13. Úvod do C++ (Dědičnost a polymorfismus)

B0B99PRPA – Procedurální programování

Stanislav Vítek

Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení v Praze

Přehled témat

- Část 1 – Dědičnost a polymorfismus

    Polymorfismus

    Přetížené operátory

    Dědičnost

    Statická a dynamická vazba

- Část 2 – Výjimky

    Výjimky

- Část 3 – Ještě ke konstruktorům

    Konverzní konstruktor

    Kopírující konstruktor

Část I

Dědičnost a polymorfismus

I. Dědičnost a polymorfismus

Polymorfismus

Přetížené operátory

Dědičnost

Statická a dynamická vazba

Polymorfismus

- Polymorfismus je vlastnost OOP programovacího jazyka která umožňuje:
  - jednomu objektu volat jednu metodu s různými parametry (ad-hoc polymorfismus);
  - přetěžování operátorů neboli provedení rozdílné operace v závislosti na typu operandů, overloading;
  - objektům odvozeným z různých tříd volat tutéž metodu se stejným významem v kontextu jejich třídy, často pomocí rozhraní;
  - jedné funkci dovolit pracovat s argumenty různých typů (parametrický polymorfismus, ne ve všech programovacích jazycích).
- Rozhodnutí o tom, která metoda bude volána, je u polymorfismu prováděno až za běhu programu (tj. dynamicky pomocí virtuálních funkcí). Tím se odlišuje od přetěžování funkcí, kde je rozhodnutí o volání vhodné funkce provedeno již při překladu (tj. staticky).

I. Dědičnost a polymorfismus

Polymorfismus

Přetížené operátory

Dědičnost

Statická a dynamická vazba

Přehled

- Pro přetěžování operátorů jsou jistá omezení
  - přetíženy mohou být jen existující operátory,

    Není možné zavést nový operátor, např. operátor $.
  - aritu, asociativitu a prioritu operátorů nelze změnit,

    Např. operátor += musí být binární.
  - nelze přetěžovat operátory vestavěných typů.

    Nelze změnit způsob sčítání čísel typu integer.
- Přetížení je třeba si dobře rozmyslet
  - přetížené operátory mají význam v matematice (např. naše komplexní čísla, velká čísla, vektory, ...) a řetězce (konkatenace – spojování),
  - kolekce (jako vektory, množiny, tabulky, ...) používají přetížené operátory pro přístup k uloženým hodnotám,
  - jiné třídy mohou vyžadovat přetížené operátory <<, >> a =,
  - jste-li na pochybách, dejte přednost metodě před přetíženými operátory.

Přehled operátorů

- Operátory, které lze přetížit

+	-	*	/	%	^	&	|
~	!	=	<	>	+=	-=	*=
/=	%=	^=	&=	|=	<<	>>	>>=
<<=	==	!=	<=	>=	&&	||	++
--	->*	,	->	[]	()	new	delete
new []	delete[]						

- Operátory, které nelze přetížit

.	.*	::	?:	sizeof

Binární operátory

`+, -, *, ..., +=, -=, ...`

- zápis operace: `x @ y`
- signatura: `T1 @ T2 -> T3`
- metoda v T1: `T3 operator @ (T2)`
- alt. volání: `x.operator @ (y)`
- funkce: `T3 operator @ (T1, T2)`
- alt. volání: `operator @ (x, y)`

Přetížení operátoru `@` automaticky nepřetíží operátor `@=`. Je-li to požadováno, operátor musí být přetížen separátně.

Příklad přetížení binárního operátoru

- Deklarace operátoru spojování řetězců

```
class String  {
public:
  ...
  String & operator+= (const String &s) {
    _length += s._length;
    char  *temp = _data;
    _data = new  char[_length +1];
    strcpy(_data,temp);
    strcat(_data,s._data);
    delete [] temp;
    return  *this;
  }
};
```

- `y+=z` je ekvivalentní `y.operator+=(z)`.

