

```

#include <forward_list>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <string>
using namespace std;

void Listakiir(const string& s,
              const forward_list<int>& lista) {
    cout << s << " t";
    copy(lista.cbegin(), lista.cend(),
          ostream_iterator<int>(cout, " "));
    cout << endl;
}

int main() {
    forward_list<int> lista = { 1, 2, 3, 4 };
    Listakiir ("A kiinduló lista:", lista);

    // Elem beszúrása a lista elejére
    lista.insert_after(lista.before_begin(), 10);
    lista.push_front(11);
    lista.insert_after(lista.before_begin(),
                      { 21, 22, 23, 3, 11, 12 } );
    Listakiir ("8 új elem az elejére:", lista);

    lista.erase_after(lista.begin());
    lista.pop_front(); // 1. elem
    Listakiir ("Az első 2 elem törölve:", lista);

    lista.sort();
    lista.unique();
    Listakiir ("Rendelt és eltávolított duplikátumok:");
}

```

TÓTH BERTALAN

A C++11 NYELV ÚJ LEHETŐSÉGEINEK ÁTTEKINTÉSE

Tóth Bertalan:

A C++11 nyelv új lehetőségeinek áttekintése



Jelen dokumentumra a Creative Commons Nevezd meg! – Ne add el! – Ne változtasd meg! 3.0 Unported licenz feltételei érvényesek: a művet a felhasználó másolhatja, többszörözheti, továbbadhatja, amennyiben feltünteti a szerző nevét és a mű címét, de nem módosíthatja, és kereskedelmi forgalomba se hozhatja.

Lektorálta: Juhász Tibor

Tartalom

Bevezetés	5
Néhány hasznos hivatkozás.....	5
1 Változások a C++ nyelv alapelemei szintjén.....	6
1.1 Új, illetve módosított értelmű C++ kulcsszavak	6
1.2 Új egész típusok.....	6
1.3 Új lebegőpontos értékek.....	7
1.4 Szigorúan típusos felsorolások – enum osztályok.....	7
1.5 A nullptr és a nullptr_t	8
1.6 Sztring literálok.....	8
1.6.1 Nyers (raw) sztring literálok	8
1.7 Felhasználó által definiált literálok.....	9
1.8 Fordítás idejű konstans kifejezések (constexpr)	9
1.8.1 A static_assert kulcsszó	10
1.9 Kivételek továbbításának tiltása (noexcept)	10
1.10 Változók memóriahatára igazítása	11
2 Új, szokatlan nyelvi megoldások	12
2.1 Automatikus típus-meghatározás	12
2.2 Jobbérték hivatkozások (&&)	13
2.3 Adatok áthelyezése (forward és a move).....	14
2.4 „Okos” (smart) mutatók.....	15
2.5 Egységes inicializálás	17
2.6 Tartományalapú for ciklus, a begin és az end hívások	18
2.7 λ - lambda kifejezések (függvények)	20
2.8 Programkód párhuzamos futtatása.....	22
2.8.1 Aszinkron kódvégrehajtás	23
2.8.2 Szálak futtatása	24
2.8.3 Szálak szinkronizálása kizárással	26
2.8.4 Szálak szinkronizálása atomi változókkal	27
3. Változások az osztályok és a sablonok körében.....	29
3.1 Konstruktorok delegálása, adattagok inicializálása, sizeof adattagra.....	29
3.2 Operátorfüggvények explicit típus-átalakítással.....	30
3.3 Az override és a final módosítók.....	30
3.4 A delete és a default tagfüggvények.....	32
3.5 Korlátozások nélküli union típus	32
3.6 Sablonok és a C++11.....	33
3.6.1 Szintaxis.....	33
3.6.2 Külső sablonok.....	33
3.6.3 Sablon álnevek (template alias)	34
3.6.4 Sablonok változó hosszúságú argumentumlistával (variadic templates).....	35
3.6.5 Hátravetett visszatérési típus (suffix return types).....	37
4. A C++11 könyvtár újdonságai.....	38
4.1 Új függvények és tagfüggvények a C++ könyvtárban.....	38
4.1.1 C-sztring tartalmának számmá alakítása.....	38
4.1.2 A string típusú és a numerikus adatok közötti átalakítások.....	39
4.1.3 Unicode karakterek és sztringek átalakítása	39
4.1.4 Új matematikai függvények.....	40
4.1.5 A bővített complex osztálysablon	41
4.1.6 Fordítás idejű racionális aritmetika.....	41
4.2 Véletlen számok előállítása	43

4.3 Idő- és dátumkezelés	44
4.4 Reguláris kifejezések könyvtára.....	46
4.5 Kibővített típuskezelő könyvtár	48
4.6 Polimorf függvényobjektumok	49
4.7 Inicializáló lista saját osztályokban	51
4.8 Változások a konténer (tároló) könyvtárban	53
4.8.1 Kezdőértékadás a konténereknek	56
4.8.2 A move szemantika és az STL konténer	56
4.8.3 A begin, end és swap függvénysablonok használata.....	58
4.9 Kibővített algoritmus könyvtár	59
4.10 Rekordok új megközelítésben (tuple).....	62
4.11 A szabványos C++ nyelv deklarációs állományai	63

A C++11 nyelv új lehetőségeinek áttekintése

Bevezetés

A C++11 (ISO/IEC 14882:2011) a C++ programozási nyelv 2011 szeptemberében megjelent szabványa, amely egy modern, az eddigieknél is hatékonyabb programozási nyelvet ad a programozók kezébe. A nyelv 2003-as változata elsősorban hibajavítás volt az eredetileg 1998-as szabványhoz képest, a mostani azonban egy sor újdonságot is tartalmaz. Összefoglalónkban csak az új elemeket mutatjuk be, feltételezve az eredeti C++ nyelv ismeretét. A szabványosítási folyamat ezzel nem zárult le, már ismert a C++14 és a C++17 szabványokban bevezetésre kerülő nyelvi megoldások egy része.

Az összefoglalóban a jobb áttekinthetőség érdekében önkényesen csoportosítottuk a C++11 nyelv új lehetőségeit. Ennek során az alapvető nyelvi elemektől, a sablonok használatán át jutunk el a Szabványos Sablonkönyvtár (STL) alkalmazásáig.

Néhány hasznos hivatkozás

Sajnos napjainkban még egyik C++ fordító sem támogatja teljes mértékben az új szabvány ajánlásait. Mivel a támogatott megoldások köre napról-napra, verzióról-verzióra bővül, az Interneten érdemes utána nézni, hogy az általunk használt fordítóprogrammal, mit használhatunk az összefoglalóban bemutatott, és a nem ismertetett nyelvi elemek közül.

Néhány hasznos hivatkozás:

C++ 11 szabvány

<http://isocpp.org/std/the-standard>

C11 szabvány

<http://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg14/>

C/C++ referencia

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

C/C++ referencia

<http://www.cplusplus.com/reference/>

C++11 Wikipedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/C++11>

C11 Wikipedia

[http://en.wikipedia.org/wiki/C11_\(C_standard_revision\)](http://en.wikipedia.org/wiki/C11_(C_standard_revision))

C++11 jellegzetességek a Visual Studio 2012-ben (Microsoft Development Network)

<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/567368.aspx>

C++0x/C++11 támogatás a GCC-ben

<http://gcc.gnu.org/projects/cxx0x.html>

1 Változások a C++ nyelv alapelemei szintjén

Ebben részben áttekintjük a C++11 nyelv új alaptípusait és konstansmegadási módjait:

- új, illetve módosított értelmű C++ kulcsszavak,
- új egész típusok,
- új lebegőpontos értékek,
- szigorúan típusos felsorolások – **enum** osztályok,
- a **nullptr** és a **nullptr_t**,
- sztring literálok,
- felhasználó által definiált literálok,
- fordítás idejű konstans kifejezések (**constexpr**), a **static_assert** kulcsszó,
- kivételek továbbításának tiltása (**noexcept**),
- változók memóriahatárra igazítása.

1.1 Új, illetve módosított értelmű C++ kulcsszavak

<i>Új foglalt szavak</i>	<i>Módosított kulcsszavak</i>
alignas	auto
alignof	default
char16_t	delete
char32_t	export
constexpr	using
decltype	
final	
noexcept	
nullptr	
override	
static_assert	
thread_local	

1.2 Új egész típusok

A C++ szabvány most már hivatalosan is támogatja a **long long** és az **unsigned long long** típusú egészeket, amelyek legalább 64 biten tárolódnak. Minden egészekre vonatkozó művelet elvégezhető velük, és a C++ könyvtári elemei is segítik a használatukat. Konstans értékekben az *ll*, *LL*, illetve az *ull*, *ULL* utótaggal jelölhetjük őket. A típusok értékhatárait hagyományosan a `<climits>` fejláblomány (`LLONG_MIN`, `LLONG_MAX`, `ULLONG_MIN`, `ULLONG_MAX`), és a `<limits>` fájlban definiált `numeric_limits<típus>` osztálysablon adattagjai biztosítják számunkra.

```
int main() {
    long long int x=123456789012345678LL;
    long long z = 0LL;
    unsigned long long y = x / 712ULL;
    cout << "y = " << y << endl;
    cout << "z = ";
    cin >> z;
    cout << "z^2 = " << z*z << endl;
}
```

Platformfüggetlen, rögzített méretű egész típusokat, és az értékhatárokat tároló makrókat találunk a `<cstdint>` fejláblományban, melyek közül a leggyakrabban használtak:

<code>int8_t</code>	<code>signed char</code>
<code>uint8_t</code>	<code>unsigned char</code>
<code>int16_t</code>	<code>short</code>
<code>uint16_t</code>	<code>unsigned short</code>

<code>int32_t</code>	<code>int</code>
<code>uint32_t</code>	<code>unsigned</code>
<code>int64_t</code>	<code>long long</code>
<code>uint64_t</code>	<code>unsigned long long</code>

Az értékhatár makrók `INTn_MIN`, `INTn_MAX`, `UINTn_MIN`, `UINTn_MAX`, ahol n értéke 8,16, 32 vagy 64 lehet.

1.3 Új lebegőpontos értékek

A C++11 szabvány a `float`, `double` és a `long double` lebegőpontos típusok körét nem bővíti, azonban a lebegőpontos értékek területén új eszközöket kínál a programozók számára. Egyrészt lehetőséget biztosít a végtelen (`INFINITY`) és a „nem szám” (`NAN`) értékek kezelésére. Másrészt pedig a lebegőpontos konstans értékeket pontosabban adhatjuk meg hexadecimális formában (a mantisszát 16-os, míg a p/P betű után a 2 kitevőjét 10-es számrendszerben kell szerepeltetnünk.) Például, a `0x1.004p7` decimális értéke `128.125`, a `0x1Ab2P2` konstansé pedig `27336`.

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

int main() {
    cout << 0x1.ap+0f << endl;
    cout << 0x1.0P+10 << endl;
    cout << 0x0.C90FDAA22168CP2 << endl;
    cout << "1/0.0 = " << 1/0.0 << endl;
    cout << "-1/0.0 = " << -1/0.0 << endl;
    cout << "0.0/0.0 = " << 0.0/0.0 << endl;
    cout << "sqrt(-1.0) = " << sqrt(-1.0) << endl;
    cout << "INFINITY/INFINITY = " << INFINITY/INFINITY << endl;
}
```

A program futásának eredménye:

```
1.625
1024
3.14159
1/0.0 = inf
-1/0.0 = -inf
0.0/0.0 = nan
sqrt(-1.0) = nan
INFINITY/INFINITY = nan
```

1.4 Szigorúan típusos felsorolások – enum osztályok

A felsorolás osztályok használatával minden `enum` önálló típusként jelenik meg, melynek tagjait az `enum` nevével és a hatókör operátorral minősítve érhetjük el:

```
enum class Szin {FEKETE=0, KEK, ZOLD, PIROS=4};

int main() {
    Szin alap = Szin::FEKETE;
    if (Szin::PIROS == alap) {
    }
    alap = Szin(2);
    cout << int(alap) << endl; // 2
}
```

További lehetőség a felsorolás elemtípusának megadása:

```
enum class Szin : char {FEKETE=0, KEK, ZOLD, PIROS=4};
```

Az elemek típusaként tetszőleges előjeles vagy előjel nélküli egész típust szerepeltethetünk.

1.5 A nullptr és a nullptr_t

Hagyományosan a mutatók inicializálására a **0** vagy a **NULL** értékeket használtuk. A C++11 egyértelművé teszi ezt az állapotot a **nullptr** kulcsszó bevezetésével. A **nullptr** érték típusa a **nullptr_t** típus.

1.6 Sztring literálok

Ez idáig kétféle sztring konstans használhattunk a szabványos C++ nyelvben:

- Az első a szokásos " " közötti szöveg, ami **const char** tömbként tárolódik, 0-ás bájjal a végén.
- A második az L"... " jelöléssel használható, melynek eredményeként egy **const wchar_t** tömb jön létre, 0 értékű utolsó elemmel. (Emlékeztetőül a **wchar_t** a széles karakterek típusa.)

A széles sztringekben hagyományos, rögzített 16 bit kódolással tárolhatunk Unicode szöveget, azonban nem alkalmasak nagyobb kód méretű szövegek tárolására.

A C++11-ben három újabb Unicode kódolás támogatása is megtalálható: UTF-8, UTF-16 és UTF-32. Az UTF-32 a karakter kódját mindig 32 biten tárolja, míg az UTF-16 1 vagy 2 egységet, az UTF-8 pedig 1-4 egységet használ erre a célra.

A C++ programokban a karakterkódolással összefüggő kaotikus állapotok valamelyest csökkentek, azonban a felhasználás további kívánivalókat hagy maga után. Az alábbi táblázatban foglaltuk össze a lehetőségeket:

	<i>karakter típus</i>	<i>karakter konstans</i>	<i>sztring típus</i>
normál karakterek	char	'A', '\x41'	string
széles karakterek	wchar_t	L'A', L'\x0041'	wstring
UTF-8 kódolás	char	-	string
UTF-16 kódolás	char16_t	u'A', u'\u0041'	u16string
UTF-32 kódolás	char32_t	U'A', U'\U00000041'	u32string

A ♯ (violinkulcs: U+1D11E) és a π (pi: U+03C0) jelet tartalmazó szövegek tárolása karakter tömbökben:

```
wchar_t cpw[] = L"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
char cpu8[] = u8"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
char16_t cpu16[] = u"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
char32_t cpu32[] = U"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
```

és sztring típusokban:

```
wstring sw = L"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
string s8 = u8"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
u16string s16 = u"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
u32string s32 = U"violinkulcs : \U0001D11E, pi: \u03C0";
```

A különböző kódolású karaktersorozatok közötti átalakításokhoz használhatjuk a `<locale>` fejlálmány `wstring_convert<>` valamint a `<codecvt>` include fájl `codecvt_utf8<>`, `codecvt_utf16<>` és `codecvt_utf8_utf16<>` osztálysablonjait.

1.6.1 Nyers (raw) sztring literálok

A hagyományos és a raw sztring literálok közötti alapvető különbség, hogy az utóbbiban az ESC-szekvenciákat nem dolgozza fel fordító.

```
int main() {
    setlocale(LC_ALL, "Hun");
    string normal_str="Első sor.\nmásodik sor.\nutolsó sor.\n";
    string raw_str=R"(Első sor.\nmásodik sor.\nutolsó sor.\n)";
    cout << normal_str << endl;
    cout << raw_str << endl;
}
```

A program futásának eredménye: *Első sor.
második sor.
utolsó sor.
Első sor.\nmásodik sor.\nutolsó sor.\n*

A nyers szöveg kijelölésére egy legfeljebb 16-karakteres tagoló karaktersorozat is megadható:

```
string raw_str=R"tagol(Első sor.\nmásodik sor.\nutolsó sor.\n)tagol";
```

1.7 Felhasználó által definiált literálok

Az új C++ nyelvben lehetőség van saját literálok készítésére. Az új literált az utótagja alapján lehet azonosítani, definiálása pedig az "" operátor túlterhelésével történik:

```
típus operator"" utótag(unsigned long long n) { }
típus operator"" utótag(long double d) { }
típus operator"" utótag(const char* cstr) { }
```

Az egész és lebegőpontos konstans értékek feldolgozását számként, illetve karaktersorozatként egyaránt elvégezhetjük:

```
inline double operator"" _fok (long double fok) {
    return fok*3.14159265/180;
}
double szog = 90.0_fok; // szog = 1.570796325

unsigned operator "" B(const char* bs) {
    unsigned b=0;
    for (int i=0; bs[i]; i++)
        b = b*2 + (bs[i]=='1');
    return b;
};
int maszk = 110011B; // maszk = 51
```

Karakter és sztring literálok esetén az alábbi formák használhatók, ahol a *chtípus* a különböző karaktertípusokat jelöli (**char**, **wchar_t**, **char16_t**, **char32_t**).

```
típus operator"" utótag(char c) { }
típus operator"" utótag(const chtípus* str, size_t strhossz) { }
```

1.8 Fordítás idejű konstans kifejezések (constexpr)

A C++11 lehetővé teszi, hogy olyan konstansokat, függvényeket és osztályokat hozzunk létre, amelyek felhasználhatók más programelemek definiálása során. Ennek egyetlen feltétele, hogy a fordító által meghatározható konstans értékeket szolgáltatassanak. Az ilyen konstansokat, függvényeket és változókat a **constexpr** kulcsszóval kell definiálnunk.

