

# Řídicí struktury, výrazy a funkce

Jan Faigl

Katedra počítačů

Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 03

**B0B36PRP – Procedurální programování**

# Přehled témat

- Část 1 – Řídící struktury

Příkaz a složený příkaz

Příkazy řízení běhu programu

Konečnost cyklu

*S. G. Kochan: kapitoly 5 a 6*

- Část 2 – Výrazy

Výrazy a operátory

Přiřazení

*S. G. Kochan: kapitola 4, 12*

- Část 3 – Zadání 3. domácího úkolu (HW3)

# Část I

## Řídící struktury

## Příkaz a složený příkaz (blok)

- Příkaz je výraz zakončený středníkem.

*Příkaz tvořený pouze středníkem je prázdný příkaz.*

- Blok je tvořen seznamem definic proměnných a příkazů.
- Uvnitř bloku definice proměnných zpravidla předchází příkazům.

*Záleží na standardu jazyka, platí pro ANSI C (C89, C90).*

- Začátek a konec bloku je vymezen složenými závorkami { a }.
- Bloky mohou být vnořené do jiného bloku.

```
void function(void)
{ /* function block start */
  /* inner block */
  for (i = 0; i < 10; ++i)
  {
    //inner for-loop block
  }
}
```

```
void function(void) { /* function block start */
  /* inner block */
  for (int i = 0; i < 10; ++i) {
    //inner for-loop block
  }
}
```

*Různé kódovací konvence.*

## Srozumitelnost, čitelnost kódu - kódovací konvence a styl (čistota kódu)

- Konvence a styl je důležitý, protože podporuje přehlednost a čitelnost.

[https://www.gnu.org/prep/standards/html\\_node/Writing-C.html](https://www.gnu.org/prep/standards/html_node/Writing-C.html)

- Formátování patří k úplným základům. *Nastavte si automatické formátování v textovém editoru.*
- Volba výstižného jména identifikátorů podporuje čitelnost.

*Co může být jasné nyní, za pár dní či měsíců může být jinak.*

- Cvičte se v kódovací konvenci a zvoleném stylu i za cenu zdánlivě pomalejšího zápisu kódu. Přehlednost je důležitá, zvláště pokud hledáte chybu.

- Doporučená konvence v rámci PRGA

*Nezřídka je užitečné nebát se začít úplně znovu a lépe.*

```
1 void function(void)
2 { /* function block start */
3     for (int i = 0; i < 10; ++i) {
4         //inner for-loop block
5         if (i == 5) {
6             break;
7         }
8     }
9 }
```

- Pište zdrojové kódy pokud možno anglicky (identifikátory).
- Pro proměnné volte podstatná jména.
- Pro funkce volte slovesa.

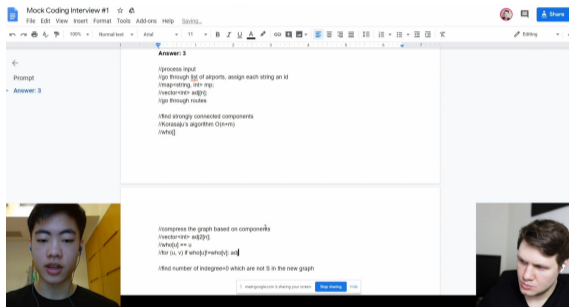
*Osobní preference přednášejícího: odsazení 3 znaky, mezery místo tabulátoru.*

## Srozumitelnost a čitelnost kódu - kódovací konvence

- Existují různé kódovací konvence; inspirujte se existujícími doporučeními a čtením reprezentativních kódů.



Clean Code - Uncle Bob / Lesson 1  
<https://youtu.be/7EmboKQH81M>



Google Coding Interview with a High School Student  
<https://youtu.be/qz9tK1F431k>

<http://users.ece.cmu.edu/~eno/coding/CCodingStandard.html>;  
<https://www.doc.ic.ac.uk/lab/cplus/cstyle.html>;  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Indent\\_style](http://en.wikipedia.org/wiki/Indent_style);  
<https://google.github.io/styleguide/cppguide.html>;  
<https://www.kernel.org/doc/Documentation/process/coding-style.rst>

## Složený příkaz a zanořování 1/2

Čtyři úrovně zanoření.

```

1 int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
2 {
3     if (from < to) {
4         int sum = 0;
5         for (int number = from; number <= to; ++number) {
6             if (number % 2 == 0) {
7                 sum += number;
8             }
9         } // end for loop
10        return sum;
11    } else {
12        return 0;
13    }
14 }
```

Vyjmutí (definice nové funkce).

```

1 int filter_odd(int number);
2
3 int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
4 {
5     if (from < to) {
6         int sum = 0;
7         for (int number = from; number <= to; ++number) {
8             sum += filter_odd(number);
9         } // end for loop
10        return sum;
11    } else {
12        return 0;
13    }
14 }
15
16 int filter_odd(int number)
17 {
18     if (number % 2 == 0) {
19         return number;
20     }
21     return 0;
22 }
```

- Použitím technik **vyjmutí** a inverze redukuje počet zanoření. <https://youtu.be/CFRhGnuXG-4>

## Složený příkaz a zanořování 2/2

Inverze (záměna podmínky hodnoty vstupu).

```
1 int filter_odd(int number);
2
3 int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
4 {
5     if (from > to) {
6         return 0;
7     }
8     int sum = 0;
9     for (int number = from; number <= to; ++number) {
10        sum += filter_odd(number);
11    } // end for loop
12    return sum;
13 }
14
15 int filter_odd(int number)
16 {
17     if (number % 2 == 0) {
18         return number;
19     }
20     return 0;
21 }
```

Finální „zkompaktnění“.

```
1 int filter_odd(int number);
2
3 int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
4 {
5     if (from > to) return 0;
6
7     int sum = 0;
8     for (int number = from; number <= to; ++number) {
9         sum += filter_odd(number);
10    } // end for loop
11    return sum;
12 }
13
14 int filter_odd(int number)
15 {
16     return (number % 2 == 0) : number : 0;
17 }
```

- Použitím technik vyjmutí a inverze redukuje počet zanořování. <https://youtu.be/CFRhGnuXG-4>



