

RAII, speciální metody, přetěžování operátorů

Karel Richta a kol.

katedra počítačů FEL ČVUT v Praze

Přednášky byly připraveny s pomocí materiálů, které vyrobili Ladislav Vágner, Pavel Strnad

© Karel Richta, Martin Hořeňovský, Aleš Hrabalík, 2020

Programování v C++, B6B36PJC

10/2020, Lekce 6

<https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/a7b36pjc/start>



RAII

- Jedná se o základní koncept programování v C++.
- *Resource Allocation Is Initialization*
 - Nebo také *Responsibility Acquisition Is Initialization*
- Myšlenka: Při svém vzniku získá objekt nějakou zodpovědnost. Při svém zániku tuto zodpovědnost musí naplnit.
 - Např. **std::vector** má zodpovědnost za alokovanou paměť a naplní ji dealokací své paměti.
- Zodpovědnost může mít mnoho podob.
 - Např. **std::ifstream** otevírá a zavírá soubor.

Příklad: RAI (1/5)

```
void Data::readFromFile(const char* filename) {
    FILE* fp = std::fopen(filename, "r");
    if (!fp) return;

    int numItems;
    if (std::fscanf(fp, "%d", &numItems) != 1) return;
    for (int i = 0; i < numItems; ++i) {
        int item;
        if (std::fscanf(fp, "%d", &item) != 1) return;
        mItems.push_back(item);
    }
    std::fclose(fp);
}
```

- Pokud se nám povede otevřít soubor (`fopen`), nesmíme ho zapomenout zavřít (`fclose`).
- Jenže to není vždy tak jednoduché...

Příklad: RAI (2/5)

```
void Data::readFromFile(const char* filename) {
    FILE* fp = std::fopen(filename, "r");
    if (!fp) return;

    int numItems;
    if (std::fscanf(fp, "%d", &numItems) != 1) return;
    for (int i = 0; i < numItems; ++i) {
        int item;
        if (std::fscanf(fp, "%d", &item) != 1) return;
        mItems.push_back(item);
    }
    std::fclose(fp);
}
```

- Když je funkce složitější, je snadné na něco zapomenout. Zde při provedení vnořeného příkazu **return** soubor nezavřeme.

Příklad: RAI (3/5)

```
void Data::readFromFile(const char* filename) {
    FILE* fp = std::fopen(filename, "r");
    if (!fp) return;

    int numItems;
    if (std::fscanf(fp, "%d", &numItems) != 1) return;
    for (int i = 0; i < numItems; ++i) {
        int item;
        if (std::fscanf(fp, "%d", &item) != 1) return;
        mItems.push_back(item);
    }
    std::fclose(fp);
}
```

- Při čtení kódu jsou nenaplněné odpovědnosti téměř neviditelné.
- Jak mít jistotu, že jsme na něco nezapomněli?

Příklad: RAII (4/5)

```
void Data::readFromFile(const char* filename) {  
    FILE* fp = std::fopen(filename, "r");  
    if (!fp) return;  
    FileSentry sentry(fp);  
    int numItems;  
    if (std::fscanf(fp, "%d", &numItems) != 1) return;  
    for (int i = 0; i < numItems; ++i) {  
        int item;  
        if (std::fscanf(fp, "%d", &item) != 1) return;  
        mItems.push_back(item);  
    }  
    std::fclose(fp);  
}
```

- Uvažme objekt třídy **FileSentry**, který:
 - má zodpovědnost za zavření souboru, který poskytneme
 - zodpovědnost naplní při svém zániku, tedy v destruktoru

Příklad: RAII (5/5)

- Jakmile se provede konstruktor objektu sentry, destruktork – a tudíž uzavření souboru – se provede automaticky při opuštění funkce `readFromFile()`. Problém vyřešen!
- Třídou `FileSentry` si můžeme napsat třeba takto:

```
class FileSentry {  
public:  
    FileSentry(FILE* in) : fp(in) {}  
    ~FileSentry() { fclose(fp); }  
private:  
    FILE* fp;  
};
```

std::ifstream

- Třída `std::ifstream` (input file stream):
 - umožňuje používat operaci `>>` stejně jako `std::cin`
 - její konstruktor otevře soubor pro čtení
 - její destruktork soubor zavře

