

# Řídicí struktury, výrazy a funkce

Jan Faigl

Katedra počítačů  
Fakulta elektrotechnická  
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 03

BAB36PRGA – Programování v C

## Přehled témat

### ■ Část 1 – Řídicí 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 2. domácího úkolu (HW2)

## Část I

### Řídicí 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.**

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

- Doporučená konvence v rámci PRGA

```
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 }
```

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

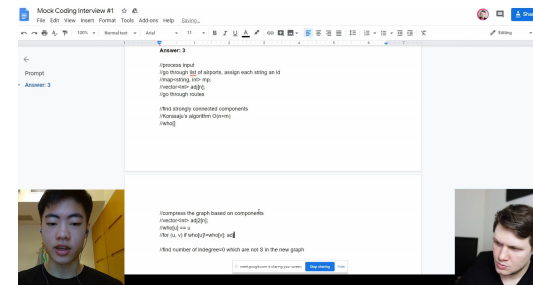
- Pište zdrojové kódy pokud možno anglicky (identifikátory).
- Pro proměnné volte podstatná jména.
- Pro funkce volte slovesa.

## 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 }
```

Míříme na čitelnější podobu.

```
1 int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
2 {
3   if (from > to) return 0;
4   int sum = 0;
5   for (int number = from; number <= to; ++number) {
6     sum += filter_odd(number);
7   } // end for loop
8   return sum;
9 }
```

- 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 „zkompatnění“.

```
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 zanoření. <https://youtu.be/CFRhGnuXG-4>

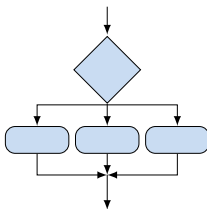
## Příkazy řízení běhu programu

- 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`

## 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. Není-li vybrána žádná větev, provedou se příkazy<sub>def</sub> (pokud jsou uvedeny).*

## Podmíněné větvení – `if`

- `if (výraz) příkaz1; else příkaz2`
- Je-li hodnota výrazu `výraz != 0 (TRUE)`, provede se příkaz `příkaz1` jinak `příkaz2`.
- 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?*

## Programový přepínač – `switch`

- Přepínač `switch(výraz)` větví program do *n* směrů.
- Hodnota `výraz` je porovnávána s *n* konstantními výrazy typu `int` příkazy. `case konstantai: ...`
- Hodnota `výraz` 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

## 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.

## Větvení switch – pokračování ve vykonávání dalších větví

- Příkaz **break** dynamicky ukončuje větev, pokud jej neuvědeme, 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

## Cykly

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

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

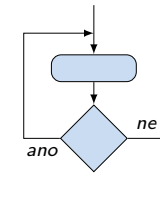
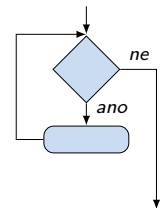
```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {
  ...
}
```

- while** – řídicí proměnná v těle cyklu.

```
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**( ; ; )

- Příkaz **for** cyklu má tvar **for** ([*vyraz<sub>1</sub>*]; [*vyraz<sub>2</sub>*]; [*vyraz<sub>3</sub>*]) příkaz;
- Cyklus **for** používá řídicí proměnnou a probíhá následovně:
  1. *vyraz<sub>1</sub>* – Inicializace (zpravidla řídicí proměnné);
  2. *vyraz<sub>2</sub>* – Test řídicího výrazu;
  3. Pokud *vyraz<sub>2</sub>* !=0 provede se příkaz, jinak cyklus končí;
  4. *vyraz<sub>3</sub>* – Aktualizace proměnných na konci běhu cyklu;
  5. Opakování cyklu testem řídicího výrazu.
- Výrazy *vyraz<sub>1</sub>* a *vyraz<sub>3</sub>* 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 přerušuje vykonávání těla (blokového příkazu) pokračuje vyhodnocením *vyraz<sub>3</sub>*.*

- Při vynechání řídicího výrazu *vyraz<sub>2</sub>* se cyklus bude provádět nepodmíněně.

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

*Nekonečný cyklus*

## Cyklus **for**

- Základní příkaz cyklu **for** má tvar **for** (*inicializace; podmínka; změna*) příkaz.
- Odpovídá cyklu **while** ve tvaru:

```

inicializace;
while (podmínka) {
    příkaz;
    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);
}

```

## Příkaz **continue**

- Příkaz návratu na vyhodnocení řídicího výrazu – **continue**.
- Příkaz **continue** lze použít pouze v těle cyklů.
  - **for** ()
  - **while** ()
  - **do...while** ()
- Příkaz **continue** přerušuje 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
```

## 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 `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--; // nebo -i; nebo i -= 1; nebo i = i - 1;
    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.

## 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.

```
int test = 3;
for (int i = 0; i < 3; ++i) {
    for (int j = 0; j < 5; ++j) {
        if (j == test) {
            goto loop_out;
        }
        printf(stdout, "Loop i: %d j: %d\n", i, j);
    }
}
return 0;
loop_out:
fprintf(stdout, "After loop\n");
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; ++j) {
        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 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 konečnosti cyklu nezaručuje.

