

Dědičnost

Karel Richta a kol.

katedra počítačů FEL ČVUT v Praze

© Karel Richta, Aleš Hrabalík a Martin Hořeňovský

Programování v C++, B6B36PCC

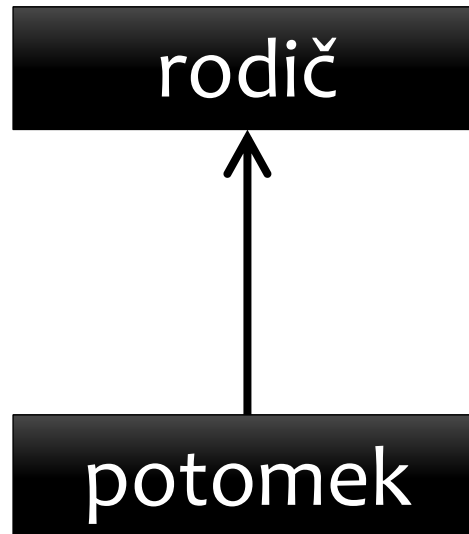
11/2024, Lekce 8

<https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b6b36pcc/start>



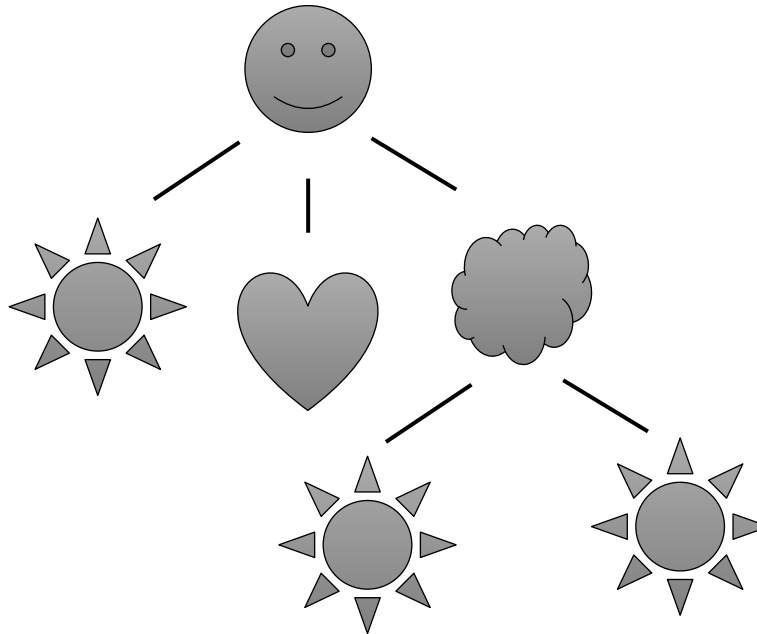
Dědičnost – co to je?

- **Dědění** je návrh nových tříd na základě tříd již existujících.
- Třidu, ze které dědíme, nazýváme **rodič** nebo **předek**.
Nově vzniklou třídu nazýváme **potomek**.



Dědičnost – k čemu to slouží?

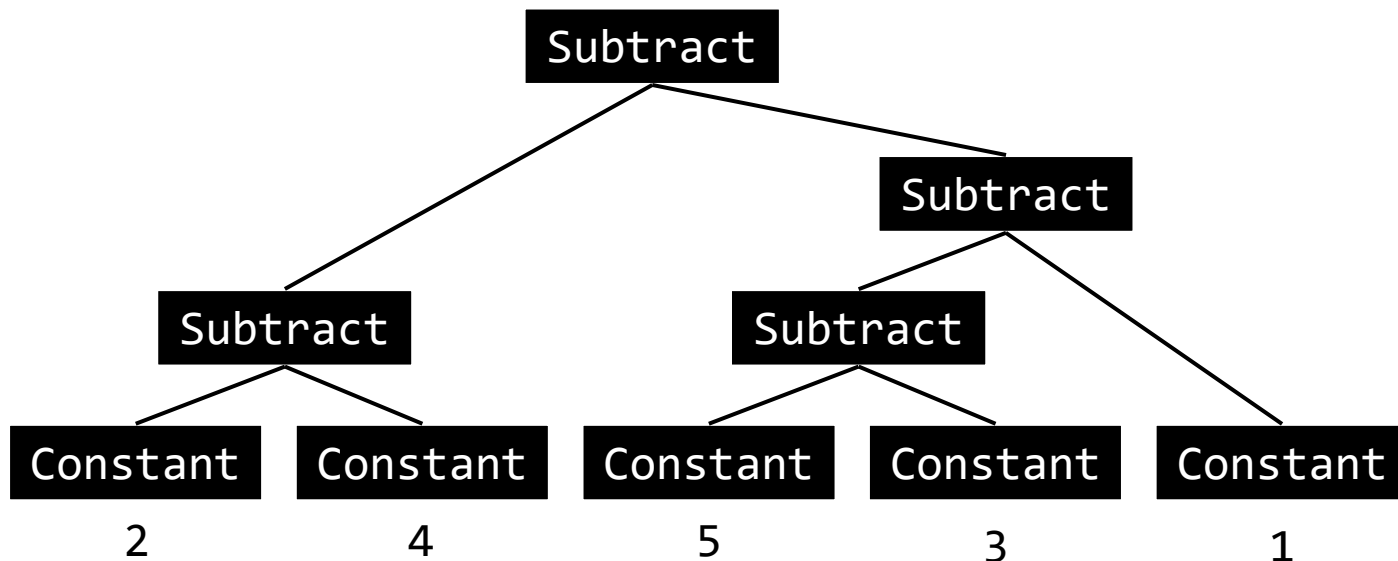
- Dědění používáme ke konstrukci **heterogenních hierarchií** objektů.



- Heterogenní = objekty v hierarchii mohou být různých typů.

