

# Kurs języka C++

## 8. Wyjątki

# SPIS TREŚCI

- Ogólne spojrzenie na wyjątki
- Zgłaszanie i łapanie wyjątków
- Grupowanie wyjątków
- Dopasowywanie wyjątków
- Implementacja mechanizmu zgłaszania i łapania wyjątków
- Wyjątki w konstruktorach i w destruktorach
- Zdobywanie zasobów poprzez inicjalizację
- Specyfikacja wyjątków
- Wyjątki oraz `new` i `delete`
- Wyjątki z biblioteki standardowej
- Własne wyjątki
- Asercje

# OGÓLNE SPOJRZENIE NA WYJĄTKI

- Wyjątki zaprojektowano do wspierania obsługi błędów.
- System wyjątków dotyczy zdarzeń synchronicznych – na przykład do kontroli zakresu czy błędów we/wy.
- Mechanizm obsługi wyjątków można traktować jako nielokalną strukturę sterującą, która korzysta ze zwijania stosu.

# OBSŁUGA BŁĘDÓW

- Wyjątek to obiekt sygnalizujący błąd.
- Wyjątki można zgłaszać po wykryciu sytuacji krytycznej instrukcją `throw`.
- Wyjątki zgłoszone w bloku `try` można wyłapać w bloku `catch` i obsłużyć sytuację problemową.
- Wyjątki w sposób naturalny dzielą kod na część obliczeniową i część sterującą obliczeniami.

# ZGŁASZANIE I ŁAPANIE WYJĄTKÓW

- Wyjątek to obiekt dowolnego typu.
- Kod wykrywający błąd zgłasza wyjątek instrukcją `throw`, na przykład:  

```
throw 15;  
throw "problem z dokładnością obliczeń";  
throw moja_klasa(7.532);  
throw out_of_range("indeks poza tablicą");
```
- Chęć złapania wyjątku sygnalizuje się umieszczeniem kodu w instrukcji `try-catch`.
- Wynikiem działania `throw` jest zwinięcie stosu, aż do znalezienia odpowiedniego bloku `catch` (w funkcji, która bezpośrednio lub pośrednio wywołała funkcję zgłaszającą wyjątek).

# ZGŁASZANIE I ŁAPANIE WYJĄTKÓW

- Przykład zgłoszenia i obsługi błędu:

```
try
{
    int x = 0;
    cerr << "integer (>0): ";
    cin >> x;
    if (! cin) throw "i/o error";
    if (x<=0) throw x;
    // ...
}
catch (const char *ex)
{
    cerr << "number format error" << endl;
}
catch (int ex)
{
    cerr << "number value error" << endl;
}
```

# ZGŁASZANIE I ŁAPANIE WYJĄTKÓW

- Program może obsługiwać tylko wyjątki zgłaszane w bloku `try`.
- Po zgłoszeniu wyjątku, sterowanie nie wraca już do miejsca zgłoszenia.
- Funkcje call-back'owe potrafią rozwiązać problem w miejscu jego wystąpienia – jeśli funkcja nie potrafi rozwiązać problemu to zgłosi wyjątek.
- Po obsłużeniu wyjątku w bloku `catch` sterowanie przenoszone jest za instrukcją `try-catch`.
- Wyjątki są rozróżniane po typie.

# GRUPOWANIE WYJĄTKÓW

- Wyjątki często w sposób naturalny tworzą rodziny (zastosowanie dziedziczenia w strukturalizacji wyjątków).

- Przykład hierarchii wyjątków:

```
class BladMat {};  
class Nadmiar : public BladMat {};  
class Niedomiar : public BladMat {};  
class DzielZero : public BladMat {};
```

- Przykład organizacji rozpoznawania wyjątków:

```
try {  
    // throw ...;  
}  
// wyjątek DzielZero  
catch (DzielZero) { /*...*/ }  
// pozostałe wyjątki dziedziczące po BladMat  
catch (BladMat) { /*...*/ }
```

- Kolejność bloków catch ma znaczenie przy rozpoznawaniu wyjątków.



# DOPASOWYWANIE WYJĄTKÓW

- Rozważmy przykład:

```
try
{
    throw E;
}
catch (H)
{
    // kiedy się tutaj znajdziemy?
}
```

- 1) H jest tego samego typu co E;
- 2) H jest jednoznacznie publiczną klasą bazową dla E;
- 3) H i E są wskaźnikami, a dla typów na które wskazują zachodzi 1) lub 2);
- 4) H jest referencją, a dla typu do którego się odnosi zachodzi 1) lub 2).
- 5) H jest obiektem stałym, a dla typu do którego się odnosi zachodzi 1) lub 2).

