

Pole, ukazatel, textový řetězec, vstup a výstup programu

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 05

BOB36PRP – Procedurální programování

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 1 / 50

Pole

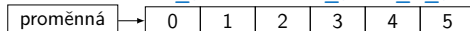
- Datová struktura pro uložení **více hodnot stejného typu**
- Slouží k reprezentaci posloupnosti hodnot v paměti

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“ = velikost_prvku * index_prvku_v_poli



- Proměnná typu pole reprezentuje adresu vyhrazeného paměťového prostoru, kde jsou hodnoty uloženy

$Adresa_prvku = adresa_prvního_prvku + velikost_typu * index_prvku_v_poli$

- 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

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 5 / 50

Pole – Příklad 1/3

- Definice jednorozměrného a **dvourozměrného** pole

```
/* jednorozmerne pole prvku typu char */  
char simple_array[10];
```

```
/* dvourozmerne pole prvku typu int */  
int two_dimensional_array[2][2];
```

- Přístup k prvkům pole

```
m[1][2] = 2*1;
```

- Příklad definice pole a tisk hodnot prvků

```
1 #include <stdio.h>                               Size of array: 20  
2                                                     Item[0] = 1  
3 int main(void)                                     Item[1] = 0  
4 {                                                  Item[2] = 740314624  
5     int array[5];                                  Item[3] = 0  
6                                                     Item[4] = 0  
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;                                       lec05/array.c  
12 }
```

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 8 / 50

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

P. Herout: kapitola 10, 11, 12, 13

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

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 2 / 50

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];
```

Tj. 10 × sizeof(int)

```
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
```

Hodnoty pole nejsou inicializovány!

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 6 / 50

Pole – Příklad 2/3

- Příklad definice pole

```
1 #include <stdio.h>                               Size of array: 40  
2 array[0]=+0 array2[0]= 0  
3 int main(void)                                     array[1]=+1 array2[1]= 1  
4 {                                                  array[2]=+2 array2[2]= -2  
5     int array[10];                                 array[3]=+3 array2[3]= -9  
6                                                     array[4]=+4 array2[4]= -20  
7     for (int i = 0; i < 10; i++) {                 array[5]=+5 array2[5]= -35  
8         array[i] = i;                               array[6]=+6 array2[6]= -54  
9     }                                               array[7]=+7 array2[7]= -77  
10                                                    array[8]=+8 array2[8]= -104  
11 int n = 5;                                         array[9]=+9 array2[9]= -135  
12 int array2[n * 2];  
13  
14 for (int i = 0; i < 10; i++) {  
15     array2[i] = 3 * i - 2 * i * i;  
16 }  
17  
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,  
21         array[i], i, array2[i]);  
22 }  
23 return 0;                                       lec05/demo-array.c
```

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 9 / 50

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

Část I

Pole a ukazatele

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 3 / 50

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

I strukturované typy, viz další přednáška

- Pole může být jednorozměrné nebo vícerozměrné

Pole poli (...) 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. $n * sizeof(typ)$

- Textový řetězec je pole typu **char**, kde poslední prvek je **'\0'**

C nekontroluje za běhu programu, zdali je index platný!

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 7 / 50

Pole – Příklad 3/3

- Příklad definice pole s inicializací

```
1 #include <stdio.h>                               Size of array: 20  
2 Item[0] = 0  
3 int main(void)                                     Item[1] = 1  
4 {                                                  Item[2] = 2  
5     int array[5] = {0, 1, 2, 3, 4};               Item[3] = 3  
6                                                     Item[4] = 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    }                                               lec05/array-init.c  
11    return 0;  
12 }
```

- Inicializace pole

```
double d[] = { 0.1, 0.4, 0.5 }; // inicializace pole hodnotami
```

```
char str[] = "hallo"; // inicializace pole textovým literálem
```

```
char s[] = { 'h', 'a', 'l', 'l', 'o', '\0' }; //inicializace prvků
```

```
int m[3][3] = { { 1, 2, 3 }, { 4, 5, 6 }, { 7, 8, 9 } };
```

```
char cmd[][10] = { "start", "stop", "pause" };
```

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 10 / 50

Pole variabilní délky

- C99 umožňuje definovat tzv. pole variabilní délky – délka pole je určena za běhu programu
V předchozích verzích bylo nutné znát délku při kompilaci.
- Délka pole tak může např. být argument funkce