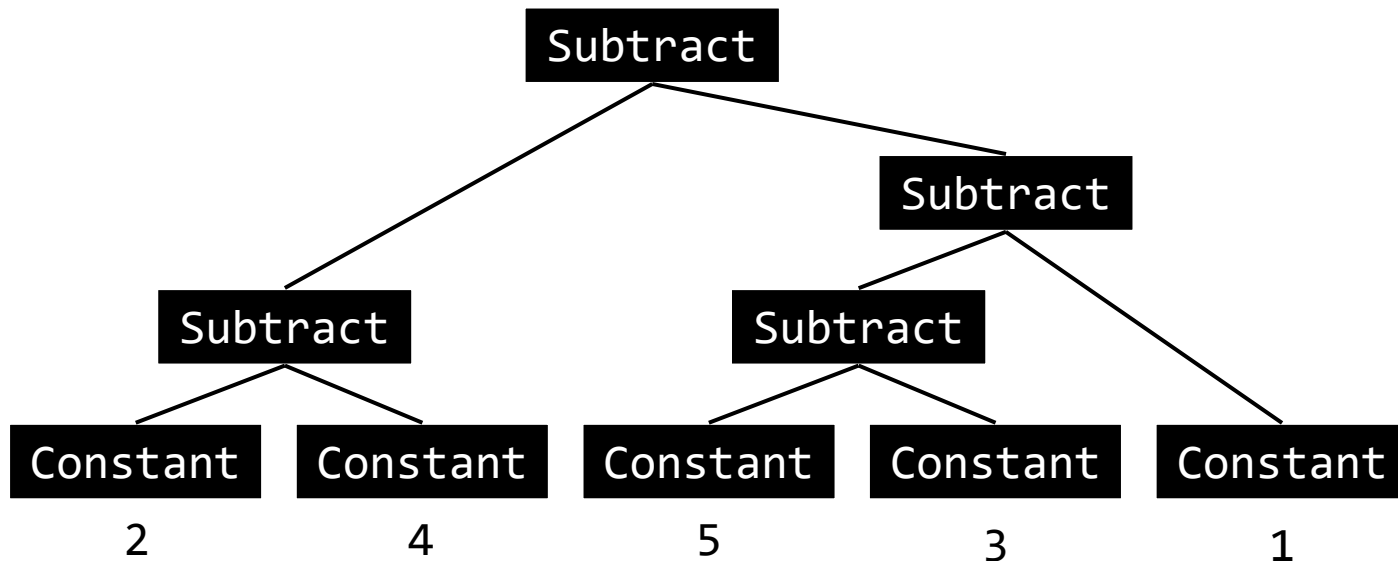
Příklad heterogenní hierarchie

- Program má za úkol spravovat aritmetické výrazy.
- Mějme aritmetický výraz:
$$(2 - 4) - ((5 - 3) - 1)$$
- Program může tento výraz uložit v paměti jako hierarchii různorodých objektů:



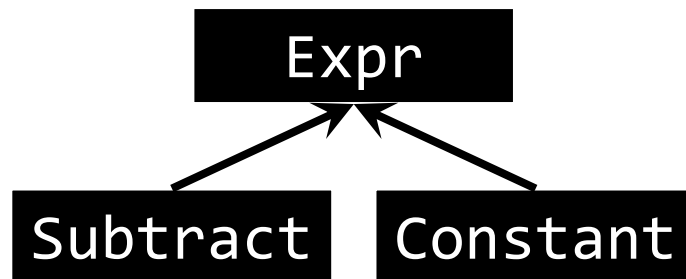
Příklad heterogenní hierarchie

- V této hierarchii je třída Subtract nadřazena jak dalším objektům typu Subtract, tak objektům typu Constant.
- Vzniká problém při implementaci: na jaký typ má Subtract odkazovat? Řešením je dědičnost.



Příklad heterogenní hierarchie

- V této hierarchii je třída Subtract nadřazena jak dalším objektům typu Subtract, tak objektům typu Constant.
- Vzniká problém při implementaci: na jaký typ má Subtract odkazovat? Řešením je dědičnost.
- Zavedeme třídu Expr (expression – výraz), která bude předkem oběma třídám Subtract a Constant.

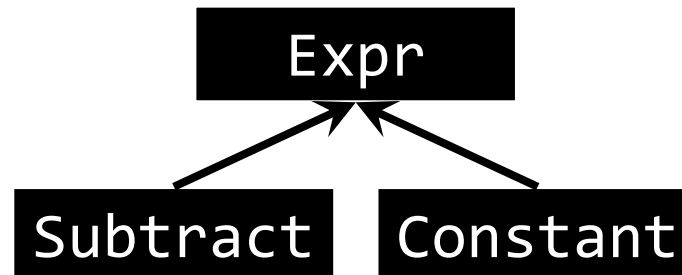


Dědění – syntax

```
class Expr {  
    ...  
};  
  
class Subtract : public Expr {  
    ...  
};  
  
class Constant : public Expr {  
    ...  
};
```

Díky dědění se nyní na místo objektu třídy Expr může dosadit objekt třídy Subtract nebo Constant.

Význam klíčového slova `public` probereme později.

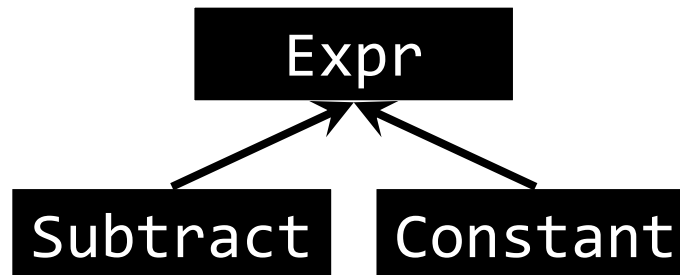


Příklad heterogenní hierarchie

```
class Expr {  
    ...  
};  
  
class Subtract : public Expr {  
    Expr* lhs;  
    Expr* rhs;  
};  
  
class Constant : public Expr {  
    ...  
};
```

Hierarchii implementujeme tak, že se ve třídě Subtract odkazujeme na třídu Expr.

