C++11

TÓTH BERTALAN

C++ PROGRAMOZÁS STL KONTÉNEREKKEL

Tóth Bertalan:

C++ programozás STL konténerekkel

– 2016 –

Lektorálta: Juhász Tibor

Tartalom

C++ programozás STL konténerekkel

Bevezetés

A *Hewlett-Packard Company* által fejlesztett Szabványos sablonkönyvtár (STL, *Standard Template Library*) a szabványos C++ nyelv könyvtára lett 1998-ban. A következő években ez jelentősen kibővült, és sok új elemmel gazdagodva a C++11/C++14 nyelvekben jelent meg. Ebben az anyagban az Szabványos sablonkönyvtárnak csak azon részeit ismertetjük, amelyek szükségesek a címben megfogalmazott célok eléréséhez. A tárgyalás során feltételezzük, hogy az Olvasó ismeri a C++11 nyelvet. A C++98 nyelven programozók számára egy másik kiadvány („*A C++11 nyelv új lehetőségeinek áttekintése*”) előzetes feldolgozása javasolt, amely a következő címen érhető el:

http://www.zmgzeg.sulinet.hu/programozas/#ccpp

A STL számunkra érdekes részei általánosított osztály- és függvénysablonokat tartalmaznak a leggyakrabban használt adatstruktúrák és algoritmusok megvalósításaként. A sablonkönyvtár az általánosított (*generic*) programozást konténerekkel (tárolókkal), iterátorokkal (bejárókkal, általánosított mutatókkal) valamint algoritmusokkal támogatja. A konténerek felhasználásával történő C++ programozáshoz kapcsolódó STL elemeket, valamint az elérésükhöz szükséges deklarációs állományokat az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

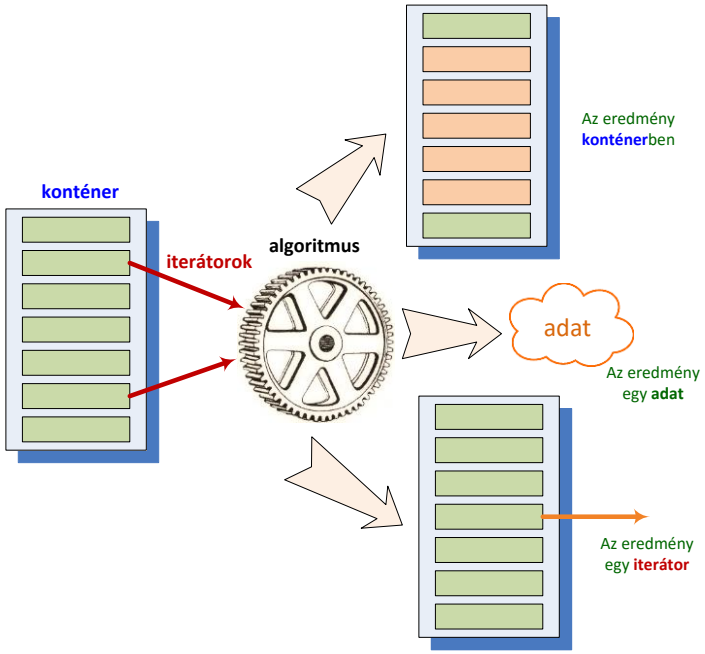
Rövid leírás	***Fejállomány***
Algoritmusok: rendezés, keresés, másolás stb.	*<algorithm>*
Asszociatív tárolók: rendezett halmazok (elemismétlődéssel – *multiset*, illetve elemismétlődés nélkül - *set*)	*<set>*
Asszociatív tárolók: kulcs/érték adatpárok kulcs szerint rendezett tárolása 1:1 (*map*), illetve 1:n (*multimap*) kapcsolatban	*<map>*
Asszociatív tárolók: nem rendezett halmazok (elemismétlődéssel – *unordered_multiset*, illetve elemismétlődés nélkül – *unordered_set*)	*<unordered_set>*
Asszociatív tárolók: kulcs/érték adatpárok nem rendezett tárolása (elemismétlődéssel – *unordered_multimap*, illetve elemismétlődés nélkül – *unordered_map*)	*<unordered_map>*
Függvényobjektumok (*function()*, *bind()*)	*<functional>*
Iterátorelemek, előre definiált iterátorok, adatfolyam-iterátorok	*<iterator>*
Memóriakezelés (*unique_ptr*, *shared_ptr*, *allocator* stb.)	*<memory>*
Műveleti elemek, *move(), swap(),* a *pair* (adatpár) struktúra	*<utility>*
Numerikus műveletek a konténerekben tárolt adatokon	*<numeric>*
Soros tároló adapter: verem (*statck*)	*<stack>*
Soros tároló adapterek: sor (*queue*), prioritásos sor (*priority_queue*)	*<queue>*
Soros tároló: egydimenziós statikus tömb (*array*)	*<array>*
Soros tároló: egyirányú lineáris lista (*forward_list*)	*<forward_list>*
Soros tároló: kétirányú lineáris lista (*list*)	*<list>*
Soros tároló: kettősvégű sor (*deque*)	*<deque>*
Soros tároló: egydimenziós dinamikus tömb (*vector*) és specializált változata *vector*<bool>	*<vector>*
Soros tárolószerű: értéktömb (*valarray*)	*<valarray>*
Soros tárolószerű: inicializációs lista (*initializer_list*)	*<initializer_list>*
Soros tárolószerű: karaktersorozat (*basic_string*) és ennek specializált változatai: *basic_string*<char> - *string* , *basic_string*<wchar_t> - *wstring* stb.	*<string>*
Soros tárolószerű: rögzített méretű bittömb (*bitset*)	*<bitset>*

