

Ošetření chyb a výjimky

Karel Richta a kol.

katedra počítačů FEL ČVUT v Praze

© Karel Richta, Martin Hořeňovský, Aleš Hrabalík, 2021

Programování v C++, B6B36PJC

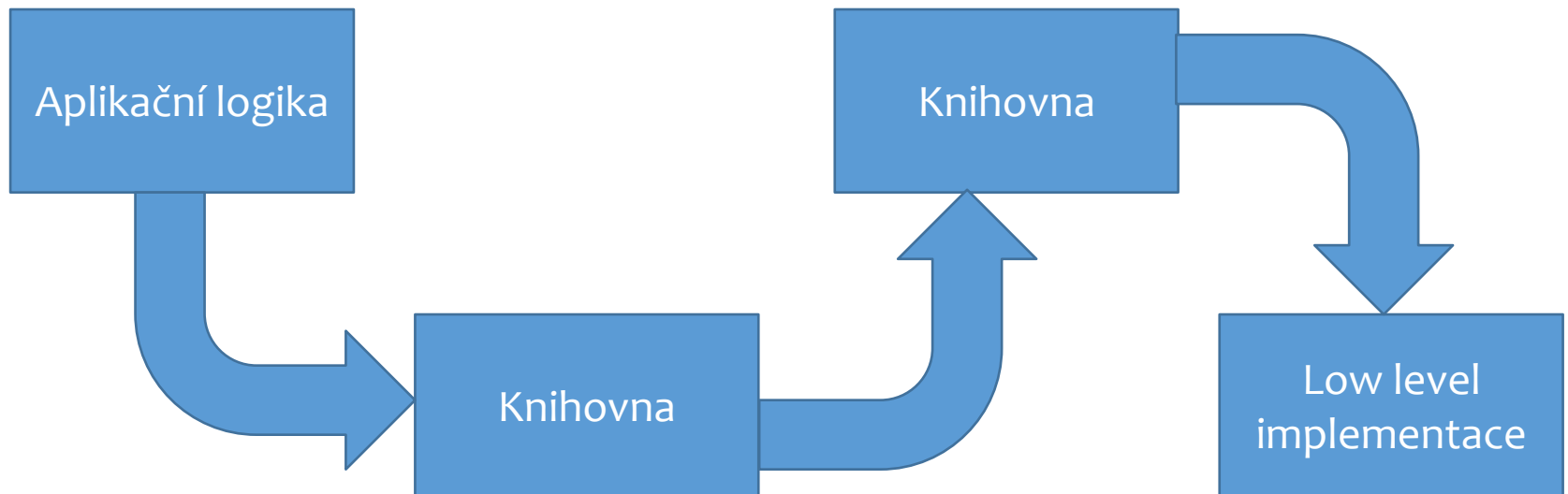
4/2021, Lekce 9a

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



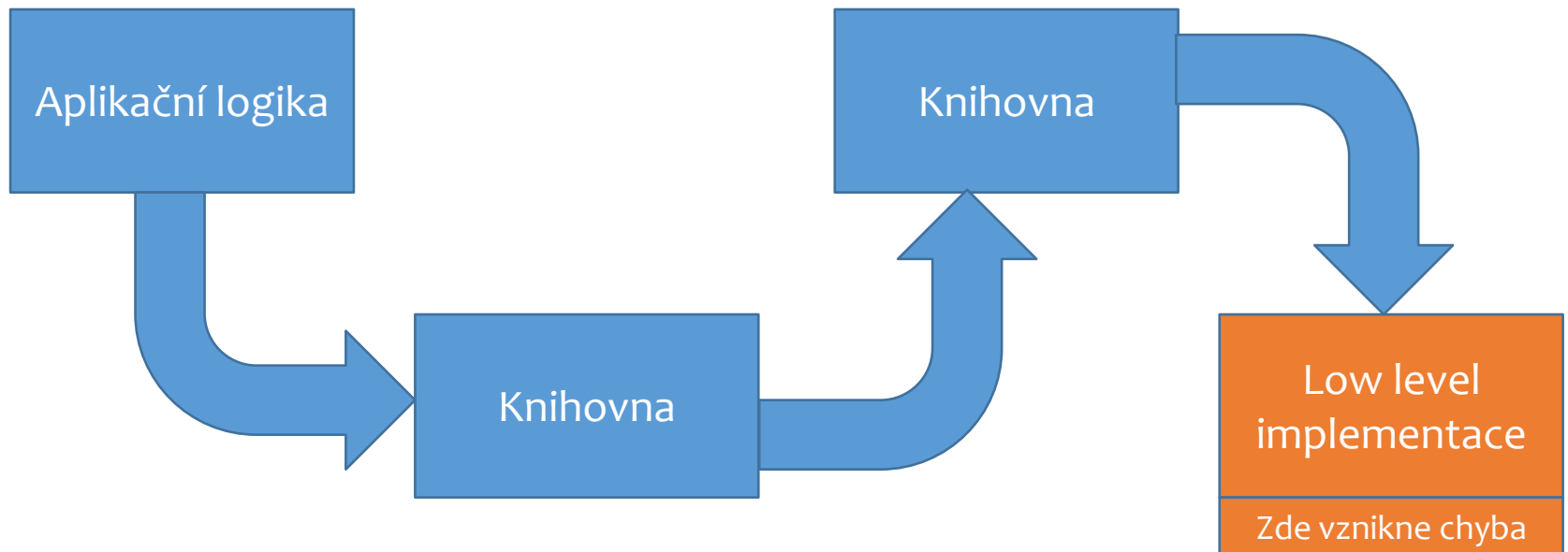
Problém

- Při běhu programu mohou vznikat různé chyby.
 - Například nemusíme mít práva ke čtení/zápisu souboru.
- Tyto chyby je potřeba nějak ošetřit.
- Místo, které si umí s chybou poradit, je obvykle jiné, než místo, kde chyba vznikla.