```
template<class T, int N>
constexpr int TombMeret(const T (&a)[N]) { // const is jó
    return N;
}

struct RGB {
    unsigned char r, g, b;
    constexpr RGB(unsigned char x, unsigned char y, unsigned char z):
        r(x), g(y), b(z) {}
};

constexpr RGB operator+(const RGB& x, const RGB& y) { // const is jó
    return RGB(x.r + y.r, x.g + y.g, x.b + y.b);
}
```

```
int main() {
    constexpr double pi=3.14159265; // const is jó
    int a[int(pi+1)] = { 12, 23, 34, 45};
    int b[TombMeret(a)];
    constexpr RGB piros{255, 0, 0}; // const is jó
    constexpr RGB zold{0, 255, 0}; // const is jó
    constexpr RGB kek{0, 0, 255}; // const is jó
    RGB sarga = piros+zold;
    RGB cian = kek+zold;
}
```

A példában piros színnel jelöltük a fordító által ismert konstans kifejezéseket.

1.8.1 A `static_assert` kulcsszó

A fenti megoldások használata során szükség lehet bizonyos ellenőrzések elhelyezésére a fordító által feldolgozott kódban. A fordításidejű ellenőrzésekre vezették be a `static_assert` kulcsszót (szemben az `assert` makróval, amely futás idejű vizsgálatokra szolgál):

```
static_assert(konstans kifejezés, sztring);
```

A fordító kiértékeli a *konstans kifejezést*, és megjeleníti a *sztring* üzenetet, ha a kiértékelés eredménye hamis. A fenti példában ellenőrizhetjük, hogy a pi konstans értéke 3 és 4 közé esik-e:

```
const double pi=1.14159265;
static_assert(pi>=3 && pi<=4, "Nem jó az érték");
```

A következő fordítási hibaüzenetet kapjuk: „*error: static assertion failed: Nem jó az érték*”.

1.9 Kivételek továbbításának tiltása (`noexcept`)

A C++11 szabvány szerint a függvényekben keletkező kivételek továbbításáról (a hívó felé) új módon is dönthetünk. A függvényfejben a `noexcept` (vagy `noexcept(true)`) előírást megadva, a kivételek nem továbbítódnak a függvényből, hatásukra a program futása megszakad. Az előírást elhagyva, illetve a `noexcept(false)` formában használva, a kivételek továbbítódnak.

A `noexcept` kulcsszó után zárójelben egy fordítás idejű kifejezés állhat, amely 0 vagy nem 0 értéke vezérli az előírás működését. Ebben a kifejezésben használhatjuk a `noexcept()` operátort, amely `true` értékkel tér vissza, ha az argumentuma nem továbbít kivételeket.

```
// Engedélyezi a kivételek továbbítását amennyiben a vector::operator[]
// is engedélyezi
void Ellenoriz(const vector<int>& v) noexcept(noexcept(v[0])) {
    if (v[0] > 0) cout << "OK\n";
}

// Engedélyezi a kivételek továbbítását amennyiben a vector::push_back(T)
// is engedélyezi
void HozzaAd(vector<int>& v, const int elem)
    noexcept(noexcept(v.push_back(elem))) {
    v.push_back(elem);
}

// Nem továbbítódik kivétel
int Meret(const vector<int>& v) noexcept {
    return v.size();
}
```

```

int main() {
    vector<int> v{1,2,3};
    try {
        Ellenoriz(v);
        HozzaAd(v,4);
        cout << Meret(v) << endl;
    }
    catch(...) {
        cout << "Kivétel történt" << endl;
    }
}

```

1.10 Változók memóriahatárra igazítása

A hagyományos C++ nyelvben a **#pragma pack(n)** előírás segítségével gondoskodhattunk a változók memóriahatárra való igazításáról. A C++11 az **alignas** kulcsszó bevezetésével egyszerűbbé teszi ezt a feladatot. Az alábbi 10-elemű tömb minden eleme 8-bájtos határon helyezkedik el:

```
alignas(double) int tomb[10];
```

Az *Adatok* struktúra minden példánya 16-bájtos határon kezdődik:

```

struct alignas(16) Adatok {
    float d[4];
};

```

A változók és a típusok esetén alkalmazott kiigazításról az **alignof** kulcsszó segítségével szerezhetünk információt:

```

cout << alignof(Adatok) << endl;
cout << alignof(tomb) << endl;
cout << alignof(double) << endl;

```

A típusokkal a `<type_traits>` fejláomány `alignment_of<>` osztálysablonját is alkalmazhatjuk:

```

cout << alignment_of<Adatok>::value << endl;
cout << alignment_of<int>::value << endl;
cout << alignment_of<double>::value << endl;

```

2 Új, szokatlan nyelvi megoldások

Ebben a csoportban egy sor olyan dolgot gyűjtöttünk csokorba, amelyek eddig idegenek voltak a C++ nyelvtől, bár más programozási nyelvekben találhatunk példákat:

- automatikus típus-meghatározás,
- jobbérték hivatkozások (&&),
- adatok áthelyezése (**forward** és a **move**),
- „okos” (*smart*) mutatók,
- egységes inicializálás,
- tartományalapú **for** ciklus, a **begin** és az **end** hívások,
- λ - lambda kifejezések (függvények),
- programkód párhuzamos futtatása,
 - aszinkron kódvégrehajtás,
 - szálak futtatása,
 - szálak szinkronizálása kizárással,
 - szálak szinkronizálása atomi változókkal.

2.1 Automatikus típus-meghatározás

A C++11 újradefiniálta az **auto** kulcsszó jelentését. Segítségével közölhetjük a fordítóval, hogy rábízunk a kezdőértékkel ellátott változó típusának meghatározását. A fordító a jobb oldal típusát rendeli a változóhoz:

```
auto darab = 7;           // darab - int
auto pi = atan(1)*4.0;   // pi - double
auto p = new int[123];   // p - int *
```

Az **auto** kulcsszóval hagyományos függvényeket nem definiálhatunk, azonban az új visszatérési szintaxissal már alkalmazhatjuk:

```
auto Osszead(int a, double b) -> int {
    return a+b;
}
```

Az előző megoldással közeli rokonságban áll a **decltype** használata. A **decltype** segítségével egy már ismert típusú változó (kifejezés) típusát használjuk a deklarációhoz:

```
int x = 7;
decltype(x) y; // int y;
decltype(x) z = y; // ugyanaz, mint az auto z = y;
```

Az **auto** és a **decltype** együttes használatával az *Osszead()* függvényünk is értelmet nyer,

```
auto Osszead(int a, double b) -> decltype(a+b) {
    return a+b;
}
```

bár az igazi előnye a bemutatott megoldásoknak a sablonok használata során jelentkezik:

```
template <typename T1, typename T2>
auto Osszead(T1 a, T2 b) -> decltype(a+b) {
    return a+b;
}
```

Megjegyezzük, hogy minkét deklaráció előtt szerepelhetnek a **const** és a **volatile** típusminősítők.

Nézzünk egy olyan példát, amikor igazán segíti a programozó munkáját az automatikus típus-meghatározás:

```
// C++ 98 megoldás
int t[4] = {12, 23, 34, 45};
vector<int> v(t, t+4);
for (vector<int>::iterator vp = v.begin(); vp!=v.end(); vp++)
    cout << *vp << endl;
}

// C++11 megoldás az auto alkalmazásával
int t[4] = { 12, 23, 34, 45};
vector<int> v(t, t+4);
for (auto vp = v.begin(); vp!=v.end(); vp++)
    cout << *vp << endl;
```

2.2 Jobbérték hivatkozások (&&)

A C++ 98-ban a nem konstans referenciákat balértékekhez (lvalue) köthettük, a konstansokat pedig bal-, és jobbértékekhez egyaránt. Viszont nem volt semmi, amit hozzá lehetett volna kapcsolni egy nem konstans jobbértékhez:

```
int a = 7;
int& ar = a;
const long& br = a;
const int& cr = 12;
```

Ezen a helyzeten változtatott a C++11, ahol a hivatkozások általánosításaként tekinthetünk a && operátorra:

```
int&& xr = 23;
int&& yr = f(); // int f() { return 123;}
int&& zr = a; // hiba, a lvalue!
const int&& wr = 123;
// de!
auto&& dr = a; // balérték hivatkozás a-hoz
```

A jobbérték hivatkozások bevezetésének igazi értelmét a függvények paraméterezésében és a következő részben bemutatásra kerülő áthelyezés (*move*) szemantikában találjuk meg.

Példaként tekintsük az alábbi két túlterhelt függényváltozatot:

```
const int& f(const int& a) {
    return a;
}

int&& f(int&& a) {
    return a+0;
}
```

Definiáljunk változókat és hívjuk meg az *f()* függvényt!

```
int x = 123, e;
e = f(x); // f(const int & a)
e = f(1234); // f(int&& a)

int& y = x;
e = f(y); // f(const int & a)

int&& z = 7;
e = f(z); // f(const int & a)
e = f(x+y*z); // f(int&& a)
```

Láthatjuk, hogy balérték argumentum esetén az első függvény, míg jobbérték argumentummal a második aktiválódott.

2.3 Adatok áthelyezése (forward és a move)

A C++ programokban általában nagymennyiségű ideiglenes változó keletkezik/törlődik, amelyek többségét a fordító kezeli. A C++11 megoldásokat kínálja az ideiglenes változók számának csökkentésére, ezzel növelve a futó program hatékonyságát. Az adatáthelyezés működését egyszerű példák szemléltetjük, azonban a sablonok készítésénél nyújtanak igazán hathatós segítséget.

A **forward()** függvénysablon egy függvény paramétereinek továbbítását segíti, más belőle hívott függvényeknek:

```
void f(int& a) { a *= 10; }
int g(int b) { return b + 7; }
int h(int x) {
    f(forward<int&>(x));
    return g(forward<int>(x));
}
int main() {
    int a = 12;
    int b = h(a); // 127
}
```

A **move()** függvény sokkal szélesebb körben használhatjuk, elsősorban nagyobb méretű objektumok esetén.

```
int a[5] = {2, 3, 1, 7, 9};
vector<int> v1(a, a+5);
vector<int> v2 = v1;           // másolás
vector<int> v3(a, a+5);
vector<int> v4 = move(v3);    // áthelyezés
```

A műveletek eredményeként a *v3* elveszíti az adatait, hisz azok áthelyeződtek a *v4*-hez. A definíciós sor után a *v1*, *v2* és *v4* vektorok tartalmazzák az a tömb elemeit, míg a *v3* egy elemek nélküli vektor lett.

Amennyiben definiáljuk az alábbi *Csere()* függvénysablont, a vektorok felcserélése is gyorsan elvégezhető:

```
template <typename T> void Csere(T& x, T& y) {
    T z(move(x)); // a move konstruktor hívása
    x = move(y); // a move operátor hívása
    y = move(z); // a move operátor hívása
}
```

Amennyiben a *T* típus nem rendelkezik áthelyező konstruktorral és operátorral, a minden típushoz értelmezett másoló konstruktor és operátor hívja a fordító.

Osztályok esetén, az eddig ismert konstruktorok és a másoló operátor kibővült az áthelyező konstruktorral és operátorral. Egy saját készítésű dinamikus tömb osztály részletén mutatjuk be az elmondottakat:


```

class DTomb { // részlet
public:
    // default és paraméteres konstruktor
    DTomb (int n = 12) : p( new int[n]), db(n) {}

    // copy konstruktor
    DTomb (const DTomb& b) : p(new int[b.db]), db(b.db) {
        for (int i = 0; i < db; ++i) p[i]=b.p[i];
    }

    DTomb (DTomb&& b) : p(b.p), db(b.db) { // move konstruktor
        b.db = 0; b.p = nullptr;
    }

    DTomb& operator=(const DTomb& b) { // copy operátor
        delete[] p;
        db = b.db;
        p = new int [db];
        for (int i = 0; i < db; ++i) p[i]=b.p[i];
        return *this;
    }

    DTomb& operator=(DTomb&& b) { // move operátor
        delete[] p;
        p = b.p; db = b.db;
        b.db = 0; b.p = nullptr;
        return *this;
    }

    ~DTomb() { delete[] p; }
private:
    int *p, db;
};

int main() {
    DTomb a, b, c;
    DTomb d = a, e(b); // másoló konstruktor
    DTomb f=move(a), g(move(b)); // áthelyező konstruktor
    c = e; // másoló operátor
    c = move(e); // áthelyező operátor
}

```

A `move()` függvény valójában egy jobbérték referenciát állít elő az argumentumához.

2.4 „Okos” (smart) mutatók

C++11 három új mutatótípust (osztálysablon) is bevezetett, amelyek a hivatkozások számlálásra és az elért memóriaterület automatikus felszabadítására is képesek (<memory> fejláomány).

unique_ptr: (egyedi mutató) akkor használjuk, amikor a lefoglalt memóriát nem osztjuk meg (azaz az osztály nem rendelkezik `copy` konstruktorral), azonban átvihető más `unique_ptr`-hez (létezik `move` konstruktor).

shared_ptr: (megosztott mutató) akkor alkalmazzuk, amikor a lefoglalt memóriát meg kívánjuk osztani (pl. másolással).

weak_ptr: (gyengén megosztott mutató) **shared_ptr** által kezelt objektumra hivatkozó referenciát tartalmaz, azonban nincs hatással a hivatkozás-számlálásra.

Az új mutatók bevezetésével az **auto_ptr** elavult lett, így használata nem javasolt. Az egyedi mutatók alkalmazását az alábbi példaprogram szemlélteti:

```

#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;

struct Pelda {
    int a;
    Pelda()      { cout << "Pelda::Pelda()\n"; }
    ~Pelda()     { cout << "Pelda::~Pelda()\n"; }
    void TagFv() { cout << "Pelda::TagFv()\n"; }
};

void KulsoFv(const Pelda& x) {
    std::cout << "KulsoFv(const Pelda&)\n";
}

int main() {
    unique_ptr<Pelda> p1(new Pelda); // p1 a Pelda tulajdonosa
    if (p1) {
        p1->a = 123;
        p1->TagFv();
    }
    {
        unique_ptr<Pelda> p2(move(p1)); // p2 lett a Pelda tulajdonosa
        KulsoFv(*p2);
        p1 = move(p2); // újra p1 a Pelda tulajdonosa
        cout << "p2 törlése ...\n";
    }
    if (p1) {
        p1->TagFv();
        cout << p1.get()->a << endl;
    }
    // a Pelda objektum megszüntetése
}

```

A program kimenete jól mutatja az **unique_ptr** sablonok működését:

```

Pelda::Pelda()
Pelda::TagFv()
KulsoFv(const Pelda&)
p2 törlése ...
Pelda::TagFv()
123
Pelda::~Pelda()

```

A megosztott memóriaterületeket is kezelhetünk a programjainkban:

```

int main() {
    // megosztott mutatóhoz területfoglalás
    auto p = make_shared<int>(123);
    weak_ptr<int> wp = p;
    {
        // megosztott mutató készítése a hivatkozott objektumhoz
        auto sp = wp.lock();
        cout << *sp << endl; // 123
    }
    // a hivatkozott objektum tulajdonjogának törlése, ha ez az utolsó
    // shared hivatkozás volt, az objektum is törlődik
    p.reset();
    // a hivatkozott objektum létezésének vizsgálata
    if(wp.expired())
        cout << "már törlődött" << endl;
}

```

2.5 Egységes inicializálás

A C++98 nyelvben csak korlátozottan tudtunk kezdőértéket adni a több érték tárolására alkalmas változóknak. A C++11 egységesítette a kapcsos zárójelek között megadott, vesszővel tagolt értéklistával történő inicializálást. Ezzel a megoldással lényegesen egyszerűbbé válik az STL tárolók használata:

```
#include <vector>
#include <iostream>
#include <map>
#include <set>
#include <string>
using namespace std;

long Osszeg(const vector<int>& v) {
    long s = 0;
    for (int e : v) // lásd 2.6 fejezet
        s+=e;
    return s;
};

int main() {
    int tomb1[] {1,2,3,4,5};
    int tomb2[] = {1,2,3,4,5};
    vector<int> v1 {1,2,3,4,5};
    vector<int> v2 = {1,2,3,4,5};
    set<int> s1 {1,2,3,4,5};
    set<int> s2 = {1,2,3,4,5};
    map<int,string> m1 { {0,"nulla"}, {1,"egy"}, {2,"kettő"} };
    map<int,string> m2 = { {0,"nulla"}, {1,"egy"}, {2,"kettő"} };
    cout << Osszeg(v1) << endl;
    cout << Osszeg({10,20,30,40}) << endl;
}
```

A kezdőérték-adás fenti módja természetesen más, akár egyértékű változókkal is sikeresen alkalmazható. Külön felhívjuk a figyelmet a dinamikus helyfoglalású tömb inicializálására:

```
int main() {
    double b {}; // a típus alapértékével inicializál: 0.0
    char ct[7] {}; // ct minden eleme '\0' lesz
    float *fp {}; // a nullptr értéket veszi fel
    int a {123};
    string s {"C++11"};
    long *p = new long[3] {12,23,34};
    delete []p;

    struct {
        int kor;
        string nev;
    } diak {9, "Iván"};
}
```

Saját készítésű osztályainkat egy `initializer_list<>` típusú paramétert fogadó konstruktorral felkészíthetjük az inicializáló lista feldolgozására.

2.6 Tartományalapú for ciklus, a begin és az end hívások

A C++11 bevezette a más nyelvekből ismert *foreach* vezérlési szerkezetet. (Nem keverendő össze a szabványos könyvtár *for_each()* függvényével, amely egy függvényobjektumot hajt végre a megadott intervallumon!) A ciklus formája:

```
for ( elem_deklaráció : tartomány_kifejezés ) utasítás;
```

ahol a *tartomány_kifejezés* helyén olyan kifejezés állhat, melyre a szintén újonnan bevezetett *begin()* és *end()* függvények egyértelműen azonosítják (mutatókkal/iterátorokkal) a tartomány elejét és végét.

A ciklus futása során egy mutató/iterátor végigmegy a fentiekben kijelölt tartományon, és minden lépésében az *elem_deklarációban* megadott változón keresztül érhetjük el a meghivatkozott elemet.

Példaként vegyük a hagyományos (statikus) tömböket:

```
int a[] = {2, 7, 10, 11, 12, 23, 29, 30};
```

Az e változó sorban felveszi az a tömb minden elemének értékét:

```
for (int e : a) cout << e << " " ;
```

illetve hivatkozását (ekkor e tömb elemei módosíthatók):

```
for (int& e : a) e++;
```

Hasonló megoldásokhoz jutunk, amennyiben az elemtípus megállapítását a fordítóra bízuk:

```
for (auto e : a) cout << e << " " ;
```

```
for (auto& e : a) e++;
```

Szükség esetén a **const** és **volatile** típusminősítők is alkalmazhatók:

```
for (const auto e : a) cout << e << " " ;
```

A *tartomány_kifejezésben* elsősorban a már ismert és az új STL tárolókat használjuk, de alkalmazhatunk tömböket (*array*, *valarray*) és inicializáló listákat is

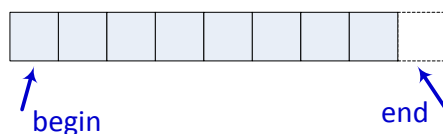
```
vector<double> v = {1.2, 2.3, 3.5};
for (auto e : v) cout << e << " ";

array<double,3> ar = {1.2, 2.3, 3.5};
for (auto e : ar) cout << e << " ";

valarray<double> var = {1.2, 2.3, 3.5};
for (auto e : var) cout << e << " ";

for (auto e : { 12, 23, 34, 45} ) cout << e << " ";
```

Mint említettük, a **for** ciklussal bejárt tartomány határait a *begin* és az *end* hívásokkal kérdezi le a fordító, amelyek osztályok esetén a *begin()* és az *end()* tagfüggvények hívását jelenti. Minkét függvény általánosított mutatókkal (iterátorokkal) tér vissza, melyek a tárolt adatok elejére, illetve a végét követő pozícióra hivatkoznak:



Ezek ismeretében magunk is készíthetünk tároló osztályokat, amelyek például dinamikus helyfoglalású tömbök esetén lehetővé teszik a tartományalapú **for** ciklus alkalmazását. A példában a *Fibo* osztály konstruktora adott *n* méretű dinamikus tömbben tárolja a Fibonacci számsor első *n* elemét.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Fibo {
    int *fb = nullptr;
    int db = 0;
public:
    Fibo(int n = 7) {
        db = n < 2 ? 2 : n;
        fb = new int[db] {0,1};
        for (int i=2; i<db; i++)
            fb[i] = fb[i-1] + fb[i-2];
    }
    ~Fibo() { delete[] fb;}
    int* begin() {return fb;} // mutató a tömb elejére
    int* end() {return fb+db;} // mutató a tömb utáni pozícióra
};

int main() {
    Fibo fibo(12);
    for (int a: fibo)
        cout << a << ' ';

    for (int *p=begin(fibo); p!=end(fibo); p++)
        cout << *p << ' ' ;
}
```

A *begin* és az *end* sablonokat az STL konténeireivel is sikeresen alkalmazhatjuk, például az érték-tömbbel (*valarray*):

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <valarray>
using namespace std;

int main() {
    valarray<double> va {25, 9, 36, 4};
    sort(begin(va), end(va));
    for (auto e : va)
        cout << e << ' '; cout << endl; // 4 9 25 36
    valarray<double> vb = sqrt(va);
    for (auto e : vb)
        cout << e << ' '; cout << endl; // 2 3 5 6
    cout << va.sum() << endl; // 74
    cout << vb.max() << endl; // 6
    va = va + vb;
    for (auto e : va)
        cout << e << ' '; cout << endl; // 6 12 30 42
    fill(begin(va), end(va), 0);
    for (auto e : va)
        cout << e << ' '; cout << endl; // 0 0 0 0
}
```

2.7 λ - lambda kifejezések (függvények)

A lambda függvények lehetővé teszik, hogy egy vagy többsoros névtelen függvényeket definiáljunk a forráskódban, ott ahol éppen szükség van rájuk. A lambda kifejezések szerkezete nem kötött, a fordító feltételezésekkel él a hiányzó részekkel kapcsolatban. Az alábbi példában a piros színnel kiemelt rész maga a lambda függvény

```
int a = [] {return 12*23;} ();
```

A bevezető szögletes zárójelpár jelzi, hogy lambda (kifejezés) következik. Ez után áll a függvény törzse, amely **return** utasításából a fordító meghatározza függvény értékét és típusát. Az utasítást záró kerek zárójelpár a függvényhívást jelenti.

Amennyiben paraméterezni kívánjuk a lambdát, a fenti két rész közé egy hagyományos paraméterlista is beékelődik:

```
int b = [] (int x, int y) { return x*y;} (12,23);
```

Szükség esetén a függvény típusát is megadhatjuk a C++11-ben bevezetett formában:

```
double c = [] (int x, int y) -> double { return x*y;} (12,23);
```

Amennyiben egy lambda függvényt többször szeretnénk hívni, hozzárendelhetjük egy függvénymutatóhoz. Az alábbi példában egy tabellázó függvény argumentumaként használunk lambdákat:

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

void Tabellaz(double a, double b, double dx, double(*pfv)(double))
{
    for (double x = a; x <= b; x += dx)
        cout << x << "\t" << pfv(x) << endl;
}

double (*fvptr1)(double) = [] (double x) -> double {
    return x*sqrt(x);
};

auto fvptr2 = [] (double x) -> double {return log(x)*sqrt(x);};

int main() {
    Tabellaz(1, 2, 0.2, [] (double x) {return x*x;});
    Tabellaz(2, 3, 0.1, fvptr1);
    Tabellaz(3, 4, 0.2, fvptr2);
}
```

A lambda függvények legfontosabb alkalmazási területe az STL algoritmusok hívása. Az alábbi utasítások a *vector* és az *algorithm* fejláományok beépítése után működőképeseek:

```
vector<int> adatok = { 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 };
int db= count_if(begin(adatok), end(adatok), [] (int e){return e%2;});
cout << "Páratlan elemek száma: " << db << endl;
for_each(begin(adatok), end(adatok), [] (int& e) { e = 2*e; });
sort(begin(adatok), end(adatok), [] (int e1, int e2) { return e1>e2; });
for_each(begin(adatok), end(adatok), [] (int e) { cout << e << " "; });
```

Először megszámoljuk az adatok vektor páratlan elemeit, majd minden elemet a duplájára növelünk, csökkenő sorrendben rendezzük a vektort, végül pedig megjelenítjük az elemeket.

A fenti példáinkban a lambda függvények csak a paramétereken keresztül tartották a kapcsolatot a környezetükben (hatókörükben) elérhető változókkal. Ellentétben a hagyományos függvényekkel, a lambda kifejezésekben elérhetjük a lokális hatókör változóit.

A fájlszintű és lokális, statikus élettartamú nevek elérése minden további nélkül működik:

```
double a = 3.14159265;
int main() {
    static int b = 11;
    double x = [] () { return a+b; } ();
}
```

A lokális, nem statikus függvényváltozók, illetve az osztály adattagjai esetén intézkedhetünk az elérés módjáról. Amennyiben a fenti példában az *a* és *b* lokális változók, a velük azonos hatókörben megadott lambda a következőképpen módosul:

```
int main() {
    double a = 3.14159265;
    int b = 11;
    double x = [a,b] () { return a+b; } ();
    cout << x << endl;
}
```

A lambdát és az elért változókat együtt szokás bezárásnak (*closure*) nevezni, míg a felhasznált változókra, mint elkapott (*captured*) változókra hivatkozunk. A változókat értékük szerint és hivatkozásukkal egyaránt elkaphatjuk, az alábbi példákban bemutatott módon:

[]	Egyetlen helyi változót sem kívánunk elkapni.
[=]	Az összes helyi változót érték szerint kapjuk el.
[&]	Az összes helyi változót referenciájával kapjuk el.
[a, b]	Csak az <i>a</i> és <i>b</i> változókat kapjuk el, érték szerint.
[a, &b]	Az <i>a</i> változó érték szerint, a <i>b</i> változót azonban a referenciájával kapjuk el.
[=, &b]	Az összes helyi változót érték szerint kapjuk el, kivéve a <i>b</i> változót, amelyet a hivatkozása révén.
[&, a]	Az összes helyi változót a referenciájukkal kapjuk el, kivéve az <i>a</i> változót, amelyet érték szerint.
[this]	Az osztályon belül definiált lambda kifejezésekben használhatjuk a this mutatót, vagyis elérhetjük az osztály tagjait.

A fordító alaphelyzetben nem engedi az érték szerint elkapott változók értékének módosítását. Ha azonban a függvény törzse előtt megadjuk a **mutable** kulcsszót, a módosítás elvégezhető, azonban érvényessége a lambdára korlátozódik.

```
int main() {
    int x = 7, y = 12;
    int z = [=] () mutable { ++x, ++y; return x*y; } ();
    cout << x << y << z << endl; // 7 12 104
}
```

Referenciával történő elkapás esetén egészen más a helyzet:

```
int main() {
    int x = 7, y = 12;
    int z = [&] () { ++x, ++y; return x*y; } ();
    cout << x << y << z << endl; // 8 13 104
}
```

A lambda függvények esetén is szabályozhatjuk a kivételek továbbítását. Alaphelyzetben minden kivétel továbbítódik a hívó függvénynek:

```
auto lambda1 = []() { };
```

De igény szerint korlátozhatjuk a továbbított kivételeket:

```
auto lambda3 = []() throw(int, char*) { };
```

vagy akár le is tilthatjuk azok továbbítását:

```
auto lambda2 = []() throw() { };
```

A C++11 nyelvben bevezetett **function<>** sablon (*functional* fejláomány) nagyban segíti a lambda függvények használatát. Segítségével a tabellázó programunk jóval olvashatóbb formát ölt:

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <functional>
using namespace std;

void Tabellaz(double a, double b, double dx,
              function<double(double)> fv) {
    for (double x = a; x <= b; x += dx)
        cout << x << "\t" << fv(x) << endl;
}

function<double(double)> fv1 = [](double x)-> double {
    return x*sqrt(x);
};

function<double(double)> fv2 = [](double x)-> double
    {return log(x)*sqrt(x);};

int main() {
    Tabellaz(1, 2, 0.2, [](double x) {return x*x;});
    Tabellaz(2, 3, 0.1, fv1);
    Tabellaz(3, 4, 0.2, fv2);
}
```

A **function<>** sablon felhasználásával rekurzív lambdát is készíthetünk:

```
int main() {
    function<int(int)> fakt = [&fakt] (int n) {
        if (n < 2) return 1; else return n*fakt(n-1);};
    cout << fakt(5) << endl; // 120
}
```

2.8 Programkód párhuzamos futtatása

A párhuzamosság (*concurrency*) és a többszálúság (*multithreading*) azt jelenti, hogy programunk bizonyos részei (függvényei) egyszerre hajódnak végre. Többmagos processzorok világában ezzel jelentősen növelhetjük programunk hatékonyságát.

A C++98 futtató környezete egyetlen programszál futtatására volt felkészítve. Ennek következtében a többszálúság bevezetéséhez a C++11 futtató környezetét alapvetően át kellett dolgozni. A nyelv definíciója csupán a **thread_local** tárolási osztály bevezetésével támogatja a többszálú programok készítését, az igazi „tudást” C++ sablontár elemeivel érjük el. Egy **thread_local** változó a rá hivatkozó programszál indításakor jön létre, és a szál befejezésekor megszűnik, így minden szál saját másolattal rendelkezik belőle.

Mint említettük, a C++11 gazdag könyvtárát biztosít a többszálú programok készítéséhez az `<atomic>`, a `<thread>`, a `<mutex>`, a `<future>` és a `<condition_variable>` fejlármányok definícióival.

A párhuzamosan indított függvények futhatnak egymástól függetlenül, aszinkron módon (*async*), illetve egymáshoz szinkronizálva (*thread*). Az aszinkron függvények, amelyek visszatérési értéke elérhető, jól használhatók bizonyos számítások elvégzéséhez, illetve perifériák kezelésére. Bármelyik esetet is választjuk, a futtatni kívánt függvényt (funkcionált) többféleképpen is megadhatjuk:

- függvénytárolóval (a függvény nevével),
- tagfüggvény mutatóval,
- lambda kifejezésként,
- függvény objektummal (amely definiálja az *operator()* tagfüggvényt).

2.8.1 Aszinkron kódvégrehajtás

Függvények aszinkron futtatását a `<future>` fejlármányban deklarált *async()* függvénytároló segítségével kezdeményezhetjük.

A függvénytárolónak első argumentumként a futtatni kívánt kódot tartalmazó funkcionált adjuk át, a további argumentumok pedig a hívott függvényhez továbbítódnak. (Hivatkozással történő paraméterátadáshoz az argumentumokat a *ref()* függvénytárolóval kel beburkolni.)

```
future<void> fv = async(Kiir, "async: ");
```

Az *async()* sablon másik változatában az első argumentum a futtatás módját határozza meg:

```
auto fv = async(launch::deferred, Kiir, "async: ");
```

ennek lehetséges értékei:

- *launch::async* – a kód egy új programszálban fut (ez az alapértelmezés),
- *launch::deferred* – a kód az aktuális szálban hajtódik végre aszinkron módon („lusta végrehajtás”).

Az *async()* hívás egy *future<függvénytípus>* objektummal tér vissza, mely objektumon keresztül elérhetjük az aszinkron függvény visszatérési értékét (a *get()* tagfüggvény hívásával), valamint a futás során keletkezett kivételeket.

```
#include <future>
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void Kiir(string const& str) {
    for (int i=0; i<100; i++)
        cout << str << i << endl;
}

int main() {
    future<void> fv = async(Kiir, "async: ");
    for (int i=0; i<100; i++)
        cout << "main: " << i << endl;
    fv.wait();
}
```

```
main: 0
async: 0
main: 1
async: 1
async: 2
main: 2
async: 3
main: 3
async: 4
main: 4
async: 5
async: 6
main: 5
async: 7
async: 8
main: 6
...
```

A fenti példában, a főszálban (*main()*) és az aszinkron szálban (*Kiir()*) egy-egy **for** ciklus fut, melyek futási eredményének első pár sora a jobb oldali oszlopban látható. Az aszinkron kód befejezését a *future<>* osztálysablon *wait()* tagfüggvényével várhatjuk meg.

További lehetőségeket biztosítanak a `wait_for()` és a `wait_until()` tagfüggvények, amelyek a `future_status` felsorolás elemeivel jelzik, hogy az eredmény rendelkezésre áll-e adott idő múlva, illetve adott időpont elérését követően, vagy sem.

```
#include <future>
#include <iostream>
#include <string>
#include <chrono>
using namespace std;

int main() {
    cout << "várakozik..." << endl;
    int allapot;
    future<int> ft = async(launch::async, [] () {
        this_thread::sleep_for(chrono::seconds(2));
        return 123;
    });

    do {
        allapot = ft.wait_for(chrono::milliseconds(500));
        if (allapot == future_status::deferred)
            cout << "még nem indult el" << endl;
        else if (allapot == future_status::timeout)
            cout << "timeout" << endl;
        else if (allapot == future_status::ready)
            cout << "kész" << endl;
    } while (allapot != future_status::ready);
    cout << "az eredmény " << ft.get() << '\n';
}
```

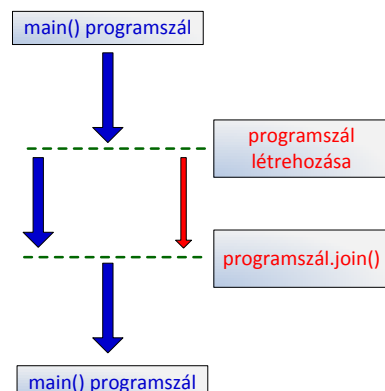
A program futásának eredménye: *várakozik...*
timeout
timeout
timeout
kész
az eredmény 123

A `<future>` fejlánc további osztálysablonjai (`promise<>`, `packaged_task<>`, `shared_future<>` stb.) bővített lehetőségekkel támogatják az aszinkron kódrészletekből felépülő programok széleskörű alkalmazását.

2.8.2 Szálak futtatása

Futtatható szál a `thread` osztály objektumaként hozzuk létre, amely a létrehozással el is indul. A szálobjektum `get_id()` tagfüggvényének hívásával megtudhatjuk a szál azonosítóját, a `join()` hívásával megvárhatjuk a szál lefutását, míg a `detach()` hívással leválaszthatjuk a futó szál a szálobjektumról.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy nincs mód a szálabjektum futó függvény visszatérési értékének elérésére! (Szükség esetén a függvényből referencia paraméterek segítségével nyerhetünk ki adatot.)



A fenti aszinkron példaprogram programszátat használó változata:

```

#include <thread>
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void Kiir(string const& str) {
    for (int i=0; i<100; i++)
        cout << str << i << endl;
}

int main() {
    thread td (Kiir, "thread: ");
    for (int i=0; i<100; i++)
        cout << "main:  " << i << endl;
    td.join();
    cout << "main thread ID: "
         << this_thread::get_id() << endl;
    cout << "Kiir thread ID: " << td.get_id() << endl;
}

```

```

thread: 0
main: 0
main: 1
thread: 1
thread: 2
thread: 3
thread: 4
thread: 5
thread: 6
main: 2
thread: 7
thread: 8
main: 3
main: 4
main: 5
main: 6
main: 7
main: 8
main: 9
...

```

Az aktuális szádra (a szálat megvalósító függvényen belül) a **this_thread** névtér függvényeivel is hivatkozhatunk:

- lekérdezhethetjük a szál azonosítóját **get_id()**,
- javasolhatjuk, hogy vezérlés a száltól adódjon át más szálakhoz: **yield()**,
- megadott ideig felfüggeszthetjük a szál futását: **sleep_for(időtartam)**,

```

#include <chrono>
#include <thread>
using namespace std::chrono;
int main() {
    std::this_thread::sleep_for(seconds(10));
}

```

- adott időpontig is blokkolhatjuk a szál futását: **sleep_until(időpont)**.

```

#include <chrono>
#include <thread>
using namespace std::chrono;
int main() {
    std::this_thread::sleep_until(system_clock::now() + seconds(10));
}

```

2.8.3 Szálak szinkronizálása kizárással

A **mutex** (*mutual exclusion* – közös kizárás) objektum több szál által használt, osztott erőforrások védelmére alkalmas eszköz. Segítségével a szálon belül kritikus szekciót hozhatunk létre, amelyet egyszerre csak egy szál érhet el. A futó szál mellett a többi, ugyanazt a függvényt végrehajtó szál várakozik.

<pre>#include <iostream> #include <thread> #include <mutex> using namespace std; void fv(char t, mutex& m) { for (auto i = 0; i < 5; i++) { m.lock(); cout << t << ": " << i << endl; m.unlock(); } } int main() { mutex m; thread t1(fv, 'A', ref(m)); thread t2(fv, 'B', ref(m)); thread t3(fv, 'C', ref(m)); t1.join(); t2.join(); t3.join(); }</pre>	<pre>mutex nélkül: A: 0 B: 0 B: 1 B: 2 B: 3 B: 4 C: 0 C: 1 C: 2 A: 1 A: 2 A: 3 A: 4 C: 3 C: 4</pre>	<pre>mutex-szel: A: 0 B: 0 C: 0 A: 1 B: 1 C: 1 A: 2 B: 2 C: 2 A: 3 B: 3 C: 3 A: 4 B: 4 C: 4</pre>
---	---	---

A kizárás elvégzésére több, a `<mutex>` fejláományban deklarált osztály közül is választhatunk, melyek neve utal a felhasználási módjukra: **mutex**, **recursive_mutex**, **timed_mutex**, **recursive_timed_mutex**. Mindegyik osztály biztosítja számunkra a **lock()**, **try_lock()** és az **unlock()** tagfüggvényeket.

