

6. fejezet

C++ nyelv alapjai és a standard library példákon keresztül

Grafikus Processzorok Tudományos Célú Programozása

A C++ nyelv

Tervezési irányelvek:

([olvasnivaló](#))

- Valódi alkalmazásokhoz hasznos nyelv legyen
- Ne erőltesse a fejlesztőket egyetlen programozási stílusba
- Közvetlenül átképezhető legyen a hardverre
- Ne sérüljön implicit módon a típus rendszer
- Kompatibilis legyen a C-vel



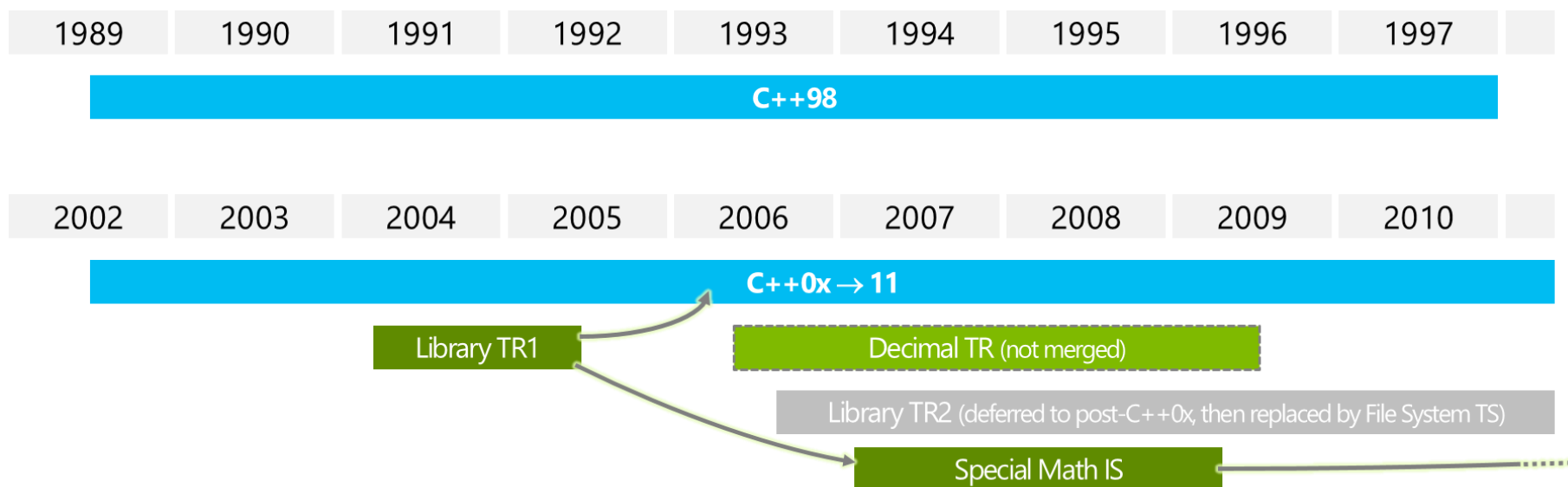
Bjarne Stroustrup
Előadása [az ELTE-n, 2014-ben](#)
és a [BME-n 2016-ban](#).

- **Ne fizessünk azért, amit nem használunk (zero-overhead rule)**

A C++ nyelv

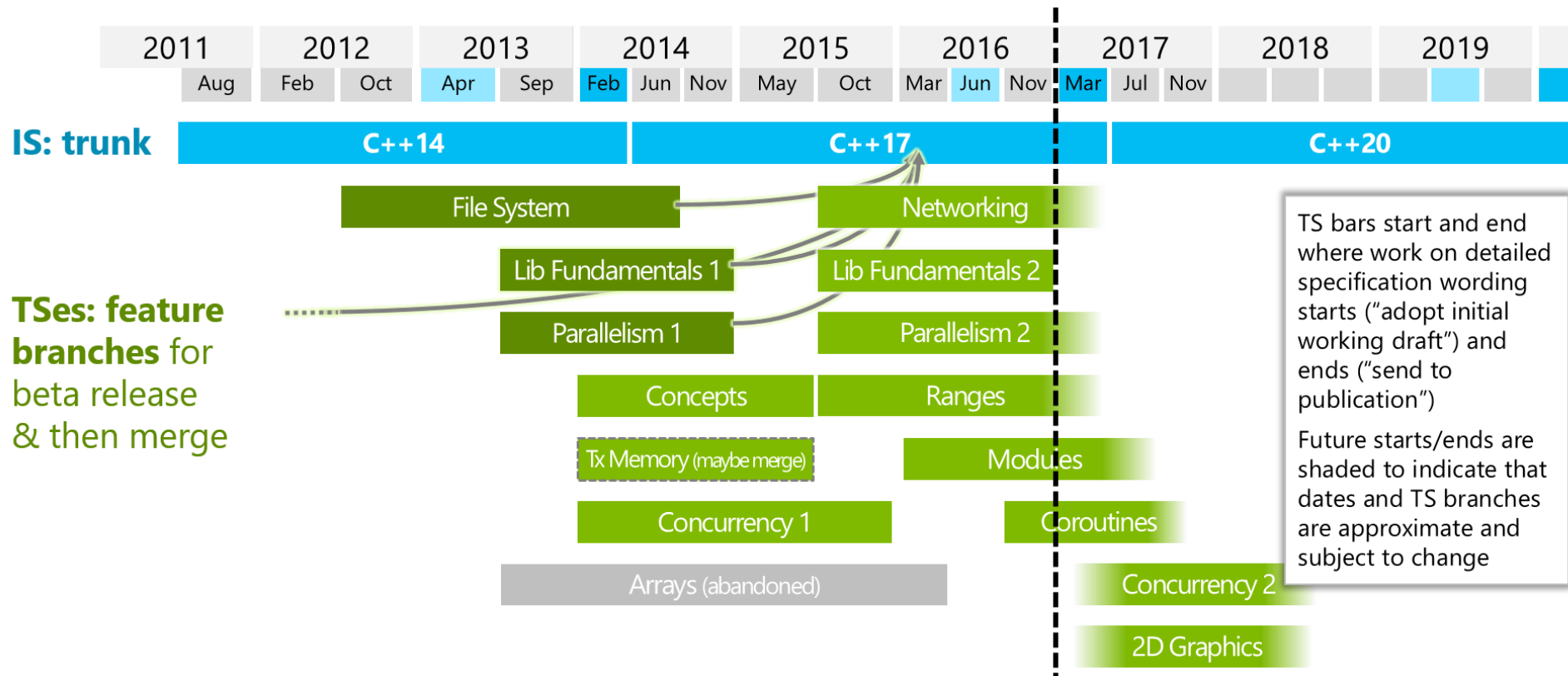
A nyelv kb. 1983-ban különült el végleg a C-től,
Az első hivatalos könyv és fordító 1985-ben jelent meg

A standardizáció folyamata:



Forrás: isocpp.org

A standardizáció folyamata:



Forrás: isocpp.org

Programozási paradigmák:

- Imperatív
- Objektum-orientált (osztályok, öröklődés)
- Funkcionális (kifejezetten since C++11-óta: lambda függvények)
- Generic programozás (sablonok, templatek)

A C++ nyelv - fordítók

Ingyenes fordítók:

- [Gnu Compiler Collection \(GCC\)](#):

Leginkább a Linux/Mac platformon használt,
Aktuális verzió 6.3, C++14 teljesen támogatott.

- [Clang \(LLVM\)](#):

Az egyik leggyorsabban fejlődő és leginkább standard kompatibilis platform
Könnyű fejlesztői eszközöket építeni vele

Aktuális verzió: 3.9.1, C++14 teljesen támogatott

Kompatibilis a GCC-vel. Megy Linux-on, Mac-en, szinte tökéletesen [windows](#)-on is

- [Visual Studio \(IDE\) MSVC \(Visual C++ fordító\)](#):

A leglassabban fejlődő (még mindig nem C++14 kompatibilis teljesen),
Windows specifikus, ezért sok nem standard viselkedése van

Fizetős fordító:

- [Intel C++ compiler](#): a legjobb teljesítmény, különösen Intel processzorokon,
még csak C++11-et támogat maradéktalanul

Online fordítók:

Hasznosak kipróbálni 1-1 új nyelvi elemet, vagy rövidebb programokat ellenőrizni

- godbolt.org szinte minden létező fordítót támogat, több verzióban is, nem futtatja a programot, megmutatja a generált assembly kódot
- [Ideone](http://ideone.com) gcc 6.3/clang 4.0, futtatja is a programot
- [Tutorialspoint](http://tutorialspoint.com) gcc 4.8.5, teljes shell, akár több file-t is összefordít
- [coliru](http://coliru.stacked-collapsible.com) gcc 6.3, clang 3.8, web API

Online fordítók:

Hasznosak kipróbálni 1-1 új nyelvi elemet, vagy rövidebb programokat ellenőrizni

- [Rexter](#) gcc 5.3, clang 3.8
- [cpp.sh](#) gcc 4.9.2 + boost, interaktív input
- [vc++ webcompiler](#) a legfrissebb msvc fordító verzió

Ajánlások:

- **Használjuk a clang-ot!**

Az egyik legstandardabb fordító, ennek a legérthetőbbek a hibaüzenetei

- **Mindig teszteljük le a kódot több fordítóval**
miért? Fordító hibák, nem standard viselkedések

Linux/Mac alatt gcc + clang, windows alatt msvc + clang

- **Használjunk egy integrált fejlesztői rendszert!**

Integrált fejlesztői rendszerek:

Jelentősen megkönnyítik a bonyolultabb programok összerakását, fejlesztését, de minimum a kódolást jelentősen támogatják

- Szintaxis kiemelés / színezés
- Kódkiegészítés, átalakítás
- Statikus analízis/fordítási hibák, már beírásakor
- Integrált debuggolás
- Profilozás
- ...

Integrált fejlesztői rendszerek:

- Windows: [Visual Studio](#)
Ipari standard fejlesztői eszköz, kis méretben még kereskedelmi célra is ingyenes a [Community](#) változat
- Platform független:
 - [Visual Studio Code](#)
 - [Kdevelop](#)
 - [Qt creator](#)
 - [Code::Blocks](#)
 - [Eclipse](#)

C++ egy bonyolult nyelv, nagyon mélyen el lehet benne merülni, és sokáig tart teljesen kitapasztalni

Ennek ellenére, számos dolgot egyszerűen is meg lehet oldani benne.

A továbbiakban példákon keresztül mutatjuk be a nyelvi elemeket és felhasználásukat
bővebb információk mindig a hivatkozásokban érhetőek el

Ha kérdés merül fel:

1. [Google](#)
2. A google valószínűleg ide mutat: [stackoverflow.com](#)
3. Ha nincs találat, akkor [cppreference.com](#)
4. Kérdezzetek minket 😊

A kötelező hello world:

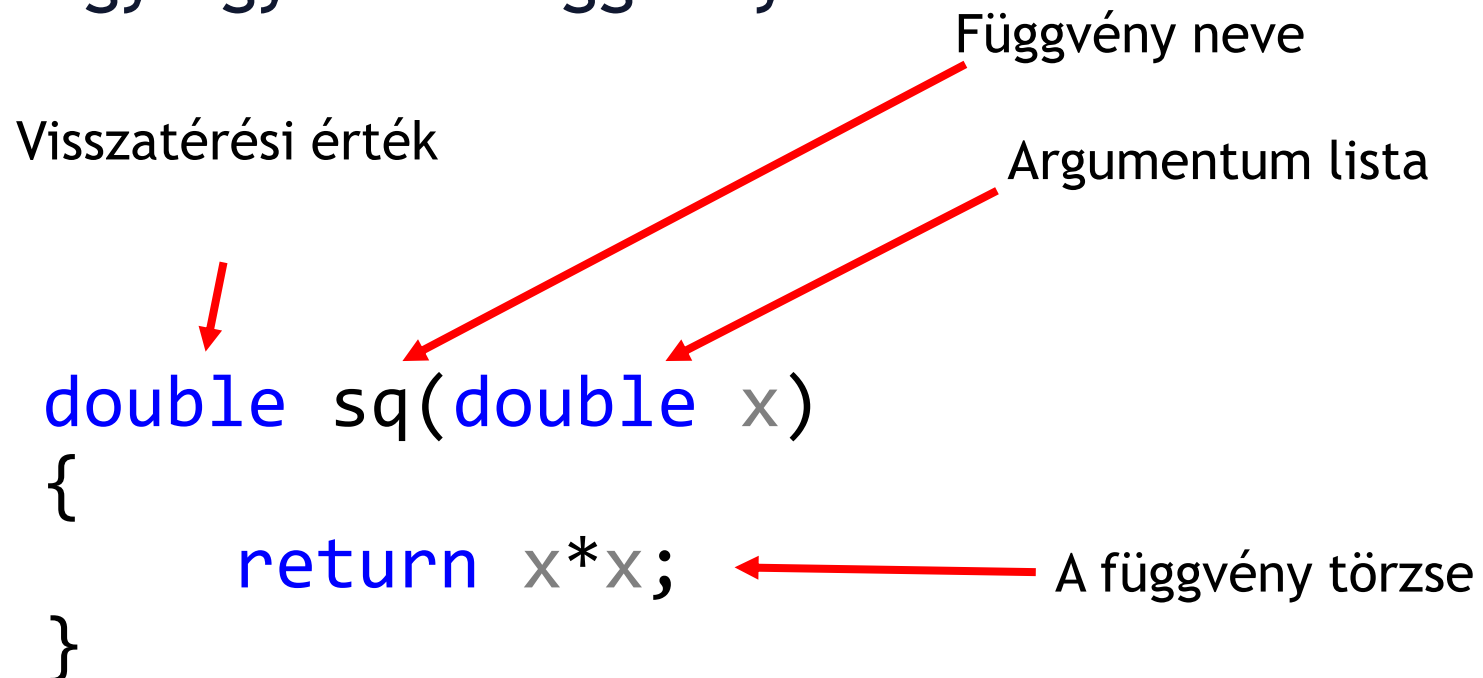
```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Hello World" << std::endl;
    return 0;
}
```