# Příkazy řízení běhu programu

- Podmíněné řízení běhu programu
  - Podmíněný příkaz: `if ()` nebo `if () ... else`
  - Programový přepínač: `switch () case ...`
- Cykly
  - `for ()`
  - `while ()`
  - `do ... while ()`
- Nepodmíněné větvení programu
  - `continue`
  - `break`
  - `return`
  - `goto`

## Podmíněné větvení – if

- `if (vyraz) prikaz1; else prikaz2`
- Je-li hodnota výrazu `vyraz != 0 (TRUE)`, provede se příkaz `prikaz1` jinak `prikaz2`.
- Část `else` je nepovinná. *Příkaz může být blok příkazů.*
- Podmíněné příkazy mohou být vnořené a můžeme je řetězit.

```
int max;
if (a > b) {
    if (a > c) {
        max = a;
    }
}
```

```
int max;
if (a > b) {
    ...
} else if (a < c) {
    ...
} else if (a == b) {
    ...
} else {
    ...
}
```

- Příklad zápisu

```
1 if (x < y) {
2     int tmp = x;
3     x = y;
4     y = tmp;
5 }
```

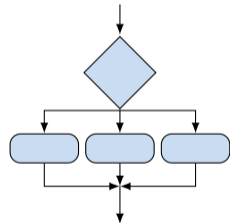
```
1 if (x < y) {
2     min = x;
3     max = y;
4 } else {
5     min = y;
6     max = x;
7 }
```

*Jaký je smysl těchto programů?*

## Příkaz větvení **switch**

- Příkaz **switch** (přepínač) umožňuje větvení programu do více větví na základě různých hodnot výrazu výčtového (celočíselného) typu, jako jsou např. **int**, **char**, **short**, **enum**.
- Základní tvar příkazu.

```
switch (výraz) {  
    case konstanta1: příkazy1; break;  
    case konstanta2: příkazy2; break;  
    ...  
    case konstantan: příkazyn; break;  
    default: příkazydef; break;  
}
```



kde *konstanty* jsou téhož typu jako *výraz* a *příkazy<sub>i</sub>* jsou posloupnosti příkazů.

*Sémantika: vypočte se hodnota výrazu a provedou se ty příkazy, které jsou označeny konstantou s identickou hodnotou. Nemá-li vybrána žádná větev, provedou se příkazy<sub>def</sub> (pokud jsou uvedeny).*

## Programový přepínač – switch

- Přepínač `switch(vyraz)` větví program do  $n$  směrů.
- Hodnota `vyraz` je porovnávána s  $n$  konstantními výrazy typu `int` příkazy.  
`case konstantai: ...`
- Hodnota `vyraz` musí být celočíselná a hodnoty `konstantai` musejí být navzájem různé.
- Pokud je nalezena shoda, program pokračuje od tohoto místa dokud nenajde příkaz `break` nebo konec příkazu `switch`.
- Pokud shoda není nalezena, program pokračuje nepovinnou sekcí `default`.  
*Sekce `default` se zpravidla uvádí jako poslední.*
- Příkazy `switch` mohou být vnořené.

## Programový přepínač switch – Příklad

```
switch (v) {  
    case 'A':  
        printf("Upper 'A'\n");  
        break;  
    case 'a':  
        printf("Lower 'a'\n");  
        break;  
    default:  
        printf("It is not 'A' nor 'a'\n");  
        break;  
}
```

```
if (v == 'A') {  
    printf("Upper 'A'\n");  
} else if (v == 'a') {  
    printf("Lower 'a'\n");  
} else {  
    printf("It is not 'A' nor 'a'\n");  
}
```

lec03/switch.c

## Větvení **switch** – pokračování ve vykonávání dalších větví

- Příkaz **break** dynamicky ukončuje větev, pokud jej nevedeme, pokračuje se v provádění další větve.

### Příklad volání více větví

```
1  int part = ?
2  switch(part) {
3      case 1:
4          printf("Branch 1\n");
5          break;
6      case 2:
7          printf("Branch 2\n");
8      case 3:
9          printf("Branch 3\n");
10         break;
11     case 4:
12         printf("Branch 4\n");
13         break;
14     default:
15         printf("Default branch\n");
16         break;
17 }
```

- part ← 1  
Branch 1
- part ← 2  
Branch 2  
Branch 3
- part ← 3  
Branch 3
- part ← 4  
Branch 4
- part ← 5  
Default branch

lec03/demo-switch\_break.c

## Příklad větvení `switch` vs `if-then-else`

- Napište konverzní program, který podle čísla dnu v týdnu vytiskne na obrazovku jméno dne. Ošetřete případ, kdy bude zadané číslo mimo platný rozsah (1 až 7).

### Příklad implementace

```
int day_of_week = 3;

if (day_of_week == 1) {
    printf("Monday");
} else if (day_of_week == 2) {
    printf("Tuesday");
} else ... {
} else if (day_of_week == 7) {
    printf("Sunday");
} else {
    fprintf(stderr, "Invalid number");
}
```

```
int day_of_week = 3;
switch (day_of_week) {
    case 1:
        printf("Monday");
        break;
    case 2:
        printf("Tuesday");
        break;
    ...
    case 7:
        printf("Sunday");
        break;
    default:
        fprintf(stderr, "Invalid number");
        break;
}
```

`lec03/demo-switch_day_of_week.c`

*Oba způsoby jsou sice funkční, nicméně elegantněji lze vyřešit úlohu použitím datové struktury pole nebo ještě lépe asociativním polem / hash mapou.*

# Cykly

- Cyklus **for** a **while** testuje podmínku opakování před vstupem do těla cyklu.

- **for** – inicializace, podmínka a změna řídicí proměnné jsou součástí syntaxe.