1. Bevezetés az STL-be

A C++ nyelv Szabványos Sablonkönyvtára (Standard Template Library - STL) osztály- és függvénysablonokat tartalmaz, amelyekkel elterjedt adatstruktúrákat (vektor, sor, lista, halmaz, szótár stb.) és algoritmusokat (rendezés, keresés, összefésülés stb.) építhetünk be a programunkba.

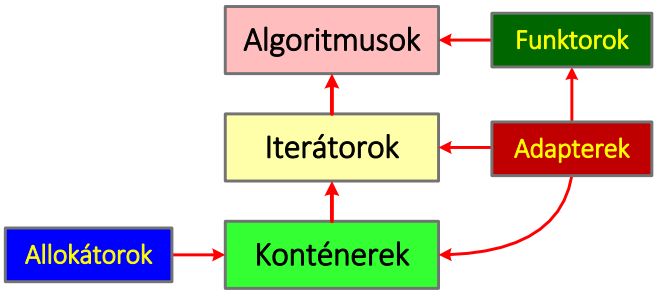
A sablonos megoldás lehetővé teszi, hogy az adott néven szereplő osztályokat és függvényeket (majdnem) minden típushoz felhasználhatjuk, a program igényeinek megfelelően.

Az STL alapvetően három csoportra épül, a konténerekre (tárolókra), az algoritmusokra és az iterátorokra (bejárókra). Egyszerűen megfogalmazva az algoritmusokat a konténerekben tárolt adatokon hajtjuk végre az iterátorok felhasználásával:



A végrehajtott algoritmus működésének eredményét többféleképpen is megkaphatjuk (konténerben, iterátorként vagy valamilyen egyéb adatként).

A konténerek, az iterátorok és az algoritmusok kiegészítéseként az STL-ben további szabványos elemeket is találunk: helyfoglalókat (*allocators*), illesztőket (*adaptors*), függvényobjektumokat (*function objects – functors*) stb.



Ebben az anyagban az STL konténerekkel való programozást kívánjuk segíteni, így eltekintünk egy részeltekbe menő leírástól. Ennek ellenére a három alappillér mellet röviden ki kell térnünk a további STL elemek bemutatására is, hiszen ezek szorosan kapcsolódnak a konténerekhez és az algoritmusokhoz.

