
- Příklad použití viz `lec04/pointers_and_array.c`

Příklad ukazatelové aritmetiky

- Ukazatel je proměnná jejíž hodnota je adresa v paměti.
- Uazatelová aritmetika zohledňuje typ proměnné, její velikost v paměti.
- Přičtením hodnoty 1 k proměnné typu ukazatel je vypočtena adresa následujícího prvku, adresa je zvětšena o hodnotu odpovídající sizeof() příslušného typu.

```
1 int getLength(char *str)
2 {
3     int ret = 0;
4     while (str && str[ret] != '\0') {
5         ret += 1;
6     }
7     return ret;
8 }
```

```
1 int getLengthPtr1(char *str)
2 {
3     int ret = 0;
4     while (str && (*str++) != '\0') {
5         ret += 1;
6     }
7     return ret;
8 }
```

```
1 int getLengthPtr2(char *str)
2 {
3     int ret = 0;
4     while (str && (*str++)) ret += 1;
5     return ret;
6 }
```

- Textový řetězec můžeme interpretovat jako pole znaků char[] nebo ukazatel char*.

lec04/string_length.c