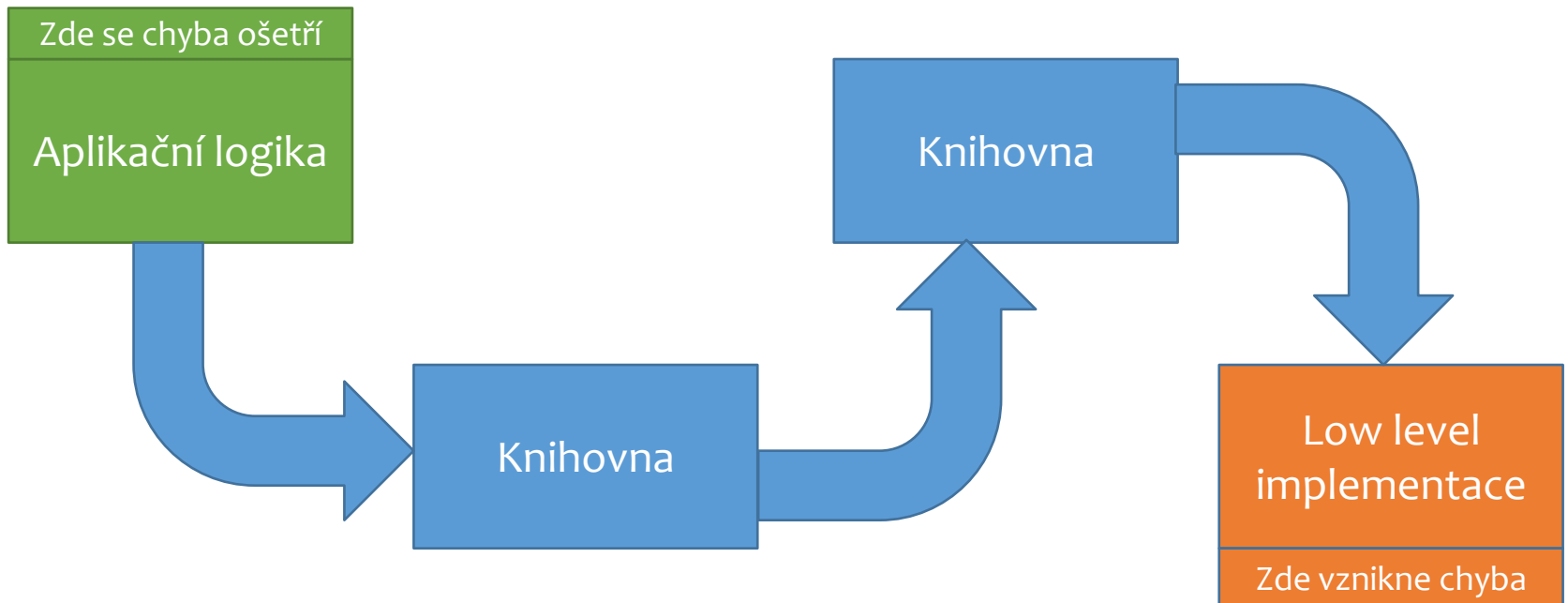
Problém

- Při běhu programu mohou vznikat různé chyby.
 - Například nemusíme mít práva ke čtení/zápisu souboru.
- Tyto chyby je potřeba nějak ošetřit.
- Místo, které si umí s chybou poradit, je obvykle jiné, než místo, kde chyba vznikla.



Problém

- Při běhu programu mohou vznikat různé chyby.
 - Například nemusíme mít práva ke čtení/zápisu souboru.
- Tyto chyby je potřeba nějak ošetřit.
- Místo, které si umí s chybou poradit, je obvykle jiné, než místo, kde chyba vznikla.



Důsledky

- K řešení chyb je tedy potřeba přenést informace o chybě z nižších vrstev do vyšších.
- Existují 3 různé způsoby:
 - Návrátové hodnoty
 - Chybové příznaky
 - Výjimky
- Ve standardní knihovně C++ se vyskytují všechny tři.
 - Části převzaté z C obvykle používají návratové hodnoty.
 - Matematické funkce používají chybové příznaky.
 - STL používá výjimky.

Chybové příznaky

Řešení pomocí chybových příznaků

- Základní schema:

```
int chyba = 0; // globální chybový příznak

void f(parametry) {
    // část kódu, kde může nastat chyba
    // pokud nastane:
    // - nastaví se chybový příznak na dohodnutou nenulovou hodnotu
    // - přeruší se normální zpracování a funkce se ukončí
    // pokud chyba nenastane, nic se neděje, příznak se nenastaví