1.1 Konténerek

A konténerek (kollekciók, tárolók) olyan objektumok, amelyekben más, azonos típusú objektumokat (elemeket) tárolhatunk. A tárolás módja alapján a konténereket három csoportba sorolhatjuk. Soros (*sequence*) tárolóról beszélünk, amikor az elemek sorrendjét a tárolás sorrendje határozza meg. Ezzel szemben az adatokat egy kulccsal azonosítva tárolják az asszociációs (*associative*) konténerek, melyeket tovább csoportosíthatjuk a kulcs alapján rendezett, illetve nem rendezett (*unordered*) tárolókra.

A konténerek sokféleképpen különböznek egymástól:

- a memóriahasználat hatékonysága,
- a tárolt elemek elérési ideje,
- új elem beszúrásának, illetve valamely elem törlésének időigénye,
- új elem konténer elejére, illetve végére történő beillesztésének ideje,
- stb.

Általában ezeket a szempontokat kell figyelembe vennünk, amikor a konténerekkel ismerkedünk, vagy amikor valamilyen tárolót kívánunk a programozási feldat megoldásához kiválasztani.

1.1.1 Soros tárolók

A soros tárolók jellemzője, hogy megőrzik az elemek beviteli sorrendjét. Az ***array*** kivételével tetszőleges pozícióra beszúrhatunk elemet, illetve törölhetünk onnan. Ezek a műveletek általában a tárolók végein a leggyorsabbak. A hagyományos C tömbök helyett az ***array*** és a ***vector*** típusok alkalmazása javasolt.

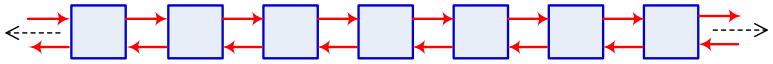
array<> A sablonparaméterben megadott konstans elemszámmal létrejövő, egydimenziós tömbök osztálysablonja.

vector<> A vektor dinamikus tömbben tárolódik folytonos memóriaterületen, amely a végén növekedhet. Az elemeket indexelve is elérhetjük konstans *O(1)* idő alatt. Elem eltávolítása (*pop_back()*), illetve hozzáadása (*push_back()*) a vektor végéhez szintén *O(1)* időt igényel, míg az elején vagy a közepén ezek a műveletek (*insert()*, *erase()*) *O(n)* végrehajtású idejűek. Rendezetlen vektorban egy adott elem megkeresésének ideje szintén *O(n)*.

deque<> Kettősvégű sort megvalósító osztálysablon, amely mindkét végén növelhető, egydimenziós tömböket tartalmazó listában tárolódik. Elemeket mindkét végén konstans *O(1)* idő alatt adhatunk (*push_front()*, *push_back()*) a kettősvégű sorhoz, illetve távolíthatunk (*pop_front()*, *pop_back()*) el onnan. Az elemek index segítségével is elérhetők.

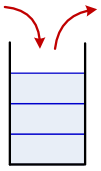
forward_list<> Egyszeres láncolású lista, melyet csak az elején lehet bővíteni. Azonos elemtípus esetén az elemek helyigénye kisebb, mint a kettős láncolású listáé. Az elemek törlése (*insert_after()*) és beszúrása (*erase_after()*) konstans *O(1)* időt igényel.

list<> Kettős láncolású lista, melynek elemei nem érhetők el az indexelés operátorával. tetszőleges pozíció esetén a beszúrás (*insert()*) és a törlés (*erase()*) művelete gyorsan, konstans *O(1)* idő alatt elvégezhető. A lista minkét végéhez adhatunk elemeket (*push_front()*, *push_back()*), illetve törölhetünk (*pop_front()*, *pop_back()*) onnan.