```
void fce(int n)
{
    // int local_array[n] = { 1, 2 }; inicializace není dovolena
    int local_array[n]; // variable length array

    printf("sizeof(local_array) = %lu\n", sizeof(local_array));
    printf("length of array = %lu\n", sizeof(local_array) / sizeof(int));
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        local_array[i] = i * i;
    }
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    fce(argc);
    return 0;
}
```

lec05/fce_var_array.c

- Pole variabilní délky však nelze v definici inicializovat

Pole ve funkci a jako argument funkce

- Lokálně definované pole ve funkci má rozsah platnosti pouze v rámci funkce (bloku)

```
void fce(int n)
{
    int array[n];
    // počítání s array
    {
        int array2[n*2];
    } // po skončení bloku array2 automaticky zaniká
    // zde již není array2 přístupné
} // po skončení funkce, pole array automaticky zaniká
```
- Pole je automaticky vytvořeno a po skončení bloku (funkce) automaticky zaniká (paměť je uvolněna)
Více o paměťových třídách na 5. přednášce
- Lokální proměnné jsou ukládány na tzv. zásobník, který má zpravidla relativně malou velikost, proto pro velká pole může být vhodnější alokovat paměť dynamicky a použít **ukazatele**
- Pole může být argumentem funkce

```
void fce(int array[]);
```

hodnota je však předávána jako **ukazatel!**

Ukazatel (pointer)

- Ukazatel (pointer) je proměnná jejíž **hodnota je adresa** paměti jiné proměnné
- Pointer *odkazuje* na jinou proměnnou
Odkazuje na oblast paměti, kde je uložena hodnota proměnné
- **Ukazatel má typ** proměnné, na kterou může ukazovat
Důležité pro ukazatelovou aritmetiku
 - Ukazatel na hodnoty (proměnné) základních typů: **char, int, ...**
 - „Ukazatel na pole“; ukazatel na funkci; **ukazatel na ukazatele**
- Ukazatel může být též bez typu (**void**)
 - Velikost proměnné nelze z vlastností ukazatele určit
 - Pak může obsahovat adresu libovolné proměnné
- Prázdňá 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.

Ukazatele umožňují psát efektivní kódy, při neobezřetném používání mohou vést k chybám. Proto je důležité osvojit si princip nepřímého adresování a pochopit organizaci a přístup do paměti.

Referenční a dereferenční operátor

- **Referenční operátor – &**
 - Vrací adresu paměti, kde je uložena hodnota proměnné, před kterou je uveden **&proměnná**
- **Dereferenční operátor – ***
 - Vrací **l-hodnotu** (l-value) odpovídající hodnotě na adrese ukazatele ***proměnná typu ukazatel**
 - Umožňuje číst a zapisovat hodnotu na adresu dané obsahem ukazatele, např. ukazatel na hodnotu typu `int` (tj. `int *p`)

```
*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”`

```
int a = 10;
int *p = &a;

printf("Value of a %i, address of a %p\n", a, &a);
printf("Value of p %p, address of p %p\n", p, &p);
```

Value of a 10, address of a 0x7fffffff95c
Value of p 0x7fffffff95c, address of p 0x7fffffff950

Ukazatel (pointer) – příklady 1/2

```
int i = 10; /* promenna typu int */
          /* &i -- adresa promenne i */

int *pi;   /* definice promenne typu pointer */
          /* pi pointer na promennou typu int */
          /* *pi promenna typu int */

pi = &i;   /* do pi se ulozi adresa promenne i */

int b;     /* promenna typu int */

b = *pi;   /* do promenne b se ulozi obsah adresy
           ulozene v ukazeteli pi */
```

Ukazatel (pointer) – příklady 2/2

```
printf("i: %d -- pi: %p\n", i, pi); // 10 0x7fffffff8fc
printf("&i: %p -- *pi: %d\n", &i, *pi); // 0x7fffffff8fc
10
printf("*(&i): %d -- &(*pi): %p\n", *(&i), &(*pi));

printf("i: %d -- *pj: %d\n", i, *pj); // 10 10
i = 20;
printf("i: %d -- *pj: %d\n", i, *pj); // 20 20

printf("sizeof(i): %lu\n", sizeof(i)); // 4
printf("sizeof(pi): %lu\n", sizeof(pi)); // 8

long l = (long)pi;
printf("0x%lx %p\n", l, pi); /* print l as hex -- %lx */
// 0x7fffffff8fc 0x7fffffff8fc

l = 10;
pi = (int*)l; /* possible but it is nonsense */
printf("l: 0x%lx %p\n", l, pi); // 0xa 0xa
```