};

int main() {
    f(skutečné parametry);
    if (chyba) { zpracování chyby }
    // normální zpracování
}
```

Chybové příznaky

- Funkce, která narazí na chybu, ji zapíše do globální proměnné.
- Funkce, která se chce o chybě dozvědět, zkontroluje zapsanou hodnotu.
- Chybové příznaky se používají v matematické knihovně a v POSIX standardu.
 - Pokud `log` narazí na chybu, třeba negativní vstup, zapíše do `errno` hodnotu `EDOM`.
 - Funkce volající `log` má následně možnost `errno` přečíst.
- Nemění signaturu funkce.

```
int main() {  
    double foo = std::log(-1.23);  
    if (errno == EDOM) {  
        std::cout << "log() has failed because: " << std::strerror(errno) << '\n';  
    }  
}
```

```
>>> log() has failed because: Numerical argument out of domain
```

Chybové příznaky – knihovna `errno.h`

- Definuje makro `errno` – lze si představit jako deklaraci proměnné `int errno = 0;`
- Obsahuje kód poslední zjištěné chyby (0 znamená OK).
- Nejméně tři konstanty - kódy: `EDOM` (domain error), `ERANGE` (range error) a `EILSEQ` (illegal sequence).
- Pokud některá funkce narazí na chybu, např. `log` na negativní vstup, zapíše do `errno` kód chyby, zde např. hodnotu `EDOM`.
- Funkce volající `log` má následně možnost `errno` přečíst.

```
enum class errc;
```