Varianta 1/3: ukazatele

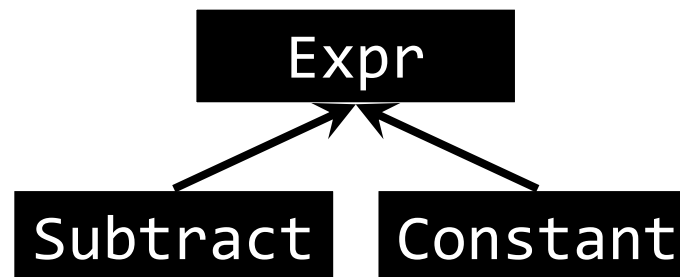


Příklad heterogenní hierarchie

```
class Expr {  
    ...  
};  
  
class Subtract : public Expr {  
    std::unique_ptr<Expr> lhs;  
    std::unique_ptr<Expr> rhs;  
};  
  
class Constant : public Expr {  
    ...  
};
```

Hierarchii implementujeme tak, že se ve třídě Subtract odkazujeme na třídu Expr.

Varianta 2/3: unique_ptr

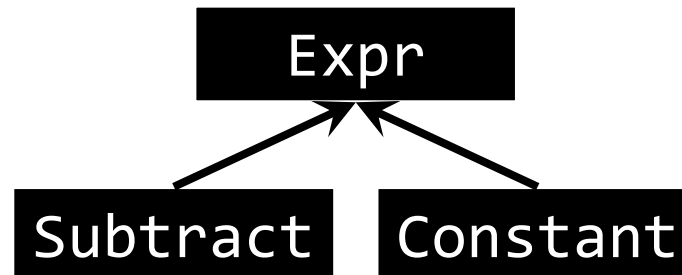


Příklad heterogenní hierarchie

```
class Expr {  
    ...  
};  
  
class Subtract : public Expr {  
    Expr lhs;  
    Expr rhs;  
};  
  
class Constant : public Expr {  
    ...  
};
```

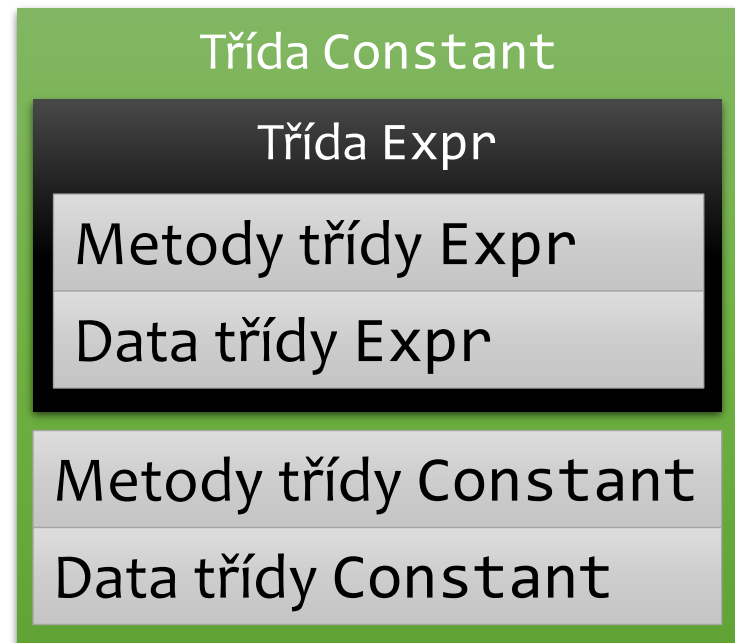
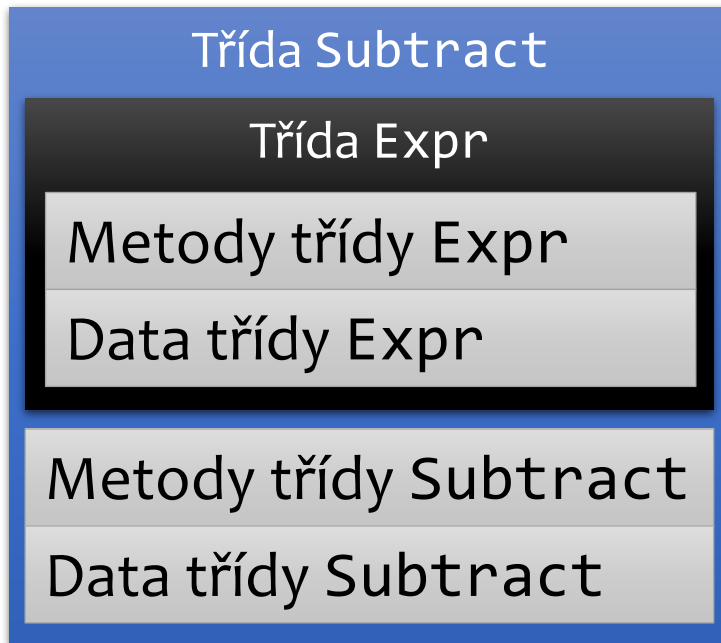
Hierarchii implementujeme tak, že se ve třídě Subtract odkazujeme na třídu Expr.

Varianta 3/3: hodnoty Takto ne! (viz object slicing dále v přednášce)



Význam dědění

- Dědění zakládá vztah *potomek je druh rodiče* (odčítání je druh výrazu, konstanta je druh výrazu).
- Děděním potomek získá všechna data a metody předka, vyjma konstruktorů (o tom později).
- Můžeme si představit, že potomek předka obsahuje:



Příklad: přesné datum

```
struct Datum {  
    int rok;  
    int mesic;  
    int den;  
};  
struct PresneDatum : Datum {  
    int hodiny;  
    int minuty;  
    int sekundy;  
};
```

```
PresneDatum vostok1() {  
    PresneDatum d;  
    d.rok = 1961;  
    d.mesic = 4;  
    d.den = 12;  
    d.hodiny = 7;  
    d.minuty = 55;  
    d.sekundy = 0;  
    return d;  
}
```

- PresneDatum získá všechna data třídy Datum.
- Proč ne `struct PresneDatum : public Datum`? Klíčové slovo `public` zde není potřeba, protože PresneDatum je struct (viz veřejná a soukromá dědičnost).