Egy egyszerű függvény:

```
double sq(double x)
{
    return x*x;
}
```

Egy egyszerű függvény:



Egy egyszerű függvény:

A C++11 [lehetővé tette](#), hogy a visszatérési értéket a függvény argumentum listája után adjuk meg, ha előre `auto`-t írunk

Hogy miért, arra a templatek-nél kitérünk

```
auto sq(double x) -> double
{
    return x*x;
}
```

Egy egyszerű függvény:

A C++14-ben pedig teljesen elhagyható, mert a fordító kitalálja a `return` statementekből.

```
auto sq(double x)
{
    return x*x;
}
```



semmi

Lambda függvények (C++11): függvény kifejezések

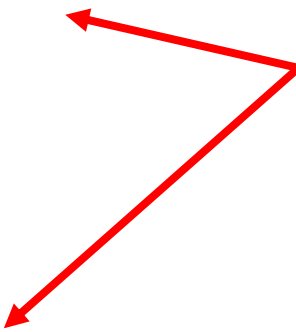
```
double sq(double x)
{
    return x*x;
}
```

```
[] (double x) -> double { return x*x; }
```

Lambda függvények (C++11): függvény kifejezések

```
double sq(double x)
{
    return x*x;
}
```

A fenti függvény egy statement block, szemben az alsóval, ami egy kifejezés. Ennek ellenére, ugyan azt fejezik ki.



```
[](double x)-> double{ return x*x; }
```

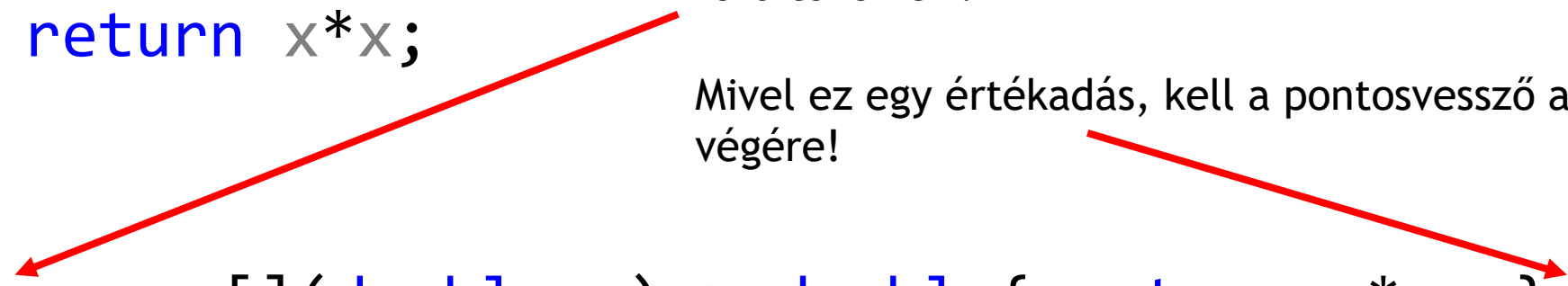
Lambda függvények (C++11): függvény kifejezések

```
double sq(double x)
{
    return x*x;
}
```

Ha névhez akarjuk kötni, akkor csak `auto`-t használhatunk. A lambda függvény típusát csak a fordító ismeri.

Mivel ez egy értékadás, kell a pontosvessző a végére!

```
auto sq = [](double x) -> double { return x*x; };
```



Lambda függvények (C++11): függvény kifejezések

```
auto sq(double x)
{
    return x*x;
}
```

Ugyan úgy, mint a függvényeknél, itt is ki tudja találni a visszatérési típust a fordító, nem kell kiírni:

```
auto sq = [](double x) semmi { return x*x; };
```

Generikus lambda függvények (C++14):

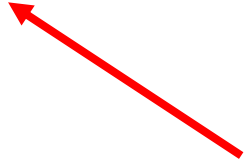
Ha ugyan az a működés kell több típusra:

```
auto sq = [](auto x){ return x*x; };
```

Generikus lambda függvények (C++14):

Ha ugyan az a működés kell több típusra:

```
auto sq = [](auto x){ return x*x; };
```



x típusa majd akkor derül ki, ha meghívjuk a függvényt, és akkor a fordító ellenőrzi, hogy a bemenő típusokra helyesek-e a törzsben leírtak

A C++ nyelv elemei

Függvények túlterhelése (ad-hoc polimorfizmus)

Azonos névvel bevezethetünk több függvényt, amíg az argumentumlistájukon keresztül egyértelműen elkülöníthetőek

```
double sq( double x){ return x*x; } //OK
```

```
int sq( int x){ return x*x; } //OK
```

```
double sq( int x){ return (double)x*x; } //Hiba!
```



Csak a visszatérési érték alapján nem lehet túlterhelni!
Ez a változat nem különíthető el a 2. változattól.

Tömbök

Ha sok egyforma elemet akarunk tárolni, akkor:

- Ha fordítási időben ismert, hogy hány elem kell, elférnek a stack-en és ez nem változik futásidőben se: [std::array](#) (C++11)
- Ha valamelyik nem teljesül: [std::vector](#)
- Utóbbihoz hasonló, kicsit több funkcionalitással: [std::valarray](#)

Műveletek tömbökön (illetve általánosságban: [tárolókon](#)):

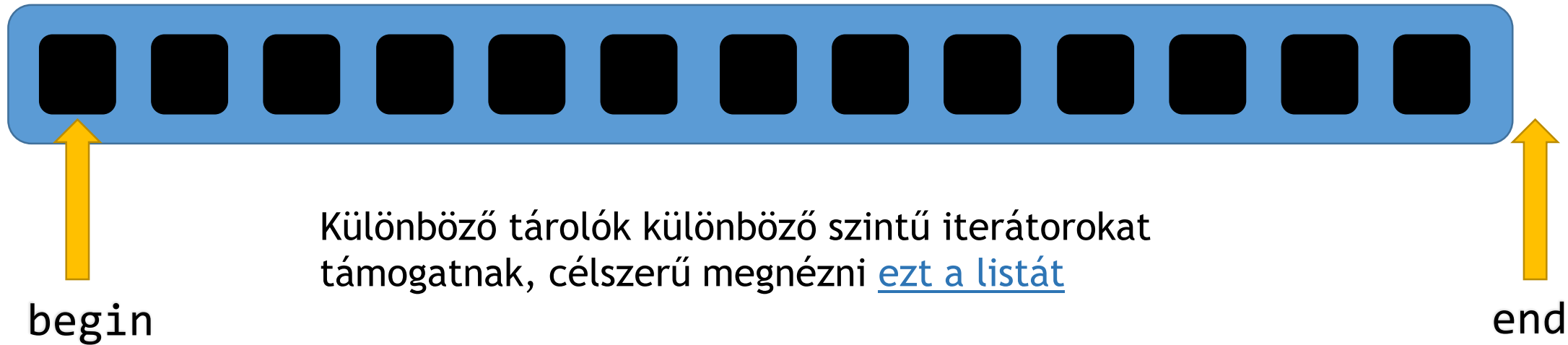
[Algoritmusok!](#)

A C++ rengeteg előre megírt algoritmussal érkezik, amik működése sok esetben testreszabható!

A C++ nyelv elemei

<u>all of, any of, none of (C++11)</u>	<u>copy, copy_if (C++11)</u>	<u>replace_copy, replace_copy_if</u>
<u>for_each</u>	<u>copy_n (C++11)</u>	<u>swap</u>
<u>for_each_n (C++17)</u>	<u>copy_backward</u>	<u>swap_ranges</u>
<u>count, count_if</u>	<u>move (C++11)</u>	<u>iter_swap</u>
<u>mismatch</u>	<u>move_backward (C++11)</u>	<u>reverse</u>
<u>equal</u>	<u>fill</u>	<u>reverse_copy</u>
<u>find, find_if, find_if_not (C++11)</u>	<u>fill_n</u>	<u>rotate</u>
<u>find_end</u>	<u>transform</u>	<u>rotate_copy</u>
<u>find_first_of</u>	<u>generate</u>	<u>random_shuffle, shuffle (until</u>
<u>adjacent_find</u>	<u>generate_n</u>	<u>C++17)(C++11)</u>
<u>search</u>	<u>remove, remove_if</u>	<u>sample (C++17)</u>
<u>search_n</u>	<u>remove_copy,</u>	<u>unique</u>
	<u>remove_copy_if</u>	<u>unique_copy</u>
<u>iota (C++11)</u>	<u>replace, replace_if</u>	
<u>accumulate</u>		<u>exclusive_scan (C++17)</u>
<u>inner_product</u>		<u>inclusive_scan (C++17)</u>
<u>adjacent_difference</u>		<u>transform_reduce (C++17)</u>
<u>partial_sum</u>		<u>transform_exclusive_scan (C++17)</u>
<u>reduce (C++17)</u>		<u>transform_inclusive_scan (C++17)</u>

A tömbök egyes elemeire iterátorokkal hivatkozunk. Ezek az indexek/pointererek általánosításai



Különböző tárolók különböző szintű iterátorokat támogatnak, célszerű megnézni [ezt a listát](#)

A konstrukció célja, hogy elválassza a tárolókat és az algoritmusokat egymástól! Így nem kell minden tárolóhoz minden algoritmust megírni, külön-külön.

C++ példák - négyzetösszeg számítás

```
#include <array>      // std::array
#include <numeric>    // std::iota, std::accumulate
#include <iostream>   // std::cout

int main()
{
    std::array<int, 5> values;

    std::iota( values.begin(), values.end(), 1);
    auto sum = std::accumulate( values.begin(),
                                values.end(),
                                0,
                                [](int a, int b){ return a+b*b; } );

    std::cout << "Sum is: " << sum << std::endl;
    return 0;
}
```

C++ példák - négyzetösszeg számítás

```
#include <array> // std::array
#include <numeric> // std::iota, std::accumulate
#include <iostream> // std::cout

int main()
{
    std::array<int, 5> values;

    std::iota( values.begin(), values.end(), 1);
    auto sum = std::accumulate( values.begin(),
                                values.end(),
                                0,
                                [](int a, int b){ return a+b*b; } );

    std::cout << "Sum is: " << sum << std::endl;
    return 0;
}
```

5 db `int`-et (előjeles egészt) tároló tömb a stack-en

C++ példák - négyzetösszeg számítás

```
#include <array> // std::array
#include <numeric> // std::iota, std::accumulate
#include <iostream> // std::cout

int main()
{
    std::array<int, 5> values;

    std::iota( values.begin(), values.end(), 1);
    auto sum = std::accumulate( values.begin(),
                                values.end(),
                                0,
                                [](int a, int b){ return a+b*b; } );

    std::cout << "Sum is: " << sum << std::endl;
    return 0;
}
```

std::iota: feltölt a megadott értéktől egyesével növekvő sorozattal egy tárolót.
Jelen esetben: 1, 2, 3, 4, 5

C++ példák - négyzetösszeg számítás

```
#include <array> // std::array
#include <numeric> // std::iota, std::accumulate
#include <iostream> // std::cout

int main()
{
    std::array<int, 5> values;

    std::iota( values.begin(), values.end(), 1);
    auto sum = std::accumulate( values.begin(),
                                values.end(),
                                0,
                                [](int a, int b){ return a+b*b; } );

    std::cout << "Sum is: " << sum << std::endl;
    return 0;
}
```

A begin, end a tömb elejét és utolsó utáni elemét jelenti, 1-el kezdődik a feltöltés.



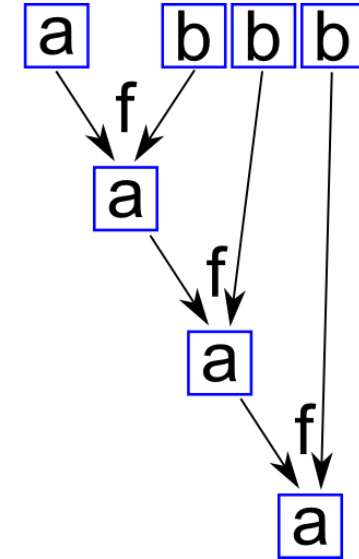
C++ példák - négyzetösszeg számítás

```
#include <array> // std::array
#include <numeric> // std::iota, std::accumulate
#include <iostream> // std::cout

int main()
{
    std::array<int, 5> values;

    std::iota( values.begin(), values.end(), 1);
    auto sum = std::accumulate( values.begin(),
                                values.end(),
                                0,
                                [](int a, int b){ return a+b*b; } );

    std::cout << "Sum is: " << sum << std::endl;
    return 0;
}
```



Az `std::accumulate` valamilyen összegzést, redukciót hajt végre elemeken.

Itt most 0-tól kezdve négyzetösszeget számol.

Tipikusan C-ben a négyzetösszeget, valahogy így írná az ember:

```
int arr[5] = {1, 2, 3, 4, 5};  
int sqsum = 0;  
for(int i=0; i<4; i++)  
{  
    sqsum += arr[i]*arr[i];  
}
```

Azonban sok a hibalehetőség!

Tipikusan C-ben a négyzetösszeget, valahogy így írná az ember:

```
int arr[5] = {1, 2, 3, 4, 5};  
int sqsum = 0;  
for(int i=0; i<4; i++)  
{  
    sqsum += arr[i]*arr[i];  
}
```

Jó a ciklus változó típusa?
Jó értékről indul a ciklus?
És a vége is jó? Meg a léptetés is?