```
mutex m;
if (m.try_lock() == true) {
    cout << "Megtörtént a kizárás" << endl;
    m.unlock();
} else
    cout << "Sikertelen kizárás" << endl;
```

A rekurzív **mutex**-et akkor használjuk, ha egy szálaban több kizárás is előfordul. Normál kizárás (**mutex**) esetén az ilyen szálak nem tudják befejezni a futásukat (előáll *deadlock* állapot). Az időzített kizáró objektumokkal adott ideig **try_lock_for()** vagy adott időpontig **try_lock_until ()** próbálkozhatunk a kizárással.

További lehetőséget biztosít a **lock_guard<>** osztálysablon használata, melynek konstruktorában jön létre a kizárás, míg a destruktorában automatikusan meg is szűnik az.

```
int n = 0;
mutex n_mutex;

void BiztonsagosLeptetes() {
    lock_guard<mutex> kizaras(n_mutex);
    ++n;
}
```

További megoldást ad a kezünkbe az `unique_lock<>`, az univerzális kizáró osztálysablon, amely a fent bemutatott megoldásokon túlmenően lehetővé teszi a kizárási stratégia (`defer_lock`, `try_to_lock`, `adopt_lock`) megadását is. Az `unique_lock<>` sablonnal együtt használhatjuk a `conditional_variable<>` fejláományban deklarált `conditional_variable` osztályt, amely a kizárást értesítésküldési lehetőséggel vértézi fel.

2.8.4 Szálak szinkronizálása atomi változókkal

A C++11 az `<atomic>` fejláományban definiált `atomic<>` osztálysablonnal, és annak egészekre specializált változataival támogatja az atomi műveletek végzését. Az atomi műveletek oszthatatlanok, végrehajtásuk nem szakadhat meg. Ezáltal az atomi változók és a rajtuk végzett műveletek szál biztonságosak (*thread-safe*), így felhasználhatók a szálak automatikus szinkronizálására.

Az alábbi példában definiált `Szamlalo<>` osztálysablon tagfüggvényei szálbiztos módon végzik a `szam` tagjának léptetését, értékének beállítását és lekérdezését:

```
#include <iostream>
#include <atomic>
using namespace std;

template <typename T>
struct Szamlalo {
    Szamlalo(T e) { Set(e); }
    atomic<T> szam;
    void Novel() { ++szam; }
    void Csokkent() { --szam; }
    T Get() { return szam.load(); }
    void Set(T e) { szam.store(e); }
};

int main() {
    Szamlalo<int> n(12);
    for(int i=0; i<112; i++) n.Novel();
    n.Csokkent();
    cout << n.Get() << endl;
}
```

Az utolsó, több szálát futtató példában a szálakkal két nagy vektor skaláris szorzatát számoljuk, felosztva a tömb elemeit a szálak között:

```
#include <iostream>
#include <thread>
#include <vector>
#include <atomic>
using namespace std;

atomic<int> eredmeny(0);

void SkalarSzorzat(const vector<int> &v1, const vector<int> &v2,
                  int kezdo, int vegso) {
    int reszOsszeg = 0;
    for(int i = kezdo; i < vegso; ++i) {
        reszOsszeg += v1[i] * v2[i];
    }
    eredmeny += reszOsszeg;
}

int main() {
    const int elemszam = 100000;
    const int szalszam = 5;
    vector<thread> szalak;
```

```
// v1={2,2,2,2,...,2}, v2={3,3,3,3,...,3}
// A skalárszorzat eredménye 600000
vector<int> v1(elemszam,2), v2(elemszam,3);
// Az elemek felosztása a szálak között
vector<int> hatarok;
for (int n=0; n<szalszam; n++)
    hatarok.push_back(n*elemszam/szalszam);
hatarok.push_back(elemszam);
// A szálak indítása:
for (int i = 0; i < szalszam; i++)
    szalak.push_back(move( thread(SkalarSzorzat, cref(v1),
                                cref(v2), hatarok[i], hatarok[i+1])) ));
// A szálak lefutásának bevárása
for (auto &t : szalak)
    t.join();
cout << eredmény << endl;
}
```

3. Változások az osztályok és a sablonok körében

A C++11 nyelv összes lehetőségét mérlegre helyezve, a mérleg nyelve ebben a csoportban bemutatott megoldások oldalára billen. Önmagukban az osztályok készítésének szabályai ugyan alig változtak, azonban a sablonok szintjén történő fejlesztés előtt új távlatok nyíltak:

- konstruktorok delegálása, adattagok inicializálása, **sizeof** adattagra,
- operátorfüggvények explicit típus-átalakítással,
- az **override** és a **final** módosítók,
- a **delete** és a **default** tagfüggvények,
- korlátozások nélküli union típus,
- sablonok és a C++11,
 - szintaxis,
 - külső sablonok,
 - sablon álnévek (*template alias*),
 - sablonok változó hosszúságú argumentumlistával (*variadic templates*),
 - hátravetett visszatérési típus (*suffix return types*).

3.1 Konstruktorok delegálása, adattagok inicializálása, sizeof adattagra

A konstruktorok delegálása lehetővé teszi, hogy ugyanazon osztályon belül az egyik konstruktorból egy másikat hívjunk. A másik konstruktor hívását a konstruktorfejlben, az inicializáló listán kell elhelyeznünk.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Pont {
    int x,y;
public:
    Pont(int a, int b) :x(a), y(b) {}
    Pont() : Pont(0,0) {}
    Pont(Pont& p) : Pont(p.x, p.y) {}
    // ...
};

int main() {
    Pont a, b(12,23);
    Pont c {b};
}
```

Ez a megoldás kellő odafigyelést igényel, hisz nem ajánlott rekurzív konstruktorhívásba keverednünk.

Nem túl lényeges újdonság, azonban érdemes tudni róla, hogy ezentúl a **sizeof** művelet az osztályok adattagjaira is elvégezhető, az osztályok példányosítása nélkül. Ugyancsak ritkán használt megoldásként a C++11 biztosítja, hogy az osztályok **nem statikus és nem konstans** adattagjait kezdőértékkel lássuk el az osztálydefiníciók belül.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Adattar {
private:
    double d=12;
public:
    long b=123;
    char v[7] = {'0', '0', '\0'};
    void Kiir() {
        cout << sizeof(Adattar::d) << endl; // 8
    }
}
```

```
};
int main() {
    cout << sizeof(Adattar::b) << endl; // 4
    cout << sizeof(Adattar::v) << endl; // 7
    Adattar a;
    cout << sizeof(a.b) << endl; // 4
    a.Kiir();
}
```

3.2 Operátorfüggvények explicit típus-átalakítással

A C++ 98 az **explicit** kulcsszóval azt jelöli, hogy egy konstruktor nem használható implicit konverzióra. Az új szabvány lehetővé teszi, hogy a kulcsszót konverziós operátorokkal is alkalmazzuk, kizárva ezzel az implicit típus-átalakításokat.

Az alábbi *Komplex* osztályban példát látunk az explicit kulcsszó minték alkalmazására. Az explicit átalakítások kijelölésével készített *main()* függvény természetesen a kevésbé szigorú esetben is jól működik. (A lap jobb oldalán az implicit átalakításokkal készített *main()* függvény látható.)

```
class Komplex {
public:
    Komplex(double a, double b) {re=a; im=b;}
    // konverziós konstruktor
    explicit Komplex(double a) { re=a; im=0; }
    // konverziós operátor
    explicit operator double() const {return sqrt(re*re+im*im);}
private:
    double re, im;
};

int main() {
    Komplex a(3,4);
    Komplex b(123.0);
    double x = static_cast<double>(a);
    double y = double(b);
    int c = double(Komplex(123));
}

int main() {
    Komplex a(3,4);
    Komplex b = 123.0;
    double x = a;
    double y = b;
    int c = Komplex(123);
}
```

3.3 Az override és a final módosítók

A C++ nyelven az osztályok tagfüggvényeinek virtuális volta nem kötelező (mint például a Java nyelvben). A programozó a **virtual** kulcsszó segítségével jelöli ki a virtualitás kezdetét egy öröklési láncon belül.

Amennyiben a virtuális tagfüggvényt tartalmazó alaposztályból új osztályt származtatunk, és ott a virtuális függvényvel megegyező nevű függvény készítünk, két eset áll fenn:

- ha az új függvény prototípusa megegyezik a virtuális függvényével, a fordító lecseréli az alaposztálybeli virtuális függvényt az új függvényre (újrdefiniálás, *overriding*),
- ha azonban a paraméterek típusa eltérő, az újrdefiniálás helyett a túlterhelés (*overloading*) mechanizmusa érvényesül, és mindkét függvény elérhető lesz az új osztályban. Az alaposztály mutatóján keresztül hivatkozva az új objektumra, az alaposztálybeli függvény hívódik meg. Erre látunk példát az alábbi egyszerű programban:

```
class B {
public:
    virtual void fv(int) {cout << "B::fv()" << endl;}
};
```



```

class D : public B {
public:
    void fv(long) {cout << "D::fv()" << endl;}
};

int main() {
    B b;
    B *p = &b;
    p->fv(12);    // B::fv()
    D d;
    p = &d;
    p->fv(23);    // B::fv()
}

```

Amennyiben a *D* osztály *int* típusú paraméterrel definiálja a *D::fv()* tagfüggvényt, a második híváskor a *D*-beli *fv()* aktivizálódik.

Az újonnan bevezetett **override** módosítóval jelezhetjük a fordítónak, hogy virtuális függvényt szeretnénk újradefiniálni. Ha azonban ennek feltételei nem állnak fenn (pl. eltérő paramétertípusok), fordítási hibát kapunk.

```

class D : public B {
public:
    void fv(long) override {cout << "D::fv()" << endl;}
};

```

A **final** módosítóval pedig épp ellenkezőleg, megakadályozhatjuk az adott virtuális függvény lecserélését a származtatott osztályokban:

```

class B {
public:
    virtual void fv(int) final {cout << "B::fv()" << endl;}
};

```

A két módosító megfelelő kontextusban együtt is használható, így egy későbbi származtatás során meggátolva a lecserélt virtuális függvény további újradefiniálását:

```

class B {
public:
    virtual void fv(int) {cout << "B::fv()" << endl;}
};

class D : public B {
public:
    void fv(int) override final {cout << "D::fv()" << endl;}
};

int main() {
    B b;
    B *p = &b;
    p->fv(12);    // B::fv()
    D d;
    p = &d;
    p->fv(23);    // D::fv()
}

```

Amennyiben a **final** előírást az osztály neve után adjuk meg, akkor abból az osztályból nem lehet új osztályt származtatni:

```
class A final {};  
class B : public A {}; // hiba!
```

3.4 A delete és a default tagfüggvények

A C++ fordító egy sor tagfüggvényt hoz létre automatikusan, amennyiben mi nem definiáljuk azokat. C++98-ban egyetlen szabály volt, hogy a fordító által készített paraméter nélküli konstruktor nem jön létre, amennyiben bármilyen konstruktort definiálunk. C++11-ben minden automatikusan létrejövő tagfüggvényről magunk dönthetünk, kérhetjük az elkészítésüket (**default**), illetve elutasíthatjuk azt (**delete**). A kulcsszavak használatát és működését az alábbi osztály szemlélteti:

```
class C {  
public:  
    C() = default;           // C a; ok  
    C(const C&) = default;  // C b(c); ok  
    C(C&&) = delete;        // C c(move(b)); nem ok  
    C& operator=(const C&) = default; // b = a; ok  
    C& operator=(C&&) = delete;      // a = move(c); nem ok  
    virtual ~C() = default;  
};
```

A C++ osztályokhoz osztályszintű operátor-függvényeket (&, *, -, -, *, new, delete) definiál a fordító, melyek használatát meg is tilthatjuk. Az alábbi példában az *S* osztály nem példányosítható a dinamikus tárterületen:

```
struct S {  
    void *operator new(size_t) = delete;  
    void *operator new[](size_t) = delete;  
};  
  
int main() {  
    S *p = new S;    // hiba  
    S *q = new S[3]; // hiba  
    S s;  
    S t[7];  
}
```

Megjegyezzük, hogy saját (virtuális) tagfüggvényeinket is elláthatjuk a **delete** kulcsszóval. Ezzel a származtatott osztályban megakadályozhatjuk a törölt függvénnyel megegyező prototípusú függvény készítését.

3.5 Korlátozások nélküli union típus

A C++11 jelentősen csökkentette azokat a korlátozásokat, amelyek megsabták, hogy mit helyezhünk el a **union** típusban (például nem lehetett konstruktorral vagy destruktorkal rendelkező típusú tagja). Azonban továbbra sem lehetnek az union tagjai a virtuális függvények és a referenciák.

```
#include <iostream>  
using namespace std;  
  
struct Vektor2D {  
    int x, y;  
    Vektor2D(int x = 0, int y = 0) : x(x), y(y) {}  
};
```

```

union Unio {
    int a;
    double b;
    Vektor2D p;
    Unio() {new(&p) Vektor2D(12,23);}
    ~Unio() {};
};

int main() {
    Unio u;
    cout << u.a << endl; // 12
    cout << u.b << endl; // 4.88059e-313
}

```

Az uniók használatának szabaddá tételét elsősorban az alkalmazásfejlesztők támogatják, a hardver közeli programozók inkább veszélyesnek tartják, és javasolják megmaradni a korábbi korlátozásoknál.

3.6 Sablonok és a C++11

A fent bemutatott megoldások többsége egyetlen irányba, a sablonok irányába mutat. Egyaránt egyszerűbbé és hatékonyabbá teszik a sablonok használatát és készítését.

3.6.1 Szintaxis

C++98-ban a >> karaktersorozat minden esetben a jobbra való biteltolás műveletét jelentette, így egymásba ágyazott sablonok alkalmazásakor tagoló karaktert kellett a két záró > jel közé tenni. Az új szabványban azonban az egymásba ágyazott sablonok lezárása élvez elsőbbséget, így nem szükséges szóközzel elválasztanunk a nagyobb jeleket.

```

map <int, vector<double>> b; // C++98, C++11 OK
map <int, vector<double>> a; // C++11 OK

```

3.6.2 Külső sablonok

Amennyiben egy teljesen specializált sablon előfordult egy fordítási egységben, akkor a C++ 98 fordítónak kötelező volt a fordítási egységben belül példányosítania. Ez szerencsétlen esetben igen megnövelhette a fordítási időt.

A C++11 engedélyezi **extern** kulcsszó használatát a specializált sablonokra, mellyel jelezhetjük a fordítónak, hogy az adott fordítási egységben ne példányosítsa az adott sablont:

```

// Sablon.h: - a sablon-deklaráció
template <typename T>
class Sablon {
public:
    void fv(T a);
};

// Sablon.cpp - a sablon-definíció
#include <iostream>
#include "Sablon.h"
template <typename T>
void Sablon<T>::fv(T a) {
    std::cout << a << std::endl;
}

// explicit példányosítás
template class Sablon<int>;

```

```
// main.cpp
#include "Sablon.h"

extern template class Sablon<int>;

int main() {
    Sablon<int> teszt;
    teszt.fv(123);
    return 0;
}
```

3.6.3 Sablon árnevek (template alias)

A C++98-ban a **typedef** kulcsszóval csak konkrét típusokhoz rendelhattünk szinonim nevet, azonban nem volt lehetőség arra, hogy a sablonok néhány paraméterét lekötve, új sablonokat hozzunk létre. A C++11 szabvány a **using** kulcsszó felhasználásával megoldást kínál erre a problémára.

```
#include <string>
#include <map>
#include <array>
using namespace std;

template <typename T1, typename T2>
    using dictionary = map<T1, T2>;

template <typename T>
    using strmap = map<string, T >;

template <size_t N>
    using intarray = array<int, N>;

int main() {
    dictionary<int, int> trans;
    trans[12] = 23;
    trans[7] = 29;

    strmap<string> szotar;
    szotar["one"] = "egy";
    szotar["two"] = "kettő";

    intarray<5> itomb = {12,23, 34, 45, 56};
    itomb[3] += 102;
}
```

Osztálysablonok esetén egyaránt készíthetünk álnevet az eredeti sablonhoz, vagy annak tetszőleges specializációjához. Függvénysablonok esetén azonban nem érünk célt ilyen egyszerűen.

```
template <typename T1, typename T2>
double f(T1 a, T2 b) {
    return double((a+b)/2.0);
}

template <typename T>
double fa(T x) {
    return f<int, T>(100, x);
}
```

Egy általánosabb megoldáshoz további sablonokkal kapcsolatos megoldásokkal is meg kell ismerkednünk:

```
template <typename... Args>
auto g(Args&&... args) -> decltype(f(forward<Args>(args)...)) {
    return f(forward<Args>(args)...);
}
```

3.6.4 Sablonok változó hosszúságú argumentumlistával (variadic templates)

A sablonok használata a C++ nyelv egyik legfontosabb jellemzője, amely a változó hosszúságú argumentumlista kezelésével még hatékonyabb eszközt ad a programozók kezébe. Segítségükkel a szabványos könyvtár több, tetszőleges számú argumentumot - típusbiztos módon - fogadó függvénysablonnal bővült (*thread()*, *bind()*, *function()*), továbbá megjelent a tetszőleges méretű és szerkezetű rekordok készítését támogató osztálysablon (*tuple*).

A variáns osztálysablonok készítésének szintaxisa megegyezik a szabványos sablonokéval azzal a különbséggel, hogy az utolsó paraméter előtt három pont (...) szerepel. Például, a *tuple* osztálysablon definíciója:

```
template <typename... Tipusok>
class tuple;
```

A variáns argumentum típusokat, vagy skalár értékeket tartalmazhat. A variáns argumentumokat sabloncsomagnak nevezzük (*template pack*), amely nulla vagy több aktuális paraméterből áll.

Az első példában olyan osztálysablont hozunk létre, amely példányai adott (egész) típusú statikus tömböt tartalmaz (*tomb*), melyet variáns argumentumokként megadott elemekkel fel is töltünk. A példában a *sizeof...* operátorral a paramétercsomagban megtalálható paraméterek számát kérdeztük le.

```
template <typename T, T... elemek>
struct StatikusTomb {
    T tomb[sizeof...(elemek)] = {elemek...};
};

int main() {
    StatikusTomb<int, 12,23,34,45> x;
    for (int e : x.tomb)
        cout << e << " ";

    StatikusTomb<char, 'A', 'B', 'C'> y;
    for (char e : y.tomb)
        cout << e << " ";
}
```

Az alábbi variáns *Rekord* osztálysablon tetszőleges számú és típusú adat együtttest képes kezelni, bár eléggé körülményes módon.