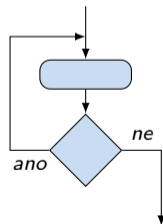
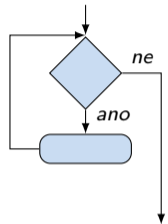
```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {  
    ...  
}
```

- **while** – řídicí proměnná v režii programátora.

```
int i = 0;  
while (i < 5) {  
    ...  
    i += 1;  
}
```

- Cyklus **do** testuje podmínku opakování cyklu po prvním provedení cyklu.

```
int i = -1;  
do {  
    ...  
    i += 1;  
} while (i < 5);
```



*Ekvivalentní provedení pěti cyklů.*



## Cyklus `while` a `do-while`

- Základní příkaz cyklu `while` má tvar `while (podmínka) příkaz`.
- Základní příkaz cyklu `do-while` má tvar `do příkaz while (podmínka)`.

### Příklad

```
q = x;
while (q >= y) {
    q = q - y;
}
```

```
q = x;
do {
    q = q - y;
} while (q >= y);
```

- Jaká je hodnota proměnné  $q$  po skončení cyklu pro hodnoty.
  - $x \leftarrow 10$  a  $y \leftarrow 3$
  - $x \leftarrow 2$  a  $y \leftarrow 3$

*while: 1, do-while: 1*

*while: 2, do-while: -1*

[lec03/demo-while.c](#)

## Cyklus `for`

- Základní příkaz cyklu `for` má tvar `for (inicializace; podmínka; změna) příkaz.`
- Odpovídá cyklu `while` ve tvaru:  
`inicializace;`  
`while (podmínka) {`  
      
    změna;
- }
- Změnu řídicí proměnné lze zkráceně zapsat operátorem inkrementace nebo dekrementace `++` a `--`.
- Alternativně lze též použít zkrácený zápis přiřazení, např. `+=`.

### Příklad

```
for (int i = 0; i < 10; ++i) {  
    printf("i: %i\n", i);  
}
```

## Cyklus `for( ; ; )`

- Příkaz **for** cyklu má tvar `for ([vyraz1]; [vyraz2]; [vyraz3]) prikaz;`
- Cyklus **for** používá řídicí proměnnou a probíhá následovně:
  1. `vyraz1` – Inicializace (zpravidla řídicí proměnné);
  2. `vyraz2` – Test řídicího výrazu;
  3. Pokud `vyraz2 != 0` provede se `prikaz`, jinak cyklus končí;
  4. `vyraz3` – Aktualizace proměnných na konci běhu cyklu;
  5. Opakování cyklu testem řídicího výrazu.
- Výrazy `vyraz1` a `vyraz3` mohou být libovolného typu.
- Libovolný z výrazů lze vynechat.
- **break** – cyklus lze nuceně opustit příkazem `break`.
- **continue** – část těla cyklu lze vynechat příkazem `continue`.

*Příkaz přeruší vykonávání těla (blokového příkazu) pokračuje vyhodnocením `vyraz3`.*

- Při vynechání řídicího výrazu `vyraz2` se cyklus bude provádět nepodmíněně.

```
for (;;) {...}
```

*Nekonečný cyklus*

## Příkaz `continue`

- Příkaz návratu na vyhodnocení řídicího výrazu – `continue`.
- Příkaz `continue` lze použít pouze v těle cyklů.
  - `for ()`
  - `while ()`
  - `do...while ()`
- Příkaz `continue` přeruší vykonávání těla cyklu a nové vyhodnocení řídicího výrazu.
- Příklad

```
int i;  
for (i = 0; i < 20; ++i) {  
    if (i % 2 == 0) {  
        continue;  
    }  
    printf("%d\n", i);  
}
```

`lec03/continue.c`

## Předčasné ukončení průchodu cyklu – příkaz `continue`

- Někdy může být užitečné ukončit cyklus v nějakém místě uvnitř těla cyklu.
  - Například ve vnořených `if` příkazech.
- Příkaz `continue` předepisuje **ukončení průchodu** těla cyklu.

*Platnost pouze v těle cyklu!*

```
for (int i = 0; i < 10; ++i) {  
    printf("i: %i ", i);  
    if (i % 3 != 0) {  
        continue;  
    }  
    printf("\n");  
}
```

```
clang demo-continue.c  
./a.out  
i:0  
i:1 i:2 i:3  
i:4 i:5 i:6  
i:7 i:8 i:9
```

[lec03/demo-continue.txt](#)

## Příkaz break

- Příkaz nuceného ukončení cyklu `break;` lze použít pouze v těle cyklů.
  - `for()`
  - `while()`
  - `do...while()`
- a v těle programového přepínače `switch()`.
- `break` způsobí opuštění těla cyklu nebo těla `switch()`.
- Program pokračuje následujícím příkazem, např.

```
int i = 10;
while (i > 0) {
    if (i == 5) {
        printf("i reaches 5, leave the loop\n");
        break;
    }
    i--;
    printf("End of the while loop i: %d\n", i);
}
```

[lec03/break.c](#)

- Z hlediska přehlednosti a čitelnosti je vhodné změnu řídicí proměnné realizovat na konci cyklu.

## Předčasné ukončení vykonávání cyklu – příkaz **break**

- Příkaz **break** předepisuje ukončení cyklu.

*Program pokračuje následujícím příkazem po cyklu.*

```
for (int i = 0; i < 10; ++i) {  
    printf("i: %i ", i);  
    if (i % 3 != 0) {  
        continue;  
    }  
    printf("\n");  
    if (i > 5) {  
        break;  
    }  
}
```

```
clang demo-break.c  
./a.out  
i:0  
i:1 i:2 i:3  
i:4 i:5 i:6
```

[lec03/demo-break.c](#)

## Příkaz goto

- Příkaz nepodmíněného lokálního skoku `goto` předá řízení na místo určené návěstím `navesti` – syntax `goto navesti;`.
- Návěstí má tvar `navesti příkaz`. *Definice proměnné není příkaz.*
- Příkaz `goto` lze použít pouze v těle funkce a skok je možný pouze rámci jediné funkce.

```
1  int test = 3;
2  for (int i = 0; i < 3; ++i) {
3      for (int j = 0; j < 5; ++j) {
4          if (j == test) {
5              goto loop_out;
6          }
7          fprintf(stdout, "Loop i: %d j: %d\n", i, j);
8      }
9  }
10 return 0;
11 loop_out:
12 fprintf(stdout, "After loop\n");
13 return -1;
```

lec03/goto.c



## Vnořené cykly

- **break** ukončuje vnitřní cyklus.

```
for (int i = 0; i < 3; ++i) {  
    for (int j = 0; j < 3; ++j) {  
        printf("i-j: %i-%i\n", i, j);  
        if (j == 1) {  
            break;  
        }  
    }  
}
```

```
i-j: 0-0  
i-j: 0-1  
i-j: 1-0  
i-j: 1-1  
i-j: 2-0  
i-j: 2-1
```