# ZŁAPANIE KAŻDEGO WYJĄTKU

- Można wyłapać każdy wyjątek blokiem `catch ( . . . )`.
- Blok `catch ( . . . )` może wystąpić tylko jako ostatni blok.
- W bloku `catch ( . . . )` nie jest znany typ wyjątku.
- W bloku `catch` można powtórnie zgłosić ten sam wyjątek, który właśnie został wyłapany za pomocą instrukcji `throw` bez argumentów.
- Zgłoszenie innego wyjątku w bloku `catch` można traktować jak podmianę wyjątku (można zmienić nie tylko wartość ale i typ zgłaszanego wyjątku).

# ZAGNIEŹDZANIE INSTRUKCJI TRY-CATCH

- Instrukcję `try-catch` można umieścić w bloku `try` – wtedy niewyłapane wyjątki w wewnętrznej instrukcji `try-catch` będą zgłoszeniem wyjątku w zewnętrznym bloku `try`.
- Instrukcję `try-catch` można również umieścić w bloku `catch` – wtedy niewyłapane wyjątki w wewnętrznej instrukcji `try-catch` będą traktowane jak zgłoszenie wyjątku w zewnętrznym bloku `catch`.

# IMPLEMENTACJA MECHANIZMU ZGŁASZANIA I ŁAPANIA WYJĄTKÓW

- Odwikłanie stosu – wielkie sprzątanie.
- Po zgłoszeniu instrukcją `throw` obiekt wyjątku jest umieszczany w pamięci globalnej w specjalnie do tego przeznaczonym miejscu.
- Wyjątek uznaje się za obsługony w momencie jego wyłapania przez jakiś blok `catch`, ale dopiero przy wyjściu z tego bloku wyjątek jest likwidowany.
- Nie wolno rzucać wyjątków, gdy inny wyjątek jest w trakcie lotu!

# WYJĄTKI W KONSTRUKTORACH I W DESTRUKTORACH

- Gdy wyjątek zostanie zgłoszony w konstruktorze, to obiekt nie zostanie utworzony.
- Gdy wyjątek zostanie zgłoszony w konstruktorze w trakcie inicjalizacji części odziedziczonej lub obiektu składowego, to zainicjalizowana część zostanie automatycznie zlikwidowana.
- Gdy chcemy zgłosić wyjątek w ciele konstruktora, to najpierw należy zwolnić zasoby przydzielone w ciele konstruktora.
- Nie należy zgłaszać wyjątków w destruktorach, bo to może powodować problemy przy odwikłaniu stosu w trakcie lotu rzuconego wcześniej innego wyjątku!

# ZDOBYWANIE ZASOBÓW POPRAZEC INICJALIZACJĘ

- Problem: kiedy funkcja na początku rezerwuje zasób (otwiera strumień, przydziela pamięć, ustawia klucz kontroli dostępu, itp.), to może go na końcu nie zwolnić, gdy po drodze zostanie zgłoszony wyjątek.
- Rozwiązanie: zarządzanie zasobami poprzez opakowywanie ich klasami (technika RAII).
- Schemat postępowania:
  - w konstruktorze klasy opakowującej zasób zostaje zarezerwowany (gdy rezerwacja się nie powiedzie zostaje zgłoszony wyjątek);
  - klasa opakowująca udostępnia narzędzia do korzystania z zasobu;
  - w destruktorze klasy opakowującej zasób zostaje zwolniony (zadziała również w przypadku zwijania stosu przy zgłoszonym wyjątku).

# ZDOBYWANIE ZASOBÓW POPRAZEC INICJALIZACJĘ

- Przykład zdobywania zasobów poprzez inicjalizację:

```
class plik
{
    FILE *wsk;
public:
    plik (const char *naz, const char *atr)
    {
        wsk = fopen(naz,atr);
        if (!wsk) throw brak_pliku;
    }
    ~plik () throw()
        { fclose(wsk); wsk = 0; }
    operator FILE* () noexcept
        { return wsk; }
};
// ...
plik p("a.txt","r");
double wsp;
fscanf(p,"%lf",&wsp);
```

# SPRYTNE WSKAŹNIKI

- Wzorzec klasy `shared_ptr` wspiera technikę zdobywania zasobów poprzez inicjalizację – jego definicja znajduje się w pliku nagłówkowym `<memory>`.
- Obiekt `shared_ptr` jest inicjalizowany wskaźnikiem i można się nim posługiwać w programie jak zwykłym wskaźnikiem.
- Konstruktor i przypisanie wzorca `shared_ptr<>` zapewniają niejawną konwersję z `shared_ptr<P>` do `shared_ptr<B>` o ile można dokonać konwersji z  $P^*$  do  $B^*$ .
- Współdzielony wskaźnik `shared_ptr` jest wskaźnikiem ze zliczaniem referencji.