} RAII

```
void Data::readFromFile(const char* filename) {  
    std::ifstream in{filename};  
    if (!in) return;  
    int numItems;  
    if (!(in >> numItems)) return;  
    for (int i = 0; i < numItems; ++i) {  
        int item;  
        if (!(in >> item)) return;  
        mItems.push_back(item);  
    }  
}
```

```
#include <fstream>
```


RAII vs. memory leak (1/3)

- Vždy, když použijeme operátor `new`, můžeme zapomenout použít operátor `delete`.
 - Když `delete` zapomeneme, nastává tzv. **memory leak**.
- Jak tomu zabránit pomocí RAII?

```
int main() {  
    Person* p = new Person{"Vincent van Gogh", 164};  
  
    if (...) {  
        reportName(p->getLastName());  
        return; // oops, zapomněli jsme na delete  
    }  
    delete p;  
}
```

RAII vs. memory leak (2/3)

- Můžeme si napsat třídu `PersonDeleter`, která
 - má zodpovědnost za smazání ukazatele na `Person`, tedy
 - v konstruktoru přebírá ukazatel na `Person` a
 - v destrukturu jej smaže.

```
int main() {
    Person* p = new Person{"Vincent van Gogh", 164};
    PersonDeleter del{p};
    if (...) {
        reportName(p->getLastName());
        return; // delete automaticky
    }
    // delete automaticky
}
```

RAII vs. memory leak (3/3)

- Ještě lepší je použít třídu `unique_ptr<Person>` ze standardní knihovny, protože
 - je odpovědná za smazání, stejně jako `PersonDeleter`, a
 - má další přednosti, viz dále.

```
int main() {  
    Person* p = new Person{"Vincent van Gogh", 164};  
    std::unique_ptr<Person> up{p};  
    if (...) {  
        reportName(p->getLastName());  
        return; // delete automaticky  
    }  
    // delete automaticky  
}
```

```
#include <memory>
```

std::unique_ptr<T> (1/6)

- Je možné používat šipku -> (a hvězdičku *) pro přístup k datovým položkám a metodám objektu, stejně jako kdybychom pracovali s ukazatelem.

```
int main() {  
    Person* p = new Person{"Vincent van Gogh", 164};  
    std::unique_ptr<Person> up{p};  
  
    if (...) {  
        reportName(up->getLastName()); //up-> je jako p->  
        return;  
    }  
}
```

```
#include <memory>
```

std::unique_ptr<T> (2/6)

- Protože se `unique_ptr` chová jako ukazatel, nepotřebujeme původní proměnnou.
- Říkáme, že `unique_ptr` je **chytrý ukazatel** (*smart pointer*).

```
int main() {
    std::unique_ptr<Person> p{new Person{
                                "Vincent van Gogh", 164}};

    if (...) {
        reportName(p->getLastName());
        return;
    }
}
```

```
#include <memory>
```

std::unique_ptr<T> (3/6)

- auto a make_unique umožňují zjednodušení syntaxe pro vytvoření unique_ptr.
 - make_unique provede operaci new a vrátí unique_ptr.
 - Zvláště vhodné pro třídy s dlouhým názvem.

```
int main() {  
    auto p = std::make_unique<Person>("Vincent van Gogh",  
                                       164);  
  
    if (...) {  
        reportName(p->getLastName());  
        return;  
    }  
}
```

```
#include <memory>
```

std::unique_ptr<T> (4/6)

- Objekty typu `unique_ptr` lze přesouvat.
 - Po dokončení přesunu bude původní `unique_ptr` prázdný – bude ukazovat na `nullptr`.
- Objekty typu `unique_ptr` nelze kopírovat.
 - Proč `unique_ptr` neprovádí mělkou kopii?
 - Proč `unique_ptr` neprovádí hlubokou kopii?

```
int main() {  
    auto p = std::make_unique<Person>("Vincent van Gogh",  
                                       164);  
  
    auto q2 = std::move(p); // lze  
    auto q1 = p; // nelze  
}
```

```
#include <memory>
```

`std::unique_ptr<T>` (5/6)

- Proč `unique_ptr` neprovádí mělkou kopii?
 - Kdyby ji provedl, tak dva objekty budou mít odpovědnost za stejná data. Nastane dvojí smazání objektu typu `Person`.
- Proč `unique_ptr` neprovádí hlubokou kopii?
 - Pokud zkopírujeme obyčejný ukazatel, provede se mělká kopie. Bylo by překvapivé, kdyby se chytrý ukazatel choval jinak.
 - Nebylo by možné mít `unique_ptr` na takové typy, které samy o sobě nelze kopírovat, jako např. `std::mutex`.