- Vnější cyklus můžeme ukončit příkazem **goto**.

```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {  
    for (int j = 0; j < 3; ++i) {  
        printf("i-j: %i-%i\n", i, j);  
        if (j == 2) {  
            goto outer;  
        }  
    }  
}  
outer:
```

```
i-j: 0-0  
i-j: 0-1  
i-j: 0-2
```

lec03/demo-goto.c

## Konečnost cyklů 1/3

- Konečnost algoritmu – pro přípustná data v konečné době skončí.
- Aby byl algoritmus **konečný** musí každý cyklus v něm uvedený skončit po konečném počtu kroků.
- Jedním z důvodů neukončení programu je zacyklení.
  - Program opakovaně vykoná cyklus, jehož podmínka ukončení není nikdy splněna.

```
while (i != 0) {  
    j = i - 1;  
}
```

- Cyklus se neprovede ani jednou,
- nebo neskončí.
- Záleží na hodnotě  $i$  před voláním cyklu.

## Konečnost cyklů 2/3

- Základní pravidlo pro konečnost cyklu
  - Provedením těla cyklu se musí změnit hodnota proměnné použité v podmínce ukončení cyklu.

```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {  
    ...  
}
```

- Uvedené pravidlo konečnost cyklu nezaručuje.

```
int i = -1;  
  
while ( i < 0 ) {  
    i = i - 1;  
}
```

*Konečnost cyklu závisí na hodnotě proměnné před vstupem do cyklu.*

## Konečnost cyklů 3/3

```
while (i != n) {  
    ... //příkazy nemenící hodnotu proměnné i  
    i++;  
}
```

lec03/demo-loop\_byte.c

- Vstupní podmínka konečnosti uvedeného cyklu
  - $i \leq n$  pro celá čísla.

*Jak by vypadala podmínka pro proměnné typu `double`?  
Co se stane pokud by proměnná `i` byla typu `unsigned char`?*

lec03/demo-loop.c

- 
- Splnění vstupní podmínky konečnosti cyklu musí zajistit příkazy předcházející příkazu cyklu.
  - Zabezpečený program testuje přípustnost vstupních dat.

## Příklad – test, je-li zadané číslo prvočíslem

```
#include <stdbool.h>
#include <math.h>

_Bool isPrimeNumber(int n)
{
    _Bool ret = true;
    for (int i = 2; i <= (int)sqrt((double)n); ++i) {
        if (n % i == 0) {
            ret = false; // leave the loop once if it sure
            break; // n is not a prime number
        }
    }
    return ret;
}
```

lec03/demo-prime.c

- `break` – po nalezení prvního dělitele nemusíme dále testovat.
- Hodnota výrazu `(int)sqrt((double)n)` se v cyklu nemění.

```
_Bool ret = true; // zbytecne vypocet opakovat
const int maxBound = (int)sqrt((double)n);
for (int i = 2; i <= maxBound; ++i) {
    ...
}
```

Příklad kompilace spuštění `demo-prime.c`: `clang demo-prime.c -lm; ./a.out 13`

## Kódovací konvence

- Příkazy **break** a **continue** v podstatě odpovídají příkazům skoku.
- Obecně můžeme říci, že příkazy **break** a **continue** nepřidávají příliš na přehlednosti.  
*Nemyslíme tím break v příkazu switch.*
- Přerušení cyklu **break** nebo **continue** můžeme využít v těle dlouhých funkcí a vnořených cyklech.  
*Ale funkce bychom měli psát krátké a přehledné.*
- Je-li funkce (tělo cyklu) krátké, je význam **break/continue** čitelný.
- Podobně použití na začátku bloku cyklu, např. jako součást testování splnění předpokladů, je zpravidla přehledné.
- Použití uprostřed bloku je však už méně přehledné a může snížit čitelnost a porozumění kódu.

<https://www.scribd.com/doc/38873257/Knuth-1974-Structured-Programming-With-Go-to-Statements>

# Část II

## Výrazy

# Výrazy

- **Výraz** předepisuje výpočet hodnoty určitého vstupu.
- Struktura výrazu obsahuje *operandy*, *operátory* a *závorky*.
- Výraz může obsahovat:
  - literály;
  - unární a binární operátory;
  - proměnné;
  - volání funkcí;
  - konstanty;
  - závorky.
- Pořadí operací předepsaných výrazem je dáno **prioritou** a **asociativitou** operátorů.

## Příklad

$10 + x * y$	poradí vyhodnocení $10 + (x * y)$
$10 + x + y$	poradí vyhodnocení $(10 + x) + y$

\* má vyšší prioritu než +  
+ je asociativní zleva



## Výrazy a operátory

- Výraz se skládá z operátorů a operandů.
  - Nejjednodušší výraz tvoří konstanta, proměnná nebo volání funkce.
  - Výraz sám může být operandem.
  - Výraz má **typ** a **hodnotu**. *(Pouze výraz typu `void` hodnotu nemá.)*
  - Výraz zakončený středníkem `;` je příkaz.
- Operátory jsou vyhrazené znaky pro zápis výrazů. *Případně posloupnost znaků.*
- Postup výpočtu výrazu s více operátory je dán prioritou operátorů. *Postup výpočtu lze předepsat použitím kulatých závorek ( `a` ).*
- Operátory: aritmetické, relační, logické, bitové.
  - Arita operátoru (počet operandů) – unární, binární, ternární.
  - Obecně (mimo konkrétní případy) není pořadí vyhodnocení operandů definováno (**nezaměňovat s asociativitou**).
    - Např. pro součet `f1()` + `f2()` není definováno, který operand se vyhodnotí jako první (jaká funkce se zavolá jako první).*
    - Chování `i = ++i + i++`; není definováno, závisí na překladači.*
  - Pořadí vyhodnocení je **definováno pro operandy v logickém součinu AND** a **součtu OR**.  
[http://en.cppreference.com/w/c/language/eval\\_order](http://en.cppreference.com/w/c/language/eval_order)