```
#include <string>
#include <iostream>
using namespace std;

// A sablon deklarációja
template<typename ... Tipusok>
class Rekord;

// A rekurzív feldolgozás végét jelző, üres paraméterlistájú sablon
template<>
class Rekord<> {};

// Legalább egy paramétert tartalmazó specializált sablonváltozat.
// Az N elemű paraméterlistát, egy elem plusz N-1 elemű
// paraméterlistaként dolgozza fel, rekurzív módon.
template<typename Elso, typename ... Maradek>
```

```

class Rekord<Elso, Maradek...> : Rekord<Maradek...> {
    Elso adat;
public:
    Rekord(Elso const& elso, Maradek const& ... maradek) :
        Rekord<Maradek...>(maradek...), adat(elso) { }

    Elso const& Fej() const {
        return adat;
    }
    Rekord<Maradek...> const& Tobbi() const {
        return *this;
    }
};

// A Rekord sablon használata
int main() {
    Rekord<int, double, string> r(2011, 8.12, "C++11");
    cout << r.Fej() << endl;           // 2011
    cout << r.Tobbi().Fej() << endl;   // 8.11
    cout << r.Tobbi().Tobbi().Fej() << endl; // C++11
}

```

A variáns függvénysablonok típusparamétereit az osztályokhoz hasonló módon használhatjuk, azonban itt tetszőleges számú függvényargumentumból áll elő a típuslista. A feldolgozást rekurzív módon végezzük, ahol a rekurziós lánc végét egy egyparaméteres, túlterhelt függvénysablon biztosítja.

```

#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T>
void Kiiras(T t) {
    cout << t;
}

template <typename Elso, typename... Argumentumok>
void Kiiras(Elso e, Argumentumok... argumentumok) {
    cout << e << " ";
    Kiiras(forward<Argumentumok>(argumentumok)...);
}

template <typename T>
T Osszeg(T t) {
    return t;
}

template <typename T, typename ...P>
T Osszeg(T t, P ...p) {
    if (sizeof...(p))
        t += Osszeg(p...);
    return t;
}

int main() {
    int a=12;
    double b=12.23;
    string c = "C++11";
    Kiiras(a, b, c, '\n'); // 12 12.23 C++11
    cout << Osszeg(12,23) << endl; // 35
}

```

3.6.5 Hátravetett visszatérési típus (suffix return types)

A C++98 nyelven sokszor problémát jelentett a függvénysablonok visszatérési típusának megadása. Gyakran alkalmazott megoldás volt, hogy egy további sablonparamétert használtunk erre a célra:

```
template <typename R, typename S, typename T>
R Atlag1(S a, T b) {
    return (a+b)/2;
}
```

Az *Atlag1()* függvény hívásai:

```
cout << Atlag1<int, int, int>(9, 4) << endl;           // 6
cout << Atlag1<double, double, int>(9.5, 4) << endl; // 6.75
```

A C++11 új függvénymegadási formát vezetett be, amelyben a **decltype** kulcsszó is használható a visszatérési érték meghatározására:

```
template <typename S, typename T>
auto Atlag2(S a, T b) -> decltype ((a+b)/2) {
    return (a+b)/2;
}
```

Az *Atlag2()* függvény hívásai:

```
cout << Atlag2(9, 4) << endl;           // 6
cout << Atlag2(9.5, 4) << endl;       // 6.75
```

Természetesen ez a megoldás osztálysablonok tagfüggvényei esetén is alkalmazható.

4. A C++11 könyvtár újdonságai

A szabványos C++ könyvtár több oldalról is bővült. Egyrészt a C11 nyelvből átvett megoldások miatt új, hasznos függvények jelentek meg, amelyek a nevükben hordozzák a kapcsolódó típust. Másrészt pedig az STL rész újabb elemekkel gazdagodott. Valójában a C++98 sablontár is újjászületett, hiszen a sablonok többsége támogatja az áthelyezést (*move*) valamint az inicializáló lista alkalmazását.

Ebben a fejezetben követjük ezt a kettősséget, azonban az új sablonokat csoportosítva mutatjuk be. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy semelyik rész sem helyettesíti a hivatalos C++11 STL hivatkozások gyűjteményét. Célunk egy átfogó képet adni a C++11 szabványos könyvtára által nyújtott lehetőségekről:

- új függvények és tagfüggvények a C++ könyvtárban,
 - C-sztring tartalmának számmá alakítása,
 - a string típusú és a numerikus adatok közötti átalakítások,
 - Unicode karakterek és sztringek átalakítása,
 - új matematikai függvények,
 - a bővített complex osztálysablon,
 - fordítás idejű racionális aritmetika,
- véletlen számok előállítás,
- idő- és dátumkezelés,
- reguláris kifejezések könyvtára,
- kibővített típuskezelő könyvtár,
- polimorf függvényobjektumok,
- inicializáló lista saját osztályokban,
- változások a konténerek (tárolók) könyvtárában,
 - kezdőértékkadás a konténereknek,
 - a move szemantika és az STL konténerek,
 - a begin, end és swap függvénytípusok használata,
- kibővített algoritmus könyvtár,
- rekordok új megközelítésben (tuple),
- a szabványos C++ nyelv deklarációs állományai.

4.1 Új függvények és tagfüggvények a C++ könyvtárban

A szabványos C11 nyelvvél való minél nagyobb kompatibilitás érdekében, a C függvénykönyvtár elemeinek többsége is megjelent a C++11 nyelv szabványos könyvtárában. Emellett azonban néhány C++ függvény is készült, a számok és a szövegek közötti átalakítások támogatására.

4.1.1 C-sztring tartalmának számmá alakítása

A konverziós függvényeket a `<cstdlib>` deklarálja. A függvények nevének utolsó betűi a céltípusra utalnak:

```
long long atoll( const char *str );
long long strtoll( const char *str, char **str_end, int base );
unsigned long long strtoull( const char *str, char **str_end, int base );
float strtof( const char* str, char** str_end );
long double strtold( const char* str, char** str_end );
```

A `<inttypes>` fejállományban további függvényeket találunk:

```
intmax_t strtoumax( const char* nptr, char** endptr, int base );
uintmax_t strtoumax( const char* nptr, char** endptr, int base );
```


A fenti függvények **char** típusú karaktereket tartalmazó sztringeket használnak. A `<wchar>` és a `<inttypes>` fejláományokban megtaláljuk az széles karakterekből álló sztringeket átalakító függvényeket: `wcstoll()`, `wcstoull()`, `wcstof()`, `wcstold()`, `wcstouimax()`, `wcstoumax()`.

4.1.2 A string típusú és a numerikus adatok közötti átalakítások

A `<string>` fejláomány egy sor konverziós függvényt biztosít a címben jelzett átalakítások elvégzésére. Sztringet egyszerűen számmá alakíthatunk:

```
int stoi( const string& str, size_t *pos = 0, int base = 10 );
long stol( const string& str, size_t *pos = 0, int base = 10 );
long long stoll( const string& str, size_t *pos = 0, int base = 10 );
unsigned long stoul( const string& str, size_t *pos = 0, int base = 10 );
unsigned long long stoull( const string& str, size_t *pos=0, int base=10 );
float stof( const string& str, size_t *pos = 0 );
double stod( const string& str, size_t *pos = 0 );
long double stold( const string& str, size_t *pos = 0 );
```

A `to_string()` függvényének változatai gyors konverziós lehetőséget biztosítanak az egyszerű C++ numerikus típusok **string** típusú sztringgé való átalakításához. Széles sztringgé (**wstring**) a `to_wstring()` függvényekkel alakíthatjuk a számokat.

4.1.3 Unicode karakterek és sztringek átalakítása

A `<uchar>` fejláományban deklarált függvények a 16- és 32-bites széles karakterek (`c16`, `c32`) valamint a nullavégű sztringben tárolt, többbájtos (`mb`) karakterek közötti konverziók elvégzésére szolgálnak:

```
mbrtoc16(), c16rtomb(), mbrtoc32(), c32rtomb()
```

A `<locale>` fejláományban található `wstring_convert<>` osztálysablonot együtt használva a `<codecvt>` fájlban definiált `codecvt_utf8<>` és `codecvt_utf16<>` konverziós leírásokkal (*facet*) UTF-8 és UTF-16 kódolású sztringet 2- vagy 4-bájtos UCS (*unicode*) kódolású karaktersorozattá alakíthatunk. A `codecvt_utf8_utf16<>` sablonnal a kétféle UTF kódolás között konvertálhatunk. Az átalakítás lépéseit az alábbi példa szemlélteti:

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <locale>
#include <codecvt>
using namespace std;

int main() {
    string utf8 = u8"gk:\U0001D11E pi:\u03C0";
    wstring_convert<codecvt_utf8<char16_t>, char16_t> ucs2conv;
    u16string ucs2 = ucs2conv.from_bytes(utf8);
    cout << ucs2.size() << " darab karakter" << endl;
    for (auto p = begin(ucs2); p!=end(ucs2); ++p)
        cout << hex << showbase << *p << endl;
}
```

A program futásának eredménye: *9 darab karakter*

```
0x67
0x6b
0x3a
0xd11e
0x20
0x70
0x69
0x3a
0x3c0
```

A következő példában a konverziókat bináris fájlból történő olvasás során alkalmazzuk:

```
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <string>
#include <locale>
#include <codecvt>
using namespace std;

void FajlbaIras() {
    // UTF-16le adatok (Little-endian)
    char16_t utf16le[] = u"γκ:\U0001D11E, pi:\u03C0";
    ofstream fout("adatok.dat");
    fout.write( reinterpret_cast<char*>(utf16le), sizeof utf16le);
    fout.close();
}

int main() {
    FajlbaIras();
    wifstream fin("adatok.dat", ios::binary);
    fin.imbue(locale(fin.getloc(),
        new codecvt_utf16<wchar_t, 0x10ffff, little_endian>));
    for (wchar_t ch; fin.get(ch); )
        cout << showbase << hex << ch << endl;
    fin.close();
}
```

Mindkét megoldásban elveszett a violin kulcs karaktere, hisz az átalakítás 16-bites UCS2 kódolásra történt.

4.1.4 Új matematikai függvények

A C++11 kibővíti a matematikai függvények sorát, és mindhárom valós típushoz biztosítja a megfelelő túlterhelt változatot `<cmath>`:

Függvény	Leírás
<i>acosh(x)</i>	Árkusz-koszinusz hiperbolikus függvény.
<i>asinh(x)</i>	Árkusz-szinusz hiperbolikus függvény.
<i>atanh(x)</i>	Árkusz-tangens hiperbolikus függvény.
<i>cbrt(x)</i>	Köbgyökfüggvény.
<i>copysign(x,y)</i>	A visszaadott érték x abszolút értéke, előjele pedig megegyezik y előjelével.
<i>erf(x)</i>	Hibafüggvény.
<i>erfc(x)</i>	Kiegészítő hibafüggvény.
<i>exp2()</i>	2 hatványa ($y=2^x$)
<i>expm1(x)</i>	e^x-1 függvény értéke.
<i>fdim(x,y)</i>	A két argumentum pozitív különbségének számítása ($=fmax(x-y,0)$)
<i>fma(x,y,z)</i>	$x*y+z$ függvény értéke.
<i>fmax()</i>	A két argumentum közül a nagyobb értékével tér vissza.
<i>fmin()</i>	A két argumentum közül a kisebb értékével tér vissza.
<i>fpclassify(x)</i>	Minősíti az argumentum értékét (<i>NaN</i> , normalizált, végtelen stb.)
<i>hypot(x,y)</i>	Derékszögű háromszög befogóihoz tartozó átfogó kiszámítása.
<i>ilogb(x)</i>	A kettes számrendszerben ábrázolt lebegőpontos szám kitevője egészként.
<i>isfinite(x)</i>	true értékkel tér vissza, ha az argumentum véges.
<i>isgreater(x,y)</i>	$x > y$?
<i>isgreaterequal(x,y)</i>	$x \geq y$?
<i>isinf(x)</i>	true értékkel tér vissza, ha az argumentum végtelen.
<i>isless(x,y)</i>	$x < y$?

<i>islessequal</i> (<i>x,y</i>)	$x \leq y$?
<i>islessgreater</i> (<i>x,y</i>)	$x < y$ vagy $x > y$?
<i>isnan</i> (<i>x</i>)	true értékkel tér vissza, ha az argumentum nem szám (<i>NaN</i>).
<i>isnormal</i> (<i>x</i>)	true értékkel tér vissza, ha az argumentum normalizált.
<i>isunordered</i> (<i>x,y</i>)	Nem összehasonlítható?
<i>lgamma</i> (<i>x</i>)	A gamma-függvény abszolút értékének természetes alapú logaritmus.
<i>llrint</i> (<i></i>)	Kerekítés a legközelebbi egészre (long long típusal tér vissza).
<i>llround</i> (<i></i>)	Kerekítés a nulla felőli legközelebbi egészre (long long típusal tér vissza).
<i>log1p</i> (<i>x</i>)	$1+x$ természetes alapú logaritmus.
<i>log2</i> (<i>x</i>)	Kettes alapú logaritmus.
<i>logb</i> (<i></i>)	A kettes számrendszerben ábrázolt lebegőpontos szám kitevője valósként.
<i>lrint</i> (<i></i>)	Kerekítés a legközelebbi egészre (long típusal tér vissza).
<i>lround</i> (<i></i>)	Kerekítés a nulla felőli legközelebbi egészre (long típusal tér vissza).
<i>nan</i> (<i>str</i>)	Az <i>NAN</i> (nem szám) értékkel tér vissza.
<i>nanf</i> (<i>str</i>)	Az <i>NAN</i> (nem szám) értékkel tér vissza.
<i>nanl</i> (<i>str</i>)	Az <i>NAN</i> (nem szám) értékkel tér vissza.
<i>nearbyint</i> (<i>x</i>)	Az argumentum kerekítése egész értékre a beállított kerekítési mód alapján.
<i>nextafter</i> (<i>x,y</i>)	Megadja a következő ábrázolható értéket (<i>y</i> irányában).
<i>nexttoward</i> (<i>x,y</i>)	Mint a <i>nextafter</i> (<i></i>), azonban <i>y</i> long double típusú
<i>remainder</i> (<i>x,y</i>)	Kiszámolja az osztási maradékot.
<i>remquo</i> (<i>x,y,p</i>)	Mint a <i>remainder</i> (<i></i>), azonban a hányadost is visszaadja (<i>p</i> mutató).
<i>rint</i> (<i>x</i>)	int értékre kerekít, azonban hibát hoz létre, ha az eredmény különbözik az argumentumtól.
<i>round</i> (<i>x</i>)	Kerekítés int típusú egészre.
<i>scalbln</i> (<i>x,n</i>)	$x * FLT_RADIX^n$ (<i>n</i> egész)
<i>scalbn</i> (<i>x,n</i>)	$x * FLT_RADIX^n$ (<i>n</i> egész)
<i>signbit</i> (<i>x</i>)	true értékkel tér vissza, ha az argumentum negatív.
<i>tgamma</i> (<i>x</i>)	Gamma-függvény.
<i>trunc</i> (<i>x</i>)	Kerekítés a legközelebbi egészre, nulla irányában.

A `<cstdlib>` és a `<cstdint>` fejláblományok nagyméretű egész számokkal alkalmazható műveleteket deklarálnak:

```
long long abs( long long n );
long long llabs( long long n );
intmax_t abs( intmax_t n );
intmax_t imaxabs( intmax_t n );

lldiv_t div( long long x, long long y );
lldiv_t lldiv( long long x, long long y );
imaxdiv_t div( intmax_t x, intmax_t y );
imaxdiv_t imaxdiv( intmax_t x, intmax_t y );
```

4.1.5 A bővített complex osztálysablon

A hagyományos C++ `complex<>` típus további tagfüggvényekkel bővült (`<complex>` fejláblomány):

<i>proj</i> (<i>z</i>)	megadja az argumentum komplex szám vetületét a Riemann gömbön,
<i>asin</i> (<i>z</i>), <i>acos</i> (<i>z</i>), <i>atan</i> (<i>z</i>)	az argumentum árkusz szögfüggvényeinek számítása,
<i>asinh</i> (<i>z</i>), <i>acosh</i> (<i>z</i>), <i>atanh</i> (<i>z</i>)	az argumentum árkusz hiperbolikus szögfüggvényeinek meghatározása.

4.1.6 Fordítás idejű racionális aritmetika

A `ratio<>` osztálysablon (`<ratio>`) egy jól definiált fordításidejű interfészt biztosít a törtekkel végzett műveletekhez. A `ratio<>` sablon első paramétere a tört számlálója (***num***), míg a második a tört nevezője (***den***) lesz. A ***num*** és a ***den*** a létrejövő osztály statikus adattagjai.

A megoldás érdekessége, hogy a műveleteket is típusok (osztálysablonok) valósítják meg. A négy alapl művelet: `ratio_add<>`, `ratio_subtract<>`, `ratio_multiply<>` és `ratio_divide<>`. Ugyancsak osztálysablonokat használhatunk az összehasonlítások elvégzésére: `ratio_equal<>`, `ratio_not_equal<>`, `ratio_less<>`, `ratio_less_equal<>`, `ratio_greater<>` és `ratio_greater_equal<>`.