Mindenütt jó indexet használtunk a jó tömbhöz?
Hova kapjuk az eredményt?
Minden jól lett inicializálva?

Az előzőeken kicsit segít az új ciklus konstrukció C++11 óta:
[range-based for loop](#):

```
int arr[5] = {1, 2, 3, 4, 5};  
int sqsum = 0;  
for(auto const& x : arr)  
{  
    sqsum += x*x;  
}
```

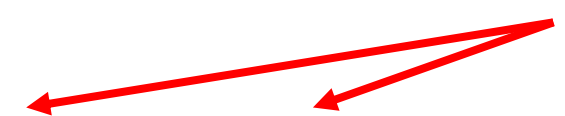
Ez a konstrukció a beépített tömbökkel és minden olyan típusal is működik, aminek van `begin()` és `end()` függvénye.

C++17-ben további fejlesztések érkeznek ide is...

A függvényeknél a legegyszerűbb paraméter átadás, ha nem írunk ki semmi extrát, csak a típust, ilyenkor lokális másolat jön létre az argumentumokból:

```
auto addSq(double x, double y){ ... }
```

Lokális másolatok!



Ha valami nagy adatunk van, nem szeretnénk lemásolni...

Több lehetőségünk is van:

- | | |
|---|---|
| <code>auto f(BigObject* x)</code> | Átadás "csupasz" hivatkozással Nem ajánlott! |
| <code>auto f(BigObject& x)</code> | Átadás referenciával <i>ajánlott!</i> |
| <code>auto f(std::shared_ptr<BigObject> x)</code> | "Okos" pointer (C++11) (van némi költsége) |

A referencia igazából egy mutató, pointer, de szemantikailag sokkal megszorítottabb nem lehet null, vagy inicializálatlan, nem lehet aritmetikát végezni rajta, vagy módosítani, stb.

A C++ nyelv elemei

Constness, megváltoztathatatlanság:

Ha egy változót csak olvasni akarunk, de módosítani nem, akkor jelöljük meg `const`-al

```
auto f(const BigObject& x)
```

Nem módosítható referencia *ajánlott!*

```
auto f(BigObject * x)
```

Módosítható az objektum is és a pointer is

```
auto f(BigObject const* x)
```

Nem módosítható az objektum, de a pointer igen

```
auto f(BigObject * const x)
```

Módosítható az objektum, de a pointer nem

```
auto f(BigObject const* const x)
```

Egyik sem módosítható

Érték kategóriák: (C++11 óta)

- L-érték: bármilyen érték, ami névhez van kötve, értékül lehet adni neki (baloldalán állhat az =-jelnek), van címe a memóriában
- Tiszta r-érték: átmeneti, még ***nem névhez kötött!***
Pl.: egy leírt érték a kódban, vagy egy visszatérési érték függvény hívásból
Nincs címe a memóriában, csak az = jel jobboldalán állhat
- X-érték: megszűnő (eXpiring) érték, ***nincs névhez kötve!***
Nincs címe a memóriában, csak az = jel jobboldalán állhat
Pl.: függvények, amik r-érték referenciát adnak vissza, static cast (explicit átalakítás) r-érték referenciává, x-érték objektumok elemei
- Gl-value: L-value + X-value → a `const&`-t váró függvényeket preferálják
- R-value: X-value + Pure R-value → inkább a `&&`-t váró függvényeket preferálják a `const&` helyett:

A C++11 bevezetett egy újfajta referenciát, az r-érték referenciát.

`auto f(BigObject&& x)`

Ez azt fejezi ki, hogy a függvény átveszi a tulajdonjogot az objektum felett, a hívó oldalon már nem használhatja / tulajdonolhatja senki. ez általában csak egy pointer cserét jelent

Hívó oldal:

`BigObject bo = ...;`

`auto result1 = f(std::move(bo));`

`auto result2 = f(makeBigObject(...));`

Itt expliciten átadjuk a tulajdonjogot a függvénynek

Ugyan ez történik, ha az objektum egyik fv hívásból a másikba kerül át

Ökölszabályok, hogy mikor milyen átadást érdemes használni:

- `auto f(Object x)` Ha az objektum kicsi (mondjuk \leq regiszter méret), vagy kifejezetten másolat kell
- `auto f(Object* x)` Soha
kivéve ha könyvtár fejlesztők vagyunk, és tisztában vagyunk azzal, mit csinálunk
- `auto f(std::shared_ptr<Object> x)` Ha meg akarunk osztani egy objektumot a program többi részével, ami esetleg null is lehet
- `auto f(BigObject & x)` Ha mindenképp módosítani akarjuk a külső példányt
- `auto f(BigObject const& x)` Ha nem akarjuk módosítani a külső példányt
- `auto f(BigObject && x)` Ha át akarjuk venni a tulajdonjogot a megkapott példányra

Névterek: a típusok, függvények csoportosításának eszközei

```
namespace math
{
    int f(int x);
}
```

```
int g(int x)
{
    using namespace math;
    return f(x);
}
```

```
int g(int x)
{
    return math::f(x);
}
```

A C++ nyelv elemei

Névterek: a típusok, függvények csoportosításának eszközei

```
namespace math
```

```
{  
    int f(int x);  
}
```

← Új névtér bevezetése / folytatása
elemei a { }-ben levő azonosítók, most pl. f

```
int g(int x)  
{  
    using namespace math;  
    return f(x);  
}
```

```
int g(int x)  
{  
    return math::f(x);  
}
```

Névterek: a típusok, függvények csoportosításának eszközei

```
namespace math
```

```
{  
    int f(int x);  
}
```

Egy másik helyen úgy használhatjuk, hogy vagy a teljes { } blokkba `using`-al láthatóvá tesszük

```
int g(int x)  
{  
    using namespace math;  
    return f(x);  
}
```

```
int g(int x)  
{  
    return math::f(x);  
}
```

A C++ nyelv elemei

Névterek: a típusok, függvények csoportosításának eszközei

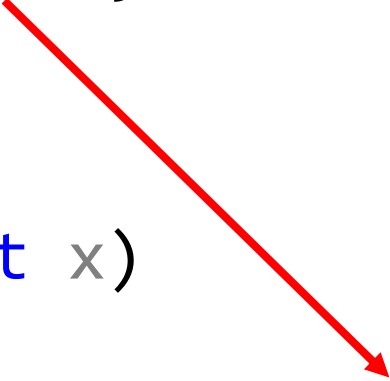
```
namespace math
```

```
{  
    int f(int x);  
}
```

```
int g(int x)  
{  
    using namespace math;  
    return f(x);  
}
```

Vagy expliciten kiírjuk

```
int g(int x)  
{  
    return math::f(x);  
}
```



Egymásba ágyazott névtéreket egyszerűbbekkel helyettesíthetünk:

```
namespace fs = std::experimental::filesystem;
```


Struktúrák, az objektum orientált programozási építőkövei:

Összemosnak pár dolgot

- Új típust vezetnek be
- Változók és az őket gyakran használó függvények csoportja
- Kombinálhatóság öröklésen keresztül
([subtyping](#) polimorfizmus, akár dinamikusan is: virtuális függvények)
- Inicializálási és felszabadítási logika
([RAII](#), [konstruktorok](#), [destruktorok](#))
- Névtér

Az osztályok (classok) erre csupán [hozzáférési korlátozásokat](#) raknak rá.

Objektum:

Egy új típus adattagokkal, tagfüggvényekkel, tagtípusokkal...

```
struct Circle
{
    double r;

    double area(){ return r*r*3.1415; }
};
```

A C++ nyelv elemei

Objektum:

Egy új típus adattagokkal, tagfüggvényekkel, tagtípusokkal...

kulcsszó: [struct or class](#)
struct **Circle** ← Az új típus neve
 {
 double r; ← Adattagok deklarációi
 double area(){ **return** r*r*3.1415; }
 }; ← Tagfüggvények

A C++ nyelv elemei

Ennek az objektumnak egy példánya a *stack*-en létrehozva az új C++11-es [inicializálással](#):

```
Circle c{2.0};
```

A tagváltozók, tagfüggvények ekkor "."-al érhetőek el:

```
auto R = c.r;
```

```
auto A = c.area();
```

Ugyan ez a típus a *heap* -en létrehozva:

```
#include <memory>
std::shared_ptr<Circle> c =
    std::make_shared<Circle>(Circle{2.});
```

Ekkor a tagok így érhetőek el:

```
auto R = c->r;
auto A = c->area();
```

Bővebben lásd:

[std::shared_ptr](#) (C++11)
[std::make_shared](#) (C++11)

Ne használjunk csupasz `new`-t, mert könnyű elrontani!

Konstruktorok, Destruktorok:

Speciális függvények, melyek az objektumok létrehozását és felszabadítását kezelik le:

- Konstruktorok: új objektum létrehozása
 - Alapértelmezett (default) konstruktor (nincs argumentuma)
 - Másoló (copy) konstruktor
 - Move konstruktor
- Destruktor: az objektum megsemmisítése (nincs argumentuma)

A konstruktorok és destruktorkok fontos sarokpontjai a nyelvnek

A nyelv erős garanciákat ad ezeknek a jól definiált sorrendben törénő mindenkori végrehajtására

Erre épül a [RAII](#) technika, amit az STL számos helyen használ:

- Dinamikus memória, file kezelés, okos pointerok, mutex lockok (l. később)

Ezért nem kell pl. [garbage collection](#) alapú memória kezelés, ami hozzájárul a nyelv gyorsaságához...

Konstruktorok és destruktorkok:

Amíg csak primitív típusokat és könyvtárakból származó objektumokat használunk, addig általában nem kell ezekkel foglalkozni, a fordító legenerálja a megfelelő függvényeket:

```
struct Circle
```

```
{  
    std::array<double, 2> position;  
    double r;  
};
```

```
Circle c{ {{2., 5.}}, 2.5 };  
Circle c2; c2 = c;
```

Továbbra is [list initialization](#) (C++11)

Konstruktorok és destruktorkok:

Ha valami összetettebb működés kell, pl. ha az objektum birtoklást fejez ki (pl. egy memóriára) akkor a [három/öt/nulla](#) szabályt érdemes ismerni.

```
struct Vector
{
    size_t n;
    float* data;
};
```

Konstruktorok és destruktorok:

A legáltalánosabb esetben ezeket kellhet megírni:

```
struct Vector
```

```
{
```

```
    Vector()
```

Default konstruktor

```
    Vector( Vector const& cpy );
```

Copy konstruktor

```
    Vector( Vector && mv );
```

Move konstruktor (C++11)

```
    Vector& operator=( Vector const& cpy );
```

Értékadás másolással

```
    Vector& operator=( Vector && mv );
```

Értékadás mozgatással
(C++11)

```
    ~Vector();
```

Destruktor

```
}
```

Új típus nevek bevezetése már meglévő típusokra:

```
typedef Vector Vec;
```

Szinonima, nem lehet generikus

```
using Vec = Vector;
```

Szinonima, C++11 óta
ez lehet generikus is (l. később)

A C++ nyelv elemei

Egy beágyazott típust `::`-al lehet elérni:

```
struct Vector
{
    size_t n;
    float* data;
    using elem_type = float;
};
```

```
Vector::elem_type x = 1.4142f; //equivalent to:
                               //float x = 1.4142;
```

Vektor példa

Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

```
struct Vector2
{
    std::array<float, 2> elems;
    float& operator[](int i) { return elems[i]; }
    const float& operator[](int i) const { return elems[i]; }

    Vector2 & operator+=( const Vector2 & v )
    {
        elems[0] += v.elems[0]; elems[1] += v.elems[1];
        return *this;
    }
};
```


Vektor példa

Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

Fordítási időben ismert számú elem, tehát `std::array`

```
struct Vector2
{
    std::array<float, 2> elems;
    float& operator[](int i) { return elems[i]; }
    const float& operator[](int i) const { return elems[i]; }

    Vector2& operator+=( const Vector2& v )
    {
        elems[0] += v.elems[0]; elems[1] += v.elems[1];
        return *this;
    }
};
```

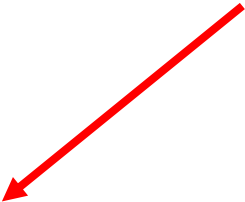


Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

```
struct Vector2
```

```
{  
    std::array<float, 2> elems;  
    float& operator[](int i) { return elems[i]; }  
    const float& operator[](int i) const { return elems[i]; }  
  
    Vector2& operator+=( const Vector2& v )  
    {  
        elems[0] += v.elems[0]; elems[1] += v.elems[1];  
        return *this;  
    }  
};
```

Hozzáférés az elemekhez: a [] operátor
(kötelezően csak 1 intet várhat)



Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

```
struct Vector2
```

```
{  
    std::array<float, 2> elems;  
    float& operator[](int i) { return elems[i]; }  
    const float& operator[](int i) const { return elems[i]; }  
  
    Vector2& operator+=( const Vector2& v )  
    {  
        elems[0] += v.elems[0]; elems[1] += v.elems[1];  
        return *this;  
    }  
};
```

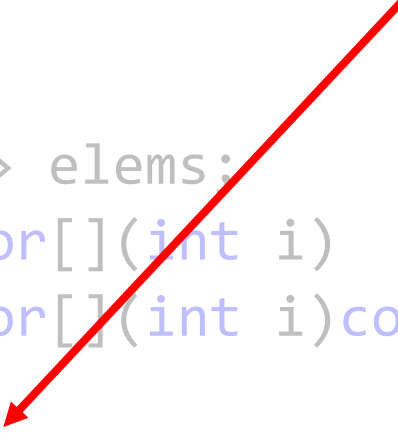
Általában két változat kell belőle:
az elsőn keresztül írni lehet a kiválasztott
elemet, a másodikon keresztül csak olvasni

Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

```
struct Vector2
```

```
{  
    std::array<float, 2> elems;  
    float& operator[](int i) { return elems[i]; }  
    const float& operator[](int i) const { return elems[i]; }  
  
    Vector2& operator+=( const Vector2& v )  
    {  
        elems[0] += v.elems[0]; elems[1] += v.elems[1];  
        return *this;  
    }  
};
```

Hozzáadás operátor: referenciát ad vissza, hogy ilyet is írassunk: (u += v1) += v2



Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

```
struct Vector2
```

```
{
```

```
...
```

```
Vector2& operator*=( const float& c )
```

```
{
```

```
    elems[0] *= c; elems[1] *= c;
```

```
    return *this;
```

```
}
```

```
};
```

Hasonlóan megírhatjuk a szorzás műveletet is



Elemezzük, hogy hogyan épül fel egy 2 elemű vektor osztály:

```
struct Vector2
```

```
{
```

```
    ...
```

```
    float length() const
```

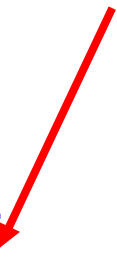
```
{
```

```
        return std::sqrt(elems[0]*elems[0]+  
                           elems[1]*elems[1]);
```

```
    }
```

```
};
```

Ha olyan tagfüggvényt írunk, ami nem változtat meg semmit, csak olvas, akkor az mindig legyen `const`!