Unární prefixové operátory

`+, -, *, &, ~, !, ++, --`

- zápis operace: `@ x`
- signatura: `@ T1 -> T2`
- metoda v T1: `T2 operator @ ()`
- alt. volání: `x.operator @ ()`
- funkce: `T2 operator @ (T1)`
- alt. volání: `operator @ (x)`

Příklad přetížení unárního operátoru

- Deklarace operátoru, který testuje, zda je řetězec prázdný

```
class String
{
public:
  ...
  bool operator! ()
  {
    return this->data = "";
  }
  ...
};
```

- `!s` je ekvivalentní volání funkce `s.operator!()`.

Unární postfixové operátory

`++`, `--`

- zápis operace: `x @`
- signatura: `T1 @ -> T2`
- metoda v T1: `T2 operator @ (int)`
- alt. volání: `x.operator @ (0)`
- funkce: `T2 operator @ (T1, int)`
- alt. volání: `operator @ (x, 0)`

Přiřazení

- zápis operace: `x = y`
- signatura: `T = T1 -> T`
- metoda v T1: `T & operator = (const T1 &)`
- alt. volání: `x.operator = (y)`
- funkce: -
- alt. volání: -

- Obvykle bývají `T1` a `T` stejné typy.
- Návratová hodnota může být buď typu `T &`, nebo `void`.

Indexování

- zápis operace: `x[y]`
- signatura: `T1[T2] -> T3`
- metoda v T1 (a): `T3 & operator [] (T2)`
- metoda v T1 (b): `const T3 & operator [] (T2) const`
- alt. volání: `x.operator [] (y)`
- funkce: -
- alt. volání: -

- První způsob přetížení je určen pro nekonstantní objekty a umožňuje použít výsledek jako l-value (tzn. na levé straně přiřazení).
- Druhý způsob přetížení je určen pro konstantní objekty, výsledek není modifikovatelný.

Dereference

- zápis operace: `x -> met`
- signatura: `T -> T1*`
- metoda v T: `T1* operator -> ()`
- alt. volání: `(x.operator -> ()) -> met`
- funkce: -
- alt. volání: -

Volání funkce

- zápis operace: `x (x1, x2, ..., xn)`
- signatura: `T (T1, T2, ..., Tn) -> Tx`
- metoda v T: `Tx operator () (T1, T2, ..., Tn)`
- alt. volání: `(x.operator () (x1, x2, ..., xn))`
- funkce: -
- alt. volání: -

I. Dědičnost a polymorfismus

Polymorfismus

Přetížené operátory

Dědičnost

Statická a dynamická vazba

Úvod

- Problém – vývoj třídy reprezentující čítač (čítající celá čísla).
- Čítač má čítat s určitým modulem m.
- Už dříve jsme vyvinuli celočíselný čítač – třídu `Counter`.
- Nová třída jen rozšíří (vylepší) funkci této existující třídy.
- Novou třídu odvodíme z existující třídy prostřednictvím dědičnosti:
    - zdědí se všechny existující položky (členské proměnné),
    - lze přidat nové položky,
    - existující metody lze zdědit nebo je přepsat (override),
    - lze přidat nové metody.

Dědičnost – příklad 1/4

```
class Counter
{
protected:
  int value;
  int load;
public:
  void increment ( ) { value++; }
  void decrement ( ) { value--; }
  void reset ( ) { value = load; }
  int get () const { return value; }
  Counter (int val):value(val) { reset(); }
};
```

Dědičnost – příklad 2/4

```
class CounterMod : public Counter
{
protected:
  int mod;
public:
  void increment ();
  void decrement ();
  CounterMod ( int val, int modulus );
};
```

Dědičnost – příklad 3/4

```
CounterMod::CounterMod ( int v, int m ) :
  // volání konstruktoru předka
  Counter ( v % m ) { mod = m; }

void CounterMod::increment () {
  Counter::increment ();
  // volání metody increment () předka
  val = val % mod;
}

void CounterMod::decrement () {
  Counter::decrement ();
  val = val % mod;
}
```