lec05/pointers.c

Ukazatele (pointery), proměnné a jejich hodnoty

- Proměnné jsou názvy adres, kde jsou uloženy hodnoty příslušného typu
- Kompilátor pracuje přímo s adresami
Přestože se v případě kompilace zpravidla jedná o adresy relativní.
- 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
- Operátor `&` vrací adresu, kde je uložena hodnota proměnné

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

- V C jsou **parametry funkce předávány hodnotou**
- Parametry jsou lokální proměnné funkce (alokované na zásobníku), které jsou inicializované na hodnotu předávanou funkcí
Více o volání funkcí a paměti v 5. přednášce

```
void fce(int a, char *b)
{ /*
  a - je lokální promenna typu int (ulozena na zasobniku)
  b - je lokální promenna typu ukazatel na promennou
      typu char (hodnota je adresa a je take na zasobniku)
  */
}
```
- Lokální změna hodnoty proměnné neovlivňuje hodnotu proměnné vně funkce
- Při předání ukazatele, však máme přístup na adresu původní proměnné, kterou můžeme měnit
- **Ukazatelem tak realizujeme volání odkazem**

Funkce a předávání parametrů – příklad

- Proměnná `a` realizuje volání hodnotou
- Proměnná `b` realizuje volání odkazem

```
void fce(int a, char* b)
{
    a += 1;
    (*b)++;
}
int a = 10;
char b = 'A';
printf("Before call a: %d b: %c\n", a, b);
fce(a, &b);
printf("After call a: %d b: %c\n", a, b);
```

- Výstup
Before call a: 10 b: A
After call a: 10 b: B

lec05/function_call.c

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 22 / 50

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

```
int main(int argc, char **argv, char **envp) { ... }
Pro Unix a MS Windows
Přístup k proměnným prostředí funkcí getenv() z knihovny <stdlib.h>.
lec05/main_env.c
```

- Rozšířená funkce o specifické parametry Mac OS X

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

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 23 / 50

Argumenty funkce main

- Základní tvar funkce `main`

```
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 „čtete“ zprava doleva

- Pole `argv` má velikost (počet prvků) daný hodnotou `argc`
- Každý prvek pole `argv[i]` obsahuje adresu, kde je uložen textový řetězec argumentu (tj. 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, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 24 / 50

Předávání parametrů programu

- Při spuštění programu můžeme předat parametry programu prostřednictvím argumentů

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

lec05/demo-arg.c

- Voláním `return` ve funkci `main()` vracíme 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 vypsat příkazem `echo`
- `>/dev/null` přeměruje standardní výstup do `/dev/null`

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 26 / 50

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 přeměrovat 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 přeměrovat

```
./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 `stdin`, `stdout` a `stderr` jsou definována v `<stdio.h>`

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 27 / 50

Příklad programu s výstupem na stdout a přeměrováním

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int ret = 0;
6
7     fprintf(stdout, "Program has been called as %s\n", argv[0]);
8     if (argc > 1) {
9         fprintf(stdout, "1st argument is %s\n", argv[1]);
10    } else {
11        fprintf(stdout, "1st argument is not given\n");
12        fprintf(stderr, "At least one argument must be given!\n");
13        ret = -1;
14    }
15    return ret;
16 }
```

lec05/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- Program has been called as ./
stdout demo-stdout
1st argument is not given 1st argument is not given
At least one argument must be given! At least one argument must be given!
255 ./demo-stdout ARGUMENT 1>
stdout; echo $?
0
```

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 28 / 50

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, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 30 / 50