Kopírování potomka do rodiče

```
PresneDatum vostok1() {  
    ...  
}  
  
int main() {  
    Datum d = vostok1();  
  
    std::cout << d.den << '.' << d.mesic << '.' <<  
        d.rok << '\n';  
}
```

- Je povoleno kopírovat objekt potomka do objektu rodiče. Zkopírují se pouze datové položky rodiče.
- Později si ukážeme problémy způsobené tímto chováním (viz object slicing).

Dynamická vazba

- Dynamická vazba je způsob volání metod, který umožňuje **volat metody potomka prostřednictvím ukazatele na rodiče nebo reference na rodiče**.
- Příklad: Každé zvíře dělá vlastní zvuk, pes štěká a kočka mňouká. Zvířata reprezentujeme v programu jako různé potomky třídy `Zvire`. Když pak máme referenci (nebo ukazatel) na `Zvire`, očekáváme, že volání metody `udelejZvuk` vyloudí různé zvuky pro různá zvířata.

```
void foo(const Zvire& zvire) {  
    zvire.udelejZvuk(); // haf pokud pes, mňau pokud kočka  
}
```

```
void bar(Zvire* zvire) {  
    zvire->udelejZvuk(); // haf pokud pes, mňau pokud kočka  
}
```

Statická vazba v C++

- V jiných programovacích jazycích (C#, Java) považujeme dynamickou vazbu za samozřejmost. C++ ale používá **statickou vazbu**, která zavolá pouze tu metodu, která náleží typu ukazatele/reference.

```
struct Zvire {  
    void udelejZvuk() const { std::cout << "!!!\n"; }  
};  
struct Pes : Zvire {  
    void udelejZvuk() const { std::cout << "haf\n"; }  
};  
struct Kocka : Zvire {  
    void udelejZvuk() const { std::cout << "mnau\n"; }  
};
```

```
void foo(const Zvire& zvire) { zvire.udelejZvuk(); }
```

```
Kocka k; Pes p;  
k.udelejZvuk(); p.udelejZvuk(); foo(k); foo(p);
```

mnau

haf

!!!

!!!

Dynamická vazba v C++

- Abychom v C++ dosáhli dynamické vazby, musíme označit metodu jako **virtuální**.

```
struct Zvire {  
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "!!!\n"; }  
};  
struct Pes : Zvire {  
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "haf\n"; }  
};  
struct Kocka : Zvire {  
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "mnau\n"; }  
};
```

```
void foo(const Zvire& zvire) { zvire.udelejZvuk(); }
```

```
Kocka k; Pes p;  
k.udelejZvuk(); p.udelejZvuk(); foo(k); foo(p);
```

mnau


haf


mnau


haf


Object slicing

- Pokud **zkopírujeme potomka do rodiče**, rodič nezíská data ani metody potomka. Tomuto chování říkáme **object slicing**.

```
Pes p;  
Zvire* z = &p;   
z->udelejZvuk(); // haf
```

```
Pes p;  
Zvire& z = p;   
z.udelejZvuk(); // haf
```

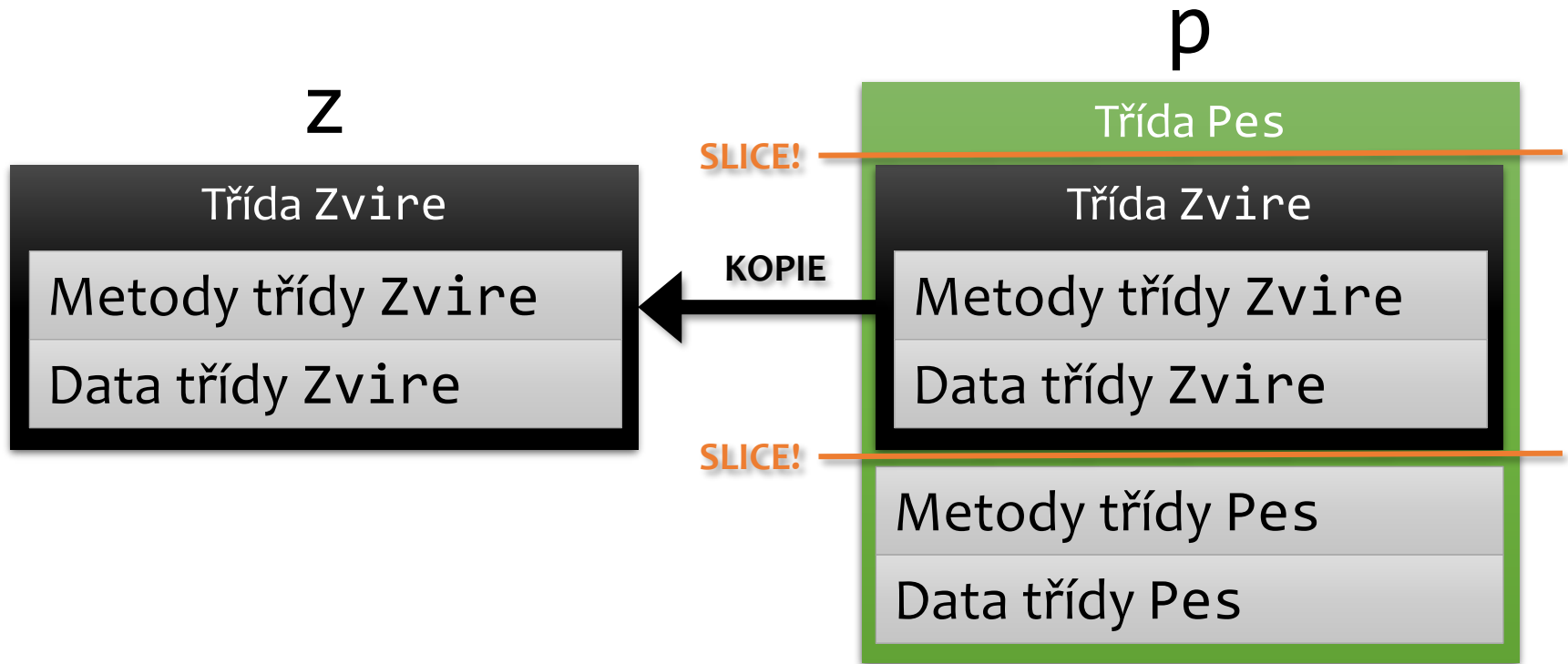
```
Pes p;  
const Zvire& z = p;   
z.udelejZvuk(); // haf
```

```
Pes p;  
Zvire z = p; SLICE!   
z.udelejZvuk(); // !!!
```

- Pokud potřebujeme zabránit object slicing, nesmíme kopírovat.