Néhány hasznos külső függvény:

```
struct Vector2{ ... };
```

```
Vector2 operator+(const Vector2& v1, const Vector2& v2)  
{  
    return Vector2{ { { v1[0]+v2[0], v1[1]+v2[1] } } };}
```

Összeadás operátor:

Ez értéket ad vissza!

Az inicializáláskor a belső `std::array`-ban levő nyelvi tömböt inicializáljuk, ezért kell tripla `{{{}}}`

Néhány hasznos külső függvény:

```
struct Vector2{ ... };
```

Skalárral szorzás operátor a két oldalról:
Mind két lehetőséget külön be kell vezetni!

```
Vector2 operator*(const Vector2& v, const float& c) ←  
{  
    return Vector2{ { { v[0]*c, v[1]*c } } };}
```

```
Vector2 operator*(const float& c, const Vector2& v,)  
{  
    return Vector2{ { { c*v[0], c*v[1] } } };}
```

Megjegyzés a C++ beépített matematikai funkcióiról:

Ami van:

- Aritmetika a beépített típusokon ([int](#), [float](#), [double](#), ...)
- Néhány gyakori és speciális függvény
(a teljes lista [itt](#), C++11-ben bővült, és C++17-ben [tovább bővül majd](#))
- Van [complex](#) adattípus, aritmetikával és spec függvényekkel (ezt is kiterjesztették C++11-ben)
- Fordítási idejű [racionális tört aritmetika](#) (C++11-óta)
- [Véletlenszám-generátorok](#) (C++11-óta)
Egy fizikus tervezte☺: több különböző generátor, amik számos gyakori eloszlás mintavételezésére használhatóak.

Megjegyzés a C++ beépített matematikai funkcióiról:

Ami nincs:

- Normális vektor/mátrix/több dimenziós tömb/tenzor struktúrák

Ilyesmiket a boost-ban ([math](#) alkönyvtárak, [multi-array](#)), vagy más könyvtárakban érdemes keresni.

- Lineáris algebra rutinok

Ezekre is külső könyvtárak, pl.: [eigen](#), [armadillo](#)

A C++ egyik legfontosabb nyelvi szolgáltatása a templatek (sablonok)

A templatek sablonok, bennük helyőrzőkkel azaz kitöltendő paraméterekkel

Amikor használjuk ezeket, meg kell adnunk, hogy mivel szeretnénk kitölteni a helyőrzőket.
Ez a lépés a példányosítás (*instantiation*)

Miután ez megtörtént, a keletkező kód átmegy a típusellenőrzésen és fordításon pont úgy, mintha kézzel írta volna a fejlesztő.

Ez egy osztály sablon (class template):
(annak ellenére, hogy ez struct, de kb. ugyan azok)

```
template<typename T>
struct Circle
{
    T r;
    T area() const { return r*r*3.14; }
};
```

Ez egy osztály sablon (class template):
(annak ellenére, hogy ez struct, de kb. ugyan azok)

```
template<typename T>
struct Circle
{
    T r;
    T area() const { return r*r*3.14; }
};
```

Két példányosítása pedig:

```
Circle<float> c1;
Circle<double> c2;
```

C++ templatek

Ez egy osztály sablon (class template):
(annak ellenére, hogy ez struct, de kb. ugyan azok)

```
template<typename T>
struct Circle
{
    T r;
    T area() const
    {
        return r*r*3.14;
    }
};
```

```
struct Circle
{
    float r;
    float area() const
    {
        return r*r*3.14;
    }
};
```

```
struct Circle
{
    double r;
    double area() const
    {
        return r*r*3.14;
    }
};
```

Két példányosítása pedig:

```
Circle<float> c1;
Circle<double> c2;
```

Ezek teljesen ekvivalens kódot eredményeznek ezekkel a fenti "kézzel írt" változatokkal

Függvények is lehetnek templatek:

```
template<typename T>  
T sq(T const& x){ return x*x; }
```

Amelyek használatánál nem kell kiírni a template paramétereket, ha egyértelműen kitalálhatóak ([template argument deduction](#)):

```
double sq10 = sq(10.0);
```

A függvény templatek és a referenciák együtt egy további hasznos elemet képeznek:

Sok esetben kellene függvény kódot duplikálni csak azért, mert `const&` és `&&` esetben is működnie kellene.

A legegyszerűbb példa a perfect forwarding probléma:


Hogyan írjunk olyan függvényt, ami megtartja az argumentum érték kategóriáját, amikor továbbadja?

```
template<typename T>
auto foo( T ??? t )
{
    return bar( t ??? );
}
```

Hogyan írjunk olyan függvényt, ami megtartja az argumentum érték kategóriáját?

```
template<typename T>
auto foo( T&& t )
{
    return bar( std::forward<T>(t) );
}
```

A bar függvény most úgy kapja meg t-t, ahogy foo:
Ha `const&` volt, akkor `bar(const&)`-et hívja,
Ha `&&` volt, akkor `bar(T&&)`-t.
Bővebben: [itt](#)



C++14-óta változók is lehetnek templatek:

```
template<typename T>  
const T pi = T(3.1415926535897932385);
```

Itt meg kell adni a paramétert:

```
double sqpi = sq( pi<double> );
```


C++ templatek

A templateknek nem csak típus paraméterei lehetnek, hanem nem-típus paraméterek is: pl.: egész számok, amire példa az `std::array`:

```
template<typename T, int size> struct array
{
    T data[size];
};
```

```
array<float, 4> A;
```

A templatek specializálhatóak is

(újabb ad-hoc polimorfizmus, de ez most fordítás idejű!)

Alap (base) template

```
template<typename T>
struct Circle
{
    T r;
    T area() const
    { return r*r*3.14; }
};
```

Specializáció `int`-re:

```
template<>
struct Circle<int>
{
    int r;
    double area() const
    { return (r*r)*3.14; }
};
```

Példa a template specializáció alkalmazására:

```
template<bool B, typename T = void>  
struct enable_if {};
```

```
template<class T>  
struct enable_if<true, T> { using type = T; };
```



Ennek a struktúrának csak akkor van belső `type` típusa, ha az első paraméter `true`.

C++ templatek

SFINAE

SFINAE - A történelem legrosszabb betűszava...

SFINAE - Substitution Failure Is Not An Error

SFINAE - [Substitution Failure Is Not An Error](#)

Amikor template példányosítás történik, a lehetséges eseteket végig nézi a fordító, hogy melyik illik a megadott paraméterekre.

Ha bizonyos behelyettesítések érvénytelen kódot eredményeznének, akkor nem fordítási hiba lesz, csak csöndben eldobódik az adott eset.

Példa a template specializáció alkalmazására:

```
template <typename T,  
         typename Checker = void>  
struct Matrix  
{...};
```


```
template <typename T>  
struct Matrix<T, typename enable_if<is_noncommutative<T>::value>::type>  
{...};
```


Példa a template specializáció alkalmazására:

```
template <typename T,  
         typename Checker = void>  
struct Matrix  
{...};
```

`is_noncommutative` lehetne egy ugyan olyan template, mint az `enable_if`, de ez egy `bool` value tagváltozót tartalmaz, ha a `T` argumentum egy nem-kommutatív algebrát jelöl. A `Matrix` ekkor specializálható erre az esetre, de továbbra is csak az első paramétert kell megadni.

```
template <typename T>  
struct Matrix<T, typename enable_if<is_noncommutative<T>::value>::type>  
{...};
```



Kifejezés (expression) SFINAE (C++11)

```
template<typename T> struct Circle
{
    T r;
    T area() const { return r*r*3.14; }
};
```

```
struct SomeShape
{
    double area;
};
```

```
template<typename T> struct Circle  
{  
    T r;  
    T area() const { return r*r*3.14; }  
};
```

Itt area egy függvény!

```
struct SomeShape  
{  
    double area;  
};
```

Itt area egy változó!

```
template<typename S>
auto getArea( S shape )->decltype( shape.area() )
{
    return shape.area();
}
```

```
template<typename S>
auto getArea( S shape )->decltype( +shape.area )
{
    return shape.area;
}
```

```
template<typename S>  
auto getArea( S shape )->decltype( shape.area() )  
{  
    return shape.area();  
}
```

`decltype` egy C++11-ben bevezetett operátor, ami meghatározza a zárójelben álló kifejezés típusát.

```
template<typename S>  
auto getArea( S shape )->decltype( +shape.area )  
{  
    return shape.area;  
}
```


```
template<typename S>
auto getArea( S shape )->decltype( shape.area() )
{
    return shape.area();
}
```

Ez csak függvényekre érvényes kifejezés



```
template<typename S>
auto getArea( S shape )->decltype( +shape.area )
{
    return shape.area;
}
```

Ez csak változókra érvényes kifejezés



```
template<typename S>  
auto getArea( S shape )->decltype( shape.area() )  
{  
    return shape.area();  
}
```

getArea(Circle<float>{1.0})
ezt hívja, mert Circle-ben area() függvény van

```
template<typename S>  
auto getArea( S shape )->decltype( +shape.area )  
{  
    return shape.area;  
}
```

getArea(SomeShape{1.0})
ezt hívja, mert SomeShape area egy változó

Ez (expression) SFINAE segítségével általános függvényeket/struktúrákat specializálhatunk az alapján, hogy adott műveletek értelmesek-e a típus paramétereiken

Paramétercsomagok

Paramétercsomagok

Számos esetben szeretnénk általánosítani műveleteket tetszőleges számú argumentumra.

Pl.: hogyan írjunk olyan függvényt, ami összeadja az összes argumentumát?

```
auto x = sum(1, 2, 3, 4);
```

C++11 óta lehetséges template paraméter csomagokat bevezetni:

```
template<typename... Ts> auto func(Ts... ts);
```

C++11 óta lehetséges template paraméter csomagokat bevezetni:

```
template<typename... Ts> auto func(Ts... ts);
```

Itt a ... miatt nem egyetlen paramétert vezetünk be, hanem **Ts** lehet 0, 1, 2, 3, ... darab típus

És ennek megfelelően **ts** lehet 0, 1, 2, 3, ... darab argumentum

C++ templatek

Pl.: hogyan írjunk olyan függvényt, ami összeadja az összes argumentumát?

```
template<typename T>  
auto sum(T x){ return x; }
```

```
template<typename T1,  
         typename T2, typename... Ts>  
auto sum(T1 x1, T2 x2, Ts... xs)  
{  
    return sum(x1+x2, xs...);  
}
```

Pl.: hogyan írjunk olyan függvényt, ami összeadja az összes argumentumát?

```
template<typename T>
```

```
auto sum(T x){ return x; }
```



Ha egyetlen elemet akarunk összegezni,
akkor az maga az elem

```
template<typename T1,  
        typename T2, typename... Ts>
```

```
auto sum(T1 x1, T2 x2, Ts... xs)
```

```
{
```

```
    return sum(x1+x2, xs...);
```

```
}
```

Pl.: hogyan írjunk olyan függvényt, ami összeadja az összes argumentumát?

```
template<typename T>  
auto sum(T x){ return x; }
```

Ha legalább 2 elemünk van, akkor azt a kettőt összeadhatjuk, majd az eredményt és a maradékot újra szummázzuk

```
template<typename T1,  
         typename T2, typename... Ts>  
auto sum(T1 x1, T2 x2, Ts... xs)  
{  
    return sum(x1+x2, xs...);  
}
```


Pl.: hogyan írjunk olyan függvényt, ami összeadja az összes argumentumát?

```
template<typename T>  
auto sum(T x){ return x; }
```

Ez a szétválasztása az argumentumoknak kijelölt és csomagban levőkre csak akkor működik, ha a paraméter csomag az utolsó argumentuma a függvénynek!!!

```
template<typename T1,  
        typename T2, typename... Ts>  
auto sum(T1 x1, T2 x2, Ts... xs)  
{  
    return sum(x1+x2, xs...);  
}
```

C++17-ben külön nyelvi elem lesz tetszőleges beépített operátorral való redukcióra. Az előző feladat akkor csupán ennyi lesz:

```
template<typename... Ts>  
auto sum(Ts... xs)  
{  
    return (xs + ...);  
}
```

A paraméter csomagokat osztály sablonokban is használhatjuk.

Típuspélda az [std::tuple](#) (C++11), amely akárhány, akármilyen típust képes tárolni:

```
template<typename... Ts>  
struct tuple{ ... };
```

A függvények csak 1 típust tudnak visszaadni, de az lehet összetett is, pl. egy [std::tuple](#):

```
std::tuple<int, int, double> f(int a, int b)
{
    return std::make_tuple(a, b, (double)a/(double)b);
}
```

Később egy [std::tie](#) segítségével értékül adhatjuk az eredményeket balérték referenciáknak...