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],
8               i, local_array[i]);
9     }
10    ...
11    int array[] = { 1, 2, 3 };
12    fce(array);
```

lec05/fce_array.c

- Po překladu (`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 první prvek

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 31 / 50

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.

lec05/fce_array.c

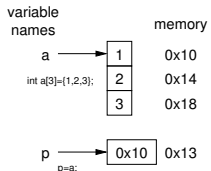
- Program lze zkompileovat, ale nelze se spoléhat na velikost `sizeof`
- Ukazatel nenes informací o velikosti alokované paměti!

Pole ano „hlídá za nás kompilátor“.

Jan Faigl, 2018 BOB36PRP – Přednáška 05: Pole a ukazatele 32 / 50

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 1. prvku pole.
- Přiřazení `p = a` je legitimní



Kompilátor zajistí přiřazení adresy prvního prvku do ukazatele.

- Přístup k 2. prvku lze použít jak `a[1]` tak `p[1]`
- Oběma přístupy se dostaneme na příslušné prvky pole, způsob je však odlišný — Ukazatele využívají tzv. pointerovou aritmetiku

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

Ukazatelová (pointerová) aritmetika

- S ukazately (pointery) lze provádět aritmetické operace `+` a `-`, tj. 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.


```
int a[10];
int *p = a;

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

 - Podle typu ukazatele se hodnota adresy příslušně zvyší
 - `(p+2)` je ekvivalentní adrese `p + 2*sizeof(int)`
 - Příklad použití viz `lec05/pointers_and_array.c`

Příklad ukazatele a pole

```
1 int a[] = { 1, 2, 3, 4 };
2 int b[] = { [3] = 10, [1] = 1, [2] = 5, [0] = 0 }; //initialization
3
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 }
8
9 int *p = a; //you can use *p = &a[0], but not *p = &a
10 a[2] = 99;
11
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

lec05/array_pointer.c
```

Příklad předání ukazatele na pole

- Předáním pole jako ukazatele nemáme informaci o počtu prvků
 - Proto můžeme explicitně předat počet prvků v proměnné `n`
- ```
1 #include <stdio.h>
2
3 void fce(int *array, int n) // array je lokální proměnná
4 { // typu ukazatel, můžeme změnit obsah paměti proměnné
5 definované v main()
6 int local_array[] = {2, 4, 6};
7 printf("sizeof(array) = %lu, n = %i -- sizeof(local_array) =
8 %lu\n",
9 sizeof(array), n, sizeof(local_array));
10 for (int i = 0; i < 3 && i < n; ++i) { //testujeme take n!
11 printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i],
12 i, local_array[i]);
13 }
14 }
15 int main(void)
16 {
17 int array[] = {1, 2, 3};
18 fce(array, sizeof(array)/sizeof(int)); // pocet prvku
19 return 0;
20 }

lec05/fce_pointer.c
```
- Přes ukazatel `array` v `fce()` máme přístup do pole z `main()`

## Vícerozměrná pole

- Pole můžeme definovat jako vícerozměrná, např. 2D matice
- ```
int m[3][3] = {
    { 1, 2, 3 },
    { 4, 5, 6 },
    { 7, 8, 9 }
};

printf("Size of m: %lu == %lu\n", sizeof(m), 3*3*sizeof(int));

for (int r = 0; r < 3; ++r) {
    for (int c = 0; c < 3; ++c) {
        printf("%3i", m[r][c]);
    }
    printf("\n");
}

lec05/matrix.c
```

Vícerozměrná pole a vnitřní reprezentace

- Vícerozměrné pole je **vždy** souvislý blok paměti
 - Např. `int a[3][3]`; reprezentuje alokovanou paměti o velikosti `9*sizeof(int)`, tj. zpravidla 36 bytů. Operátor `[]` nám tak převede vzhledem zjednodušuje zápis programu.
- ```
int *pm = (int *)m; // ukazatel na souvislou oblast m
printf("m[0][0]=%i m[1][0]=%i\n", m[0][0], m[1][0]); // 1 4
printf("pm[0]=%i pm[3]=%i\n", m[0][0], m[1][0]); // 1 4

lec05/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.

## Pole a vícerozměrná pole jako parametr funkce

- Parametr funkce je ukazatel na pole, např. typu `int`
- ```
int (*p)[3] = m; // pointer to array of int
printf("Size of p: %lu\n", sizeof(p));
printf("Size of *p: %lu\n", sizeof(*p)); // 3 * sizeof(int) = 12
```
- Funkci nelze deklarovat s argumentu typu `[] []` např.


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

 neboť kompilátor nemůže správně spočítat index, pro přístup na `a[i][j]` se používá adresová aritmetika jinak
 - 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]);`

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
- ```
void print(int m[3][3])
{
 for (int r = 0; r < 3; ++r) {
 for (int c = 0; c < 3; ++c) {
 printf("%4i", m[r][c]);
 }
 printf("\n");
 }
}