Object slicing - ilustrace

```
Pes p;  
Zvire z = p;
```



Příklady object slicing (1/4)

```
void foo(Zvire z) {  
    z.udelejZvuk(); // !!!  
}  
int main() {  
    Pes p;  
    foo(p); SLICE!  
}
```



Jak to spravit?

Příklady object slicing (1/4)

```
void foo(Zvire z) {  
    z.udelejZvuk(); // !!!  
}  
int main() {  
    Pes p;  
    foo(p); SLICE!  
}
```



```
void foo(const Zvire& z) {  
    z.udelejZvuk(); // haf  
}  
int main() {  
    Pes p;  
    foo(p);  
}
```



Příklady object slicing (2/4)

```
Zvire pes() {  
    Pes p;  
    return p; SLICE!  
}  
int main() {  
    Zvire z = pes();  
    z.udelejZvuk(); // !!!  
}
```



Jak to spravit?

Příklady object slicing (2/4)

```
Zvire pes() {  
    Pes p;  
    return p; SLICE!  
}  
int main() {  
    Zvire z = pes();  
    z.udelejZvuk(); // !!!  
}
```



```
const Zvire& pes() {  
    Pes p;  
    return p;  
}  
int main() {  
    const Zvire& z = pes();  
    z.udelejZvuk(); // z ukazuje na smazaný objekt  
}
```



Příklady object slicing (2/4)

```
Zvire pes() {  
    Pes p;  
    return p; SLICE!  
}  
int main() {  
    Zvire z = pes();  
    z.udelejZvuk(); // !!!  
}
```



```
std::unique_ptr<Zvire> pes() {  
    std::unique_ptr<Pes> p(new Pes);  
    return std::move(p);  
}  
int main() {  
    std::unique_ptr<Zvire> z = pes();  
    z->udelejZvuk(); // haf  
}
```



Příklady object slicing (3/4)

```
int main() {  
    std::vector<Zvire> zv;  
    Pes p;  
    zv.push_back(p); SLICE!  
    zv.back().udelejZvuk(); // !!!  
}
```



Jak to spravit?

Příklady object slicing (3/4)

```
int main() {  
    std::vector<Zvire> zv;  
    Pes p;  
    zv.push_back(p); SLICE!  
    zv.back().udelejZvuk(); // !!!  
}
```



```
int main() {  
    std::vector<std::unique_ptr<Zvire>> zv;  
    std::unique_ptr<Pes> p(new Pes);  
    zv.push_back(std::move(p));  
    zv.back()->udelejZvuk(); // haf  
}
```



Příklady object slicing (4/4)

```
struct Osoba {  
    Zvire oblíbenéZviratko;  
};  
int main() {  
    Osoba pepa;  
    Pes akim;  
    pepa.oblíbenéZviratko = akim; SLICE!  
    pepa.oblíbenéZviratko.udelejZvuk(); // !!!  
}
```



Jak to spravit?

Příklady object slicing (4/4)

```
struct Osoba {  
    Zvire oblíbenéZviratko;  
};  
int main() {  
    Osoba pepa;  
    Pes akim;  
    pepa.oblíbenéZviratko = akim; SLICE!  
    pepa.oblíbenéZviratko.udelejZvuk(); // !!!  
}
```



```
struct Osoba {  
    std::unique_ptr<Zvire> oblíbenéZviratko;  
};  
int main() {  
    Osoba pepa;  
    std::unique_ptr<Pes> akim(new Pes);  
    pepa.oblíbenéZviratko = std::move(akim);  
    pepa.oblíbenéZviratko->udelejZvuk(); // haf  
}
```



Object slicing – shrnutí

- Pokud potřebujeme zabránit object slicing, musíme zabránit kopírování objektu potomka do objektu rodiče.
- Jak zabránit kopírování potomka typu P do rodiče typu R?
 - Pokud nechcete předat vlastnictví a P pouze zapůjčujete ke čtení, použijte `const R&`.
 - Pokud nechcete předat vlastnictví a P zapůjčujete ke čtení i zápisu, použijte `R&`.
 - Pokud chcete předat vlastnictví (tj. předat odpovědnost za smazání objektu P), vytvořte objekt P jako `std::unique_ptr` a předejte ho přesunem pomocí `std::move()`.
- Co když doopravdy potřebuji zkopírovat celý objekt potomka, ale znám jenom typ rodiče?
 - To není vždy možné, rodič i potomek musí mít zvláštní virtuální metodu typicky nazývanou `clone()` (viz. cvičení)

Otázka pro pozorné

- Proč dynamická vazba funguje jenom pro ukazatele a reference?

```
Zvire& ref = ...;  
Zvire* ptr = ...;  
Zvire val = ...;  
ref.udelejZvuk(); // dynamická vazba, možná haf  
ptr->udelejZvuk(); // dynamická vazba, možná haf  
val.udelejZvuk(); // statická vazba, vždy !!!
```

Otázka pro pozorné

- Proč dynamická vazba funguje jenom pro ukazatele a reference?

```
Zvire& ref = ...;  
Zvire* ptr = ...;  
Zvire val = ...;  
ref.udelejZvuk(); // dynamická vazba, možná haf  
ptr->udelejZvuk(); // dynamická vazba, možná haf  
val.udelejZvuk(); // statická vazba, vždy !!!
```