A függvények csak 1 típust tudnak visszaadni, de az lehet összetett is, pl. egy [std::tuple](#):

```
std::tuple<int, int, double> f(int a, int b)
{
    return std::make_tuple(a, b, (double)a/(double)b);
}
```

Később egy [std::tie](#) segítségével értékül adhatjuk az eredményeket balérték referenciáknak:

```
int a, b;
double ratio;
std::tie(a, b, ratio) = f(14, 7);
```

C++17-ben már inicializációs listát is használhatunk ilyen esetekben:

```
std::tuple<int, int, double> f(int a, int b)
{
    return { a, b, (double)a/(double)b };
}
```

A template-k bevezetése számos esetben nagyon hosszadalmas. Azonban érdemes tudni, hogy a generikus lambda függvények (C++14) álruhás osztály template-k.

Ez a lambda: `[](auto x){ return x*x; }`

Ezzel a struktúra példánnyal ekvivalens:

```
struct Unnamed
{
    template<typename T>
    auto operator()(T x) const { return x*x; }
} unnamed;
```

A capture clause pedig igazából a struktúra tagjait listázza:

```
int x = 42; int y = 137;  
[x, p = &y](auto z){ return x*z + (*p); }; //C++14
```

Ekvivalens struct:

```
struct Unnamed  
{  
    int x; int* p;  
  
    template<typename T>  
    auto operator()(T z) const{ return x*z + (*p); }  
} unnamed{x, &y};
```


Egy általános n elemű vektor osztály kb. így festhet:

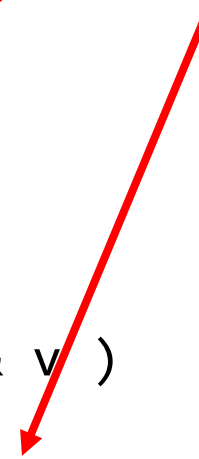
```
template<typename T, int n>
struct Vector
{
    std::array<T, n> elems;
    T& operator[](int i) { return elems[i]; }
    const T& operator[](int i) const { return elems[i]; }

    Vector<T, n>& operator*=( const T& c );
    Vector<T, n>& operator+=( const Vector<T, n>& v );
};
```

↑
És ezeket az operátorokat hogyan implementáljuk?

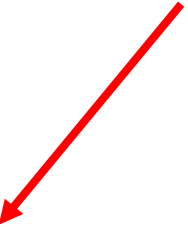
```
template<typename T, int n> struct Vector {  
    ...  
    Vector<T, n>& operator*=( const T& c )  
    {  
        for(int i=0; i<n; ++i){ elems[i] *= c; }  
        return *this;  
    }  
  
    Vector<T, n>& operator+=( const Vector<T, n>& v )  
    {  
        for(int i=0; i<n; ++i){ elems[i] += v[i]; }  
        return *this;  
    }  
};
```

Sokan írnának egy for-ciklust,
majd copy-pastelnék,
átírogatnák mindenhol a
megfelelő műveletre...



```
template<typename T, int n> struct Vector {  
    ...  
    Vector<T, n>& operator*=( const T& c )  
    {  
        //for(int i=0; i<n; ++i){ elems[i] *= c; }  
        std::for_each(elems.begin(), elems.end(), [&](T& l){ l *= c; });  
        return *this;  
    }  
};
```

Ahol lehet, használjunk algoritmusokat:



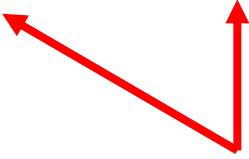
```
template<typename T, int n> struct Vector {  
    ...  
    Vector<T, n>& operator+=( const Vector<T, n>& v )  
    {  
        //for(int i=0; i<n; ++i){ elems[i] += v[i]; }  
        ???  
        return *this;  
    }  
};
```



Ha nincs megfelelő, ne féljünk írni egyet!

```
template<typename I1, typename I2, typename F>
void zipassign2(I1 it1begin, I1 it1end, I2 it2begin, F f)
{
    auto it1 = it1begin;
    auto it2 = it2begin;
    while(it1 != it1end)
    {
        *it1 = f(*it1, *it2);
        ++it1;
        ++it2;
    }
}
```

```
template<typename I1, typename I2, typename F>
void zipassign2(I1 it1begin, I1 it1end, I2 it2begin, F f)
{
    auto it1 = it1begin;
    auto it2 = it2begin;
    while(it1 != it1end)
    {
        *it1 = f(*it1, *it2);
        ++it1;
        ++it2;
    }
}
```



Első adatsor kezdő és vég iterátora

```
template<typename I1, typename I2, typename F>
void zipassign2(I1 it1begin, I1 it1end, I2 it2begin, F f)
{
    auto it1 = it1begin;
    auto it2 = it2begin;
    while(it1 != it1end)
    {
        *it1 = f(*it1, *it2);
        ++it1;
        ++it2;
    }
}
```



Másik adatsor kezdő iterátora

```
template<typename I1, typename I2, typename F>  
void zipassign2(I1 it1begin, I1 it1end, I2 it2begin, F f)  
{  
    auto it1 = it1begin;  
    auto it2 = it2begin;  
    while(it1 != it1end)  
    {  
        *it1 = f(*it1, *it2);  
        ++it1;  
        ++it2;  
    }  
}
```

A kétváltozós függvény, amit a párokra hattaní akarunk


```
template<typename T, int n> struct Vector {  
    ...  
    Vector<T, n>& operator+=( const Vector<T, n>& v )  
    {  
        //for(int i=0; i<n; ++i){ elems[i] += v[i]; }  
        zipassign2(elems.begin(), elems.end(),  
                  v.elems.begin(),  
                  [](auto x, auto y){ return x+y; });  
        return *this;  
    }  
};
```

```
template<typename T, int n> struct Vector {  
    ...  
    Vector<T, n>& operator+=( const Vector<T, n>& v )  
    {  
        //for(int i=0; i<n; ++i){ elems[i] += v[i]; }  
        zipassign2(elems.begin(), elems.end(),  
                  v.elems.begin(),  
                  std::plus<T>()//[(auto x, auto y){ return x+y; }]);  
        return *this;  
    }  
};
```

A gyakori műveletekre van [rövidítés](#)

A jelenlegi iterátor alapú megközelítés addig működik, amíg mindig megvan, hogy hova akarunk írni! (Ez az STL2-ben javulni fog a [range](#)-kkel)

Amíg egy fix méretű vektornál a globális operátorok esetén lista inicializációt írhatunk:

```
template<typename T>
Vector2<T> operator+( Vector2<T> const& u,
                     Vector2<T> const& v )
{ return Vector2<T>{ { {u.x+v.x, u.y+v.y } } }; }
```

...addig, ha algoritmust kell használnunk, akkor előre létre kell hoznunk az eredményt:

```
template<typename T, int n>
Vector<T, n> operator+( Vector<T, n> const& u,
                       Vector<T, n> const& v )
{
    Vector<T, n> res;
    std::transform(u.elems.begin(), u.elems.end(),
                  v.elems.begin(), res.elems.begin(),
                  std::plus<T>());
    return res;
}
```

...addig, ha algoritmust kell használnunk, akkor előre létre kell hoznunk az eredményt:

```
template<typename T, int n>
Vector<T, n> operator+( Vector<T, n> const& u,
                       Vector<T, n> const& v )
{
    Vector<T, n> res;
    std::transform(u.elems.begin(), u.elems.end(),
                  v.elems.begin(), res.elems.begin(),
                  std::plus<T>());
    return res;
}
```

Ez akkor hátrányos, ha itt dinamikus allokáció történik,

továbbá ha **T** bonyolult default konstrukciót hajt végre feleslegesen, mert a következő lépésben felülírjuk az eredményét a transformban...

Hogyan célszerű megírni a szorzás operátort?

```
template<typename T, int n, typename C>  
auto operator*( C const& c, Vector<T, n> const& v );
```

Hogyan célszerű megírni a szorzás operátort?

```
template<typename T, int n, typename C>  
auto operator*( C const& c, Vector<T, n> const& v );
```

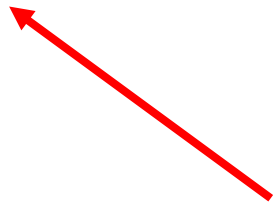


Ha külön típusnak hagyjuk a skalárt, akkor...

Hogyan célszerű megírni a szorzás operátort?

```
Vector<Vector<int, 2>, 2> q{ {-1, 1}, {3, 6} };  
Vector<Vector<int, 2>, 2> r{ {1, -2}, {5, 2} };
```

3 * q + r



...akkor ezek a kifejezések is automatikusan értelmesek lesznek

Speciális vektorműveletek: nem javasolt az operátor forma
mert félreértésekhez vezethet mind a felhasználó, mind a fordító szemszögéből

```
template<typename T, int n>
```

```
T dot( Vector<T, n> const& u, Vector<T, n> const& v )  
{ ... }
```

```
template<typename T>
```

```
Vector<T, 3> cross( Vector<T, 3> const& u, Vector<T, 3> const& v )  
{ ... }
```

```
template<typename T, int n>
```

```
Matrix<T, n, n> dyadic( Vector<T, n> const& u, Vector<T, n> const& v )  
{ ... }
```

Mátrix osztály:

Az indexeléshez nem használhatunk []-t, marad a ().

```
template<typename T, int m, int n>
```

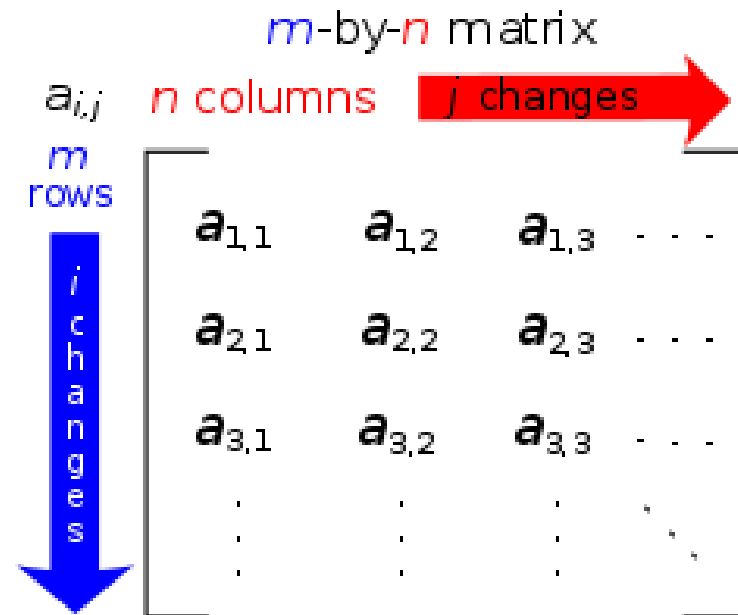
```
struct Matrix  
{
```

```
    std::array<T, m*n> elems;
```

```
    T& operator()(int row, int col) { return elems[row*n+col]; }
```

```
    T const& operator()(int row, int col) const { return elems[row*n+col]; }
```

```
};
```



std::initializer_list

Ha azonos elemek sokaságát kell átadni, pl. vektor vagy mátrix konstruktornak:

```
template<typename T, int n> struct Vector
{
    std::array<T, n> a;

    Vector( std::initializer_list<T> il )
    {
        std::copy(il.begin(), il.end(), a.begin());
    }
};

Vector<float, 2> v({2.0f, 3.0f});
Vector<float, 2> u = {2.0f, 3.0f};
```

Ha valamiért saját dinamikus memória kezelést kell írni, akkor erre egy példa:

```
template<typename T> class Vector
{
    T* data;    size_t sz;
public:
    Vector():data{nullptr}, sz{0}{}
    Vector( Vector const& other);
    Vector( Vector &&      other);
    Vector& operator=( Vector const& other);
    Vector& operator=( Vector &&      other);
    ~Vector(){ delete[] data; sz = 0; }
};
```

Ha valamiért saját dinamikus memória kezelést kell írni, akkor erre egy példa:

```
template<typename T> class Vector
{
    T* data;    size_t sz;
public:
    Vector():data{nullptr}, sz{0}{}
    Vector( Vector const& other);
    Vector( Vector &&      other);
    Vector& operator=( Vector const& other);
    Vector& operator=( Vector &&      other);
    ~Vector(){ delete[] data; sz = 0; }
};
```

Ha megengedünk default
konstruálást, az legyen mindig
minden null!
(pointerekre `nullptr` (C++11))

A fenti konstruktor valid ezzel
a destruktossal is, ugyanis a
`delete nullptr` nem csinál
semmit!

```
template<typename T> class Vector
{
    ...
    Vector( Vector const& other):data{new T[other.sz]},
        sz{other.sz}
    {
        std::copy(other.data, other.data+sz, data);
    }
};
```

Copy konstruktor:
Új memóriát foglalunk,
lemásoljuk a méretet,
majd az összes adatot átmásoljuk

```
template<typename T> class Vector
{
    ...
    Vector(Vector && other):data{nullptr},
                          sz{0}
    {
        std::swap(data, other.data); std::swap(sz, other.sz);
    }
};
```

Move konstruktor:

Nullázzuk a memóriát, és méretet,
majd megcseréljük mindkettőt a másik
vektorral, így a másik olyan lesz, mintha
default konstruáltak volna.


```
template<typename T> class Vector {  
    ...  
    Vector& operator=( Vector const& other)  
    {  
        if(data!=other.data) ← Másoló értékadás:  
                                Ki kell védeni, az önmagához adást!!!  
        {  
            delete[] data; sz = other.sz;  
            data = new T[sz];  
            std::copy(other.data, other.data+sz, data);  
        }  
        return *this;  
    }  
};
```