Dědičnost – příklad 4/4

```
int menu () { ... }
// ret:  0 = konec, 1,2,3 = manipulace z čítačem

int main () {
  CounterMod cnt ( 0, 5 );
  for (;;) {
    cout << "Val = " << cnt . get ( ) << endl;
    switch ( menu ( ) ) {
      case 1: cnt . increment ( ); break;
      case 2: cnt . decrement ( ); break;
      case 3: cnt . reset ( ); break;
      case 0: return 0;
    }
  }
}
```

Dědičnost v C++

- v C++ je možno dědit od více předků,
- nelze však přímo dědit dvojmo od jedné třídy,
- předek musí být plně deklarován,
- dědí se metody a datové položky,
- nedědí se konstruktory, destruktor a přetížený operátor =,
- při dědění lze měnit přístupová práva k datovým složkám i metodám.

Odvozené třídy

- Odvozené třídy mají tuto syntaxi

```
class T1 : public T
{
  // deklarace nových členských proměnných
  // deklarace nových členských funkcí (metod)
  // deklarace přepsaných metod
};
```

- Členské proměnné v odvozené třídě:
  - existující proměnné jsou vždy zděděny,
  - existující proměnné nemohou být odebrány,
  - datové typy existujících proměnných nemohou být změněny,
  - mohou být přidány nové proměnné.
- Metody v odvozených třídách:
  - existující metody jsou zděděny,
  - existující metody mohou být přepsány (stejná signatura, jiná implementace).
  - mohou být přidány nové metody.

Odvozené třídy – viditelnost

- Zachování viditelnosti:

```
class T1 : public T { ... };
```

  - členské proměnné a funkce (metody) zděděné z T mají stejnou viditelnost v T1.

- Změna viditelnosti všech zděděných členů na private:

```
class T1 : private T { ... };
```

  - zděděné členy nejsou mimo T1 viditelné,
  - efektem je dosažení dědičnosti členů, ale potlačení polymorfismu.

- Když není specifikována viditelnost:

```
class T1 : T { ... };
// class T1 :  private T  ...  ;
struct T1 : T { ... };
// struct T1 :  public T  ...  ;
```

Odvozené třídy a operátor přiřazení

- Instance odvozené třídy (potomka) může být přiřazena předkovi.
- Instance bázové třídy (předka) nemůře být přiřazena potomkovi.

```
class T { ... };
class T1 : public T { ... };
class T2 : public T { ... };

T x; T1 x1; T2 x2;
T *p; T1 *p1; T2 *p2;
x = x1; x = x2;  // obě přiřazení ok
x1 = x; x1 = x2; // obě přiřazení chybně
p = p1; p = p2;  // obě přiřazení ok
p1 = p; p1 = p2; // obě přiřazení chybně
```

Konstruktory a destruktory

- konstruktory předků se volají před vstupem do těla konstruktoru potomka,
- je-li více předků, jejich konstruktory se volají v pořadí, v jakém byly napsány,
- destruktor předka je volán až po dokončení těla destruktoru potomka,
- je-li předkem odvozená třída, aplikují se tato pravidla rekurzivně.

Virtuální dědění

- pokud se shodují názvy složek od různých předků případně název složky předka a potomka, lze je odlišit `::`,
- problém nastává např. při opakovaném dědění:

```
class A {int a};
class B:A {int b};
class C:A {int c};
class D:B, C {int d};
```

- neexistenci dvou výskytů třídy A v třídě D lze zařídit pomocí **virtuálního dědění**:
  - stačí předka A definovat ve třídách B a C jako virtuálního:

    ```
    class B: virtual A {int b};
    ```

  - je-li třída děděna virtuálně i nevirtuálně, pak je v potomkovi obsažena jednou za všechna virtuální dědění a jednou za každé nevirtuální,
  - v konstruktoru se volají nejprve konstruktory virtuálních předků.