- Dynamická vazba pro proměnnou `val` by byla zbytečná. Pokud jsme do `val` zkopírovali potomka, **muselo dojít ke slicingu**. Proměnná typu `Zvire` vždy obsahuje jedině `Zvire!`

Konstruktory v hierarchiích tříd (1/3)

- Konstruktor rodiče je proveden vždy před konstruktorem potomka.

```
struct Zvire {
    Zvire() { std::cout << "Zvire(), "; }
};
struct Pes : Zvire {
    Pes() { std::cout << "Pes()\n"; }
};

int main() {
    Pes p; // Zvire(), Pes()
}
```

Konstruktory v hierarchiích tříd (2/3)

- Pokud vyžadujeme, aby byl zavolán jiný než výchozí konstruktor rodiče, určíme ho v inicializačním seznamu.

```
struct Zvire {
    Zvire() { std::cout << "Zvire(), "; }
    Zvire(int i) { std::cout << "Zvire(" << i << "), "; }
};
struct Pes : Zvire {
    Pes() : Zvire(42) { std::cout << "Pes()\n"; }
};

int main() {
    Pes p; // Zvire(42), Pes()
}
```


Konstruktory v hierarchiích tříd (3/3)

- V konstruktorech nefunguje pro vlastní metody dynamická vazba.

```
struct Zvire {
    Zvire() { std::cout << "Zvire dela "; udelejZvuk(); }
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "!!!\n"; }
};
struct Pes : Zvire {
    Pes() { std::cout << "Pes dela "; udelejZvuk(); }
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "haf\n"; }
};

int main() {
    Pes p; // Zvire dela !!!
}          // Pes dela haf
```

- Pozor na vlastní virtuální metody v konstruktorech!

Destruktory v hierarchiích tříd (1/3)

- Pokud smažeme potomka pomocí ukazatele nebo reference na rodiče, zavolá se pouze destruktory rodiče.

```
struct Zvire {
    ~Zvire() { std::cout << "~Zvire()\n"; }
};

struct Pes : Zvire {
    ~Pes() { std::cout << "~Pes(), "; }
};

int main() {
    std::unique_ptr<Zvire> z(new Pes);
} // ~Zvire()
```

- Stejně jako ostatní metody, i destruktory používá statickou vazbu, pokud neřekneme jinak.

Destruktory v hierarchiích tříd (2/3)

- Destruktory se zavolají správně, když jsou označeny jako virtuální.

```
struct Zvire {  
    virtual ~Zvire() { std::cout << "~Zvire()\n"; }  
};  
  
struct Pes : Zvire {  
    virtual ~Pes() { std::cout << "~Pes(), "; }  
};  
  
int main() {  
    std::unique_ptr<Zvire> z(new Pes);  
} // ~Pes(), ~Zvire()
```

- Pokud je třída součástí hierarchie tříd, vždy označte destruktory jako virtuální!

Destruktory v hierarchiích tříd (3/3)

- Destruktor potomka je proveden vždy před destruktorem rodiče.

```
struct Zvire {  
    virtual ~Zvire() { std::cout << "~Zvire()\n"; }  
};  
  
struct Pes : Zvire {  
    virtual ~Pes() { std::cout << "~Pes(), "; }  
};  
  
int main() {  
    std::unique_ptr<Zvire> z(new Pes);  
} // ~Pes(), ~Zvire()
```

(Za předpokladu, že jsme nezapomněli označit destruktory jako virtuální.)

Příklad na pořadí volání konstr. a destr.

```
struct A {
    A() { std::cout << "A"; }
    virtual ~A() { std::cout << "~A"; }
};

struct B : A {
    B() { std::cout << "B"; }
    virtual ~B() { std::cout << "~B"; }
};

struct C : B {
    C() { std::cout << "C"; }
    virtual ~C() { std::cout << "~C"; }
};
```

```
int main() {
    using ptr = std::unique_ptr<A>;
    std::vector<ptr> vec;
    std::cout << "[push1]";
    ptr bPtr(new B);
    vec.push_back(std::move(bPtr));
    std::cout << "[push2]";
    ptr cPtr(new C);
    vec.push_back(std::move(cPtr));
    std::cout << "[pop]";
    vec.pop_back();
    std::cout << "[end]";
}
```

- Program vypíše
[push1]AB[push2]ABC[pop]~C~B~A[end]~B~A

Shrnutí – konstruktory a destruktory

- Konstruktor rodiče je proveden vždy před konstruktorem potomka.
- Destruktor potomka je proveden vždy před destruktorem rodiče.
- Pozor na vlastní virtuální metody v konstrukturu!
- Pokud je třída součástí hierarchie tříd, vždy označte destruktory jako virtuální!