```
int i = -1;

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

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

## 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 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; // zbytečně výpočet explicitně opakovat v podmínce
const int maxBound = (int)sqrt((double)n); // opakování těla cyklu
for (int i = 2; i <= maxBound; ++i) {
    ...
}
```

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

## Část II

## Výrazy

## Kódovací konvence

- Příkazy **break** a **continue** v podstatě odpovídají příkazům skoku.
- Obecně můžeme říci, že příkazy **break** a **continue** nepřidávají příliš na přehlednosti.
  - Ne nutně break v příkazu switch.*
- Přerušování 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>

## 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      poradi vyhodnoceni 10 + (x \* y)  
 10 + x + y      poradi vyhodnoceni (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 předefovat použitím kulatých závorek ( a ).*
- Operátory: aritmetické, relační, logické, bitové.
  - Aritmetický operátor (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)

## Aritmetické operátory

- Operandy aritmetických operátorů mohou být libovolného aritmetického typu.  
*Výjimkou je operátor zbytek po dělení % definovaný pro celá čísla (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 $a$ 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 $x$ |

## 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:
  - indukující kladnou/zápornou hodnotu:  $+ a$  a  $-$ ;  
*operátor – modifikuje znaménko výrazu za ním.*
  - modifikující proměnnou:  $++ a$  a  $--$ ;
  - logický operátor doplněk:  $!$ ;
  - bitová negace:  $\sim$  (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)

## 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>	<b>nelze, hodnota i++ není l-hodnota</b>	

*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`.

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

## Bitové operátory

- Bitové operátory vyhodnocují operandy bit po bitu.

&	Bitové AND	<code>x &amp; y</code>	1 když x i y je rovno 1 (bit po bitu).
	Bitové OR	<code>x   y</code>	1 když x nebo y je rovno 1 (bit po bitu).
^	Bitové XOR	<code>x ^ y</code>	1 pokud pouze x nebo pouze y je 1 (exkluzivně právě jedna z variant) (bit po bitu).
~	Bitové NOT	<code>~x</code>	1 pokud x je rovno 0 (bit po bitu).
<<	Posun vlevo	<code>x &lt;&lt; y</code>	Posun x o y bitů vlevo.
>>	Posun vpravo	<code>x &gt;&gt; y</code>	Posun x o y bitů vpravo.

## 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	<code>x &amp;&amp; y</code>	1 pokud x ani y není rovno 0, jinak 0.
	Logické OR	<code>x    y</code>	1 pokud alespoň jeden z x, y není rovno 0, jinak 0.
!	Logické NOT	<code>!x</code>	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.

## Příklad – 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](#)

Vizte rekurzivní implementace [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  $i \ll (2 + 1)$ .

**Nebuďte zaskočení nečekanou interpretací – závorkujte!**

## 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>	Proved' <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);
}
```

## Operátory přístupu do paměti

*Zde pro úplnost, více v následujících přednáškách.*

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

*Dává velké možnosti, ale také vyžaduje zodpovědnost.*

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

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

*Operátor nepřímé adresy `*` umožňuje přístup na proměnné přes ukazatel.*

## 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.
- Operandy 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`.*

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

## Asociativita a priorita operátorů

- Binární operace  $op$  na množině  $S$  je **asociativní**, jestliže platí  $(x \text{ op } y) \text{ op } z = x \text{ op } (y \text{ op } z)$ , 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**.

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

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

- Přirazení je výraz

```
int x, y;

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

„syntactic sugar“

## Přirazení

- Nastavení hodnoty proměnné. *Uložení definované hodnoty na místo v paměti.*
- Tvar přiřazovacího operátoru.
 
$$\langle \text{proměnná} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle$$

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

## 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**.
 

<b>23</b>	typ <b>int</b> , hodnota 23
<b>14+16/2</b>	typ <b>int</b> , hodnota 22
<b>y=8</b>	typ <b>int</b> , hodnota 8
- Přirazení je výraz a jeho hodnotou je hodnota přiřazená levé straně.
- Z výrazu se stává příkaz, pokud je ukončen středníkem.

# Část III

## Zadání 2. domácího úkolu (HW2)

## Shrnutí přednášky

## Zadání 2. domácího úkolu HW2

### Téma: Kreslení (ASCII art)

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

- **Motivace:** Zábavným a tvůrčím způsobem získat praktickou zkušenost s cykly a jejich parametrizací na základě uživatelského vstupu.
- **Cíl:** Osvojit si použití cyklů a vnořených cyklů.
- **Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bab36prga/hw/hw2>
  - Načtení parametrizace pro vykreslení šroubovice s využitím vybraných ASCII znaků. [https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII\\_art](https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII_art)
  - Ošetření vstupních hodnot.
- **Termín odevzdání:** **23.03.2024, 23:59:59 PDT.**

*PDT – Pacific Daylight Time*

## 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

### 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).*
- Vytiskněné 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

- Reprezentace `float` hodnot.
  - Hodnota 85.125 je `0x42aa4000`.
  - Hodnota 0.1 je sice `0x3dcccccd`, 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 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];
}
```

## Příklad nedefinovaného chování

- Standard C nepředepisuje 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 zkompilovaný `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 zkompilovaný `gcc` s `-O2` po spuštění (může) padá (at).

Analyzujte kód asm generovaný přepínačem `-S`.

## 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!**

## Compiler Explorer – Analýza optimalizovaného kódu

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

<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	*, /, %	L→R	násobení, dělení, zbytek
4	+ -		sčítání, odečítání
5	>>, <<		bitový posun vlevo, vpravo
6	<, >, <=, >=		porovnání
7	==, !=		rovno, nerovno
8	&		bitový AND
9	^		bitový XOR
10	~		bitový OR
1	&&		logický AND
12			logický OR

## Přehled operátorů a jejich priorit 3/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
13	? :	P→L	<i>ternární operátor</i>
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	<i>operátor čárka</i>

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