I. Dědičnost a polymorfismus

Polymorfismus

Přetížené operátory

Dědičnost

Statická a dynamická vazba

Statická a dynamická vazba

```
Counter c (0);
CounterMod cm (0, 5);
...
c.increment ();  // Counter::increment()
cm.increment (); // CounterMod::increment()
c = cm;
c.increment ();
```

- Operace je určena datovým typem proměnné stojící vlevo od operátoru `.` nebo `->`, zde tedy typem proměnné `c`.
- Metoda je vybrána v době kompilace.
- Statická vazba metod.

Statická a dynamická vazba

```
Counter * p = new Counter (0);
CounterMod * pm = new CounterMod (0, 5);
...
p->increment ();  // Counter::increment()
pm->increment (); // CounterMod::increment()
delete p;
p = pm;
p->increment (); // Counter::increment()
```

- Operace je opět určena datovým typem proměnné `p`.
- Metoda je vybrána v době kompilace.
- Opět statická vazba metod.

Statická a dynamická vazba

- Statická vazba je rychlejší, ale neumožňuje polymorfismus:
  - volající musí rozlišit objekty a jejich typy,
  - volající musí mít znalost všech možných odvozených tříd,
  - volající (vyšší úroveň abstrakce) se musí starat o implementační detaily objektů, které používá.
- Dynamická vazba určuje volanou metodu až v době výpočtu, na základě objektů, které jsou zpracovávány:
  - volání je trochu pomalejší,
  - volající zpracovává objekty (např. zde čítače) a provádí nějaké operace. Nemusí rozlišovat typy objektů při provádění operací,
  - existující kód není třeba modifikovat, pokud do programu přidáme nové odvozené třídy.

Statická a dynamická vazba

- Vyvineme funkci `funWithCounter`, která bude provádět logiku čítání (menu, modifikace instance čítače).
- Tato funkce bude schopna pracovat s každým objektem odvozeným z třídy `Counter`.
- Třída `Counter` bude používat dynamickou vazbu.

```
void funWithCounter ( Counter * x )
{
  for (;;) {
    cout << "Val = " << x -> get ( ) << endl;
    switch ( menu ( ) ) {
      case 1: x -> increment ( ); break;
      case 2: x -> decrement ( ); break;
      case 3: x -> reset ( ); break;
      case 0: return;
}}}
```

Statická a dynamická vazba

```
class Counter
{
protected:
  int value;
  int load;
public:
  virtual void increment ( ) { value++; }
  virtual void decrement ( ) { value--; }
  void reset ( ) { value = load; }
  int get() const { return value; }
  Counter(int val):value(val) {reset (); }
};
```

- Klíčové slovo `virtual` indikuje dynamickou vazbu konkrétní metody.

Statická a dynamická vazba

```
class CounterMod : public Counter {
  ...
  virtual void increment () {
    Counter::increment ();
    value %= mod;
  }
  virtual void decrement () {
    CCounter::decrement ();
    value %= mod;
  }
};
```

- Klíčové slovo `virtual` zde není třeba – metody jsou automaticky dynamicky vázány (zděděno po předkovi); může ale zvýšit čitelnost zdrojového kódu.

Statická a dynamická vazba

```
...
int main()
{
  Counter c (0);
  CounterMod cm (0, 24);
  cout << "Counter" << endl;
  funWithCounter (&c);
  cout << "CounterMod" << endl;
  funWithCounter (&cm);
  return 0;
}
```

Statická a dynamická vazba

- Mohlo by být rozhraní funkce `funWithCounter` změněno takto?

  ```
  void funWithCounter (Counter & x)
  ```

  Ano, program by pracoval správně.

- A co takto?

  ```
  void funWithCounter (Counter x)
  ```

  Nikoli, program bude pracovat s operacemi třídy `Counter` (jako kdyby nebyla dynamická vazba).

  Proč?