<http://en.cppreference.com/w/cpp/error/errc>

Chybové příznaky – Problémy

- Chyby mohou být ignorovány.
 - Programátor musí vynaložit úsilí, aby ignorovány nebyly.
- Není jisté, kdy a kde k chybě došlo.
 - Pokud po volání funkce nekontrolujeme `errno`, už se nedá určit, zda k chybě došlo.
 - Ani není možné zjistit, jestli se chyb nevyskytlo více.
- Je to spousta kódu, která se špatně čte a špatně píše.
 - Volání funkce následuje mnoho řádků, které čtou `errno` a reagují na chybu.
 - Funkce se dají skládat, ale pouze za cenu možného přehlédnutí chyby.

```
double sumlogs(const std::vector<double>& numbers) {  
    double result = 0;  
    for (auto n : numbers) {  
        result += std::log(n);  
    }  
    return result;  
}
```

Chybové příznaky – Problémy

- Chyby mohou být ignorovány.
 - Programátor musí vynaložit úsilí, aby ignorovány nebyly.

```
double sumlogs(const std::vector<double>& numbers) {
    double result = 0;
    for (auto n : numbers) {
        result += std::log(n);
    }
    return result;
}

double foo(const std::vector<double>& numbers) {
    return std::exp(sumlogs(numbers));
}
```

- Když zavoláme `std::log` s neplatným parametrem, nastaví se `errno`. To samé platí o `std::exp`.
- Došlo k chybě?
 - Nevíme.

Chybové příznaky – Problémy

- Není jisté, kdy a kde k chybě došlo.
 - Pokud po volání funkce nekontrolujeme `errno`, už se nedá určit, zda k chybě došlo.
 - Ani není možné zjistit, jestli se chyb nevyskytlo více.

```
// Toto už zkontroluje chybu, ale neví kde nastala
double sumlogs(const std::vector<double>& numbers) {
    double result = 0;
    for (auto n : numbers) {
        result += std::log(n);
    }
    if (errno == EDOM) {
        // handle error
    }
    return result;
}
```

- Chybu kontrolujeme, ale nevíme, kdy k ní došlo.
 - V tomto případě to nevadí, ale jindy může.

Chybové příznaky – Problémy

- Je to spousta kódu, která se špatně čte a špatně píše.
 - Volání funkce následuje mnoho řádků, které čtou errno a reagují na chybu.
 - Funkce se dají skládat, ale pouze za cenu možného přehlednutí chyby.

```
double sumlogs(const std::vector<double>& numbers) {
    double result = 0;
    for (auto n : numbers) {
        result += std::log(n);
    }
    if (errno == EDOM) {
        std::cerr << "Doslo k chybe v sumlogs: EDOM\n";
        return NAN;
    }
    return result;
}

double foo(const std::vector<double>& numbers) {
    auto temp = sumlogs(numbers);
    if (errno == EDOM || isnan(temp)) {
        std::cerr << "foo chyba: suma logaritmu skončila chybou\n";
        return NAN;
    }
    auto res = std::exp(temp);
    if (errno == ERANGE) {
        std::cerr << "foo chyba: vysledek je prilis velky.\n";
        return NAN;
    }
    return res;
}
```

Zvětšeno na příštím
snímku

Chybové příznaky – Problémy

```
double sumlogs(const std::vector<double>& numbers) {
    double result = 0;
    for (auto n : numbers) {
        result += std::log(n);
    }
    if (errno == EDOM) {
        std::cerr << "Doslo k chybe v sumlogs: EDOM\n";
        return NAN;
    }
    return result;
}

double foo(const std::vector<double>& numbers) {
    auto temp = sumlogs(numbers);
    if (errno == EDOM || isnan(temp)) {
        std::cerr << "foo chyba: suma logaritmu skončila chybou\n";
        return NAN;
    }
    auto res = std::exp(temp);
    if (errno == ERANGE) {
        std::cerr << "foo chyba: vysledek je prilis velky.\n";
        return NAN;
    }
    return res;
}
```