# SPRYTNE WSKAŹNIKI

- Współdzielony wskaźnik `shared_ptr` automatycznie niszczy swoją zawartość tylko, jeśli nie ma już współdzielonych wskaźników odnoszących się do obiektu początkowo tworzono dla współdzielonego wskaźnika – wtedy w destruktorze `shared_ptr` zapewnione jest wywołanie operatora `delete` na wskazywany obiekt.
- Wskaźnik `shared_ptr` posiada operator dereferencji do przechowywanego obiektu (`*`) i operator dostępu do pól składowych (`->`).

- Przykład:

```
struct C { int a; int b; };  
shared_ptr<C> foo(new C);  
foo->a = 10, foo->b = 20;  
cout << "foo: " << (*foo).a  
      << ' ' << (*foo).b << endl;
```

# GWARANCJE WYJĄTKÓW

- ▶ Operację nazywa się bezpieczną pod względem wyjątków (ang. exception-safe), jeśli pozostawia program w prawidłowym stanie, gdy zgłosi wyjątek.
- ▶ Dla każdej operacji biblioteka STL dostarcza jedną z następujących gwarancji:
  - ▶ Gwarancja podstawowa (ang. basic guarantee) dla wszystkich operacji: podstawowe niezmienniki wszystkich obiektów są zachowane i nie dopuszcza się do wycieku żadnych zasobów, takich jak np. pamięć.
  - ▶ Silna gwarancja (ang. strong guarantee) dla kluczowych operacji: oprócz gwarancji podstawowej gwarantowane jest, że każda operacja zakończy się powodzeniem albo nie wywoła żadnego efektu.
  - ▶ Gwarancja niezgłaszania wyjątku (ang. nothrow guarantee) dla niektórych operacji: niektóre operacje oprócz tego, co przewiduje gwarancja podstawowa, gwarantują, że nie będą zgłaszać wyjątków.

# SPECYFIKACJA WYJĄTKÓW

- ▶ W deklaracji funkcji można umieścić specyfikator `noexcept`, co oznacza, że funkcja nie zgłasza wyjątków.
- ▶ Może to być samo słowo `noexcept`, a może też mieć argument typu `constexpr bool`.
- ▶ Oto kilka przykładowych deklaracji:
  - ▶ `void fun0(); // nie gwarantujemy nic - może rzucić wyjątek`
  - ▶ `void fun2() noexcept(true); // gwarantujemy, że nie rzuca`
  - ▶ `void fun3() noexcept(false); // nie gwarantujemy nic`
  - ▶ `void fun1() noexcept; // równoważne noexcept(true)`
- ▶ Każdy destruktor jest domyślnie funkcją `noexcept` (wszystkie inne funkcje mogą domyślnie zgłaszać każdy wyjątek).

# WYJĄTKI ORAZ NEW I DELETE

- Funkcje użyte do implementacji operatorów `new` i `delete` są zadeklarowane w `<new>`. Deklaracja tych operatorów jest następująca:

```
void* operator new (size_t);  
void operator delete (void*) noexcept;  
void* operator new[] (size_t);  
void operator delete[] (void*) noexcept;
```
- Operator `new` (oraz `new[]`) zgłasza wyjątek `bad_alloc`, gdy nie uda się zarezerwować pamięci na obiekt (tablicę obiektów).
- Istnieje deklaracja obiektu, który powoduje, że operator `new` nie zgłasza wyjątku, tylko przekazuje wskaźnik pusty:

```
struct nothrow_t {};  
extern const nothrow_t nothrow;
```

Stworzono też specjalne wersje operatora `new` z parametrem `nothrow_t`, które zapobiegają zgłaszaniu wyjątków:

```
void* operator new (size_t, const nothrow_t &  
    noexcept;  
void* operator new[] (size_t, const nothrow_t &  
    noexcept;
```

# WYJĄTKI ORAZ NEW I DELETE

- Przykład użycia `nothrow` przy alokacji pamięci:

```
int *p = new int[1000000];  
// może zgłosić wyjątek bad_alloc  
// ...  
// poniższy kod nie zgłosi wyjątku  
if (int *q = new(nothrow) int[1000000])  
{  
    // przydział się powiódł  
}  
else  
{  
    // przydział nie powiódł się  
}
```

- Funkcja `uncaught_exception()` zwraca `true`, gdy wyjątek zgłoszono ale jeszcze nie wyłapano – umożliwia to specyfikowanie różnych działań w destruktorze zależnie od tego, czy obiekt jest niszczone normalnie, czy w ramach zwijania stosu.