Vícenásobná dědičnost

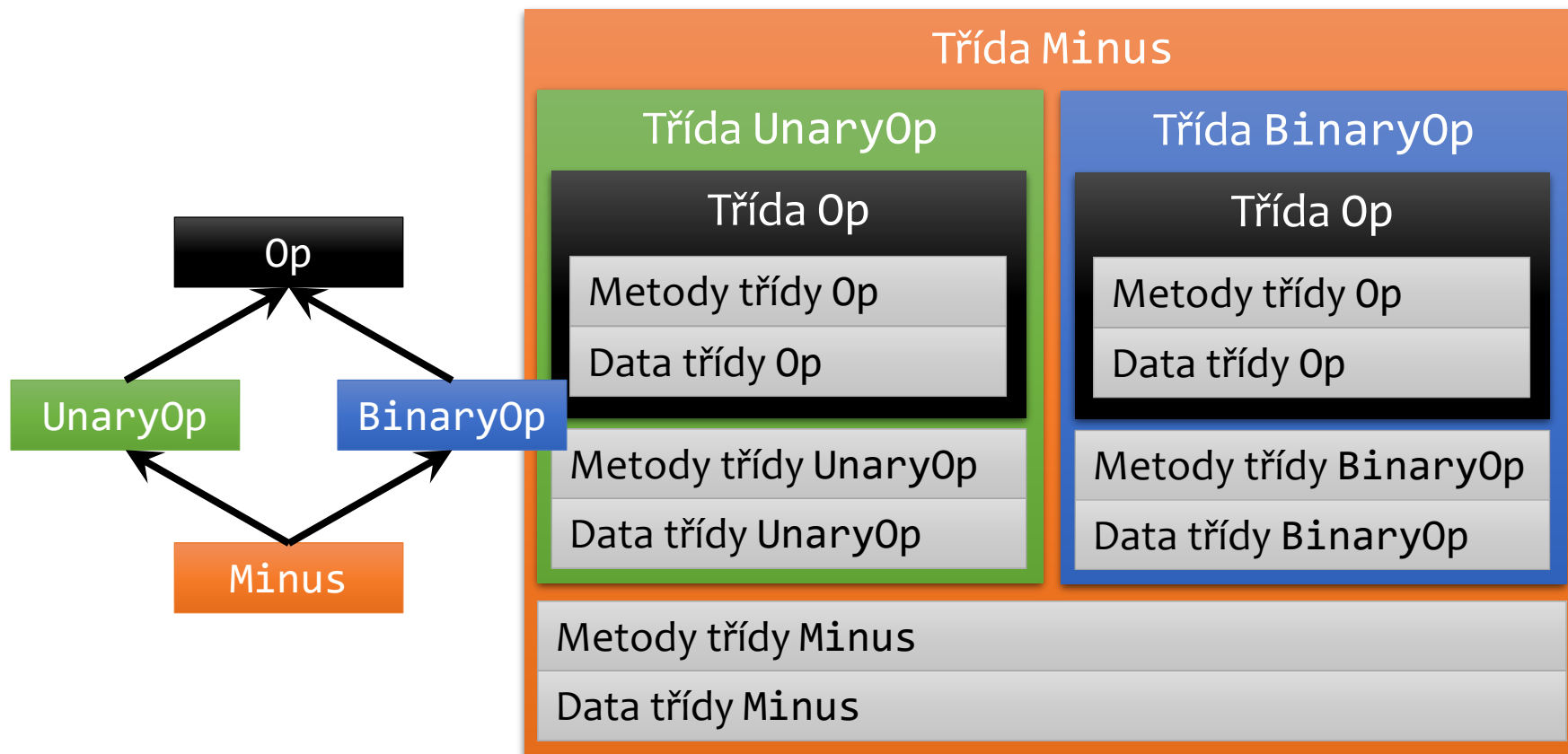
- Je povoleno dědit z více tříd najednou.

```
class Subtract : public Expr, public BinaryOp {  
    ...  
};
```

- Nedoporučujeme dědit z více tříd, protože může nastat tzv. **diamond problem**.

Diamond problem

- Mějme dvě třídy se společným předkem. Když je nějaká další třída potomkem obou, bude obsahovat jejich společného předka dvakrát.



Diamond problem – následky

- Pokud nastane diamond problem, nelze rozhodnout:
 - která data máme na mysli, když chceme přistoupit k datům společného předka.
 - kterou metodu máme na mysli, když chceme zavolat metodu společného předka.

```
struct Op { int data; void foo() {} };
struct UnaryOp : Op {};
struct BinaryOp : Op {};
struct Minus : UnaryOp, BinaryOp {};

int main() {
    Minus m;
    m.foo(); // chyba: které foo?
    m.data; // chyba: která data?
}
```

Diamond problem – řešení (1/2)

- Jak obejít diamond problem?
 - Nepoužívat vícenásobnou dědičnost.
 - Případy, kdy je dědičnost skutečně nejlepším řešením problému, jsou vzácné.
 - Preferujte metaprogramování se šablonami.

```
struct Op { int data; void foo() {} };
struct UnaryOp : Op {};
struct BinaryOp : Op {};
struct Minus : UnaryOp, BinaryOp {};

int main() {
    Minus m;
    m.foo(); // chyba: které foo?
    m.data; // chyba: která data?
}
```

Diamond problem – řešení (2/2)

- Jak obejít diamond problem?
 - Pokud je vícenásobná dědičnost nevyhnutelná a nastane diamond problem, lze použít klíčové slovo `virtual` při dědění společného předka.
 - Potomek poté obsahuje společného předka pouze jednou.

```
struct Op { int data; void foo() {} };
struct UnaryOp : virtual Op {};
struct BinaryOp : virtual Op {};
struct Minus : UnaryOp, BinaryOp {};

int main() {
    Minus m;
    m.foo(); // v pořádku
    m.data; // v pořádku
}
```

Veřejná a soukromá dědičnost

- Třídy uvozené klíčovým slovem `struct` používají veřejnou dědičnost, pokud není stanoveno jinak.
- Třídy uvozené klíčovým slovem `class` používají soukromou dědičnost, pokud není stanoveno jinak.

```
class Pes1 : Zvire {  
    // Zvire zděděno soukromě  
};  
class Pes2 : public Zvire {  
    // Zvire zděděno veřejně  
};  
struct Pes3 : Zvire {  
    // Zvire zděděno veřejně  
};  
struct Pes4 : private Zvire {  
    // Zvire zděděno soukromě  
};
```

Význam veřejné dědičnosti (1/2)

- Pokud je rodič zděděn veřejně, kód vně obou tříd má přístup k metodám a funkcím rodiče prostřednictvím objektu potomka.

```
struct Zvire {  
    void foo() {}  
};  
class Pes1 : Zvire {  
    // Zvire zděděno soukromě  
};  
class Pes2 : public Zvire {  
    // Zvire zděděno veřejně  
};  
int main() {  
    Pes1 pes1; pes1.foo(); // chyba: foo je skryto  
    Pes2 pes2; pes2.foo(); // v pořádku, foo není skryto  
}
```

Význam veřejné dědičnosti (2/2)

- Pokud je rodič zděděn veřejně, kód vně obou tříd smí považovat ukazatel nebo referenci na potomka za ukazatel nebo referenci na rodiče.

```
struct Zvire {  
    void foo() {}  
};  
class Pes1 : Zvire {  
    // Zvire zděděno soukromě  
};  
class Pes2 : public Zvire {  
    // Zvire zděděno veřejně  
};  
int main() {  
    Pes1 pes1; Zvire& z1 = pes1; // chyba, Pes1 není Zvire  
    Pes2 pes2; Zvire& z2 = pes2; // v pořádku, Pes2 je Zvire  
}
```