## Základní rozdělení operátorů

- Můžeme rozlišit čtyři základní typy binárních operátorů:
  - Aritmetické operátory – sčítání, odčítání, násobení, dělení;
  - Relační operátory – porovnání hodnot (menší, větší, ...);
  - Logické operátory – logický součet a součin;
  - **Operátor přiřazení** - na levé straně operátoru `=` je proměnná (l-hodnota reprezentující místo v paměti).
- Unární operátory:
  - indikující kladnou/zápornou hodnotu: `+` a `-`;  
*operátor – modifikuje znaménko výrazu za ním.*
  - modifikující proměnou: `++` a `--`;
  - logický operátor doplněk: `!`;
  - bitová negace : `~` (negace bit po bitu).
- Ternární operátor – podmíněný příkaz.

*Jediný ternární operátor v C je podmíněný příkaz `?` :*

[http://www.tutorialspoint.com/cprogramming/c\\_operators.htm](http://www.tutorialspoint.com/cprogramming/c_operators.htm)

## Aritmetické operátory

- Operandy aritmetických operátorů mohou být libovolného aritmetického typu.

*Výjimkou je operátor zbytek po dělení % definovaný pro **int**.*

*	Násobení	$x * y$	Součin $x$ a $y$
/	Dělení	$x / y$	Podíl $x$ a $y$
%	Dělení modulo	$x \% y$	Zbytek po dělení $x$ a $y$
+	Sčítání	$x + y$	Součet $x$ a $y$
-	Odčítání	$x - y$	Rozdíl $x$ a $y$
+	Kladné znam.	$+x$	Hodnota $x$
-	Záporné znam.	$-x$	Hodnota $-x$
++	Inkrementace	$++x/x++$	Inkrementace před/po vyhodnocení výrazu $x$
--	Dekrementace	$--x/x--$	Dekrementace před/po vyhodnocení výrazu $x$

## Unární aritmetické operátory

- Unární operátory `++` a `--` mění hodnotu svého operandu.

*Operand musí být l-hodnota, tj. výraz, který má adresu, kde je uložena hodnota výrazu (např. proměnná).*

- lze zapsat prefixově např. `++x` nebo `--x`;
- nebo postfixově např. `x++` nebo `x--`;
- v obou případech se však **liší výsledná hodnota výrazu!**

<code>int i; int a;</code>	hodnota i	hodnota a
<code>i = 1; a = 9;</code>	1	9
<code>a = i++;</code>	2	1
<code>a = ++i;</code>	3	3
<code>a = ++(i++);</code>	nelze, hodnota <code>i++</code> není l-hodnota	

*V případě unárního operátoru `i++` je nutné v paměti uchovat původní hodnotu `i` a následně inkrementovat hodnotu proměnné `i`. V případě použití `++i` pouze inkrementujeme hodnotu `i`. Proto může být použití `++i` efektivnější.*

## Relační operátory

- Operandy relačních operátorů mohou být aritmetického typu, ukazatele shodného typu nebo jeden z nich `NULL` nebo typ `void`.

<code>&lt;</code>	Menší než	<code>x &lt; y</code>	1 pro x je menší než y, jinak 0.
<code>&lt;=</code>	Menší nebo rovno	<code>x &lt;= y</code>	1 pro x menší nebo rovno y, jinak 0.
<code>&gt;</code>	Větší než	<code>x &gt; y</code>	1 pro x je větší než y, jinak 0.
<code>&gt;=</code>	Větší nebo rovno	<code>x &gt;= y</code>	1 pro x větší nebo rovno y, jinak 0.
<code>==</code>	Rovná se	<code>x == y</code>	1 pro x rovno y, jinak 0.
<code>!=</code>	Nerovná se	<code>x != y</code>	1 pro x nerovno y, jinak 0.

## Logické operátory

- Operandy mohou být aritmetické typy nebo ukazatele.
- Výsledek `1` má význam `true`, `0` má význam `false`.
- Ve výrazech `&&` a `||` se vyhodnotí nejdříve levý operand.
- Pokud je výsledek dán levým operandem, pravý se nevyhodnocuje.

*Zkrácené vyhodnocování – složité výrazy.*

`&&` Logické AND      `x && y`      1 pokud `x` ani `y` není rovno 0, jinak 0.

`||`      Logické OR      `x || y`      1 pokud alespoň jeden z `x`, `y` není rovno 0, jinak 0.

`!`      Logické NOT      `!x`      1 pro `x` rovno 0, jinak 0.

- Operace `&&` a `||` se vyhodnocují zkráceným způsobem, tj. druhý operand se nevyhodnocuje, pokud lze výsledek určit již z hodnoty prvního operandu.

# Bitové operátory

- Bitové operátory vyhodnocují operandy bit po bitu.

&	Bitové AND	$x \& y$	1 když x i y je rovno 1 (bit po bitu).
	Bitové OR	$x   y$	1 když x nebo y je rovno 1 (bit po bitu).
^	Bitové XOR	$x \wedge y$	1 pokud pouze x nebo pouze y je 1 (exkluzivně právě jedna z variant) (bit po bitu).
~	Bitové NOT	$\sim x$	1 pokud x je rovno 0 (bit po bitu).
<<	Posun vlevo	$x \ll y$	Posun x o y bitů vlevo.
>>	Posun vpravo	$x \gg y$	Posun x o y bitů vpravo.