## BRAK PAMIĘCI I OPERATOR `NEW`

- Gdy operator `new` próbuje przydzielić pamięć a wolnej pamięci już nie ma, to zgłasza on wyjątek `bad_alloc`.
- Można jednak dostarczyć i wywołać funkcję ratującą, ustawiając uchwyt `_new_handler` za pomocą `set_new_handler()` – funkcja ratująca typu `void(*)()` powinna odzyskać pamięć, a jeśli się to nie uda, to powinna zgłosić wyjątek `bad_alloc`.
- Gdy nie wyłapiemy wyjątku `bad_alloc`, to program zakończy się wywołaniem funkcji `terminate()`.

# BRAK PAMIĘCI I OPERATOR NEW

- Przykład funkcji ratunkowej w przypadku braku pamięci:

```
void new_hnd ()
{
    int bytes = find_mem();
    if (bytes < min_alloc) throw bad_alloc;
}
```

- Przykład użycia funkcji ratunkowej w przypadku braku pamięci:

```
void (*old_hnd) () = set_new_handler(new_hnd);
try {
    // ...
}
catch (bad_alloc) {
    // ...
}
catch (...) {
    set_new_handler(old_hnd);
    throw;
}
set_new_handler(old_hnd);
```

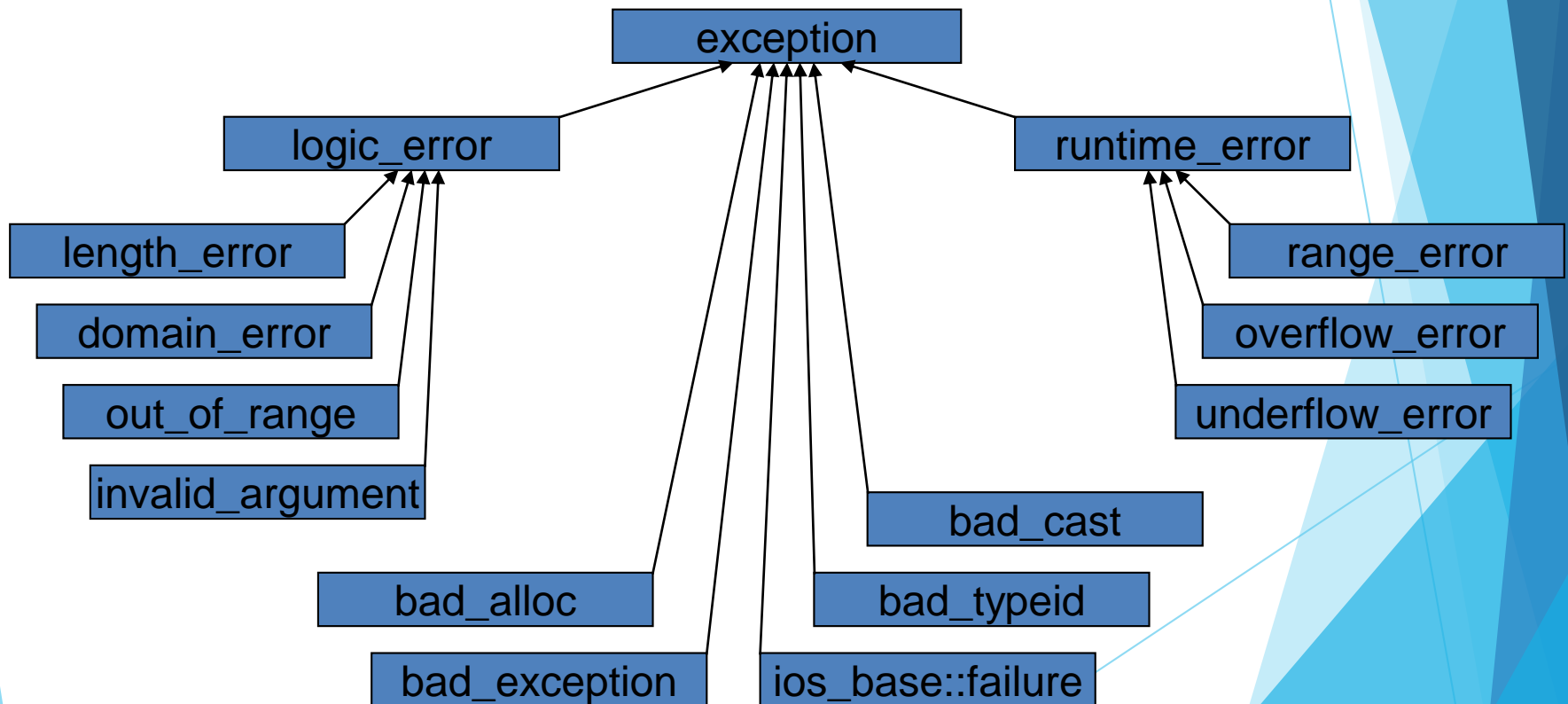
# KOŃCZENIE PROGRAMU W KRYTYCZNYCH SYTUACJACH