Chybové příznaky – Problémy

```
double sumlogs(const std::vector<double>& numbers) {
    double result = 0;
    for (auto n : numbers) {
        result += std::log(n);
    }
    if (errno == EDOM) {
        std::cerr << "Doslo k chybe v sumlogs: EDOM\n";
        return NAN;
    }
    return result;
}

double foo(const std::vector<double>& numbers) {
    auto temp = sumlogs(numbers);
    if (errno == EDOM || isnan(temp)) {
        std::cerr << "foo chyba: suma logaritmu skončila chybou\n";
        return NAN;
    }
    auto res = std::exp(temp);
    if (errno == ERANGE) {
        std::cerr << "foo chyba: vysledek je prilis velky.\n";
        return NAN;
    }
    return res;
}
```

Návratové hodnoty

Řešení pomocí návratových hodnot

- Základní schema:

```
int f(parametry) {
    // část kódu, kde může nastat chyba
    // pokud nastane:
    // - přerušit se normální zpracování a funkce se ukončí
    // - návratová hodnota indikuje chybu
    // pokud chyba nenastane, funkce vrátí hodnotu 0
};

int main() {
    if (f(skutečné parametry)) { zpracování chyby }
    // normální zpracování
}
```

Řešení pomocí návratových hodnot

- Funkce, které vrací numerickou hodnotu (tradičně `int`)
 - Návratová hodnota je pak určuje chybu, ke které došlo při průběhu funkce.
 - Hodnoty značící chybu (nebo úspěch) jsou předem definovány.
- Funkce často přijímají i tzv. výstupní parametr.
- Navracené hodnoty z funkce se pak vrací výš.

```
int main() {  
    printf("Kolik cisel bude nasledovat?\n");  
    int n;  
    int res = scanf("%d", &n);  
    if (res != 1) {  
        printf("To neni cislo\n");  
        exit(1);  
    }  
    ...  
}
```

Návratové hodnoty – Problémy

- Chyby mohou být ignorovány.
 - Programátor musí vynaložit úsilí, aby ignorovány nebyly.
- Pokud někdy ignorujete chybu, její hlášení je navždy ztraceno.
- Je to spousta kódu, která se špatně čte a špatně píše.
 - Vrácená hodnota z každé funkce se musí uložit, zkontrolovat, vyřešit a případně vrátit z funkce.
 - Funkce se nedají skládat.

```
int main() {  
    printf("Kolik cisel bude nasledovat?\n");  
    int n;  
    scanf("%d", &n);  
    for (int i = 0; i < n; ++i) {  
        ...  
    }  
}
```

Návratové hodnoty – Problémy

- Chyby mohou být ignorovány.
 - Pokud někdy ignorujete chybu, její hlášení je navždy ztraceno.

```
int nacti_cislo() {
    int temp;
    scanf("%d", &temp);
    return temp;
}

int main() {
    printf("Kolik cisel bude nasledovat?\n");
    int n = nacti_cislo();
    ...
}
```

- Pokud se nepovedlo načíst číslo, v n je podivná hodnota.
 - Zbytek programu o tom neví.

Návratové hodnoty – Problémy

- Chyby mohou být ignorovány.
 - Programátor musí vynaložit úsilí, aby ignorovány nebyly.

```
int nacti_kladne_cislo() {  
    int temp;  
    int res = scanf("%d", &temp);  
    if (res != 1) {  
        return -1;  
    }  
    if (temp < 0) {  
        return -2;  
    }  
    return temp;  
}
```

- Už nejsme schopni vrátit všechny možné hodnoty datového typu `int`.
 - Musíme vybrat, které hodnoty obětuje.