`std::unique_ptr<T>` (6/6)

- K čemu slouží `unique_ptr`?
 - Umožňuje **exkluzivní vlastnictví** objektu na haldě, tj. odpovědnost za smazání má právě jeden objekt.
 - Přitom zabraňuje chybám práce s pamětí, jako je ztráta paměti (memory leak) nebo dvojí smazání (double delete).
- Co když více součástí programu sdílí stejné prostředky?
 - Je třeba použít `std::shared_ptr`, který umožňuje **sdílené vlastnictví**, tj. odpovědnost za smazání je sdílena větším počtem objektů.

Příklad: RAII podruhé (1/3)

```
Person* makePerson(Profession prof) {
    switch (prof) {
        case Profession::painter:
            return new Person{"Vincent van Gogh", 164};
        case Profession::composer:
            return new Person{"Johann Sebastian Bach", 332};
    }
}

int main() {
    Person* person = makePerson(Profession::painter);
    std::cout << person->getLastName() << '\n';
    // tady něco chybí
}
```

- Funkce `makePerson()` vrací nové objekty.
 - Jedná se o tzv. tovární funkci, továrnu.
- Jenže ve funkci `main()` jsme na něco zapomněli...

Příklad: RAII podruhé (2/3)

```
Person* makePerson(Profession prof) {
    switch (prof) {
        case Profession::painter:
            return new Person{"Vincent van Gogh", 164};
        case Profession::composer:
            return new Person{"Johann Sebastian Bach", 332};
    }
}

int main() {
    Person* person = makePerson(Profession::painter);
    std::cout << person->getLastName() << '\n';
    delete person;
}
```

- Po každém volání **new** musí následovat **delete**!
- Chyba není zřejmá, zvláště kdybychom před sebou neviděli implementaci `makePerson()`...

Příklad: RAII podruhé (3/3)

```
std::unique_ptr<Person> makePerson(Profession prof) {
    switch (prof) {
        case Profession::painter:
            return std::make_unique<Person>("Vinc. van Gogh", 164);
        case Profession::composer:
            return std::make_unique<Person>("Johann S. Bach", 332);
    }
}

int main() {
    auto person = makePerson(Profession::painter);
    std::cout << person->getLastName() << '\n';
    // OK, delete zavoláno automaticky
}
```

- Řešením je používat `unique_ptr` jako návratový typ továrny.

Speciální metody (1/4)

- Speciální metody (*special member functions*), též kompilátorem generované metody, jsou:
 - **Konstruktory: výchozí, kopírující, přesunující**
 - **Přiřazení: kopírující, přesunující**
 - **Destruktor**
- Jsou charakterizovány tím, že je někdy nemusíme psát – za jistých okolností je kompilátor automaticky vytvoří.

Speciální metody (2/4)