A többi ugyan az, mint a copy konstruktornál.

```
template<typename T> class Vector {  
    ...  
    Vector& operator=( Vector && other )  
    {  
        if(data!=other.data) ← Mozgató értékadás:  
                                Ki kell védeni, az önmagához adást!!!  
        {  
            delete[] data; data = nullptr; sz = 0;  
            std::swap(data, other.data); std::swap(sz, other.sz);  
        }  
        return *this;           A többi ugyan az, mint a move konstruktornál.  
    }  
};
```

Stream-ek, string-ek

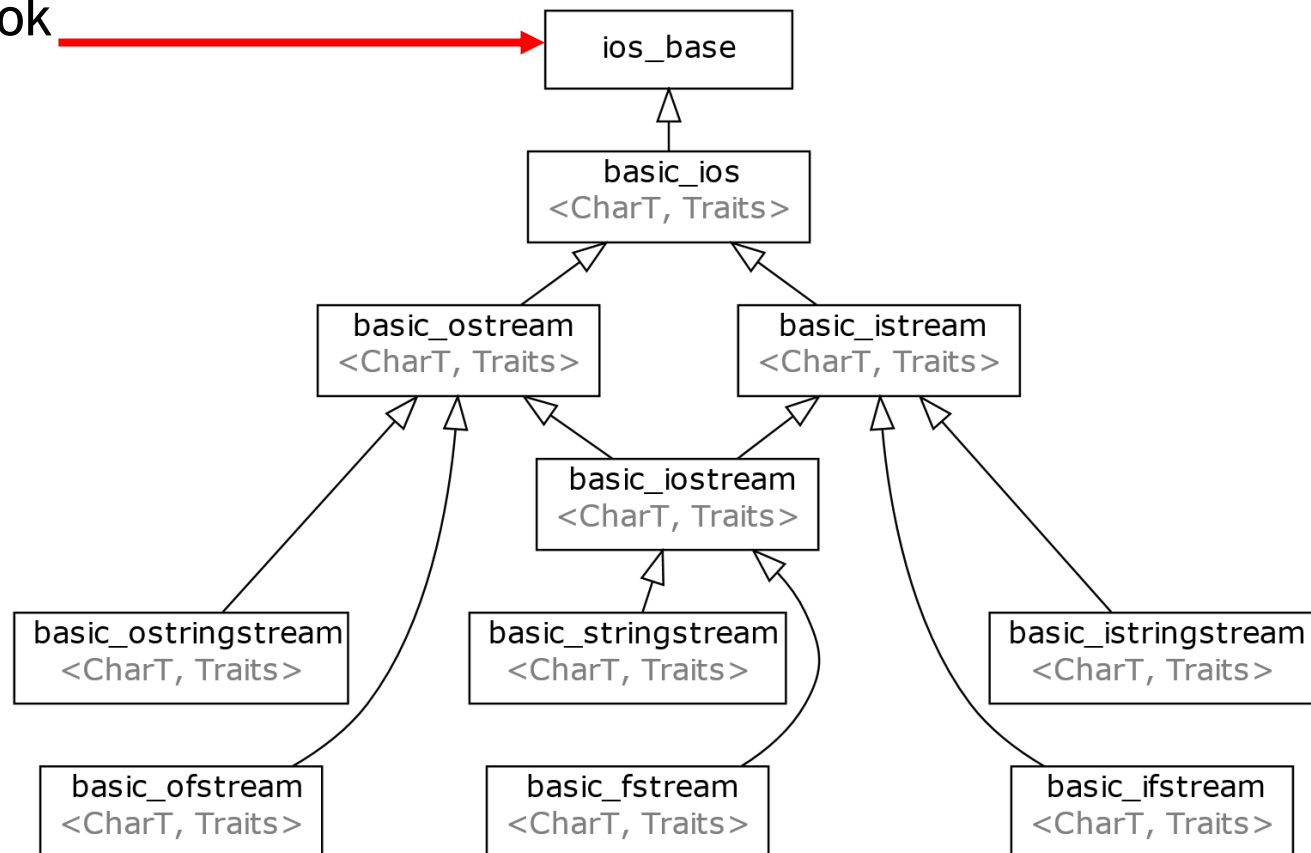
A stream-ek adatfolyamokat reprezentálnak, amik potenciálisan végtelenek is lehetnek és csak egy irányban írhatók és/vagy olvashatóak.

Példák:

- Fájlok
- Standard kimenet, bemenet, hiba
- Külső eszközök
- Hálózat

A C++ a ki/bemeneteket kezelő osztályok hierarchiája:

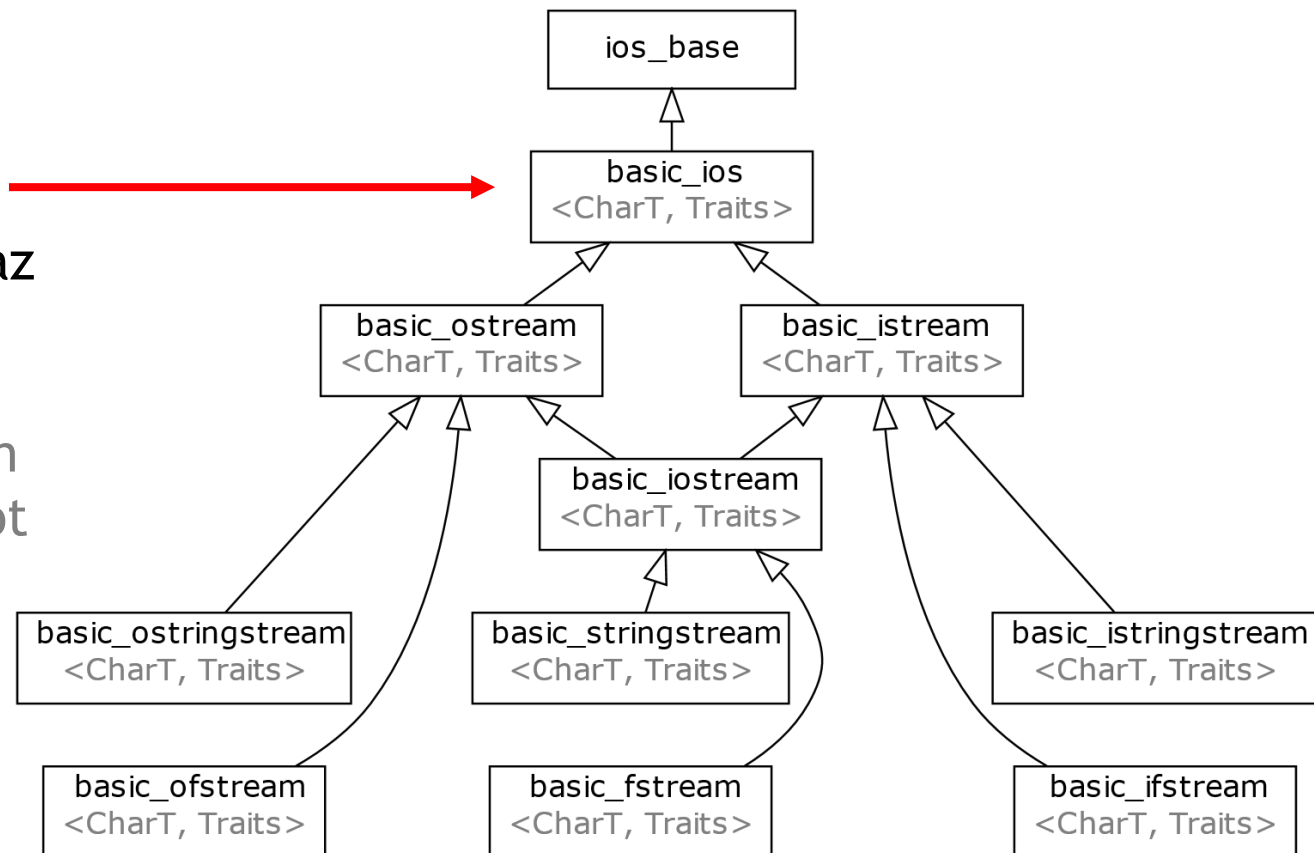
Az `ios_base` felelős a beépített típusok formázásáért és a stream hibaállapotainak kezeléséért



A C++ a ki/bemeneteket kezelő osztályok hierarchiája:

A `basic_ios` tartalmaz egy buffert (`std::basic_streambuf`), amibe átmenetileg tárolja a hozzá tartozó stream egy részét és számon tartja az írási, olvasási pozíciót benne.

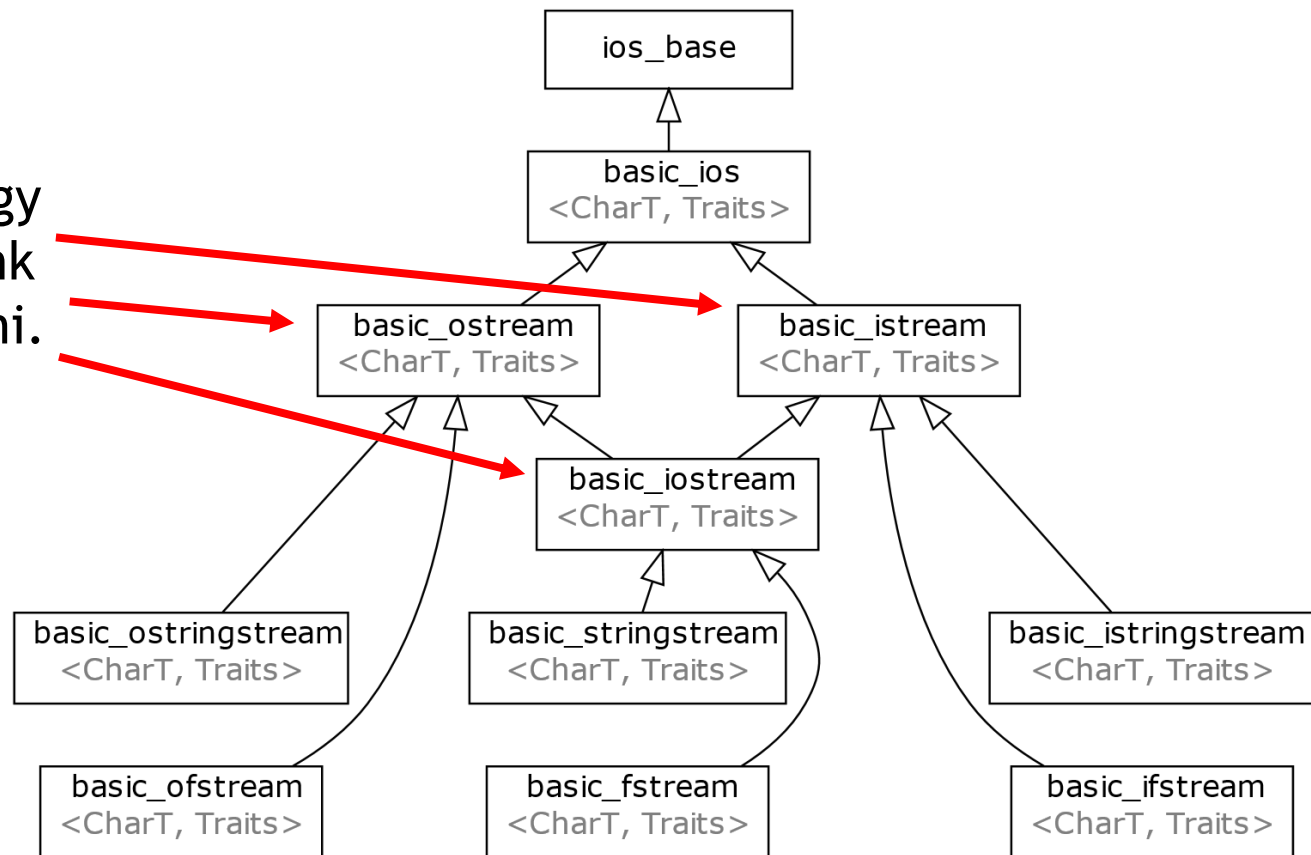
Maga a stream általában alacsony szintű operációs rendszer interfészen keresztül éri el a fizikai adatfolyamot



A C++ a ki/bemeneteket kezelő osztályok hierarchiája:

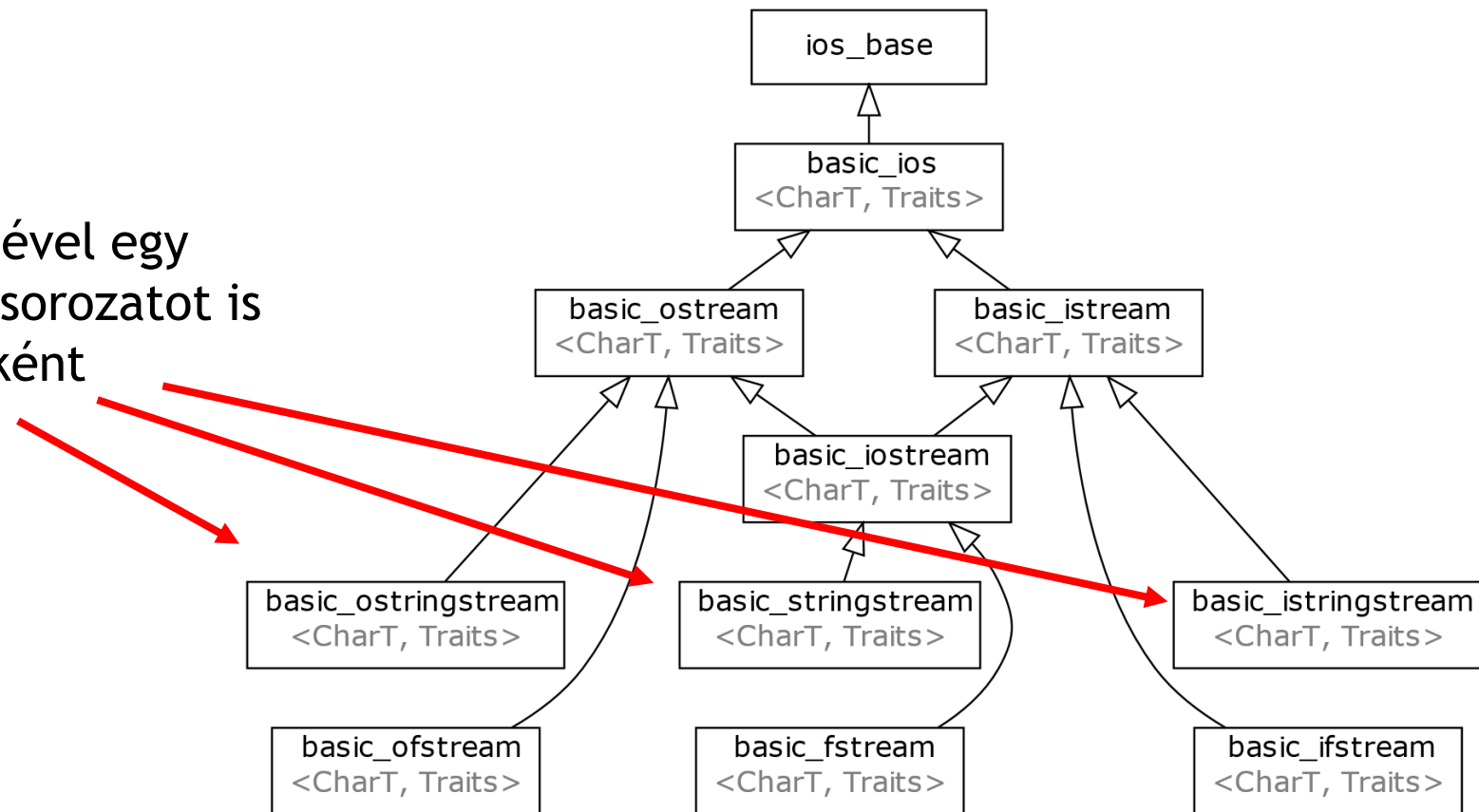
A `basic_i/o/iostream` objektum teszi elérhetővé azokat a magasszintű műveleteket, amikkel formázott, vagy formázatlan (bináris) adatokat tudunk a streamekbe írni, vagy onnan olvasni.

Ez adja az ismerős `>>` és `<<` operátorokat is, illetve az új túlterheléseket ezzel a típussal kell bevezetni (példák később).



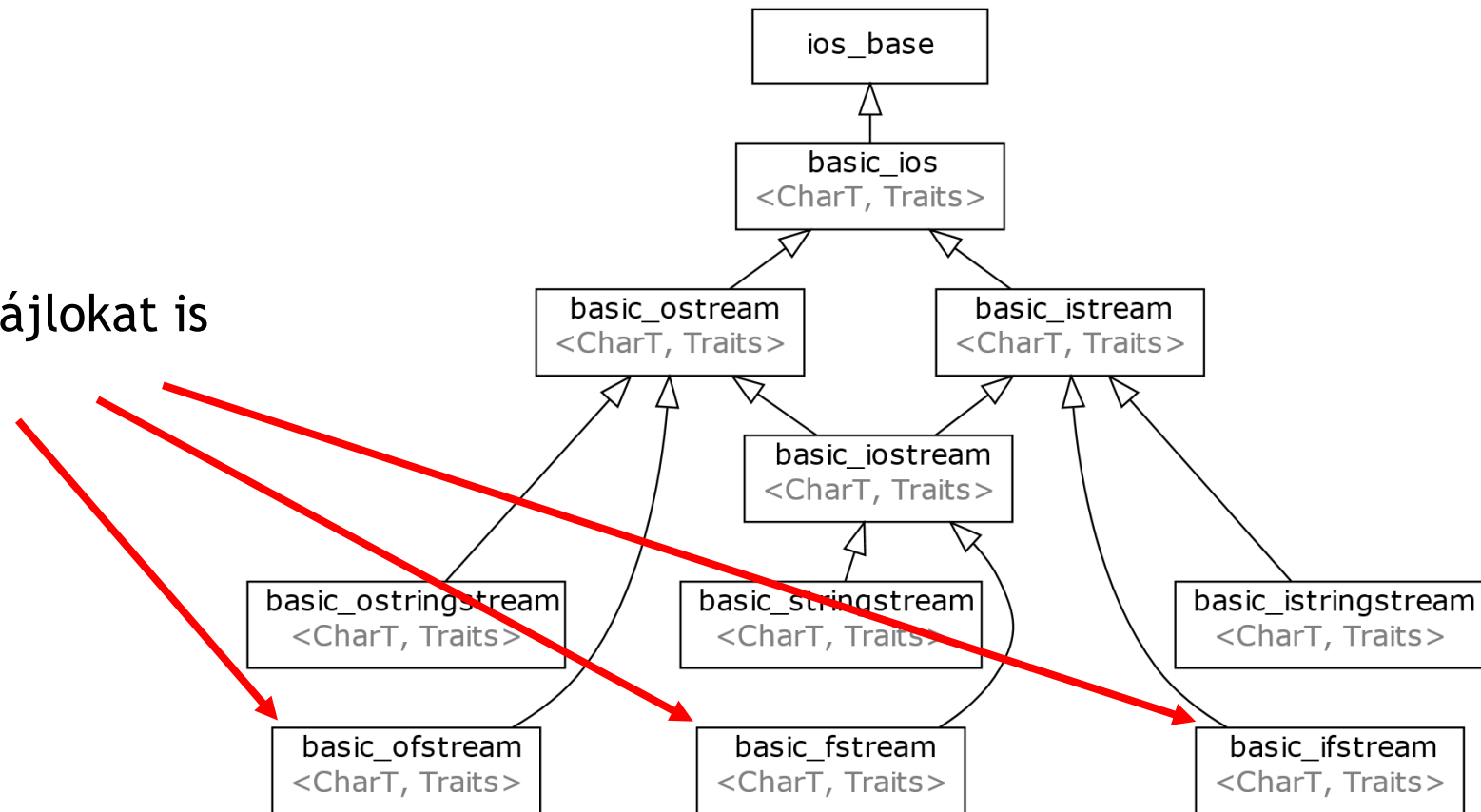
A C++ a ki/bemeneteket kezelő osztályok hierarchiája:

A standard library segítségével egy memóriában levő karaktersorozatot is kezelhetünk i/o/iostreamként



A C++ a ki/bemeneteket kezelő osztályok hierarchiája:

Valamint természetesen fájlokat is



A C++ I/O nagyon összetett és kicsit rosszul megtervezett, de ennek ellenére sok mindent meg lehet oldani 1 sorban vele.

Számos interneten fellelhető példakódban a file I/O elég „fapadosan” van megoldva...

A beolvasáshoz a [különböző](#) iterátorok és iterátor adaptorok nagyon hasznosak.

Egy text fájl megnyitása és `int`-ek másolása belőle egy `std::vector`-ba:

```
std::vector<int> data;

std::ifstream input("data.txt");
if( input.is_open() )
{
    std::copy( std::istream_iterator<int>(input),
               std::istream_iterator<int>(),
               std::back_inserter(data) );
}
else{ std::cout << "Could not open input file\n"; }
```

Egy text fájl megnyitása és `int`-ek másolása belőle egy `std::vector`-ba:

```
std::vector<int> data;
```

A fájlt bemeneti streamként
reprezentáló objektum

```
std::ifstream input("data.txt");
```

```
if( input.is_open() )
```

Ellenőrizni kell, hogy sikerült-e megnyitni a fájlt!

```
{
```

```
    std::copy( std::istream_iterator<int>(input),
```

A fájl eleje iterátor

```
              std::istream_iterator<int>(),
```

A fájl vége iterátor

```
              std::back_inserter(data) );
```

Spec iterátor a vectorra,
ami a véghez told, ha
írnak bele

```
}
```

```
else{ std::cout << "Could not open input file\n"; }
```

C++ példa

Egy text fájl megnyitása és `int`-ek másolása bele egy `std::vector`-ból:

```
std::vector<int> data = ...;

std::ofstream output("data.txt");
if( output.is_open() )
{
    std::copy( data.begin(),
               data.end(),
               std::ostream_iterator<int>(output, " ") );
}
else{ std::cout << "Could not open output file\n"; }
```

Egy text fájl megnyitása és `int`-ek másolása bele egy `std::vector`-ból:

```
std::vector<int> data = ...;
```

A fájlt kimeneti streamként
reprezentáló objektum

```
std::ofstream output("data.txt");
```

```
if( output.is_open() )
```

Ellenőrzés, hogy nyitva van-e

```
{
```

```
    std::copy( data.begin(),
```

← Adatok eleje iterátor

```
             data.end(),
```

← Adatok vége iterátor

```
             std::ostream_iterator<int>(output, " ") );
```

```
}
```

```
else{ std::cout << "Could not open output file\n"; }
```

`int`-eket kiíró, és
azokat szóközzel
elválasztó iterátor

Még egyszer a különbség:

Beolvasás:

```
std::copy( std::istream_iterator<T>(input),  
          std::istream_iterator<T>(),  
          std::back_inserter(data) );
```

Kiírás:

```
std::copy( data.begin(),  
          data.end(),  
          std::ostream_iterator<T>(output, " ") );
```

A stream-ek formázott beolvasás és kiírás operátorai:

```
std::ifstream ifile("data.txt");
```

```
int i = 0;  
ifile >> i;
```

← Átalakítja a streamben aktuálisan levő karaktereket `int`-é ha lehetséges. Ha nem sikerül, `i` nem módosul.

```
std::ofstream ofile("data2.txt");
```

```
ofile << i;
```

← Átalakítja `i`-t karakterekké és kiírja a stream-be.

A karaktersorozatokot a C-stílusú `const char*` helyett `std::string`-ekként célszerű kezelni:

```
std::string str("mytext");
```

Az `std::string` ugyan úgy heap-en dinamikusán allokált tároló, mint az `std::vector`, csak némi plusz funkcionalitással.


Az `std::string` egyik konstruktora egy iterátor párt vár, ezzel is beolvashatunk egy fájlt, csak vigyázzunk a formázásra:

```
std::ifstream file("data.txt");
std::string str1{ std::istream_iterator<char>(file),
                 std::istream_iterator<char>()};

file.clear();
file.seekg(0);
std::string str2{ std::istreambuf_iterator<char>(file),
                 std::istreambuf_iterator<char>()};
```

Az `std::string` egyik konstruktora egy iterátor párt vár, ezzel is beolvashatunk egy fájlt, csak vigyázzunk a formázásra:

```
std::ifstream file("data.txt");  
std::string str1{ std::istream_iterator<char>(file),  
                 std::istream_iterator<char>()};  
  
file.clear();  
file.seekg(0);  
std::string str2{ std::istreambuf_iterator<char>(file),  
                 std::istreambuf_iterator<char>()};
```

 Ez az iterátor eldobja a white space karaktereket (space, tab, sortörés)

Az `std::string` egyik konstruktora egy iterátor párt vár, ezzel is beolvashatunk egy fájlt, csak vigyázzunk a formázásra:

```
std::ifstream file("data.txt");  
std::string str1{ std::istream_iterator<char>(file),  
                 std::istream_iterator<char>()};
```

```
file.clear();  
file.seekg(0);
```

```
std::string str2{ std::istreambuf_iterator<char>(file),  
                 std::istreambuf_iterator<char>()};
```

Ez az iterátor nem hagyja el a white space karaktereket



Az `std::string` egyik konstruktora egy iterátor párt vár, ezzel is beolvashatunk egy fájlt, csak vigyázzunk a formázásra:

```
std::ifstream file("data.txt");  
std::string str1{ std::istream_iterator<char>(file),  
                 std::istream_iterator<char>()};
```

```
file.clear();
```

```
file.seekg(0);
```

```
std::string str2{ std::istreambuf_iterator<char>(file),  
                 std::istreambuf_iterator<char>()};
```

A file elejére visszamenéshez először törölni kell a file vége jelet a stream-ből,

Majd vissza lehet állítani a beolvasási pozíciót az elejére

Általában a tárolóknak van konstruktora iterátor párból, így `std::copy` nélkül is beolvashatunk:

```
std::ifstream file("data.txt");
```

```
std::vector<int> data{std::istream_iterator<int>(file),  
                    std::istream_iterator<int>()};
```

Egy karakter stringet is használhatunk stream-ként az [std::stringstream](#) segítségével:

```
std::stringstream ss;
```

```
ss << sqrt(2.0);
```

 ← Kiírunk egy lebegőpontos számot a streambe

```
std::string s = ss.str();
```

 ← Le tudjuk kérdezni a stringet

```
float y = 0.0f;
```

```
ss >> y;
```

 ← Vissza tudjuk olvasni a stream-ből a karaktereket lebegőpontos számként

```
if( ss ){ std::cout << "Conversion to float succeeded.\n"; }  
else    { std::cout << "Conversion to float failed.\n"; }
```

A streamek belső bufferén keresztül hatékonyan tudunk teljes adatfolyamokat másolni (formázatlanul):

```
std::ifstream file("data.txt");
std::stringstream ss;

if(file)
{
    ss << file.rdbuf();
}
```


Hogyan kell megírni a formázási operátorokat,
azaz a beolvasót >>, és a kiírókat << saját típusokra?