Statická a dynamická vazba

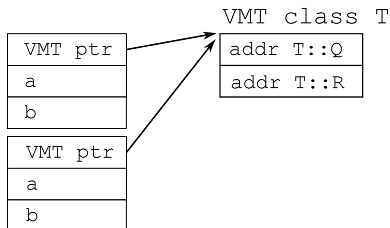
- Když je objekt předán přes ukazatel (nebo referenci), kód ve funkci `funWithCounter` pracuje s originálním objektem:
  - má originální instanci,
  - má originální interface.
- Když je objekt předán jako kopie objektu, pak:
  - je vytvořena instance `Counter` (kopírující konstruktor),
  - nová instance je objekt typu `Counter`,
  - ten má interface `Counter` a metody `Counter`.
- To není překvapující: objekt se chová jako `Counter`, protože to je instance `Counter`.
- Proč se v tomto chování C++ liší od Javy (a dalších jazyků)?
  - Java nemá možnost předávat objekty hodnotou.
  - Java vždy předává pouze referencí.

Jak dynamická vazba pracuje

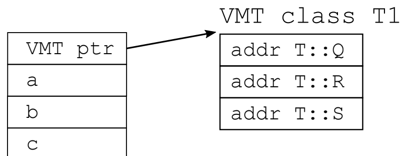
- Při dynamické vazbě je metoda určena v době běhu programu:
  - objekty musí "znát"svoji třídu, aby bylo možno metodu této třídy najít,
  - metoda musí být vybrána velmi rychle.
- C++ používá VMT (Virtual Method Table) k určení metody v konstantním čase:
  - VMT je připravena pro každou třídu s virtuálními funkcemi; tabulka je generována kompilátorem,
  - VMT obsahuje pole adres metod s dynamickou vazbou,
  - každý objekt s dynamickou vazbou metod má ukazatel na svou VMT, tento ukazatel je inicializován konstruktorem,
  - metody jsou ve VMT uspořádány tak, že jméno metody koresponduje s offsetem v tabulce,
  - pro odvozené třídy se zachovává pořadí metod v tabulce.
- Volání virtuální metody znamená index ve VMT (2x dereference) a volání kódu referencovaného tímto ukazatelem.

Jak dynamická vazba pracuje

```
class T {
   int a, b;
public:
   void P ();
   virtual void Q ();
   virtual void R ();
};
```




```
class T1 : public T {
   int c;
public:
   virtual void R ();
   virtual void S ();
   void U();
};
```



Jak dynamická vazba pracuje

- Ve VMT jsou umístěny jen virtuální metody.
- Metoda `T::Q` není přepsána, její adresa je převzata do VMT třídy `T1`.
- Metoda `Q` má přiřazen index `0` v VMT, metoda `R` má index `1`.
- Tyto indexy musí být zachovány i v odvozených třídách (např. v `T1`).
- Nové metody (např. `S`) jsou přidány na konec. Metoda `S` bude mít index `2`, což bude zachováno i ve všech potomcích třídy `T1`.
- Struktura VMT je jednoduchá díky jednoduchému dědění (jeden předek). V případě vícenásobného dědění (C++ vícenásobné dědění umožňuje) se struktura VMT komplikuje.

Abstraktní třídy

- slouží pro implementaci obecného předka dalších tříd,
- některé metody takovéhoto předka nemá smysl definovat:
    - takováto metoda je označena jako virtuální a místo těla má řetězec "=0;",
    - takováto metoda se nazývá čistě virtuální,
- nesmí být vytvořena instance abstraktní třídy,
- pointer nebo reference však ano.

Část II

Výjimky

II. Výjimky

Výjimky

Výjimky

- V programování se výjimkou rozumí nějaká neočekávaná událost, která může vést i ke zhroucení samotného programu.
- Výjimky v C++
  - Část kódu, ve kterém může nastat výjimka, uzavřeme do bloku `try`;
  - pokud bloku `try` dojde k nějaké nečekané situaci, řízení programu se předá do bloku `catch`; bloků `catch` může být více;
  - pokud k žádné výjimce nedojde, blok `catch` se přeskočí.

dělení nulou, zápis za konec pole, čtení neexistujícího souboru, ...

```
try
{
  // nějaký kód, který může způsobit výjimku
}
catch (typ vyjimky)
{
  // kód, ktery se provede při vyvolání výjimky
}
```