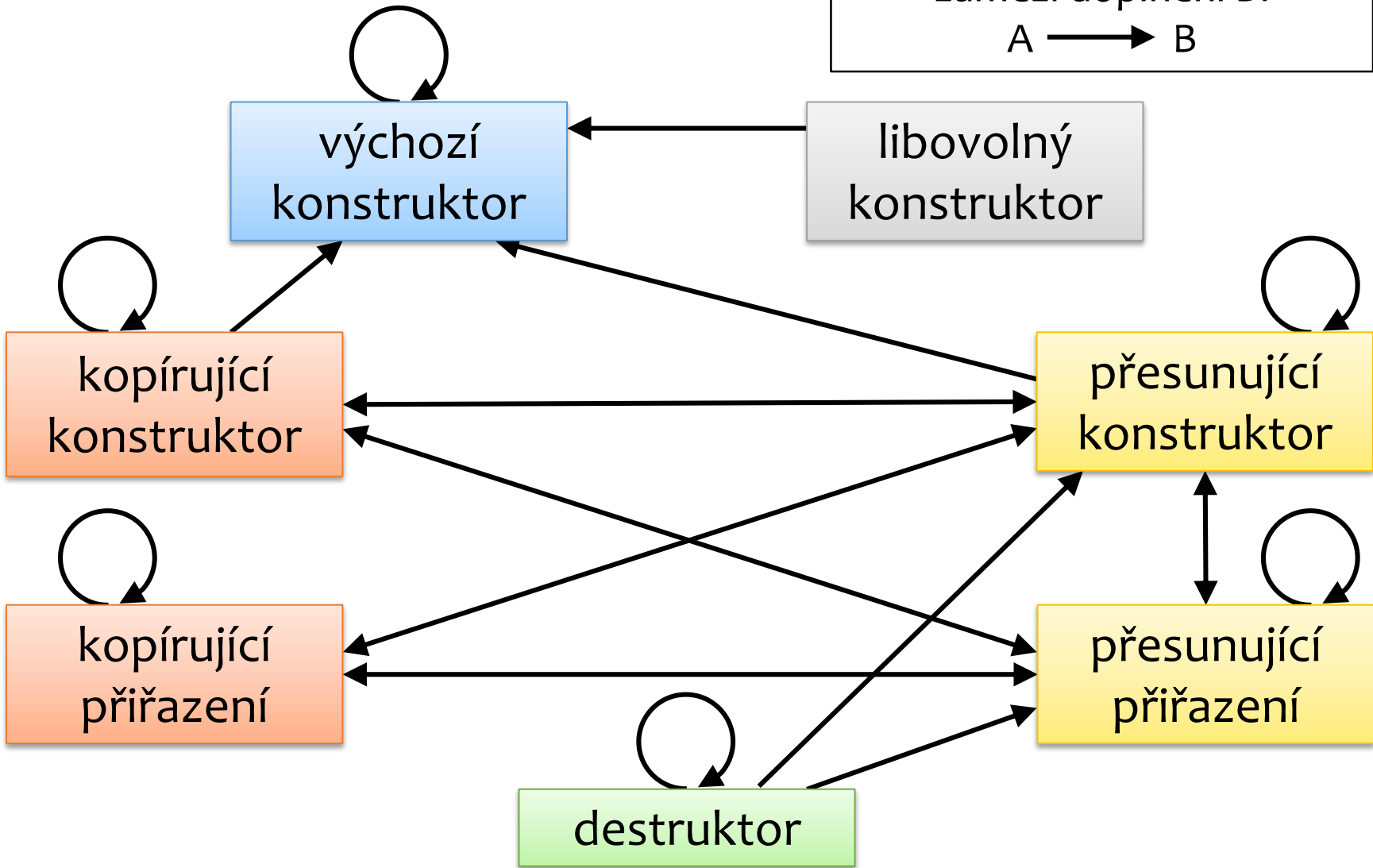
- Chování kompilátorem vygenerovaných speciálních metod je přímočaré.
 - Výchozí konstruktor zavolá výchozí konstruktory všech datových položek.
 - Kopírující konstruktor zavolá kopírující konstruktory všech datových položek.
 - Kopírující přiřazení zavolá kopírující přiřazení všech datových položek.
 - atd.

Speciální metody (3/4)

- Pravidla určující, za jakých okolností jsou speciální metody vygenerovány, přímočará *nejsou*.
 - Výchozí konstruktor je doplněn, když nejsou deklarovány žádné konstruktory.
 - Kopírující operace jsou doplněny, když ony samy nejsou deklarovány a zároveň není deklarována žádná přesunující operace.
 - Přesunující operace jsou doplněny, když nejsou deklarovány a zároveň není deklarována žádná přesunující operace, kopírující operace, ani destruktory.
 - Destruktor je doplněn vždy, když není deklarován.

Speciální metody (4/4)

deklarace A programátorem
zamezí doplnění B:
A → B



default a delete

- Pro danou třídu lze generování konkrétní speciální metody...
 - ...vynutit pomocí klíčového slova `default`:

```
struct Person {  
    Person(const std::string& name, int age);  
    Person() = default;  
    ...  
}
```

- ...zakázat pomocí klíčového slova `delete`:

```
struct SmartPtr {  
    SmartPtr(const SmartPtr& rhs) = delete;  
    ...  
};
```

Pravidlo tří

- **Pokud je pro danou třídu potřeba napsat kopírující konstruktor, kopírující přiřazení, nebo destruktork, pravděpodobně je potřeba napsat všechny tři.**
- Proč?
 - Pokud musíte některou z těchto speciálních metod napsat, téměř jistě nakládáte zvláštním způsobem s daty nebo invarianty.
 - Pokud práce s daty nebo invarianty vyžaduje zvláštní péči, automaticky vygenerované speciální metody jsou pravděpodobně špatně.
 - Proto je potřeba ostatní z těchto tří metod napsat nebo zakázat.