Návratové hodnoty – Problémy

- Je to spousta kódu, který se špatně čte i píše.
 - Vrácená hodnota z každé funkce se musí uložit a zkontrolovat; v případě chyby musíme správně zareagovat.
 - Funkce se nedají skládat.

```
int nacti_kladne_cislo() {
    int temp;
    int res = scanf("%d", &temp);
    if (res != 1) {
        return -1;
    }
    if (temp < 0) {
        return -2;
    }
    return temp;
}

int main() {
    printf("Kolik cisel bude nasledovat?\n");
    int cislo = nacti_kladne_cislo();
    if (cislo < 0) {
        if (cislo == -2) {
            printf("Potrebuju KLADNE cislo.\n");
        }
        if (cislo == -1) {
            printf("Potrebuju cislo.\n");
        }
    }
    exit(1);
}
...
}
```

Zvětšeno na příštím
snímku

Návratové hodnoty – Problémy

```
int nacti_kladne_cislo() {
    int temp;
    int res = scanf("%d", &temp);
    if (res != 1) {
        return -1;
    }
    if (temp < 0) {
        return -2;
    }
    return temp;
}

int main() {
    printf("Kolik cisel bude nasledovat?\n");
    int cislo = nacti_kladne_cislo();
    if (cislo < 0) {
        if (cislo == -2) {
            printf("Potrebuju KLADNE cislo.\n");
        }
        if (cislo == -1) {
            printf("Potrebuju cislo.\n");
        }
        exit(1);
    }
    ...
}
```

Návratové hodnoty – Problémy

```
int nacti_kladne_cislo() {
    int temp;
    int res = scanf("%d", &temp);
    if (res != 1) {
        return -1;
    }
    if (temp < 0) {
        return -2;
    }
    return temp;
}

int main() {
    printf("Kolik cisel bude nasledovat?\n");
    int cislo = nacti_kladne_cislo();
    if (cislo < 0) {
        if (cislo == -2) {
            printf("Potrebuju KLADNE cislo.\n");
        }
        if (cislo == -1) {
            printf("Potrebuju cislo.\n");
        }
        exit(1);
    }
    ...
}
```

Výjimky

Řešení pomocí výjimek

- Základní schéma:

```
int main() {
    try {
        // část kódu, kde může nastat chyba
        // pokud nastane - způsobí změnu ve zpracování, tzv. „hodí výjimku“
        // - přeruší se normální zpracování, hledá se ovladač této výjimky
        // - výjimka je identifikována pomocí typu
        // pokud chyba nenastane, nic se neděje
    } catch (... typ výjimky...) {
        // zpracování výjimky daného typu
    } catch (... jiný typ výjimky...) {
        // zpracování výjimky jiného typu
    }
    // další případné ovladače
}
```

Výjimky

- Chyba nemůže být ignorována.
 - Ignorování chyby ukončí proces.
- Funkce, která hlásí chybu, hodí výjimku.
- Funkce, která umí chybu zpracovat, ji chytá.
- Funkce se dají skládat.

```
int main() {
    try {
        while (true) {
            new int[1000000000ul];
        }
    } catch (const std::bad_alloc& e) {
        std::cout << "Allocation failed: " << e.what() << '\n';
    }
}
```

Výjimky – použití

- Při hození výjimky dojde k přerušení normálního běhu programu.
- Příkazy následující po hození výjimky nejsou provedeny.
 - Destruktory objektů na zásobníku ale zavolány jsou.

```
void throws() {
    std::vector<int> vec;
    while (true) {
        std::string str;
        throw 1;
        baz(); // Nezavolá se
    } // str je destruováno
} // vec je destruováno

int main() {
    throws();
    doesnt(); // Nezavolá se
}
```

```
void throws() {
    std::vector<int> vec;
    while (true) {
        std::string str;
        throw 1;
        baz(); // Nezavolá se
    } // str je destruováno
} // vec je destruováno

int main() {
    try {
        throws();
        doesnt(); // Nezavolá se
    } catch (int) {
        std::cout << "Vyjimka chycena.\n";
    }
    doesnt(); // Zavolá se
}
```

Výjimky – použití

- Při hození výjimky dojde k přerušení normálního běhu programu.
- Příkazy následující po hození výjimky nejsou provedeny.
 - Destruktory objektů na zásobníku ale zavolány jsou.