Vegyünk egy saját típust, pl.:

```
struct Data
{
    int i;
    double x;
    std::string s;
};
```

A kiíró operátor:

```
struct Data{ int i; double x; std::string s; };
```

```
std::ostream& operator<<( std::ostream& s, Data const & d )  
{  
    s<<"{" << d.i <<"", " << d.x <<"", " << d.s << "}";  
    return s;  
}
```

A kiíró operátor:

A kimeneti stream objektumot referenciaként kötelező átvennünk, és ugyan így visszaadnunk!

```
struct Data{ int i; double x; std::string s; };
```

```
std::ostream& operator<<( std::ostream& s, Data const & d )  
{  
    s<<"{" << d.i <<"", " << d.x <<"", " << d.s << "}" ;  
    return s ;  
}
```



Beolvasás, a bemeneti stream-et most is referenciaként kapjuk és adjuk vissza:

```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )  
{  
    std::string tmp;  
    std::getline(s, tmp);  
    if(tmp.size() > 0)  
    {  
        std::stringstream ss(tmp);  
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);  
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);  
        std::getline(ss, d.s);  
    }  
    return s; ←  
}
```

```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )
```

```
{
```

```
    std::string tmp;
```

```
    std::getline(s, tmp);
```

```
    if(tmp.size() > 0){
```

```
        std::stringstream ss(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);
```

```
        std::getline(ss, d.s);
```

```
    }
```

```
    return s;
```

```
}
```

Olyan formátumot szeretnénk beolvasni, ahol vesszővel vannak elválasztva az értékek:

2, 3.14, abcd

5, 5.67, xyz

```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )  
{  
    std::string tmp;  
    std::getline(s, tmp);  
    if(tmp.size() > 0){  
        std::stringstream ss(tmp);  
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);  
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);  
        std::getline(ss, d.s);  
    }  
    return s;  
}
```

Az [std::getline](#) beolvas egy adott határkarakterig mindent egy streamból egy stringbe.

A harmadik argumentum a határkarakter, alapértelmezésben a sortörés, tehát egy egész sort olvasunk be.

```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )
```

```
{
```

```
    std::string tmp;
```

```
    std::getline(s, tmp);
```

```
    if(tmp.size() > 0){
```

Ellenőrizni kell, hogy sikeres volt-e a beolvasás.



```
        std::stringstream ss(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);
```

```
        std::getline(ss, d.s);
```

```
    }
```


```
    return s;
```

```
}
```



```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )
{
    std::string tmp;
    std::getline(s, tmp);
    if(tmp.size() > 0){
        std::stringstream ss(tmp);
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);
        std::getline(ss, d.s);
    }
    return s;
}
```

Készítsünk egy stream-et a beolvasott stringből



```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )
```

```
{
```

```
    std::string tmp;
```

```
    std::getline(s, tmp);
```

```
    if(tmp.size() > 0){
```

```
        std::stringstream ss(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);
```

```
        std::getline(ss, d.s);
```

```
    }
```

```
    return s;
```

```
}
```

Majd a stringstream-ből a következő vesszőig kiolvassuk a karaktereket és `int`-é alakítjuk



```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )
```

```
{
```

```
    std::string tmp;
```

```
    std::getline(s, tmp);
```

```
    if(tmp.size() > 0){
```

```
        std::stringstream ss(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);
```

```
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);
```

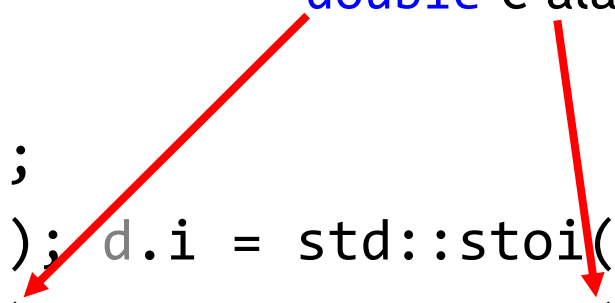
```
        std::getline(ss, d.s);
```

```
    }
```

```
    return s;
```

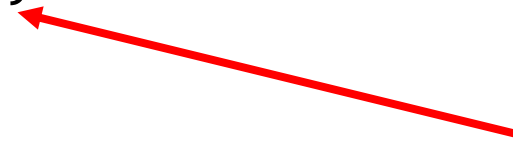
```
}
```

Majd ismét a következő vesszőig
kiolvassuk a karaktereket és
double-é alakítjuk



```
std::istream& operator>>( std::istream& s, Data& d )  
{  
    std::string tmp;  
    std::getline(s, tmp);  
    if(tmp.size() > 0){  
        std::stringstream ss(tmp);  
        std::getline(ss, tmp, ','); d.i = std::stoi(tmp);  
        std::getline(ss, tmp, ','); d.x = std::stod(tmp);  
        std::getline(ss, d.s);  
    }  
    return s;  
}
```

Majd ami maradt, azt egyenesen beolvassuk a Data struktúra s nevű string mezőjébe.



Bővebb példa: részecske pályák beolvasása

Formátum:

```
név energia px py pz px py pz ...
```

[structured_io.cpp](#)

A stringek és a streamek eddigi példái sima ASCII karakterekkel dolgoztak (ami elrejtett template paraméter volt), ahol az elemi karakter elfér az általában 8 bit-es `char` típusban.

A szélesebb, pl. Unicode reprezentációhoz a `w_char`, `char16_t`, `char32_t` típusokat és a rájuk specializált stream-eket és stringeket kell használni.

A lokalizáció (pl. ékezetes betűk) és a nem ASCII karakterkezelés, vagy az eltérő kódolások és szélességek közötti átalakítás valódi rémálom, amit sokszor nagyon nehéz hordozhatóan megoldani...

A string konverziókra C++11-óta van standard módszer:

`std::string` vagy `std::wstring` átalakítása adott numerikus típusra,
pl.: `std::stoi` ha `int`-et akarunk kapni

string-é alakítás: `std::to_string`, `std::to_wstring`

vagy más szemantikával ugyan ezek a funkciók C++17-től:
`std::to_chars`, `std::from_chars`

További hasznos szolgáltatások a standard library-ben

Standardizált időmérés (C++11, #include <chrono>)

```
auto t1 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
```

```
//some lengthy operation...
```

```
auto t2 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
```

```
long long duration =  64 bites előjeles egész típus (C++11)
```

```
std::chrono::duration_cast<std::chrono::microseconds>(t2-t1).count();
```

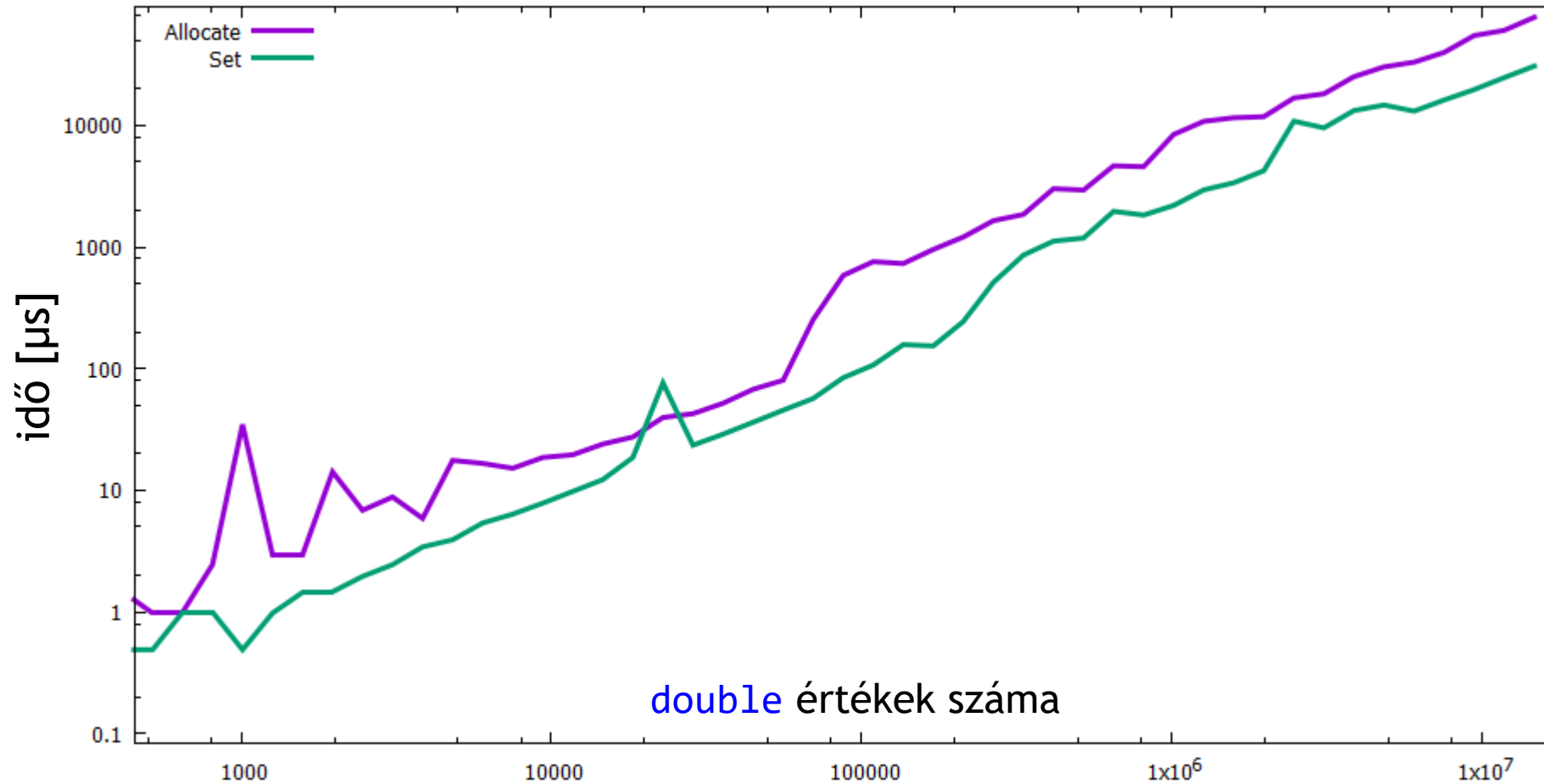
Példakód: Melyik tart tovább?

- Lefoglalni sok `double`-et
- Vagy kinullázni őket?

[time_measurement.cpp](#)

C++ példák

time measurement.cpp



Reguláris kifejezések (C++11, `#include <regex>`):

Ha véletlenül valakinek az awk vagy a grep funkcionalitása kellene adott alakú stringek megtalálásához és átalakításához...

```
std::string text = "Quick brown fox";  
std::regex vowel_re("a|i|e|o|u");  
std::cout << std::regex_replace(text, vowel_re, "$&");
```

Az eredmény: Q[u][i]ck br[o]wn f[o]x

Véletlenszám generálás (C++11, #include <random>):

```
std::vector<double> data(1500);
```

```
std::random_device rnd_device;
```

```
std::mt19937 mersenne_engine(rnd_device());
```


```
std::normal_distribution<double> dist(1.0, 0.5);
```

```
std::generate(data.begin(),
```

```
              data.end(),
```

```
              [&]{ return dist(mersenne_engine); });
```

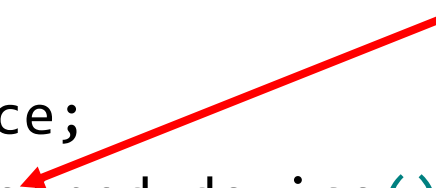
Ez a "seed", ami ideális esetben teljesen véletlen (hw random generátor)



Véletlenszám generálás (C++11, #include <random>):

```
std::vector<double> data(1500);  
  
std::random_device rnd_device;  
std::mt19937 mersenne_engine(rnd_device());  
std::normal_distribution<double> dist(1.0, 0.5);  
  
std::generate(data.begin(),  
              data.end(),  
              [&]{ return dist(mersenne_engine); });
```

Ez egy determinisztikus, de nagyon jó közelítéssel random egészeket adó generátor, amit a random seed-el inicializálunk



Véletlenszám generálás (C++11, #include <random>):

```
std::vector<double> data(1500);
```

```
std::random_device rnd_device;
```

```
std::mt19937 mersenne_engine(rnd_device());
```

```
std::normal_distribution<double> dist(1.0, 0.5);
```

```
std::generate(data.begin(),  
              data.end(),
```

```
              [&]{ return dist(mersenne_engine); });
```

Ez egy (normál) eloszlás objektum, aminek ha random egészeket adunk a generátorból, akkor ez a nevében foglalt eloszlásúvá alakítja őket

Példakód: normál eloszlású számok generálása, majd átlag és szórás számolása

[simple_io_statistics.cpp](#)

Fájrendszer kezelés (C++17, #include <filesystem>):

```
namespace fs = std::filesystem;
fs::create_directories("test/a/b");
std::ofstream("test/file1.txt");
std::ofstream("test/file2.txt");
for(auto& p : fs::directory_iterator("test"))
{
    std::cout << p << '\n';
}
fs::remove_all("test");
```

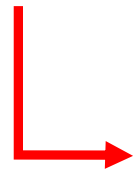
Példa:

A legutóbb módosított fájl megkeresése a mappában:

[filesystem ts.cpp](#)

Párhuzamos algoritmusok (C++17):
A legtöbb algoritmusnak lesz CPU párhuzamos verziója is!

```
std::sort(___, data.begin(), data.end());
```



3 lehetőség:

- seq - szekvenciális (soros)
- par - párhuzamos
- par_unseq - párhuzamos és vektorizált

Párhuzamos algoritmusok (C++17):
A legtöbb algoritmusnak lesz CPU párhuzamos verziója is!

```
std::sort(___, data.begin(), data.end());
```

Sőt! Számos GPU API-ra is készül implementációja a Parallel STL-nek, így ha a kódunk algoritmusok mentén van felépítve, akkor minimális munkával lehet majd GPU gyorsítani.

Számos kisebb nagyobb fejlesztés lett elfogadva még a C++17-el, pl. innen és innen (meg innen) lehet még szemezgetni.