## Přřklad – bitových operací

```
uint8_t a = 4;
```

```
uint8_t b = 5;
```

```
a      dec: 4 bin: 0100
```

```
b      dec: 5 bin: 0101
```

```
a & b  dec: 4 bin: 0100
```

```
a | b  dec: 5 bin: 0101
```

```
a ^ b  dec: 1 bin: 0001
```

```
a >> 1 dec: 2 bin: 0010
```

```
a << 1 dec: 8 bin: 1000
```

[lec03/bits.c](#)

See recursive version in [lec03/bits-recursive.c](#)



## Operace bitového posunu

- Operátory bitového posunu posouvají celý bitový obraz o zvolený počet bitů vlevo nebo vpravo.
  - Při posunu vlevo jsou uvolněné bity zleva plněny 0.
  - Při posunu vpravo jsou uvolněné bity zprava:
    - u čísel kladných nebo typu unsigned plněny 0;
    - u záporných čísel buď plněny 0 (logický posun) nebo 1 (aritmetický posun vpravo), dle implementace překladače.
- Operátory bitového posunu **mají nižší prioritu než aritmetického operátory!**
  - $i \ll 2 + 1$  znamená  $i \ll (2 + 1)$ .

**Nebud'te zaskočení nečekanou interpretací – závorkujte!**

## Operátory přřstupu do paměti

*Zde pro úplnost, více v následujících přednáškách.*

- V C lze přímo přřstupovat k adrese paměti proměnné, kde je uložena hodnota.
- Přřstup do paměti je prostřednictvím ukazatele (*pointeru*).

*Dává velké možnosti, ale také vyžaduje zodpovědnost.*

Operátor	Význam	Příklad	Výsledek
&	Adresa proměnné	&x	Ukazatel (pointer) na x
*	Nepřímá adresa	*p	Proměnná (nebo funkce) adresovaná pointerem p
[]	Prvek pole	x[i]	*(x+i) – prvek pole x s indexem i
.	Prvek struct/union	s.x	Prvek x struktury s
->	Prvek struct/union	p->x	Prvek struktury adresovaný ukazatelem p

*Operandem operátoru & nesmí být bitové pole a proměnná typu register.*

*Operátor nepřímé adresy \* umožňuje přřstup na proměnné přes ukazatel.*

## Ostatní operátory

- Operandem `sizeof()` může být jméno typu nebo výraz.

<code>()</code>	Volání funkce	<code>f(x)</code>	Volání funkce <code>f</code> s argumentem <code>x</code>
<code>(type)</code>	Přetypování (cast)	<code>(int)x</code>	Změna typu <code>x</code> na <code>int</code>
<code>sizeof</code>	Velikost prvku	<code>sizeof(x)</code>	Velikost <code>x</code> v bajtech
<code>? :</code>	Podmíněný příkaz	<code>x ? y : z</code>	Proveď <code>y</code> pokud <code>x != 0</code> jinak <code>z</code>
<code>,</code>	Postupné vyhodnocení	<code>x, y</code>	Vyhodnotí <code>x</code> pak <code>y</code> , výsledek operátoru je výsledek posledního výrazu

- Operandem operátoru `sizeof()` může být jméno typu nebo výraz.

```
int a = 10;
printf("%lu %lu\n", sizeof(a), sizeof(a + 1.0));
```

`lec03/sizeof.c`

- Příklad použití operátoru čárka.

```
for (c = 1, i = 0; i < 3; ++i, c += 2) {
    printf("i: %d c: %d\n", i, c);
}
```

## Operátor přetypování

- Změna typu za běhu programu se nazývá přetypování.
- Explicitní přetypování (cast) zapisuje programátor uvedením typu v kulatých závorkách, např.

```
int i;  
float f = (float)i;
```

- Implicitní přetypování provádí překladač automaticky při překladu.
- Pokud nový typ může reprezentovat původní hodnotu, přetypování ji vždy zachová.
- Operandů typů `char`, `unsigned char`, `short`, `unsigned short`, případně bitová pole, mohou být použity tam kde je povolen typ `int` nebo `unsigned int`.

*C očekává hodnoty alespoň typu `int`.*

- Operandů jsou automaticky přetypovány na `int` nebo `unsigned int`.

## Asociativita a priorita operátorů

- Binární operace  $op$  na množině  $S$  je **asociativní**, jestliže platí
$$(x \text{ op } y) \text{ op } z = x \text{ op } (y \text{ op } z), \text{ pro každé } x, y, z \in S.$$
- U **neasociativních operací** je nutné řešit v jakém pořadí jsou operace implicitně provedeny.
  - Asociativní zleva – operace jsou seskupeny zleva.  
*Např. výraz  $10 - 5 - 3$  je vyhodnocen jako  $(10 - 5) - 3$*
  - Asociativní zprava – operace jsou seskupeny zprava.  
*Např.  $3 + 5^2$  je 28 nebo  $3 \cdot 5^2$  je 75 vs.  $(3 \cdot 5)^2$  je 225*
- Přirazení je asociativní zprava, např.
$$y=y+8.$$

*Vyhodnotí se nejdříve celá pravá strana operátoru  $=$ , která se následně přiřadí do proměnné na straně levé.*
- Priorita binárních operací vyjadřuje v algebře pořadí, v jakém jsou binární operace prováděny.
- Pořadí provedení operací lze definovat důsledným **závorkováním**.

## Přiřazení

- Nastavení hodnoty proměnné.
- Tvar přiřazovacího operátoru.

*Uložení definované hodnoty na místo v paměti.*

**⟨proměnná⟩ = ⟨výraz⟩**

*Výraz je literál, proměnná, volání funkce, ...*

- Přiřazení je výraz, který můžeme použít v jiném výrazu, např. `a = b = c = 10;`

*Je to výraz v příkazu přiřazení.*

- C je staticky typovaný jazyk.

- Proměnné lze přiřadit hodnotu výrazu pouze identického typu.