Néhány előre definiált típus lefedi a szokásos egységeknek megfelelő törtszámokat:

Típus	Definíció	Leírás
<code>yocto</code>	<code>ratio<1,100000000000000000000000></code>	10^{-24} *
<code>zepto</code>	<code>ratio<1,10000000000000000000000></code>	10^{-21} *
<code>atto</code>	<code>ratio<1,1000000000000000000000></code>	10^{-18}
<code>femto</code>	<code>ratio<1,100000000000000000000></code>	10^{-15}
<code>pico</code>	<code>ratio<1,100000000000000000000></code>	10^{-12}
<code>nano</code>	<code>ratio<1,100000000000000000000></code>	10^{-9}
<code>micro</code>	<code>ratio<1,10000000></code>	10^{-6}
<code>milli</code>	<code>ratio<1,1000></code>	10^{-3}
<code>centi</code>	<code>ratio<1,100></code>	10^{-2}
<code>deci</code>	<code>ratio<1,10></code>	10^{-1}
<code>deca</code>	<code>ratio<10,1></code>	10^{+1}
<code>hecto</code>	<code>ratio<100,1></code>	10^{+2}
<code>kilo</code>	<code>ratio<1000,1></code>	10^{+3}
<code>mega</code>	<code>ratio<1000000,1></code>	10^{+6}
<code>giga</code>	<code>ratio<1000000000,1></code>	10^{+9}
<code>tera</code>	<code>ratio<1000000000000,1></code>	10^{+12}
<code>peta</code>	<code>ratio<1000000000000000,1></code>	10^{+15}
<code>exa</code>	<code>ratio<1000000000000000000,1></code>	10^{+18}
<code>zetta</code>	<code>ratio<1000000000000000000000,1></code>	10^{+21} *

A csillaggal jelzett típusok megvalósítása opcionális, csak akkor léteznek, ha az `<cstdint>` `intmax_t` típusa lefedi a számláló és a nevező értékeit.

```
#include <iostream>
#include <ratio>
using namespace std;

int main()
{
    typedef ratio<3,7> tort1;
    typedef ratio<6,21> tort2;

    typedef ratio_add<tort1, tort2> tort3;
    cout << tort3::num << '/' << tort3::den << endl;
    if (ratio_less<tort1, tort2>::value)
        cout << "3/7 < 6/21\n";
    else
        cout << "3/7 >= 6/21\n";

    constexpr int kg=123;
    constexpr int gramm = ratio_divide<ratio<kg,1>, milli>::num;
    cout << "123 kg = " << gramm << " gramm" << endl;
}
```

A program futásának eredménye:

```
5/7
3/7 >= 6/21
123 kg = 123000 gramm
```

4.2 Véletlen számok előállítás

A `<random>` fejlánc oszállysablonok sorával segíti a véletlen számok különböző módszerrel történő előállítását. A többféle megoldás eléréséhez külön ki kell választanunk egy véletlen szám motort (*engine*), egy eloszlást (*distribution*), melyeket aztán összekapcsolva előáll a véletlen szám generátor.

A **véletlen szám motor** valamilyen algoritmus alapján állítja elő a számokat. A `<random>` több motort is tartalmaz:

- `linear_congruential_engine<>` lineáris kongruens algoritmus (mint a `rand()` esetén),
- `mersenne_twister_engine<>` Mersenne twister algoritmus,
- `subtract_with_carry_engine<>` kivonás átvitelletel algoritmus.

A motorokhoz adaptációk is tartoznak, amelyek valamilyen szempont szerint módosítják a megadott alapmotor működését:

`discard_block_engine<>`, `independent_bits_engine<>`, `shuffle_order_engine<>`

Mivel az motorok és az adaptációik helyes paraméterezése nem egyszerű feladat, a fejlánc **előre felparaméterezett motorokat** is a rendelkezésünkre bocsájt: `seed_seq<>`, `minstd_rand`, `mt19937`, `ranlux24`, `knuth_b`, `default_random_engine` stb.

Még nagyobb az eloszlások választéka. Számtalan *uniform*, *Bernoulli*, *Poisson*, *normál* vagy *mintavételes* eloszlás közül választhatunk – csak néhány ízelítőül:

`uniform_int_distribution<>`, `bernoulli_distribution<>`, `poisson_distribution<>`,
`normal_distribution<>`, `discrete_distribution<>`

A definíciók alkalmazását az alábbi példaprogram szemlélteti:

```
#include <random>
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;

int main() {
    mt19937 motor;
    motor.seed(time(nullptr)); // a generáló algoritmus inicializálása
    double kozepertek = 2.5, szoras = 1;

    // Különböző eloszlások készítése:
    // alapértelmezett intervallum [0, MAX]
    uniform_int_distribution<uint32_t> uintEloszlas;
    // intervallum [0,10]
    uniform_int_distribution<uint32_t> uintEloszlas10(0,10);
    // N(közéérték, szórás)
    normal_distribution<double> normalEloszlas(kozepertek, szoras);

    // véletlen számok előállítása:
    for (int i=0; i<10; i++) {
        cout << uintEloszlas(motor) << '\t'
              << uintEloszlas10(motor) << '\t'
              << normalEloszlas(motor) << endl;
    }
}
```

A program futásának eredménye:	4097594794	5	0.71713
	3284206494	6	3.34636
	1585982901	2	2.85585
	2813963803	3	0.601554
	2881504895	8	2.89266
	3379910637	9	1.56064
	431323802	8	1.85685
	3496590794	9	3.89834
	661944248	3	2.57102
	2108095663	8	3.01404

Még egy fontos ok, ami miatt inkább a `<random>` könyvtárat használjuk a hagyományos `rand()` függvény helyett. Az új eszközökkel a véletlen számok generálása szálbiztos: vagy minden szál saját lokális motort alkalmaz, vagy egy közös motorobjektumot érnek el szinkronizálva.

4.3 Idő- és dátumkezelés

A C++11 új időmodellel segíti a programok és a szálak időkezelési feladatait. A modell alapelemei az **órák** (*clocks*), amelyek meghatározzák az időszámítás kezdetét (*epoch*, pl. 1970. január 1.) valamint az óraütemek gyakoriságát (vagyis az óra pontosságát, pl. 1 ms). Az óraosztályokat a `<chrono>` fejléccel való beépítését követően a *chrono* névtérben érjük el:

<code>chrono::system_clock</code>	a rendszer által használt valós idejű óra (beállítható),
<code>chrono::high_resolution_clock</code>	a rendszerben fellelhető legpontosabb óra (beállítható),
<code>chrono::steady_clock</code>	precíz időméréshez jól használható monoton óra, amely nem állítható be.

A másik fontos eleme az időkezelésnek az **időtartam** (*duration*), amely adott időegységek számát jelöli. Az időtartamot a `chrono::duration<>` osztálysablon képviseli, melyet a `ratio<>` sablonnal együtt használva saját időtartamegységeket is készíthetünk, az előre definiáltakon (`chrono::nanoseconds`, `chrono::microseconds`, `chrono::milliseconds`, `chrono::seconds`, `chrono::minutes`, `chrono::hours`) túlmenően. (A másodperc az alapértelmezett időtartam egység.)

```
#include <chrono>
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace chrono;

int main() {
    typedef duration<int, ratio<1,2>> felmasodperc; // félmásodperc
    felmasodperc d1(10);
    seconds d2 = duration_cast<seconds>(d1);
    cout << "a megadott idő: " << d2.count() << " mp" << endl; // 5 mp
}
```

A `duration<>` sablon első paramétere az óraütemek számát tároló típus, míg a második a másodpercekhez képest definiálja az időtartamegységet. Az időegységek számát az időtartam osztály `count()` tagfüggvényével kérdezhetjük le, míg a különböző időtartamok közötti átváltáshoz a `duration_cast<>()` függvénysablont kell használnunk.

Az időtartam osztály további statikus tagjaival lekérdezhetjük az időtartamhoz tartozó nullás, minimális és maximális értéket:

```
cout << seconds::zero().count() << endl; // 0
cout << seconds::min().count() << endl; // -9223372036854775808
cout << seconds::max().count() << endl; // 9223372036854775807
```

Az időtartam objektumokkal használhatjuk az értékadást (=), az öt alpműveletet (+, -, *, /, %) (összetett értékadásban is) valamint az összehasonlító műveleteket (==, !=, <, <=, >, >=). Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a szorzás, osztás és maradékképzés esetén csak az egyik operandus lehet időtartam, a másik operandusnak számnak kell lennie!

```
minutes m1(3), m2(6), m3(-1);
m3 += 5 * m1 - m2 / 2 + m1 % 2;
cout << m3.count() << endl; // 12
cout << (m3 <= m1) << endl; // 0
```

Az időmodell harmadik pillére az **időpont** (*timepoint*), amelyet a `chrono::time_point<>` osztálysablon valósít meg. Az időpont valójában az óra időszámításának kezdetét és az eltelt időtartamot kombinálja. A Unix/Linux rendszerekben a rendszeróra által visszaadott beépített időpontok:

```
system_clock::time_point tp;           Thu Jan 1 01:00:00 1970
tp = system_clock::time_point::min(); Sat Mar 5 17:27:38 1904
tp = system_clock::time_point::max(); Mon Oct 29 06:32:22 2035
```

Időpont objektumot többféleképpen is létrehozhatunk. Használhatjuk az óra osztályba épített **time_point** típust, vagy magát a `time_point<>` sablont. Első esetben a tárolt időtartam másodperc lesz, míg második esetben ez szabadon megadható, az alábbi példában látható módon:

```
#include <chrono>
#include <iostream>
#include <ctime>
#include <string>
using namespace std;
using namespace chrono;

string Idopont2Str (const system_clock::time_point& tp) {
    // az időpont átalakítása time_t típusú idővé:
    time_t t = system_clock::to_time_t(tp);
    string ts = ctime(&t);
    ts.resize(ts.size()-1); // az újsor karakter törlése
    return ts;
}

int main() {
    // a most lekérdezése különböző módon:
    system_clock::time_point most1 = system_clock::now();
    time_point<system_clock> most2 = most1;
    time_point<system_clock, milliseconds> most_ms;
    most_ms = time_point_cast<milliseconds>(most2);
    cout << Idopont2Str(most1) << endl;

    // 7 nap 12 perc 23 másodperc múlva:
    seconds kesobb = duration_cast<seconds>(7*hours(24) +
                                           minutes(12) + seconds(23));

    most1 += kesobb;
    most2 = most2 + kesobb;
    most_ms += kesobb;
    cout << Idopont2Str(most1) << endl;
}
```

A program futásának eredménye: `Sat Sep 21 17:25:57 2013`
`Sat Sep 28 17:38:20 2013`

Az időpont objektumokhoz tartozó +, += és -, -= műveletekkel az időpontot a megadott időtartammal módosíthatjuk, és az időpontokat össze is hasonlíthatjuk (==, !=, <, <=, >, >=).

Az új időmodell nem rendelkezik humán interfésszel, nem ismeri a naptárunkat. Az órák `to_time_t()` tagfüggvénye – a hagyományos C időkezeléshez – `time_t` típusúvá alakítja az időpontot. (Ezt alkalmaztuk az előző példa `Idopont2Str()` függvényében a megjelenítéshez). A `from_time_t()` tagfüggvény-nyel pedig konkrét időpontot is megadhatunk. Az következő példaprogram megmondja, hogy hányat kell még Karácsonyig aludnunk:

```
#include <chrono>
#include <ctime>
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace chrono;

int main() {
    tm xmas1 = {0};
    xmas1.tm_year = 2013-1900;
    xmas1.tm_mon = 12-1;
    xmas1.tm_mday = 25;
    time_t xmas2 = mktime(&xmas1);

    system_clock::time_point xmas3 = system_clock::from_time_t(xmas2);
    system_clock::time_point most = system_clock::now();
    typedef duration<int, ratio<24*3600,1>> nap;
    nap napok = duration_cast<nap>(xmas3-most);
    cout << "meg aludni kell: " << napok.count() << " napot.\n"; // 94
}
```

Végezetül nézzünk egy egyszerű futásidőt mérő programot, amelyben megmérjük, hogy mennyi idő szükséges 10 millió elemet tartalmazó vektor rendezéséhez!

```
#include <iostream>
#include <chrono>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
using namespace chrono;

int main() {
    const int meret = 10000000;
    vector<int> v(meret);

    srand(unsigned(time(nullptr)));
    for_each(begin(v), end(v), [](int& e) { e = rand();});
    random_shuffle(begin(v), end(v));

    auto start = high_resolution_clock::now();
    sort(begin(v), end(v));
    auto stop = high_resolution_clock::now();

    auto eltelt = duration_cast<milliseconds>(stop - start);
    cout << "mért idő: " << eltelt.count() << " ms" << endl; // 748 ms
}
```

4.4 Reguláris kifejezések könyvtára

A C++11 az STL filozófiájának megfelelően osztálysablonok és függvénysablonok segítségével valósítja meg a reguláris kifejezések kezelését. Az alapszablonok (`basic_regex`, `sub_match`, `match_results`) mellett algoritmusok (`regex_match`, `regex_search`, `regex_replace`), iterátorok (`regex_iterator`, `regex_token_iterator`) valamint előre definiált konstansok (`std::regex_constants` névtér) segítik a munkánkat.

A `basic_regex` sablon `char` és a `wchar_t` tusokkal specializált változatait (`regex`, `wregex`) használjuk a szabályos kifejezések tárolására:


```

regex szo("[[:alpha:]]+");
regex szokozok("[[:space:]]*(.+)", regex::extended);

```

A reguláris kifejezések megadásánál háromféle szabálygyűjtemény közül is választhatunk. Az alapértelmezett az *ECMAScript* (*ECMA-262*, *JavaScript*, *Perl 5*) szintaxis, azonban a második argumentumban a *POSIX* alap (*basic*) és bővített (*extended*) nyelvtanának alkalmazását is kérhetjük.

A következő példaprogram a megadott sztringről megállapítja, hogy egész számot tartalmaz-e vagy sem:

```

#include <iostream>
#include <regex>
#include <string>
using namespace std;

int main() {
    string input;
    regex egesz("(\\+|-)?[[:digit:]]+");
    while (true) // A q billentyűlenyomásáig inputot vár
    {
        cout<<"Kérek egy egész számot!"<<endl;
        cin>>input;
        if ( input == "q" )
            break;
        if ( regex_match(input, egesz) )
            cout << "egész" << endl;
        else
            cout << "hibás input" << endl;
    }
}

```

Amennyiben a C++ nyelv valós számformátumának megfelelő adatokat szeretnénk ellenőrizni, az alábbi reguláris kifejezést kell használnunk:

```

regex valos("((\\+|-)?[[:digit:]]+)(\\.([[:digit:]]+)?)?((e|E)"
            "((\\+|-)?[[:digit:]]+)?");

```

Bizonyos műveletek esetén a *match_results* osztálysablon karakteres specializált változatai (*cmatch*, *wcmatch*, *smatch*, *wsmatch*) tárolják az egyeztetés eredményét.

Az alábbi példában reguláris kifejezések segítségével egy sztringből eltávolítjuk a bevezető szóközőket, illetve szétválogatjuk a benne tárolt szavakat és számokat:

```

#include <iostream>
#include <string>
#include <regex>
using namespace std;

int main() {
    regex egesz("(\\+|-)?[[:digit:]]+");
    regex szo("[[:alpha:]]+");
    regex szokozok("[[:space:]]*(.+)");

    // A bevezető szóközők eltávolítása
    string input = "          Ivan9 Anna23 Adrienn26 Aliz33";
    smatch eredmeny;
    regex_search(input, eredmeny, szokozok);
    cout << eredmeny[1].str() << endl;

    // Szétválasztja az inputból a neveket és a számokat
    const string formatum = ""; // helyettesítő formátumsztring

```

```

string szavak, szamok;
szamok = regex_replace(eredmeny[1].str(), egész, formatum,
    regex_constants::format_default);
szavak = regex_replace(eredmeny[1].str(), szo, formatum,
    regex_constants::format_default);
cout << szavak << endl;
cout << szamok << endl;
}

```

A program futásának eredménye: *Ivan9 Anna23 Adrienn26 Aliz33*
9 23 26 33
Ivan Anna Adrienn Aliz

4.5 Kibővített típuskezelő könyvtár

A C++ típuskezelő könyvtár újabb alaptípusokkal (<cstdint>), illetve a típusok fordításidejű (<type_traits>) és futásidejű (<typeindex>) kezelését segítő sablonokkal bővült.

A típusjellemzők fordítás közbeni ellenőrzését segítik az [is_void<>](#), [is_integral<>](#), [is_class<>](#), [is_copy_constructible<>](#) stb. sablonok (<type_traits>)

```

#include <type_traits>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <limits>
using namespace std;

template <typename T>
    T Lkt(const T& a, const T& b) {
        static_assert(is_integral<T>::value,
            "T-nek egész típusúnak kell lennie!");
        for (int lkt = max(a, b); lkt<=a*b; lkt++)
            if (lkt%a==0 && lkt%b==0) return lkt;
    }

int main() {
    cout << numeric_limits<int>::lowest() << endl;
    cout << Lkt(12,8) << endl;           // 24
    cout << Lkt(12.3,7.8) << endl;     // fordítási hiba
}

```

Ugyancsak itt találunk egy sor típuskészítő és -átalakító sablont: [integral_constant<>](#), [add_const<>](#), [result_of<>](#) stb.

A futás közbeni típusazonosítást segíti a típusokhoz rendezett indexsort rendelő [type_index](#) osztály (<typeindex>):

```

#include <iostream>
#include <typeinfo>
#include <typeindex>
#include <unordered_map>
#include <string>
using namespace std;

class A {
public:
    virtual ~A() {}
};

```

```

int main() {
    unordered_map<type_index, string> tipusNevek;
    tipusNevek[type_index(typeid(int))] = "egész";
    tipusNevek[type_index(typeid(double))] = "valós";
    tipusNevek[type_index(typeid(A))] = "A osztály";

    int i;
    double d;
    A a;

    cout << "i típusa " << tipusNevek[type_index(typeid(i))] << endl;
    cout << "d típusa " << tipusNevek[type_index(typeid(d))] << endl;
    cout << "a típusa " << tipusNevek[type_index(typeid(a))] << endl;
}

```

4.6 Polimorf függvényobjektumok

A függvényobjektumok olyan objektumok, amelyekben definiált a függvényhívás operátora. A C++ több könyvtári függvényobjektummal rendelkezik, azonban az ilyen objektumok létrehozását és kezelését is segíti. A C++11 sok új elemmel (*function<>*, *bind<>* stb.) bővíti a *<functional>* fejláomány definícióit, azonban több elemet (*unary_function<>*, *binder1st<>* stb.) elavultnak nyilvánít.