Příklad: pravidlo tří

- Vezměme FileSentry tak, jak jsme ho zdefinovali dříve:

```
class FileSentry {  
public:  
    FileSentry(FILE* in) : fp(in) {}  
    ~FileSentry() { fclose(fp); }  
private:  
    FILE* fp;  
};
```

- Pravidlo tří je porušeno. Automaticky vygenerované kopírující operace jsou špatně.
- Proč jsou špatně? Jak to spravit?

Pravidlo nuly

- Často není třeba psát žádnou ze speciálních metod.
- Proč?
 - Každá datová položka, která řádně používá RAll, se postará sama o sebe. Postačí automaticky vygenerované speciální metody.

```
struct File {  
    std::string path;  
    std::unique_ptr<std::ifstream> inputStream;  
    // není nutné definovat speciální metody  
};
```

Přetěžování operátorů

- Jak jsme si říkali, třídy definují nové datové typy
- Primitivní datové typy mají i operátory
 - Dva `int`y můžeme sčítat, odečítat, dělit, ...
- C++ umožňuje přetížit operátory pro třídy, takže se chovají jako primitivní datové typy
- Cílem přetěžování je, aby bylo intuitivní
 - Matice se dají sčítat, odčítat, násobit... ale bitové operace nedávají smysl
 - Neomezené `int`y by ale bitové operace podporovat měly
 - Cesty se dají spojovat / (separátor cest), ale nemají operátor násobení, sčítání, etc

Přetížení operátoru +

- Pokud použijeme operaci **c1+c2**, kde **c1** a **c2** jsou objekty našeho nového typu **Complex**, kompilátor nahlásí chybu. Není totiž definováno, jak má operace proběhnout.

```
#include <iostream>

class Complex {
    double real, imag;
public:
    Complex(double r, double i) : real(r), imag(i) {}
    double getReal() const { return real; }
    double getImag() const { return imag; }
};

int main() {
    Complex c1(2.5, -2);
    Complex c2(-0.5, 3);
    Complex c3 = c1 + c2; // Chyba. + pro Complex neexistuje
}
```

Přetížení operátoru +

```
#include <iostream>
```

```
class Complex {  
    double real, imag;  
public:  
    Complex(double r, double i) : real(r), imag(i) {}  
    double getReal() const { return real; }  
    double getImag() const { return imag; }  
    Complex operator+(const Complex& rhs) const {  
        return Complex(real + rhs.real, imag + rhs.imag);  
    }  
};
```

```
int main() {  
    Complex c1(2.5, -2);  
    Complex c2(-0.5, 3);  
    Complex c3 = c1 + c2;  
    std::cout << c3.getReal() << " + " << c3.getImag() <<  
    "i\n"; }  
};
```