Dědění konstruktorů

- Děděním získá potomek všechna data a metody rodiče, kromě konstruktorů.
- Konstruktory rodiče lze získat pomocí klíčového slova `using`.

```
struct Zvire {  
    Zvire(std::string jmeno) : m_jmeno(std::move(jmeno)) {}  
protected:  
    std::string m_jmeno;  
};  
struct Pes : Zvire {  
    using Zvire::Zvire;  
};  
  
int main() {  
    Pes akim("Akim");  
}
```

Změna viditelnosti

- Klíčové slovo `using` je užitečné také v případě, že chceme změnit viditelnost dat nebo metod rodiče.

```
struct Zvire {
    std::string m_jmeno;
};
struct Pes : Zvire {
private:
    using Zvire::m_jmeno;
};

int main() {
    Zvire felix;
    felix.m_jmeno = "Felix"; // OK, m_jmeno je přístupné
    Pes akim;
    akim.m_jmeno = "Akim"; // chyba, m_jmeno je nepřístupné
}
```


Abstraktní třída

- Pokud místo těla virtuální metody umístíme `=0`, jedná se o metodu bez implementace – tzv. **čistě virtuální metodu** (pure virtual member function).
- Třída, která obsahuje jednu nebo více čistě virtuálních metod, se nazývá **abstraktní třída**.
- Objekt abstraktní třídy nelze vytvořit. Abstraktní třídu lze pouze zdědit.

```
struct Zvire {  
    virtual void udelejZvuk() const = 0;  
};  
struct Pes : Zvire {  
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "haf"; }  
};
```

Override a final

- Pokud označíme metodu `override`, vyžadujeme, aby se jednalo o virtuální metodu nahrazující virtuální metodu v rodiči.
- Pokud označíme metodu `final`, vyžadujeme, aby se jednalo o virtuální metodu, která není nahrazena v žádném potomkovi.

```
struct Zvire {
    virtual ~Zvire() = default;
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "!!!\n"; }
};
struct Pes : Zvire {
    virtual ~Pes() override = default;
    virtual void udelejZvuk() const override final {
        std::cout << "haf\n";
    }
};
```

Použití override (1/2)

- Pokud označíme metodu `override` a nejedná se o nahrazení virtuální metody v předkovi, kompilace selže.
- Takto `override` odhalí téměř neviditelné, ale velmi podstatné chyby v deklaracích metod.

```
struct Zvire {
    virtual ~Zvire() = default;
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "!!!\n"; }
};
struct Pes : Zvire {
    virtual ~Pes() override = default;
    virtual void udelejZvuk() override { // chybí const
        std::cout << "haf\n";
    }
};
```

Použití override (2/2)

- Jiný příklad odhalené chyby:

```
struct Zvire {
    ~Zvire() = default;
    virtual void udelejZvuk() const { std::cout << "!!!\n"; }
};
struct Pes : Zvire {
    virtual ~Pes() override = default; // ~Zvire nevirtuální
    virtual void udelejZvuk() const override {
        std::cout << "haf\n";
    }
};
```

- Chyby tohoto charakteru je těžké nalézt čtením kódu.
- Používejte `override` pro všechny virtuální metody v potomcích!

Použití final (1/2)

- Pokud označíme metodu `final` a dědící třída se jí pokusí nahradit, kompilace selže.
- Užitečné, pokud má metoda důležitý invariant a bojíme se, že by ho potomci mohli nedodržet.

```
struct Zvire {...};
struct Pes : Zvire {
    virtual void udelejZvuk() const override final {
        // všichni psi budou dělat haf ~~~~~^
        std::cout << "haf\n";
    }
};
struct Foxterier : Pes {
    virtual void udelejZvuk() const { // Kompilační chyba
        // Nelze nahradit final metodu
        std::cout << "vrrr\n";
    }
};
```

Použití final (2/2)

- Pokud označíme třídu `final` a jiná třída z ní dědí, kompilace selže.
- Užitečné pokud, má metoda důležitý invariant a bojíme se, že by ho potomci mohli nedodržet.
 - Navíc může kompilátor provést dodatečné optimalizace

```
struct Zvire {...};
struct Pes : Zvire {
    virtual void udelejZvuk() const override final {
        std::cout << "haf\n";
    }
};

struct Foxterier final : Pes {};
// Foxteriera nelze dědit
struct KratkosrstyFoxterier : Foxterier {}; //Kompilační chyba
// Nelze dědit finální třídu
```

Přetypování na potomka

- Přetypovat ukazatel (referenci) na potomka na ukazatel na rodiče je povoleno vždy, když je rodič zděděn veřejně.
- V opačném směru, přetypovat ukazatel na rodiče na ukazatel na potomka, je možné pouze pomocí `dynamic_cast`.

```
void foo(Zvire& z) {  
    Pes& p = dynamic_cast<Pes&>(z);  
    ...  
}
```

- To, zda je přetypování možné, je kontrolováno **za běhu programu**. Použití `dynamic_cast` není zdarma!
- Pokud se přetypování nezdaří, bude vyhozena výjimka.
- Vyhněte se přetypování na potomka! Pokud je třeba použít `dynamic_cast`, pravděpodobně je chyba v návrhu hierarchie tříd.

Shrnutí – na co dávat pozor

- **Dynamická vazba** funguje pouze pro virtuální metody.
- Kopírování objektu potomka do objektu rodiče způsobuje **object slicing**.
- Pozor na volání vlastních virtuálních metod v konstruktoru!
- Pokud je třída součástí hierarchie tříd, vždy označte destruktory jako virtuální!
- Vyhýbejte se dědění z více tříd najednou, protože může nastat **diamond problem**.
- Používejte `override` pro všechny virtuální metody v potomcích!
- Vyhýbejte se přetypování na potomka!

Děkuji za pozornost.