Příklad

```
int main() {
  double a, b;
  cin >> a;
  cin >> b;
  try {
    if (b == 0)
      throw "Deleni nulou.\n";
    cout << a / b << endl;
  }
  catch (const char* exception) {
    cout << "Byla zachycena vyjimka - " << exception;
  }
  return 0;
}
```

Ošetření více výjimek

- V programu může dojít k více výjimkám
- Je možné napsat více bloků catch pro různé výjimnky.
- Existuje blok catch(...), který dokáže zachytit všechny výjimky.

```
try
{
  NejakaNebezpecnaFunkce();
}
catch (int)
{
  // zachycení výjimky datového typu int
}
catch (...)
{
  // zachycení všech neošetřených výjimek
}
```

Standardní výjimky v C++

C++ definuje třídu standardních výjimek, včetně interface a datových typů.

- `<exceptions>`
  - `std::exception` – bázová třída
  - `virtual what()` – vrací řetězec s popisem výjimky
  - `terminate()` – ukončuje program, volá `abort()`
- `<stdexcept>`
  - `std::out_of_range` – přístupu mimo rozsah
  - `std::overflow_error` – přetečení
- `<new>`
  - `std::bad_alloc` (memory allocation fails)
  - `std::nothrow`

Co když není výjimka zachycena?

```
void myFunction()
{
  std::cerr << "Nezachycena vyjimka.\n";
  std::cerr << "Program bude ukoncen.\n";
  exit(1);
}
int main()
{
  std::set_terminate(myFunction);
  throw 1;
  return 0;
}
```

Výjimka při alokaci dynamické paměti

```
try {
  while (true) {
    new int[100000000ul];   // throwing overload
  }
} catch (const std::bad_alloc& e) {
  std::cout << e.what() << '\n';
}
while (true) {
  int* p = new (std::nothrow) int[100000000ul]; //
   non-throwing overload
  if (p == nullptr) {
    std::cout << "Allocation returned nullptr\n";
    break;
  }
}
```

Vlastní výjimka jako derivace třídy exception

```
class myexception: public exception
{
  virtual const char* what() const throw()
  {
    return "Moje vyjimka";
  }
} myex;
int main () {
  try {
    throw myex;
  }
  catch (exception& e) {
    cout << e.what() << '\n';
  }
  return 0;
}
```

Část III

Ještě ke konstruktorům

III. Ještě ke konstruktorům

Konverzní konstruktor

Kopírující konstruktor

Přetypování

- V C++ lze stejně jako v C použít explicitní přetypování
- K dispozici je ještě alternativní formát zápisu – konverzní konstruktor
  - má právě jeden parametr
  - pokud se při vytváření instance objeví přiřazení jiného datového typu, překladač se pokusí najít odpovídající konstruktor

```
double a = 3.1415;
// konverze známá z jazyka C
int i = (int)a;
// konverzní konstruktor
int j = int(a);
```

Příklad

```
struct Double
{
  Double (int a) { cout << "int\n"; };
  // zákaz implicitní konverze
  explicit Double (long a) { cout << "long\n"; };
};

int main()
{
  Double a = 10L;
  // co kdyby byla hodnota a třeba 10000000000L?
}
```

III. Ještě ke konstruktorům

Konverzní konstruktor

Kopírující konstruktor

Motivační příklad

- Mějme třídu `Vektor`, která popisuje vektor celých čísel
- Data jsou uložena v dynamické paměti
- Implementace obsahuje přetížený operátor pro přístup k datům
- Přístup k indexům mimo alokaci vyvolá výjimku

```
class Vektor {
  int * data;
  int velikost;
public:
  explicit Vektor (int v):velikost(v) {
    data = new int[velikost];
    for (int i = 0; i < velikost; i++) data[i] = 0;
  }
  ~Vektor () {delete [] data;}
  int operator[] (int idx);
};
```