<pre>void throws() { std::vector<int> vec; while (true) { std::string str; throw 1; baz(); // Nezavolá se } // str je destruováno } // vec je destruováno int main() { throws(); doesnt(); // Nezavolá se }</pre>	<pre>void throws() { std::vector<int> vec; while (true) { std::string str; throw 1; baz(); // Nezavolá se } // str je destruováno } // vec je destruováno int main() { try { throws(); doesnt(); // Nezavolá se } catch (int) { std::cout << "Vyjimka chycena.\n"; } doesnt(); // Zavolá se }</pre>
--	--

Výjimky – házení

- Výjimku hodíme pomocí klíčového slova `throw`.
- Hodit se dá libovolný typ/objekt.
- Obvykle se ale hází nějaký potomek `std::exception`.
- Hozená výjimka přeruší normální běh programu a dojde k tzv. „stack unwinding“. Je to proces, při kterém se postupně ruší objekty na zásobníku a hledá se odpovídající `catch` blok.
- Pokud není nalezen vhodný `catch` blok, dojde k ukončení programu.

Nedoporučujeme	Doporučujeme
<pre>throw 1; throw "chyba"; std::vector<int> vec; throw &vec; throw std::vector<int>{};</pre>	<pre>throw std::runtime_error("oops\n"); throw std::system_error(std::error_code{}, "argh\n"); throw std::future_error(std::future_errc::broken_promise);</pre>

Výjimky – chytání

- Výjimka se chytá pomocí klíčového slova `catch()`.
- Chytat se dá libovolný typ.
- Chytání je polymorfní – pokud chytáme třídu, chytáme i její potomky.
- Kód v `catch` bloku se provede pouze, pokud je dotyčná výjimka zachycena.

Nedoporučujeme	Doporučujeme
<pre>catch (...) {} // Chytne cokoliv catch (int) {} // Chytne throw 1; catch (char) {} // Chytne throw 'a'; catch (int*) {} // Chytne throw <int></pre>	<pre>catch (const std::exception& ex) {} // Chytne exception a potomky catch (const std::bad_alloc& ex) {} // Chytne bad_alloc a potomky catch (const std::logic_error& ex) {} // Chytne logic_error a potomky</pre>

Výjimky – Pravidla použití

- **VŽDY** házejte hodnotou.
- **VŽDY** chytejte referencí (pokud můžete, `const&`)
- Používejte své výjimky, které dědí z nějaké standardní výjimky.
- Nepoužívejte `catch(. . .)`.

Výjimky – házení, chytání a polymorfismus

- Jak jsme si řekli, chytání výjimek je polymorfní.
- Házení ale není.
- Co to znamená?

```
class B {};  
class D : public B {};  
  
void f(B& throwable) {  
    throw throwable;  
}  
  
int main() {  
    D status;  
    try {  
        f(status);  
    } catch (D& e) {  
        std::cout << "Chytil jsem D!\n";  
    } catch (...) {  
        std::cout << "To je divny...\n";  
    }  
}
```

```
>>> To je divny...
```

```
class B {  
public: virtual void raise() {throw *this;}  
};  
class D : public B {  
public: virtual void raise() {throw *this;}  
};  
void f(B& throwable) {  
    throwable.raise();  
}  
  
int main() {  
    D status;  
    try {  
        f(status);  
    } catch (D& e) {  
        std::cout << "Chytil jsem D!\n";  
    } catch (...) {  
        std::cout << "To je divny...\n";  
    }  
}
```

```
>>> Chytil jsem D!
```

Výjimky – Problémy

- Cesta kódem není jasná
 - U žádného řádku si nemůžeme být jisti, kam bude pokračovat exekuce.
- Zpočátku jsou neintuitivní.
 - Popravdě, často i později.
- Dlouho byly používány špatně.
 - Stále často jsou.

```
int* nacti_cisla(int n) {  
    int* pole = new int[n];  
    for (int i = 0; i < n; ++i) {  
        pole[i] = nacti_cislo(); // Tahle funkce rozhodně nehází výjimky. Doufám.  
    }  
    return pole;  
}
```

Děkuji za pozornost.