*Jinak je nutné provést typovou konverzi.*

- Příklad implicitní konverze při přiřazení.

```
int i = 320.4; // implicit conversion from 'double' to 'int' changes value from
              320.4 to 320 [-Wliteral-conversion]
```

```
char c = i;    // implicit truncation 320 -> 64
```

- C je typově bezpečné v omezeném kontextu kompilace, např. na `printf("%d\n", 10.1);` kompilátor upozorní na chybu. **Obecně není typově bezpečné.**

*Za běhu programu může dojít například k zápisu mimo vyhrazenou paměť a tím může dojít k nedefinovanému chování.*

## Zkrácený zápis přiřazení

- Zápis

$$\langle \text{proměnná} \rangle = \langle \text{proměnná} \rangle \langle \text{operátor} \rangle \langle \text{výraz} \rangle$$

- lze zapsat zkráceně

$$\langle \text{proměnná} \rangle \langle \text{operátor} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle.$$

### Příklad

```
int i = 10;  
double j = 12.6;
```

```
i = i + 1;  
j = j / 0.2;
```

```
int i = 10;  
double j = 12.6;
```

```
i += 1;  
j /= 0.2;
```

- Přiřazení je výraz

```
int x, y;
```

```
x = 6;
```

```
y = x = x + 6;
```

„syntactic sugar“

## Výraz a příkaz

- Příkaz provádí akci a je zakončen středníkem.

```
robot_heading = -10.23;  
robot_heading = fabs(robot_heading);  
printf("Robot heading: %f\n", robot_heading);
```

- Výraz má určený **typ a hodnotu**.

23	typ <b>int</b> , hodnota 23
14+16/2	typ <b>int</b> , hodnota 22
y=8	typ <b>int</b> , hodnota 8

- Přřazení je výraz a jeho hodnotou je hodnota přřazená levé straně.
- Z výrazu se stává příkaz, pokud je ukončen středníkem.



## Část III

### Zadání 3. domácího úkolu (HW3)

## Zadání 3. domácího úkolu HW3

### Téma: Prvočíselný rozklad

Povinné zadání: **3b**; Volitelné zadání: **není**; 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/bab36prga/hw/hw3>
  - Načtení posloupnosti kladných celých čísel (v rozsahu 64-bitů znaménkového typu) zakončených nulou a jejich rozklad na prvočinitele. S ohledem na výpočetní náročnost řešení vyžaduje sofistikovanější přístup výpočtu s využitím techniky *Eratosthenova síta*.
  - **Bonusové zadání** dále úlohu rozšiřuje zpracování čísel s až 100 ciframi. Řešení vyžaduje implementaci *vlastní reprezentace velkých celých čísel* spolu s *operacemi* celočíselného dělením se zbytkem.
- **Termín odevzdání:** 30.03.2024, 23:59:59 PDT.
- **Bonusová úloha:** 24.05.2024, 23:59:59 CEST. *PDT – Pacific Daylight Time*

# Shrnutí přednášky

## Diskutovaná témata

- Řídicí struktury - přepínač, cykly, vnořené cykly, `break` a `continue`
- Konečnost cyklů
- Kódovací konvence
- Výrazy - unární, binární a ternární
- Přehled operátorů a jejich priorit
- Přiřazení a zkrácený způsob zápisu
  - Příkazy a nedefinované chování
  
- Příště: Pole, ukazatel, textový řetězec, vstup a výstup programu.

# Část V

## Appendix

# Nedefinované chování

- Dle standardu C mohou některé příkazy (výrazy) způsobit **nedefinované chování**.
  - `c = (b = a + 2) - (a - 1);`
  - `j = i * i++;`
- Program se může chovat rozdílně podle použitého kompilátoru, případně nemusí jít zkompileovat, spustit, nebo dokonce padat a chovat se neobvykle či produkovat nesmyslné výsledky.
- To se může například také stát v případě, že nejsou proměnné inicializovány.
- **Vyhýbejte se příkazům (výrazům), které mohou vést na nedefinované chování!**

## Příklad nedefinovaného chování

- Standard C nepředpisuje chování při přetečení celého čísla (`signed`)
  - V případě doplňkového kódu může být např. hodnota výrazu `127 + 1` typu `char` rovna `-128`, viz `lec03/demo-loop_byte.c`.
  - Reprezentace celých čísel však může být realizována jinak dle architektury např. přímým kódem nebo inverzním kódem.
- Zajištění předepsaného chování tak může být výpočetně komplikované, proto standard nedefinuje chování při přetečení.
- **Chování programu není definované a závisí na kompilátoru**, např. překladače `clang` a `gcc` bez/s optimalizacemi `-O2`.

```
■ for (int i = 2147483640; i >= 0; ++i) {  
    printf("%i %x\n", i, i);  
}
```

`lec03/int_overflow-1.c`

Bez optimalizací program vypíše 8 řádků, pro `-O2` program zkompileovaný `clang` vypíše 9 řádků, `gcc` program skončí v nekonečné smyčce.

```
■ for (int i = 2147483640; i >= 0; i += 4) {  
    printf("%i %x\n", i, i);  
}
```

`lec03/int_overflow-2.c`

Program zkompileovaný `gcc` s `-O2` po spuštění (může) padá(at).

*Analyzujte kód asm generovaný přepínačem `-S`.*

# Compiler Explorer – Analýza optimalizovaného kódu

- Vliv optimalizace `-O2` na výsledný kód, který obsahuje nedefinované chování, přetečení celého čísla.

The screenshot shows the Compiler Explorer interface with three panes:

- Source Code:**

```

1 int main(void)
2 {
3     int ret = 0;
4     for (int i = 2147483640; i >= 0; ++i) {
5         ret += i;
6     }
7     return ret;
8 }

```
- Assembly (Default):**

```

1 main:
2     push    rbp
3     mov     rbp, rsp
4     mov     DWORD PTR [rbp-4], 0
5     mov     DWORD PTR [rbp-8], 2147483640
6     jmp     .L2
7 .L3:
8     mov     eax, DWORD PTR [rbp-8]
9     add     DWORD PTR [rbp-4], eax
10    add     DWORD PTR [rbp-8], 1
11 .L2:
12    cmp     DWORD PTR [rbp-8], 0
13    jns     .L3
14    mov     eax, DWORD PTR [rbp-4]
15    pop     rbp
16    ret

```
- Assembly (-O2):**

```

1 main:
2     .L2:
3     jmp     .L2

```

The `-O2` compiler option is selected in the right pane, and the assembly shows a single `jmp .L2` instruction, indicating that the compiler has optimized away the loop because it can reach a state where the loop condition is always true due to undefined behavior.