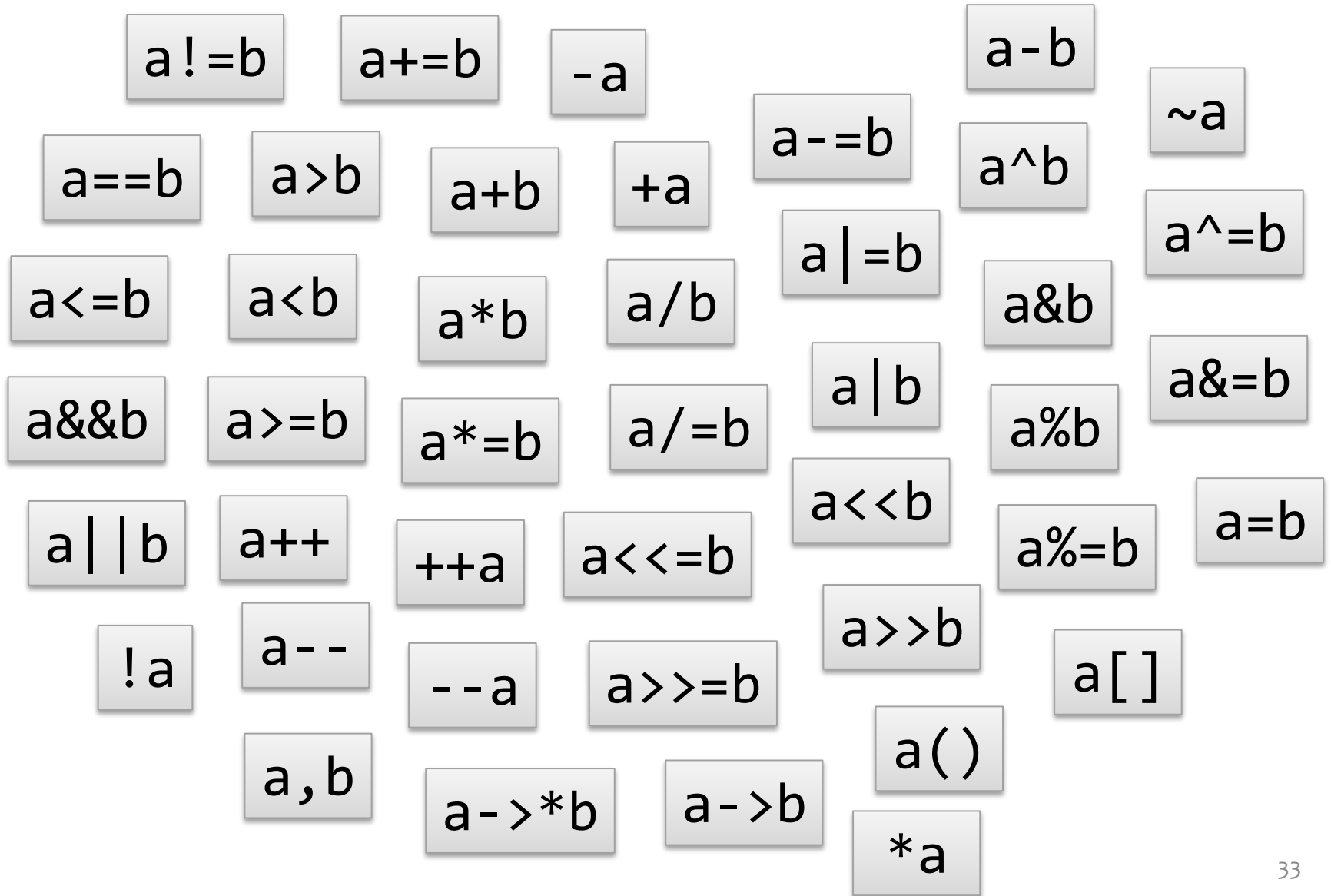
Operátor přetížený
pomocí metody

Přetížení operátoru +=

- Podobně jako operátor + můžeme přetížit i operátor +=.
- Operátor **a+=b** nazýváme modifikující, protože by měl změnit svůj levý operand a; oproti tomu **a+b** je příklad nemodifikujícího operátoru.
- Chování operátorů + a += definujeme zvlášť; když zdefinujeme +, neznamená to, že bude fungovat +=.

```
class Complex {
    double real, imag;
public:
    ...
    Complex& operator+=(const Complex& rhs) {
        real += rhs.real;
        imag += rhs.imag;
        return *this;
    }
};
```


□ přetížitelné operátory



■ modifikující operátory

The image displays a variety of C++ operators arranged in a grid-like fashion. Each operator is contained within a rectangular box. The boxes for modification operators are highlighted in green, while others are grey. The operators shown include:

- Modification Operators (Green):** `a+=b`, `a-=b`, `a*=b`, `a/=b`, `a*=b`, `a/=b`, `a++`, `++a`, `a<<=b`, `a--`, `--a`, `a>>=b`, `a^=b`, `a&=b`, `a%=b`, `a=b`.
- Other Operators (Grey):** `a!=b`, `-a`, `a-b`, `~a`, `a==b`, `a>b`, `a+b`, `+a`, `a^b`, `a<=b`, `a<b`, `a*b`, `a/b`, `a&b`, `a&&b`, `a>=b`, `a|b`, `a%b`, `a||b`, `!a`, `a<<b`, `a>>b`, `a[]`, `a,b`, `a->*b`, `a->b`, `a()`, `*a`.