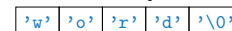
int m0[3][3];
int m1[3][3] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 };
int m2[3][3] = { 1, 2, 3 };
int m3[3][3] =
{ [0][0] = 1, [1][1] = 2, [2][2] = 3 };

print(m0);
print(m1);
print(m2);
print(m3);

lec05/array-inits.c
```

## 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



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

## Textový řetězec

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

```
char str[] = "123"; Size of str 4
char s[] = {'5', '6', '7'}; Size of s 3
 str '123'
 s '567123'
printf("Size of str %lu\n", sizeof(str));
printf("Size of s %lu\n", sizeof(s));
printf("str '%s'\n", str);
printf(" s '%s'\n", s);
```

lec05/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*`

```
char *sp = "ABC";
printf("Size of ps %lu\n", sizeof(sp)); Size of ps 8
printf(" ps '%s'\n", sp); ps 'ABC'
```

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

*Alternativně lze řešit vlastní implementací s explicitním uložením délky řetězce*

## 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`, `strncpy`, `strcmp`, `strtol`, `strtod`, `sscanf`

## Shrnutí přednášky

## Načítání textových řetězců

- Správnost alokace vstupních argumentů je zajištěna při spuštění
- Načtení textového řetězce funkcí `scanf()`
  - Použitím `%s` může dojít k přepisu paměti

```
int main(int argc, char *argv[])
{
 char str0[4] = "PRP"; // +1 \0
 char str1[5]; // +1 for \0
 printf("String str0 = '%s'\n", str0);
 printf("Enter 4 chars: ");
 scanf("%s", str1);
 printf("You entered string '%s'\n", str1);
 printf("String str0 = '%s'\n", str0);
}
```

lec05/str\_scanf-bad.c

String str0 = 'PRP'  
Enter 4 chars: 1234567  
You entered string '1234567'  
String str0 = '67'

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

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

lec05/str\_scanf-limit.c

String str0 = 'PRP'  
Enter 4 chars: 1234567  
You entered string '1234'  
String str0 = 'PRP'

## Část II

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

## 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, paměťové třídy a volání funkcí

## Zjištění délky textového řetězce

- Textový řetězec v C je pole (`char []`) nebo ukazatel (`char*`) odkazující na část paměti, kde je uložena příslušná posloupnost znaků.
- Textový řetězec je zakončen znakem `'\0'`
- Délku textového řetězce lze zjistit sekvenčním procházením znak po znaku až k `'\0'`

```
int getLength(char *str)
{
 int ret = 0;
 while (str && (*str++) != '\0') {
 ret += 1;
 }
 return ret;
}

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

Nebo jen while (*str++) ret +=1;
```

lec05/string\_length.c

- Funkce pro práci s řetězci jsou ve standardní knihovně `<string.h>`
- Délka řetězce – `strlen()`
- Dotaz na délku řetězce má lineární složitost  $O(n)$ .

## Zadání 4. domácího úkolu HW04

### Téma: Prvočíselný rozklad

Povinně zadání: **2b**; Volitelně zadání: **3b**; Bonusové zadání: **5b**

- Motivace:** Rozvinout znalost použití cyklů, proměnných a jejich reprezentace ve výpočetní úloze.
- Cíl:** Osvojit si algoritmické řešení výpočetní úlohy
- Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bob36prp/hw/hw04>
  - Načtení posloupnosti kladných celých čísel (menších než  $10^6$ ) zakončených nulou a jejich rozklad na prvočinitele.
  - Volitelné zadání** rozšiřuje rozsah hodnot vstupní čísel až do  $10^8$  (celá čísla v rozsahu 64-bitů). S ohledem na výpočetní náročnost řešení vyžaduje sofistikovanější přístup výpočtu s využitím techniky *Eratothenova síta*.
  - Bonusové zadání** dále úlohu rozšiřuje zpracování čísel s až 100 ciframi. Řešení vyžaduje implementaci *vlastní reprezentace velkých celých čísel* spolu s *operacemi* celočíselného dělení se zbytkem.
- Termín odevzdání:** 10.11.2018, 23:59:59 PST
- Bonusová úloha:** 17.11.2018, 23:59:59 PST

*PST – Pacific Standard Time*