<https://godbolt.org/z/G3GEz4vbv>



## Přehled operátorů a jejich priorit 1/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
1	++	P/L	pre/post inkrementace
	--		pre/post dekrementace
	()	L→P	<i>volání metody</i>
	[]		<i>indexace do pole</i>
	.		<i>přístup na položky struktury/unionu</i>
	->		<i>přístup na položky přes ukazatel</i>
2	! ~	P→L	logická a bitová negace
	- +		<b>unární</b> plus (minus)
	()		<i>přetypování</i>
	*		<i>nepřímé adresování (dereference)</i>
	&		<i>adresa (reference)</i>
	sizeof		<i>velikost</i>

## Přehled operátorů a jejich priorit 2/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
3	<code>*</code> , <code>/</code> , <code>%</code>	L→R	násobení, dělení, zbytek
4	<code>+</code> -		sčítání, odečítání
5	<code>&gt;&gt;</code> , <code>&lt;&lt;</code>		bitový posun vlevo, vpravo
6	<code>&lt;</code> , <code>&gt;</code> , <code>&lt;=</code> , <code>&gt;=</code>		porovnání
7	<code>==</code> , <code>!=</code>		rovno, nerovno
8	<code>&amp;</code>		bitový AND
9	<code>^</code>		bitový XOR
10	<code>^</code>		bitový OR
1	<code>&amp;&amp;</code>		logický AND
12	<code>  </code>		logický OR

## Přehled operátorů a jejich priorit 3/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
13	? :	P→L	ternární operátor
14	=		přiřazení
	+ =, - =		přiřazení součtu, rozdílu
	* =, / =, % =	P→L	přiřazení součinu, podílu a zbytku
	<< =, >> =		přiřazení bitového posunu vlevo, vpravo
	& =, ^ =,   =		přiřazení bitového AND, XOR, OR
15	,	L→P	operátor čárka

[http://en.cppreference.com/w/c/language/operator\\_precedence](http://en.cppreference.com/w/c/language/operator_precedence)

## Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě

- Reprezentace `float` hodnot.
  - Hodnota 85.125 je `0x42aa4000`.
  - Hodnota 0.1 je sice `0x3dcccccc`, ale je kódována `0x3dcccccd`. *Protože chyba je absolutně menší.*
- Implementujeme funkci pro tisk paměťové reprezentace hodnoty typu `float` jako posloupnosti hodnot bajtů v šestnáctkové soustavě.
- Přístup k `float` jako posloupnosti bajtů a tisk hex hodnot `"%02x"` funkcí `printf()`.
  - Adresním operátorem `&` získáme adresu proměnné.
  - Přetypujeme adresu jako ukazatel na hodnotu `char`.
  - Použijeme nepřímý adresní operátor `*` k přístupu k hodnotě na adrese uložené v ukazateli.

```
#include <stdio.h>

void print_float_hex(float v);

int main(void)
{
    print_float_hex(85.125);
    print_float_hex(0.1);
    return 0;
}

void print_float_hex(float v)
{
    ...
}
```

## Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě 1/3

- Získáme adresu proměnné `float v` operátorem `&v`.
- K hodnotám na adrese `&v` budeme přistupovat jako k bajtům, proto přetypujeme adresu na ukazatel (adresu) na hodnoty typu `char`.

```
unsigned char *p = (unsigned char*)&v;
```

- Hodnotu uloženou na adrese `p` získáme operátorem nepřímého adresování `*p`.
- Adresu následujícího bajtů za adresou uloženou v `p` získáme `p = p + 1`;

*Protože se jedná o ukazatel na `char`, probíhá inkrementace o `sizeof(char)`, tj. o 1 (ukazatelová aritmetika).*

- Vytisknuté hodnoty jsou v opačném než očekávaném pořadí **0x42aa4000** a **0x3dcccccd**.

```
int main(void)
{
    print_float_hex(85.125);
    print_float_hex(0.1);
    ...
void print_float_hex(float v)
{
    unsigned char *p = (unsigned char*)&v;
    printf("Value %13.10f is 0x", v);
    for (int i = 0; i < 4; ++i, p = p + 1) {
        printf("%02x", *p); // or use p[i]
    }
    putchar('\n');
}
```

```
$ clang floats.c -o floats && ./floats
Value 85.1250000000 is 0x0040aa42
Value 0.1000000015 is 0xcdcccc3d
```

## Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě 2/3

- Očekávaná reprezentace v šestnáctkové soustavě je pro 85.125 výstup **0x42aa4000** a pro 0.1 výstup **0x3dcccccd**. Namísto toho dostáváme 0x0040aa42 a 0xcdcccc3d.
- Výstup je závislý na reprezentaci více bajtových hodnot v paměti. Pro architekturu (amd64) je to tzv. little endian.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Endianness>

- Proto potřebujeme detekovat, jak jsou hodnoty uloženy, například funkcí

```
_Bool is_big_endian(void);
```

- a případně vytiskneme hodnoty v opačném pořadí.

```
void print_float_hex(float v)
{
    const _Bool big_endian = is_big_endian();
    // cast pointer to float to pointer to char
    unsigned char *p = (unsigned char*)&v
        + (big_endian ? 0 : 3);
    printf("Value %13.10f is 0x", v);
    for (int i = 0; i < 4; ++i) {
        printf("%02x",
            *(big_endian ? p++ : p--));
    }
    printf("\n");
}
```

```
$ clang floats.c -o floats && ./floats
Value 85.1250000000 is 0x42aa4000
Value 0.1000000015 is 0x3dcccccd
```

## Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě 3/3

- Detekce uložení můžete být založena na různých principech.
- Intuitivně můžeme uložit definovanou hodnotu, která má pouze jeden bajt nenulový a ostatní nulové.
- Využijeme složeného typu `union`, ve kterém položky sdílejí paměť a umožňuje nám tak různý pohled na konkrétní block paměti.
  1. Definujeme celočíselnou proměnnou o čtyřech bajtech, např., `uint32_t` z knihovny `stdint.h`.
  2. Nastavíme hodnotu na `0x01 00 00 00`.
  3. Otestujeme první bajt paměťové reprezentace.

```
#include <stdint.h>

_Bool is_big_endian(void)
{
    union {
        uint32_t i;
        char c[4];
    } e = { 0x01000000 };
    return e.c[0];
}
```