A *hash<>* sablon specializált változatai az alaptípusokhoz és a karaktersorozat könyvtári típusokhoz *hash* (hasító) kódot számítanak.

```

#include <iostream>
#include <functional>
#include <string>
using namespace std;

int main() {
    hash<string> hashFv;
    string str = "C++ programozási nyelv";
    size_t hashKod = hashFv(str);
    cout << hashKod << '\n'; // 4265739948
}

```

A *template< class R, class... Args > class function<R(Args...)>*; deklarálású *function<>* sablon egy általános célú függvényburkoló (*function wrapper*), amellyel normál függvényekre, tagfüggvényekre, lambda függvényekre valamint funktorokra egyaránt hivatkozhatunk. (Funktör – *functor* olyan osztály, amely definiálja a függvényhívás operátorát.)

```

#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;

int Kerekit(double x) {
    return int(x+0.5);
}

class A {
public:
    long Levag(double x) { return long(x);}
};

class Funktor {
public:
    long operator()(double x) const {
        return (long)x;
    }
};

```

```

int main() {
    function<int(double)> kerekithivas = &Kerekit;
    cout << kerekithivas(12.7) << endl;           // 13

    A a;
    function<long(A&, double)> levaghivas = &A::Levag;
    cout << levaghivas(a, 2.9) << endl;           // 2
    function<long(A*, double)> levaghivasPtr = &A::Levag;
    cout << levaghivasPtr(&a, 2.9) << endl;       // 2

    function<long(long a)> Kob = [](long x){ return x*x*x; };
    cout << Kob(10)<< endl;                         // 1728
    auto Negyzet = [](long x){ return x*x; };
    cout << Negyzet(10) << endl;                   // 144
    Kob = Negyzet;

    Funktor fu;
    function <long(double)> fuHivas = fu;
    cout << fuHivas(12.34) << endl;               // 12
}

```

A `mem_fn` sablon szintén függvényburkoló objektumot készít, azonban egy megadott tagfüggvény mutató alapján.

```

#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;

class A {
public:
    long Levag(double x) { return long(x); }
};

int main() {
    A a;
    auto levagFv = mem_fn(&A::Levag);
    cout << levagFv(a, 12.7) << endl;           // 12
}

```

A `function` objektum rendelkezik a `bool` típusra konvertáló operátorral, mely művelet eredményéből megtudhatjuk, hogy a függvényburkoló kapott-e értéket:

```

#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;

int main () {
    function<void()> f;
    cout << (bool) f << endl;                     // 0
    f = [](){};
    cout << (bool) f << endl;                     // 1
}

```

A `bind` függvény segítségével argumentumokat köthetünk a függvényobjektumokhoz. A `ref` és `cref` sablonok `reference_wrapper` típusú argumentumokat készíthetünk.

Az alábbi példában a `bind` és a helyfoglaló objektumok (`_1`, `_2`, ...) segítségével az argumentumokat különböző sorrendben továbbítjuk a hívott függvénynek:

```

#include <functional>
#include <string>
#include <iostream>

```

```
using namespace std;
using namespace std::placeholders;

void Kiir(string a, string b, string c) {
    cout << a << " " << b << " " << c << endl;
}

int main() {
    auto fa = bind(Kiir, _1, _2, _3);
    auto fb = bind(Kiir, _3, _1, _2);
    auto fc = bind(Kiir, "delta", _1, _1);
    fa("alfa", "beta", "gamma");
    fb("alfa", "beta", "gamma");
    fc("alfa", "beta");
}
```

A program futásának eredménye: *alfa beta gamma*
gamma alfa beta
delta alfa alfa

A `bind<>` függvénnyel együtt használjuk a `ref<>` és a `cref<>` sablonokat, amelyekkel a hívni kívánt függvényhez referencia, illetve konstans referencia típusú argumentumokat köthetünk:

```
#include <functional>
#include <iostream>
using namespace std;

void Fv(int& a, int& b, const int& c) {
    cout << "Függvényen belül: " << a << ' ' << b << ' ' << c << endl;
    ++a, ++b;
}

int main() {
    int a = 1, b = 2, c = 3;
    function<void()> fvHivas = bind(Fv, a, ref(b), cref(c));
    a = 10, b = 20, c = 30;
    cout << "Fv hívása előtt: " << a << ' ' << b << ' ' << c << endl;
    fvHivas();
    cout << "Fv hívása után: " << a << ' ' << b << ' ' << c << endl;
}
```

A program futásának eredménye: *Fv hívása előtt: 10 20 30*
Függvényen belül: 1 20 30
Fv hívása után: 10 21 30

4.7 Inicializáló lista saját osztályokban

Az inicializáló lista feldolgozása során a fordító a sablonhívásban megadott típusú adatokból egy tömböt állít elő, amelyhez kapcsolt objektum rendelkezik a `size()`, `begin()` és `end()` tagfüggvényekkel.

Az `initializer_list<>` típusú objektumokat önállóan is felhasználhatjuk a programokban:

```
#include <iostream>
#include <initializer_list>
using namespace std;

void Kiir(const initializer_list<int>& il) {
    for (int x : il) cout << x << ' '; cout << endl;
    cout << "Elemek szama: " << il.size() << endl;
}
```

```

int main() {
    initializer_list<int> uresLista;
    Kiir(uresLista);
    Kiir({});

    initializer_list<int> egeszek1 {12, 23, 34, 45};
    Kiir(egeszek1);
    auto egeszek2 = {120, 230, 340, 450};
    Kiir(egeszek2);
    Kiir({1, 2, 3, 4, 5, 6});
}

```

A program futásának eredménye:

```
Elemek szama: 0
```

```
Elemek szama: 0
```

```
12 23 34 45
```

```
Elemek szama: 4
```

```
120 230 340 450
```

```
Elemek szama: 4
```

```
1 2 3 4 5 6
```

```
Elemek szama: 6
```

Az osztályokat egyszerűen elláthatjuk inicializáló listával. Mindössze egy olyan konstruktort kell készítenünk, amely egy `initializer_list<>` típusú paraméterrel rendelkezik:

```

#include <iostream>
#include <initializer_list>
#include <memory>
using namespace std;

template<typename T>
class Vektor {
    T* adatok;
    int meret;
public:
    Vektor(initializer_list<T> lista) {
        meret = (int)lista.size();
        adatok = new T[meret];
        uninitialized_copy(begin(lista), end(lista), adatok);
    }
    ~Vektor() { delete []adatok; }
    void Kiir() {
        for (int i=0; i<meret; i++)
            cout << adatok[i] << " ";
        cout << endl;
    }
};

int main() {
    Vektor<int> v {1,2,3,4,5};
    v.Kiir();
}

```

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az egyszerű konstruktorhívásokban is alkalmazhatunk inicializáló listát, amelynek feldolgozása, és a konstruktorhívás elvégzése a fordító feladata. Az ilyen listák akár különböző típusú elemeket is tartalmazhatnak:

```

#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

```

```

struct Adatok {
    int ma;
    double mb;
    string ms;
    Adatok(int a=0, double b=0.0, string s="") {
        ma=a; mb=b; ms = s;
    }
};
int main() {
    Adatok a1(12), a2 = {12}, a3 {12};
    Adatok b1(12, 23.4), b2 = {12, 23.4}, b3 {12, 23.4};
    Adatok c1(12, 23.4, "C++");
    Adatok c2 = {12, 23.4, "C++"};
    Adatok c3 {12, 23.4, "C++"};
}

```

4.8 Változások a konténerek (tárolók) könyvtárában

A C++11 szabványos sablontára több új tárolóval egészíti ki a már jól bevált konténereket. Az alábbi táblázatban összefoglaltuk a hagyományos és az új tároló osztálysablonokat:

	Szekvenciális tárolók	Asszociatív tárolók
C++98	vector – dinamikus, folytonos tárolású tömb, deque – kétvégű sor, list – kétszeresen láncolt lista.	set – rendezett halmaz egyedi kulcsokkal, map – rendezett szótár egyedi kulcsokkal, multiset – rendezett halmaz, multimap – rendezett szótár.
C++11	array – folytonos tárolású statikus tömb, forward_list – egyszeres láncolású lista.	unordered_set – hasított halmaz egyedi kulcsokkal, unordered_map – hasított szótár egyedi kulcsokkal, unordered_multiset – hasított halmaz, unordered_multimap – hasított szótár.

Az `array<>` típus a C-stílusú egydimenziós tömbök kezelésének egyszerűségét ötvözi a konténerek hasznos tulajdonságaival:

```

#include <array>
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    array<int,5> a = {1,2,3};
    array<int,5> b;
    b = a; // másolás
    for (int i=0; i<b.size(); i++) // méret Lekérdezése
        cout << b[i] << ' '; // 1 2 3 0 0
}

```

Többdimenziós tömbök esetén szintén a C-stílusú megoldáshoz hasonló módon járhatunk el, például 2x3-as mátrix esetén:

```

array<array<int,3>, 2> m;
for (int i=0; i<m.size(); i++) // sorok
    for (int j=0; j<m[i].size(); j++) // oszlopok
        m[i][j]=i+j;

0     1     2
1     2     3

```

A `forward_list<>` gyors, egyirányú listakezelést valósít meg. A listába való beszúráshoz, illetve a törléshez az elemek számától független idő szükséges. Az alábbi példaprogramban röviden összefoglaltuk a listakezelés alapvető műveleteit:

```
#include <forward_list>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <string>
using namespace std;

void ListaKiir(const string& s, const forward_list<int>& lista) {
    cout << s << '\t';
    copy(lista.cbegin(), lista.cend(),
         ostream_iterator<int>(cout, " "));
    cout << endl;
}

int main() {
    // A lista létrehozása és feltöltése
    forward_list<int> lista = { 1, 2, 3, 4 };
    ListaKiir ("A kiinduló lista:", lista);

    // Elem beszúrása a lista elejére
    lista.insert_after(lista.before_begin(), 10);
    lista.push_front(11);
    lista.insert_after(lista.before_begin(), {21,22,23,3,11,12} );
    ListaKiir ("8 új elem az elejére:", lista);

    // Az első két elem törlése
    lista.erase_after(lista.begin()); // 2. elem
    lista.pop_front(); // 1. elem
    ListaKiir ("Az első 2 elem törölve:", lista);

    // A lista rendezése és az ismétlődő elemek törlése
    lista.sort();
    lista.unique();
    ListaKiir ("Rendezett, kiegyelt:", lista);
}
```

```
A program futásának eredménye:      A kiinduló lista:      1 2 3 4
                                     8 új elem az elejére:  21 22 23 3 11 12 11 10 1 2 3 4
                                     Az első 2 elem törölve: 23 3 11 12 11 10 1 2 3 4
                                     Rendezett, kiegyelt:   1 2 3 4 10 11 12 23
```

A szabványos C++11 nyelv a korábbi asszociatív konténerekhez elérhetővé tette az elemeket rendezettség nélkül tároló párjukat: `unordered_set<>`, `unordered_multiset<>`, `unordered_map<>` és `unordered_multimap<>`.

Míg a C++98 halmaz és szótár objektumai az elemeket bináris rendezőfában tárolják, addig az új megoldások hasító (*hash*) táblát alkalmaznak. A két csoport osztályainak programozói felülete majdnem teljes egészében megegyezik, mint ahogy az alábbi példában is látható. Természetesen az `unordered_xxx<>` konténerek nem rendelkeznek a rendezettségre épülő tagfüggvényekkel (`rbegin()`, `lower_bound()`, `value_comp()` stb.).

```
#include <iostream>
#include <unordered_map>
#include <map>
#include <string>
using namespace std;
```



```

int main() {
    unordered_map<string,int> win;
    // Elemek bevitele
    win["NT"] = 0;
    win["XP"] = 1;
    win["Vista"] = 6;
    win["7"] = 9;
    win["8"] = 12;

    // A tárolt évszámok módosítása
    for (auto p = win.begin(); p != win.end(); ++p)
        p->second += 2000;

    // Az "NT" átnevezése "2000"-re elemcserével
    win["2000"] = win["NT"];
    win.erase("NT");

    // Az elemek érték szerint rendezve a multimap-ben
    multimap<int, string> winmm;
    for (auto p = win.begin(); p != win.end(); ++p)
        winmm.insert(pair<int, string>(p->second, p->first));

    // Az elemek kiírása
    for (auto p = winmm.begin(); p != winmm.end(); ++p)
        cout << "Windows " << p->second << " " << p->first << endl;
}

```

A program futásának eredménye:

```

Windows 2000 2000
Windows XP 2001
Windows Vista 2006
Windows 7 2009
Windows 8 2012

```

Az `unordered_xxx<>` osztálysablonok argumentumaként saját készítésű hasító (*hash*) kódot számító és azonosságot vizsgáló konstans funkcionált is megadhatunk. Ezzel a módszerrel saját típusú adatokat is tárolhatunk a rendezés nélküli asszociatív konténerekben:

```

#include <functional>
#include <iostream>
#include <unordered_set>
#include <string>
using namespace std;

struct Komplex {
    double re, im;
    Komplex(double a=0, double b=0) : re(a), im(b) {}
};

struct KomplexEqual {
    bool operator()(const Komplex& k1, const Komplex& k2) const {
        return (k1.re == k2.re) && (k1.im == k2.im);
    }
};

struct KomplexHash {
    size_t operator()(const Komplex& k) const {
        return hash<double>()(k.re) | hash<double>()(k.im);
    }
};

```

```

int main() {
    unordered_set<Komplex, KomplexHash, KomplexEqual> komplexSet;
    komplexSet.insert(move(Komplex(1,2)));
    komplexSet.insert(move(Komplex(2,3)));
    komplexSet.insert(move(Komplex(3,1)));

    auto p = komplexSet.find(Komplex(2,3));
    if (p == komplexSet.end())
        cout << "nincs meg" << endl;
    else
        cout<< p->re << "+i" << p->im << endl;
}

```

4.8.1 Kezdőértékkadás a konténereknek

A C++98 szabvány konténer objektumait csak a konstruktor adta lehetőségekkel, illetve külön tagfüggvényekkel inicializálhatjuk.

```

vector<int> iv(10,2);

vector<string> sv;
sv.push_back("alfa");
sv.push_back("béta");
sv.push_back("gamma");

map<string, int> m1;
m1["egy"] = 1;
m1["kettő"] = 2;
m1.insert(pair<string, int>("három", 3));

```

C++11-ben a kezdőértékkadás az inicializáló lista segítségével egyszerűen elvégezhető:

```

vector<int> iv2 = {2, 7, 12, 23, 27, 30};
vector<string> sv2 {"alfa", "béta", "gamma"};
map<string, int> m2 { { "egy", 1}, {"kettő", 2}, {"három", 3} };

```

4.8.2 A *move* szemantika és az STL konténerek

Az áthelyezés (*move*) szemantika bevezetése minden konténer osztálysablon kibővítését jelentette, hiszen el kellett látni őket az áthelyező konstruktorral és operátorral. A konténerekbe új adatot helyező tagfüggvényeknek megjelent a jobbérték referenciával működő párjuk, például, a **vector**<> osztálysablon esetén:

```

void push_back( const T& value );           // másol
void push_back( T&& value );               // áthelyez

```

A <utility> fejláományban definiált **move** függvénysablon a balérték hivatkozásokat jobbérték hivatkozásokká alakítja, így a másoló konstruktor és a másolással elvégzett értékkadás helyett az áthelyező konstruktor és az áthelyező értékkadó operátor hívódik meg. A megoldás célja a sok ideiglenes objektumpéldány számának csökkentése, így a programfutás hatékonyságának növelése. A **move** hívás eredménye valójában egy *xvalue* referencia, ami azt jelenti, hogy a fordító az áthelyező tagfüggvények (*rvalue*) hiányában a megfelelő másoló tagfüggvényeket (*lvalue*) hívja.

```

#include <vector>
#include <complex>
#include <iostream>
using namespace std;

typedef complex<double> komplex;

```

```

const vector<double> valosErtekek (const vector<komplex>& v) {
    vector<double> valos( v.size() );
    for (auto c : v)
        valos.push_back( c.real() );
    return move(valos);
}

int main() {
    vector<komplex> cv;
    for ( int i = 10; i < 1000; i++ )
        cv.push_back( move(komplex(i*1.2, i/2.3)));
    vector<double> v = valosErtekek ( cv );
}

```

Az ideiglenes objektumok elkerülésének másik módja a konténer osztályok bővítése az `emplace()` (az `insert()` helyett) és az `emplace_xxx()` tagfüggvényekkel, amelyek „helyben” hozzák létre a tárolandó objektumot.

```

#include <iostream>
#include <vector>
#include <complex>
using namespace std;

int main() {
    vector<complex<double>> cv { {12,7} };
    cv.push_back(complex<double>(12,23));
    cv.emplace_back(7,29);

    cv.insert(cv.begin(), complex<double> (10,2));
    cv.emplace(cv.begin(), 11,30);

    for (const auto& c : cv)
        cout << c.real() << " + i" << c.imag() << endl;
}

```

A program futásának eredménye:

```

11 + i30
10 + i2
12 + i7
12 + i23
7 + i29

```

A másolás és az áthelyezés az iterátorok szintjén is megkülönböztethető az `<iterator>` fejláományban definiált `move_iterator<>` osztálysablon és a `make_move_iterator<>()` függvénysablon segítségével. Ugyancsak itt találjuk meg az iterátorokat adott számú elemmel előre (`next`), illetve visszaléptető (`prev`) függvénysablonokat.

```

#include <iostream>
#include <list>
#include <vector>
#include <string>
#include <iterator>
#include <algorithm>
using namespace std;

void Kiir(const string &s, const vector<string>& vs){
    cout << s;
    for (const auto e : vs)
        cout << "\"" << e << "\" ";
    cout << endl;
}

```

```

int main() {
    list<string> lsgr{"C++", "Java", "C#"};
    vector<string> v1gr(lsgr.begin(), lsgr.end());           // másolás
    vector<string> v2gr(make_move_iterator(lsgr.begin()),
                       make_move_iterator(lsgr.end())); // áthelyezés

    cout << "lsgr tartalma: ";
    for (const auto s : lsgr)
        cout << "\"" << s << "\" "; cout << endl;

    Kiir("v1gr tartalma: ", v1gr);
    Kiir("v2gr tartalma: ", v2gr);

    typedef vector<string>::iterator tmutato;
    string s = accumulate(move_iterator<tmutato>(v1gr.begin()),
                          move_iterator<tmutato>(v1gr.end()), string());
    cout << s << endl;
    Kiir("v1gr tartalma: ", v1gr);
}

```

A program futásának eredménye:

```

    Lsgr tartalma: "" "" ""
    v1gr tartalma: "C++" "Java" "C#"
    v2gr tartalma: "C++" "Java" "C#"
    C++JavaC#
    v1gr tartalma: "" "" ""

```

4.8.3 A *begin*, *end* és *swap* függvénysablonok használata

A C++11 szabvány a tartományalapú **for** ciklus működéséhez definiálja a **begin** és az **end** függvénysablonokat, amelyek konténerek esetén a **begin()** illetve az **end()** tagfüggvényeket hívják. A sablonos megoldás előnye, hogy az új osztályokat egyszerűen elláthatjuk a **begin** és az **end** használatának képességével, csupán a sablonokat kell az új típusra specializálni. A C++11-ben megjelent egy harmadik függvénysablon, a **swap**. A vele elvégezhető felcserélés művelet minden konténer tagfüggvényeként is létezik. (Ezekkel a specializált sablonokkal a **valarray**<> típusú objektumok, valamint a hagyományos tömbök szintén feldolgozhatók a tartományalapú **for** ciklussal.)