Co při přetěžování nedělat

- Systém přetěžování operátorů nám dává jisté svobody, které je lepší nevyužít:
 - Operátor **a+=b** může dělat něco úplně jiného, než **a=a+b**.
 - Nemodifikující operátory mohou modifikovat levý operand, pravý operand, nebo třeba oba.
- Nezapomínejte, že naším cílem je, aby používání našich tříd bylo intuitivní!

```
class Complex {  
    ...  
    Complex operator+(const Complex& rhs) const {  
        std::cout << "Tady je Krakonosovo!!\n";  
        std::terminate();  
    }  
};
```

Přetížení operátoru pomocí funkce

- Už jsme si ukázali, že přetížení operátoru lze umístit přímo do třídy, jako metodu.
- Přetížení také můžeme definovat mimo třídu, jako funkci.
- Tato funkce ale nemá přístup k soukromým datům třídy, a tak musí používat její veřejné rozhraní.

```
class Complex {  
    double real, imag;  
public:  
    Complex(double r, double i) : real(r), imag(i) {}  
    double getReal() const { return real; }  
    double getImag() const { return imag; }  
};  
  
Complex operator+(const Complex& lhs, const Complex& rhs) {  
    return Complex(lhs.getReal() + rhs.getReal(),  
                  lhs.getImag() + rhs.getImag());  
}
```

Operátor přetížený
pomocí funkce

Přetížení operátoru pomocí funkce

- Funkci umožníme přistupovat k soukromým datům třídy, pokud ji v deklaraci třídy označíme za spřátelenou (`friend`).
- To se při přetěžování operátorů často hodí.

```
class Complex {  
    double real, imag;  
public:  
    Complex(double r, double i) : real(r), imag(i) {}  
    double getReal() const { return real; }  
    double getImag() const { return imag; }  
  
    friend Complex operator+(const Complex& lhs, const Complex& rhs);  
};  
  
Complex operator+(const Complex& lhs, const Complex& rhs) {  
    return Complex(lhs.real + rhs.real, lhs.imag + rhs.imag);  
}
```

Operátor přetížený
pomocí **spřátelené** funkce

Přetížení operátoru pomocí funkce

- Nabízí se otázka, proč vůbec přetěžovat pomocí funkcí, ne pouze pomocí metod. V některých situacích ale musíme, třeba v případě, že je na levé straně nějaký cizí objekt, který nemůžeme měnit.

```
class Complex {
    double real, imag;
public:
    Complex(double r, double i) : real(r), imag(i) {}
    double getReal() const { return real; }
    double getImag() const { return imag; }
};

std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Complex& c) {
    return out << c.getReal() << " + " << c.getImag() << "i";
}

int main() {
    Complex c(-0.5, 3);
    std::cout << c << "\n";
}
```

Přetížit operátor << lze pouze pomocí funkce

Přetížení operátoru []

- Seznamte se s třídou zasobnik.

```
class zasobnik {
public:
    zasobnik(int max_prvku);
    zas_typ vezmi();
    void vloz(zas_typ prvek);
    bool je_prazdny() const;
private:
    int max_velikost;
    int aktualni_pozice;
    std::unique_ptr<zas_typ[]> prvky;
};
```

- Chtěli bychom mít operaci [], která poskytne prvek zásobníku:

```
zasobnik z(10); z.vloz(11); z.vloz(22); z.vloz(33);
std::cout << z[0] << "\n"; // 11
z[1] = 99; // zásobník teď obsahuje 11 99 33
std::cout << z[1] << "\n"; // 99
```

Přetížení operátoru []

- Chování by se mělo lišit podle toho, zda je náš objekt konstantní:
 - Pokud `a` není konstantní, `a[b]` vrací referenci na `b`-tý prvek.
 - Pokud je `a` konstantní, `a[b]` vrací konstantní referenci na `b`-tý prvek, nebo hodnotu `b`-tého prvku.

```
class zasobnik {
public:
    ...
    zas_typ& operator[](int i) {                // umožní z[1] = 99,
        return prvky[i];                       // když z je zasobnik
    }

    const zas_typ& operator[](int i) const { // zabrání z[1] = 99,
        return prvky[i];                       // z je const zasobnik
    }
private:
    ...
    std::unique_ptr<zas_typ[]> prvky;
};
```


Přetížení operátoru []

- Takto můžeme vracet hodnotu v případě konstantního objektu:

```
class zasobnik {
public:
    ...
    zas_typ& operator[](int i) {           // umožní z[1] = 99,
        return prvky[i];                 // když z je zasobnik
    }
    zas_typ operator[](int i) const {    // také zabrání z[1] = 99,
        return prvky[i];                 // když z je const zasobnik
    }
private:
    ...
    std::unique_ptr<zas_typ[]> prvky;
};
```

- [] je příklad operátoru, který musí být přetížen metodou.