Motivační příklad

```
int & Vektor::operator [] ( int idx ) {
  if ( idx < 0 || idx >= velikost )
    throw "Index mimo meze";
  return data[idx];
}
int main()
{
  Vektor a(5);
  a[1] = 10;

  for (int i = 0; i < 5; i++)
    std::cout << a[i] << " ";
  std::cout << std::endl;

  return 0;
}
```

Motivační příklad

```
int main()
{
  Vektor a(5), b(5);

  a[4] = 3;
  b = a;      // problém č. 1
  b[3] = 5;  // problém č. 2

  for (int i = 0; i < 5; i++)
    std::cout << a[i] << " ";
  std::cout << std::endl;
  // 0 0 0 5 3
}
```

Mělká kopie

- Objekt byl okopírován použitím operátoru `=`.
- Třída `Vektor` nemá operátor `=` přetížený, takže si jej kompilátor vymyslí:
  - objektové členské proměnné kopíruje jejich operátorem `=`,
  - primitivní datové typy (včetně ukazatelů a ukazatelů na objekty) kopíruje po bitech.
- Binární kopie ukazatele na dynamicky alokovaná data referencuje stejnou paměť (tedy stejná data).
- To se nazývá mělká kopie (shallow copy).
- Mělká kopie není problémem, pokud jsme si toho vědomi.
- Destruktor ale problémem je (stejný dynamicky alokovaný blok je uvolněn dvakrát nebo i vícekrát).

Hluboká kopie

- Sémantika operátoru = (deep copy) je jasná:
  - chceme okopírovat zdrojová data (vpravo) na cílová (vlevo),
  - původní data na levé straně budou zřejmě zničena,
  - objekty musí zůstat nezávislé.
- Kopírování adresy je nedostatečné, je třeba kopírovat obsah:
  - musí být připraven nový dynamicky alokovaný blok,
  - obsah pole musí být zkopírován,
  - dříve alokované pole musí být zrušeno.

```
Vektor & Vektor::operator = (const Vector & src) {
  if ( &src == this ) return *this;
  delete [] m_Data;
  velikost = src.velikost;
  data = new int [velikost];
  for ( int i = 0; i < velikost; i ++ )
    data[i] = src.data[i];
  return *this;
}
```

Kopírující konstruktor

- Deklarace

```
Vektor b = a;
```

  deklaruje nový objekt b a inicializuje jej obsahem objektu a.
- Deklarace je identická jako

```
Vektor b ( a );
```

- V obou předchozích případech inicializace se volá kopírující konstruktor :

```
Vector( const CVector & src );
```

- Když kopírující konstruktor neexistuje (programátor ho nenapsal), kompilátor automaticky připraví kopírující konstruktor:
  - objektové členské proměnné jsou kopírovány jejich kopírujícími konstruktory,
  - primitivní datové typy (včetně ukazatelů a ukazatelů na objekty) jsou kopírovány po bitech.

Toto je v podstatě mělká kopie objektu.

Kopírující konstruktor

```
Vektor::Vektor ( const Vektor & src ) {
  velikost = src.velikost;
  data = new int [velikost];
  for ( int i = 0; i < velikost; i++ )
    data[i] = src.data[i];
}
```

- Konstruktor je podobný operátoru =, ale
  - chybí podmínka,
  - chybí delete.

Proč?

Kopírující konstruktor

- Kopírující konstruktor a operátor = jsou použity pro vytvoření hluboké kopie objektu. Rozdíl je v cílovém objektu:
  - operátor = má na levé straně plně funkční objekt. Tudíž zdroje alokované pro cílový objekt musí být před kopírováním uvolněny,
  - kopírující konstruktor nemá žádný objekt k modifikaci. Místo toho má cíl již rezervovanou (neinicializovanou) paměť, která musí být inicializována.
- Kopírující konstruktor, operátor = a destruktor jsou těsně svázány. Je-li důvod pro implementaci destruktoru, je také důvod pro implementaci kopírujícího konstruktoru a operátoru = (pokud kopírování není zakázáno).
- Pravidlo 3 (rule-of-three): buď třída implementuje všechny tři (destruktor, kopírující konstruktor a operátor =), nebo ani jeden z nich.