A **begin**, az **end** és a **swap** függvénysablonok túlterhelt változatait több fejláomány is tartalmazza (<**iterator**>, <**vector**>, <**utility**> stb.)

A **begin** és az **end** függvénysablonokkal, valamint a tartományalapú ciklus alkalmazásával a konténerekben tárolt adatok feldolgozása többféleképpen elvégezhető. Példaként tekintsük az egyirányú listát, amely nem rendelkezik az indexelés operátorával, így az elemek eléréséhez általában iterátorokat használunk:

```

#include <forward_list>
#include <iterator>
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    forward_list<int> fl {12, 7, 23, 10, 2};
}

```

Az elemek megjelenítése a C++98 által is támogatott egyetlen megoldást alkalmazva:

```

forward_list<int>::iterator flp;
for (flp = fl.begin(); flp != fl.end(); flp++)
    cout << *flp << endl;

```

Az automatikus típusadás és a *begin* és *end* sablonok segítségével a megoldás sokkal barátságosabbá válik:

```
for (auto flp = fl.begin(); flp != fl.end(); flp++)
    cout << *flp << endl;

for (auto flp = begin(fl); flp != end(fl); flp++)
    cout << *flp << endl;
```

A tartományalapú ciklus alkalmazásával az iterátorokról is megfeledkezhetünk:

```
for (const auto& listaElem : fl)
    cout << listaElem << endl;
```

4.9 Kibővített algoritmus könyvtár

A *move* szemantika bevezetése az algoritmusoknál szintén változásokat hozott. A már korábban meglévő függvénysablonok művelet paraméterének függvénymutatót és áthelyező vagy másoló konstruktorral rendelkező (*move constructible*) függvényobjektumot (lambda vagy funktor) is átadhatunk. Az alábbi példában a *for_each()* algoritmussal szemléltetjük a lehetőségeket:

```
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <iostream>
using namespace std;

void Add5(int & n) { n += 5; }

struct Osszeg {
    Osszeg() { osszeg = 0; }
    void operator()(int n) { osszeg += n; }
    int osszeg;
};

int main() {
    vector<int> v{3, -2, 26, 8, 19, 25, 6, 7};
    for_each( v.begin(), v.end(), Add5 );
    for_each( begin(v), end(v), [](int &n){ n--; } );
    Osszeg sum = for_each( begin(v), end(v), Osszeg() );
    cout << "vektor: ";
    for (auto n : v) cout << n << ' ';
    cout << endl;
    cout << "összeg: " << sum.osszeg << endl;
}
```

A program futásának eredménye: *vektor: 7 2 30 12 23 29 10 11*
összeg: 124

Az alábbi táblázatban összegyűjtöttük az új STL algoritmusokat *<algorithm>*, amelyek jól kiegészítik a már meglévőket.

bool <i>all_of</i> (InIter kezdet, InIter vég, UnPred pred)	true értékkel tér vissza, ha a <i>pred</i> a [<i>kezdet</i> , <i>vég</i>) tartomány minden elemére true értéket ad, vagy ha a lista üres.
bool <i>any_of</i> (InIter kezdet, InIter vég, UnPred pred)	true értékkel tér vissza, ha a <i>pred</i> a tartomány legalább egy elemére true értéket ad. Ha a lista üres, false értéket ad.
bool <i>none_of</i> (InIter kezdet, InIter vég, UnPred pred)	true értékkel tér vissza, ha a <i>pred</i> a tartomány minden elemére false értéket ad, vagy ha a lista üres.

InIter <code>find_if_not</code> (InIter kezdet, InIter vég, UnPred pred)	Visszaad egy iterátort a tartomány azon elemére, amelyre a <code>pred false</code> értékkel tér vissza. Ha nincs ilyen elem, a visszatérési érték a <code>vég</code> hivatkozás.
<code>bool is_permutation</code> (FwIter kezdet1, FwIter vég1, FwIter kezdet2) <code>bool is_permutation</code> (FwIter kezdet1, FwIter vég1, FwIter kezdet2, BinPred pred)	<code>true</code> értékkel tér vissza, ha a [<code>kezdet1, vég1</code>] tartomány elemei meggyeznek a <code>kezdet2</code> pozícióon kezdődőkkel, a sorrendtől függetlenül. Az elemek egyezésének vizsgálatára saját, kétparaméteres <code>pred</code> függvényt is használhatunk.
OutIter <code>copy_if</code> (InIter kezdet, InIter vég, OutIter eredmény, Pred pred)	A megadott tartomány azon elemeit másolja az <code>eredmény</code> kezdetű területre, amelyekre a <code>pred true</code> értékkel tér vissza. A visszaadott iterátor a célterület utolsó adata utáni pozícióra hivatkozik.
OutIter <code>copy_n</code> (InIter kezdet, Méret n, OutIter eredmény)	A megadott tartomány első n elemét másolja az <code>eredmény</code> kezdetű területre.
OutIter <code>move</code> (InIter kezdet, InIter vég, OutIter eredmény)	A megadott tartomány elemeit áthelyezi az <code>eredmény</code> kezdetű területre. Az eredeti tartomány elemeinek értéke definiálatlan lesz.
OutIter <code>move_backward</code> (InIter kezdet, InIter vég, OutIter eredmény)	A megadott tartomány elemeit áthelyezi az <code>eredmény</code> kezdetű területre. Egymást átfedő tartományok esetén ezt kell használni!
void <code>shuffle</code> (RAIter kezdet, RAIter vég, RandNGen&& g)	Átrendezi a tartomány elemeit a megadott g véletlen szám generátor felhasználásával.
<code>bool is_partitioned</code> (InIter kezdet, InIter vég, UnPred pred)	<code>true</code> értékkel tér vissza, ha a tartomány azon elemei, amelyre a predikátum <code>true</code> értéket ad, megelőzik azokat, amelyekre <code>false</code> -t ad.
pair<OutIter1, OutIter2> <code>partition_copy</code> (InIter kezdet, InIter vég, OutIter1 ered_true, OutIter2 ered_false, UnPred pred)	A megadott tartomány elemeit szétmásolja a predikátum értéke alapján. A visszaadott pár elemei az új tartományok végére hivatkoznak.
FwIter <code>partition_point</code> (FwIter kezdet, FwIter vég, UnPred pred)	A particionált tartomány első olyan elemére ad vissza hivatkozást, amelyre a predikátum értéke hamis.
<code>bool is_sorted</code> (FwIter kezdet, FwIter vég) <code>bool is_sorted</code> (FwIter kezdet, FwIter vég, Compare comp)	<code>true</code> értékkel tér vissza, ha a [<code>kezdet, vég</code>] tartomány elemei növekvő sorrendben rendezettek. Első esetben az <code>operator<</code> , míg a másodikban a <code>comp</code> függvényt használja az algoritmus.
FwIter <code>is_sorted_until</code> (FwIter kezdet, FwIter vég) FwIter <code>is_sorted_until</code> (FwIter kezdet, FwIter vég, Compare comp)	A tartomány első olyan elemének iterátorával tér vissza, amely nem követi a növekvő sorrendet.
<code>bool is_heap</code> (RAIter kezdet, RAIter vég) <code>bool is_heap</code> (RAIter kezdet, RAIter vég, Compare comp)	<code>true</code> értékkel tér vissza, ha a tartomány elemei halmot alkotnak (a <code>make_heap()</code> hívás rendezte el őket).
RAIter <code>is_heap_until</code> (RAIter kezdet, RAIter vég) RAIter <code>is_heap_until</code> (RAIter kezdet, RAIter vég, Compare comp)	A tartomány első olyan elemének iterátorával tér vissza, amely nem követi a halom elrendezést.
T <code>min</code> (initializer_list<T> t) T <code>min</code> (initializer_list<T> t, Compare comp)	A listában megadott elemek közül a legkisebbet adja vissza.
T <code>max</code> (initializer_list<T> t) T <code>max</code> (initializer_list<T> t, Compare comp)	A listában megadott elemek közül a legnagyobbat adja vissza.

<pre>pair<const T&, const T&> <i>minmax</i>(const T& a, const T& b) pair<const T&, const T&> <i>minmax</i>(const T& a, const T& b, Compare comp) pair<const T&, const T&> <i>minmax</i>(initializer_list<T> t) pair<const T&, const T&> <i>minmax</i>(initializer_list<T> t, Compare comp)</pre>	Párban adja vissza a megadott elemek közül legkisebbet (<i>first</i>) és a legnagyobbat (<i>second</i>).
<pre>pair<FwIter, FwIter> <i>minmax_element</i>(FwIter kez- det, FwIter vég) pair<FwIter, FwIter> <i>minmax_element</i>(FwIter kez- det, FwIter vég, Compare comp)</pre>	Párban adja vissza a megadott tartomány elemei közül a legkisebbre (<i>first</i>) és a legnagyobbra (<i>second</i>) hivatkozó iterátorokat.
<pre>void <i>iota</i>(FwIter kezdet, FwIter vég, T érték)</pre>	Az adott tartomány feltölti a megadott értéket egyesével növelgetve. (< <i>numeric</i> >)

A táblázatban használt rövidítések:

<i>BinPred</i>	Kétparaméteres predikátum függvény, amely true értékkel jelzi, ha az argumentumaik megfelelnek a feltételeknek.
<i>Compare</i>	Kétparaméteres összehasonlító függvény, amely true értékkel jelzi, ha az első argumentum kisebb a másodikonál.
<i>FwIter</i>	ForwardIterator
<i>InIter</i>	InputIterator
<i>OutIter</i>	OutputIterator
<i>RAIter</i>	RandomAccessIterator
<i>T</i>	Valamilyen típus
<i>UnPred</i>	Egyparaméteres predikátum függvény, amely true értékkel jelzi, ha az argumentuma megfelel a feltételeknek.

Az algoritmusok használatát az alábbi példa szemlélteti:

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <array>
#include <random>
#include <chrono>
using namespace std;
using namespace chrono;

int Fibo() {
    static int a0=0, a1=1;
    int a2=a0+a1;
    a0=a1; a1=a2;
    return a2;
}

auto hasonlit = [](int a, int b) { return a>b;};

int main () {
    array<int,7> a;

    generate_n(begin(a), 7, Fibo);
    reverse(begin(a), end(a));
    for (int& x: a) cout << x <<' '; cout << endl;
    bool rendezett = is_sorted(begin(a), end(a), hasonlit);
    if (rendezett)
        cout << "rendezett" << endl;

    unsigned kezdo = system_clock::now().time_since_epoch().count();
    shuffle (begin(a), end(a), default_random_engine(kezdo));
    cout << "Kevert: ";
```

```

for (int& x: a) cout << x << ' '; cout << endl;
auto mm = minmax_element(begin(a), end(a));
cout << "min: " << *mm.first << " max: " << *mm.second << endl;
}

```

A program futásának eredménye:

```

21 13 8 5 3 2 1
rendezett
Kevert: 13 5 2 3 1 21 8
min: 1 max: 21

```

4.10 Rekordok új megközelítésben (tuple)

A rekord (*tuple*) olyan statikus tároló, amely több, tetszőleges típusú érték tárolására képes. Hasonló megfontolások mellett alkalmazhatjuk, mint a két adat tárolását végző párt (*pair*<>, <utility>).

A rekord leírását és használatát segítő sablonokat a <tuple> fejláblomány tartalmazza:

tuple<>	A rekordot definiáló osztálysablon.
tuple_size<>	Az osztálysablon constexpr size_t típusú value tagja megadja a rekord elemek számát.
tuple_element<>	A rekord i. elemének lekérdezését segítő osztálysablon, melynek type tagjával megfelelő típusú változót hozhatunk létre.
make_tuple()	Függvénysablon, amely rekordot állít elő az argumentumában szereplő értékekből.
forward_as_tuple()	Jobbérték referenciákból készít rekordot a függvénysablon, az argumentumában megadott értékekből.
tie()	A függvénysablon egy rekordot készít, amely balérték referenciákat tartalmaz az argumentumaihoz.
tuple_cat()	A megadott rekordok elemeit egyetlen rekordban egyesítő függvénysablon.
get()	A függvénysablon egy referenciát ad vissza a rekord i. eleméhez, amelyek az értékadás minkét oldalán felhasználhatunk.
ignore	Objektum, amely figyelmen kívül hagy minden rá irányuló értékadást. (A tie() hívásban használjuk, a nem kívánt rekordelemek kihagyására.)

Az rekordokkal kapcsolatos sablonok alkalmazását az alábbi példaprogramban foglaltuk össze. A megjegyzések segítenek a kód megértésében:

```

#include <iostream>
#include <string>
#include <utility>
#include <tuple>
using namespace std;

void Kiiras(tuple<int&&, double&&, string&&> r) {
    cout << get<0>(r) << ", " << get<1>(r) << ", ";
    cout << get<2>(r) << endl;
}

int main () {
    // rekord konstruálása, az elemek számának Lekérdezése és
    // az elemek egyenkénti kiolvasása:
    tuple<int, double, string> r1(2004, 10.2, "Iván");
    int elemszam = tuple_size<decltype(r1)>::value;

    tuple_element<0, decltype(r1)>::type elem0 = get<0>(r1);
    tuple_element<1, decltype(r1)>::type elem1 = get<1>(r1);
}

```



```

tuple_element<2,decltype(r1)>::type elem2 = get<2>(r1);
cout << "elemek száma: " << elemszam << endl;
cout << "1. elem: " << elem0 << endl;
cout << "2. elem: " << elem1 << endl;
cout << "3. elem: " << elem2 << endl;

// rekord létrehozása adatokból, és kiolvasása
int a;
double b;
string s;
auto r2 = make_tuple(2004, 10.2, "Iván");
auto r3 = make_tuple<int, double, string>(2004, 10.2, "Iván");
tie(a, b, s) = r2;
cout << "a: " << a << endl;
cout << "b: " << b << endl;
cout << "s: " << s << endl;

// rekordok összekapcsolása, és részleges kiolvasása:
pair<string, int> sn = {"MXY", 238};
auto r4 = tuple_cat(r2, tuple<string, int>(sn));
string ss;
int nn;
tie(ignore, ignore, ignore, ss, nn) = r4;
cout << ss << nn << endl;

// rekord módosítása, és továbbítása függvénynek
// jobbérték referenciával
Kiiras(forward_as_tuple(1998, 14882.0, string("C++")));
tuple<int&&, double&&, string&&> r5(1998, 14882.0, string("C++"));
get<0>(r5) = 2011;
get<1>(r5) = 14882.0;
get<2>(r5) = string("C++11");
Kiiras(r5);
}

```

A program futásának eredménye:

```

elemek száma: 3
1. elem: 2004
2. elem: 10.2
3. elem: Iván
a: 2004
b: 10.2
s: Iván
MXY238
1998, 14882, C++
2011, 14882, C++11

```

4.11 A szabványos C++ nyelv deklarációs állományai

A táblázatban kék színnel jelöltük az újonnan bevezetett, míg **bordó** színnel a módosított fejlománnyokat.

A C++ nyelvet támogató könyvtár

Típusok (<i>NULL</i> , <i>size_t</i> stb.)	<cstdlib>
Rögzített méretű típusok és formátum makrók	<stdint>, <inttypes>
Az implementáció jellemzői	<limits>, <climits>, <float>
Programindítás és -befejezés	<cstdlib>
Dinamikus memóriakezelés	<new>
Típusazonosítás	<typeinfo>, <typeid>, <type_traits>
Egyéb futásidejű támogatás	<stdarg>, <setjmp>, <ctime>, <signal>, <stdlib>, <stdbool>, <stdalign>, <initializer_list>

Hibakezelési könyvtár

Kivételkezelés	<exception>
Kivételosztályok	<stdexcept>
Assert makrók	<cassert>
Hibakódok	<cerrno>
Rendszerhiba-támogatás	<system_error>

Általános szolgáltatások könyvtára

Műveleti elemek (STL)	<utility>
Műveletobjektumok (STL)	<functional>
Memóriakezelés (STL)	<memory>, <scoped_allocator>
Speciális osztálysablonok (STL)	<bitset>, <tuple>
Dátum- és időkezelés	<ctime>, <chrono>

Sztring könyvtár

Sztring osztályok	<string>
Nullavégű karakterláncok kezelését segítő függvények	<cctype>, <cwctype>, <cstring>, <wchar>, <cuchar>

Országfüggő (helyi) beállítások könyvtára

A helyi sajátosságok szabványos kezelése	<locale>
A C könyvtár helyi beállításai	<locale>
Unicode konverziók támogatása	<codecvt>

A tárolók könyvtára (STL)

Szekvenciális tárolók (STL)	<array>, <deque>, <list>, <vector>, <forward_list>
Asszociatív tárolók (STL)	<map>, <set>
Nem rendezett asszociatív tárolók (STL)	<unordered_map>, <unordered_set>
Tároló adaptációk (STL)	<queue>, <stack>

Iterátorok (általánosított mutatók) könyvtára (STL)

Iterátorelemek, előre definiált iterátorok, adatfolyam iterátorok (STL)	<iterator>
---	------------

Algoritmusok könyvtára

Adatsorkezelés, rendezés, keresés stb. (STL)	<algorithm>
A C könyvtár algoritmusai	<cstdlib>

Numerikus könyvtár

Komplex számok	<complex>
Számtömbök	<valarray>
Általánosított numerikus műveletek (STL)	<numeric>
A C könyvtár numerikus elemei	<cmath>, <cstdlib>
Fordításidejű racionális aritmetika	<ratio>
Véletlen szám előállítása	<random>
A lebegőpontos környezet kezelése	<cfenv>

Input/output könyvtár

Forward (előrevetett) deklarációk	<iosfwd>
Szabványos iostream objektumok	<iostream>
Az iostream osztályok alaposztálya	<ios>
Adatfolyam pufferek	<streambuf>
Adatformázás és manipulátorok	<istream>, <ostream>, <iomanip>
Sztring adatfolyamok	<sstream>
Fájl adatfolyamok	<fstream>, <cstdio>

Reguláris kifejezések könyvtár

Reguláris kifejezések kezelése [<regex>](#)

Műveletek a konkurens programozáshoz

Atomi típusok és -műveletek [<atomic>](#)

Thread (programszál) könyvtár

Szálak létrehozása és vezérlése [<thread>](#), [<mutex>](#), [<condition_variable>](#), [<future>](#)