- Funkcja standardowa `exit(int)` kończy program w łagodny sposób (opróżnia bufor, zamyka pliki, itp).
- Funkcja standardowa `abort()` kończy program w drastyczny sposób (bez kosmetyki dotyczącej buforów, plików, itp).
- Funkcja `terminate()`, w której jest wywoływana funkcja `abort()`, jest automatycznie wywoływana w sytuacjach krytycznych takich jak:
  - rzucenie wyjątku, którego nie złapał żaden blok `catch`;
  - rzucenie wyjątku w trakcie lotu innego wyjątku;
  - rzucenie wyjątku w funkcji, która deklaruje zakończenie pracy bez wyjątków.
- Za pomocą funkcji `set_terminate()` możemy zmienić uchwyt `uncaught_handler` ustalając własną procedurę obsługi zdarzeń krytycznych związanych z wyjątkami. Funkcja ta podmienia uchwyt do funkcji wywoływanej w `terminate()` – standardowo jest to funkcja `abort()`.



# WYJĄTKI Z BIBLIOTEKI STANDARDOWEJ

- Hierarchia klas wyjątków standardowych:



# WŁASNE WYJĄTKI

- Wyjątkiem może być dowolny obiekt, ale dobrze jest projektować własną hierarchię klas wyjątków, która dziedziczy po `exception` albo `logic_error`.
- Gdy definiujesz własny wyjątek, pamiętaj aby nie zgłaszał on innych wyjątków w konstruktorach, w destruktorze i w przypisaniu kopiującym.
- Gdy definiujesz własny wyjątek dziedziczący po `exception`, pamiętaj aby zdefiniować w nim konstruktor domyślny, konstruktor kopiujący, przypisanie kopiujące, wirtualny destruktor oraz nadpisz metodę `what()`.

# ASERCJE

- Za pomocą asercji możemy oznaczyć w programie niezmienniki, czyli warunki, które niezależnie od wartości zmiennych muszą pozostać prawdziwe - jeśli asercja zawiedzie, oznacza to, że popełniliśmy błąd w algorytmie albo nastąpiła sytuacja wyjątkowa.
- Makro `assert()` zdefiniowane w pliku nagłówkowym `<cassert>` służy do debuggowania programów.
- Użycie:  
`assert (wyrażenie) ;`
- Działanie: jeśli warunek, który testuje asercja jest prawdziwy to program nie reaguje, natomiast w przypadku gdy warunek ten jest fałszywy to na standardowe wyjście dla błędów zostanie wypisany odpowiedni komunikat o błędzie i program zostanie przerwany za pomocą funkcji `abort()`.
- Aby pozbyć się asercji, uwalniając kod od spowalniających obciążeń, wystarczy przed dołączeniem pliku nagłówkowego `<cassert>` zdefiniować makro `NDEBUG` - nie trzeba wówczas kasować żadnych wystąpień makra `assert()`.

# ASERCJE STATYCZNE

- Starszy standard C++ posiada dwie metody do testowania asercji: makro `assert` i dyrektywę preprocesora `#error`, jednak żaden z nich nie jest odpowiedni do używania w szablonach (makro testuje asercje w czasie wykonywania kodu, a dyrektywa preprocesora testuje w fazie preprocesorowej, czyli przed tworzeniem instancji szablonów).
- Można testować asercje również w czasie kompilacji przy użyciu słowa kluczowego `static_assert`:  
`static_assert(stałe_wyrażenie, komunikat_błędu);`
- Kiedy *stałe\_wyrażenie* jest fałszywe, wtedy kompilator zgłasza *komunikat\_błędu*.
- Statyczne asercje są przydatne także poza szablonami; przykładowo, jakaś szczególna implementacja algorytmu mogłaby zależeć od tego, aby rozmiar `long` był większy niż rozmiar `int`, czyli tego, czego standard nie zapewnia.