■ přetížitelné pouze pomocí metody

Diagram showing various operators and expressions, with some highlighted in orange to indicate they are not overloadable:

- `a!=b`
- `a+=b`
- `-a`
- `a-b`
- `~a`
- `a==b`
- `a>b`
- `a+b`
- `+a`
- `a-=b`
- `a^b`
- `a^=b`
- `a<=b`
- `a<b`
- `a*b`
- `a/b`
- `a|=b`
- `a&b`
- `a&=b`
- `a&&b`
- `a>=b`
- `a*=b`
- `a/=b`
- `a|b`
- `a%b`
- `a|>b`
- `a%>b`
- `a||b`
- `a++`
- `++a`
- `a<<<b`
- `a<<b`
- `a%>b`
- `a=b`
- `!a`
- `a--`
- `--a`
- `a=>>b`
- `a>>b`
- `a[]`
- `a,b`
- `a->*b`
- `a->b`
- `a()`
- `*a`

Přetížení operátoru ++

- Mějme třídu Datum.

```
class Datum {
    int den, mesic, rok;
public:
    Datum(int d, int m, int r) : den(d), mesic(m), rok(r) {}
    friend std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Datum& d);
};

std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Datum& d) {
    return out << d.den << ". " << d.mesic << ". " << d.rok;
}
```

- Přidejme této třídě operaci ++, která posune datum o jeden den.

```
int main() {
    Datum d(31, 12, 2015);
    std::cout << d << "\n"; // 31. 12. 2015
    d++;
    std::cout << d << "\n"; // 1. 1. 2016
}
```

Přetížení operátoru ++ (prefix)

- Operátor ++a má obecně dva úkoly:
 - Změnit objekt a (jedná se o modifikující operátor).
 - Vrátit referenci na a.

```
class Datum {  
    int den, mesic, rok;  
public:  
    ...  
    Datum& operator++() {  
        ++den;  
        if (den > posledniDen(mesic, rok)) {  
            den = 1; ++mesic;  
            if (mesic > 12) {  
                mesic = 1; ++rok;  
            }  
        }  
        return *this; // vrať referenci na tento objekt  
    }  
};
```

Funkce posledniDen()
poskytne pro daný měsíc a rok
číslo posledního dne v měsíci.

Přetížení operátoru ++ (prefix)

Pro úplnost

```
int posledniDen(int mesic, int rok) {  
    switch (mesic) {  
        case 1: case 3: case 5: case 7: case 8: case 10: case 12:  
            return 31;  
        case 4: case 6: case 9: case 11:  
            return 30;  
        case 2:  
            if (rok % 400 == 0) return 29;  
            if (rok % 100 == 0) return 28;  
            if (rok % 4 == 0) return 29;  
            return 28;  
        default:  
            throw std::runtime_error("chyba v posledniDen()");  
    }  
}
```

- Pro objekty typu Datum je nyní zavedena operace ++, jenže pouze v prefixové variantě ++a. Operátor a++ musíme přetížit zvlášť.

```
std::cout << d << "\n"; // 31. 12. 2015  
++d;  
std::cout << d << "\n"; // 1. 1. 2016
```

Přetížení operátoru ++ (postfix)

- Operátor a++ má rovněž dva úkoly:
 - Změnit objekt a (jedná se také o modifikující operátor).
 - **Vrátit kopii a ve stavu před změnou.**
- a++ se dá vytvořit pomocí ++a. Nejdříve si uložíme kopii našeho objektu, pak provedeme ++a, pak kopii vrátíme.
- Deklarace a++ se od ++a odlišuje nadbytečným parametrem typu int.

```
class Datum {
    int den, mesic, rok;
public:
    ...
    Datum operator++(int) { // nadbytečný int znamená a++
        Datum kopie(*this); // kopie našeho objektu
        ++(*this);          // proved' ++a
        return kopie;       // vrať kopii
    }
};
```

Konec