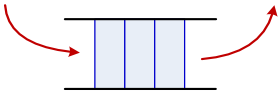
A soros tárolókra épülő, konténerillesztő osztálysablonok a tároló adapterek. Az alábbi konténer adapterek elemein nem lehet végiglépkedni, így semmilyen algoritmus hívásakor sem használhatjuk azokat.

stack<>



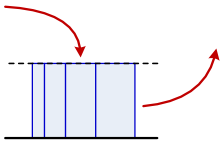
A *last in first out* (LIFO – az utoljára betett elemet vesszük ki először) működésű verem adatszerkezet típusa. A verem csak a legfelső (*top*) pozícióban lévő elem módosítását (felülírás, behelyezés, kivétel) engedi. Alapértelmezés szerint a ***deque*** konténerre épül, azonban a ***vector*** és a ***list*** is használható a megvalósításához.

queue<>



Sor adatszerkezetet megvalósító típus, amely csak az utolsó (*back*) pozícióra való beszúrást és az első (*front*) pozícióról való eltávolítást teszi lehetővé (*first in first out*, FIFO). Ezeken túlmenően az első és az utolsó elem lekérdezése és módosítása is megengedett. Az alapértelmezett ***deque*** mellett a ***list*** soros tárolóra épülve is elkészíthető.

priority_queue<>



A prioritásos sorban az elemek a < (kisebb) operátorral hasonlítva, rendezetten tárolódnak. A prioritásos sort csak az egyik, a legnagyobb elemet tartalmazó végén érjük el (*top*). Ez az elem szükség esetén módosítható, vagy kivehető a sorból. Alapértelmezés szerint a ***vector*** konténer fölött jön létre, azonban a ***deque*** is alkalmazható.

Az alábbi „konténerszerű” osztályok és osztálysablonok nem tartoznak szorosan a tárolókhoz, azonban a konténerekéhez hasonló tagfüggvényekkel, illetve függvénysablonokkal (*begin()*, *end()*, *swap()*) rendelkezhetnek.

típus[n] Egydimenziós C tömb

basic_string<> ***string, wstring, u16string, u32string*** A ***basic_string*** sablon specializációjaként kialakított karaktersorozat osztályok a **char**, a **wchar_t**, a ***char16_t*** illetve a ***char32_t*** típusú elemek vektorára épülnek. Rendelkeznek a ***vector*** típusra jellemző tagfüggvényekkel és működéssel, azonban sztringkezelő műveletekkel ki is bővítik azokat.

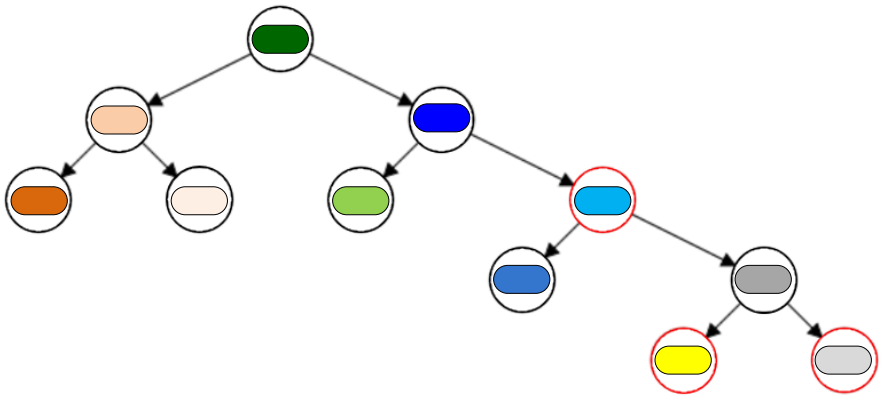
bitset<> Rögzített méretű bitkészlet tárolására használható osztálysablon. A bitkészlettel bitenkénti logika és biteltolás műveleteket végezhetünk, valamint számmá és sztringgé alakíthatjuk a tartalmát.

valarray<> A számokat tároló értéktömb összes elemén egyetlen hívással elvégezhetünk bizonyos matematikai műveleteket.

vector<bool> A ***vector*** osztáysablon specializált változata az elemeket bitek formájában tárolja. Ezzel ugyan helyet takarítunk meg, azonban az iterátorokkal csak korlátozottan férünk hozzá a tárolt adatokhoz.

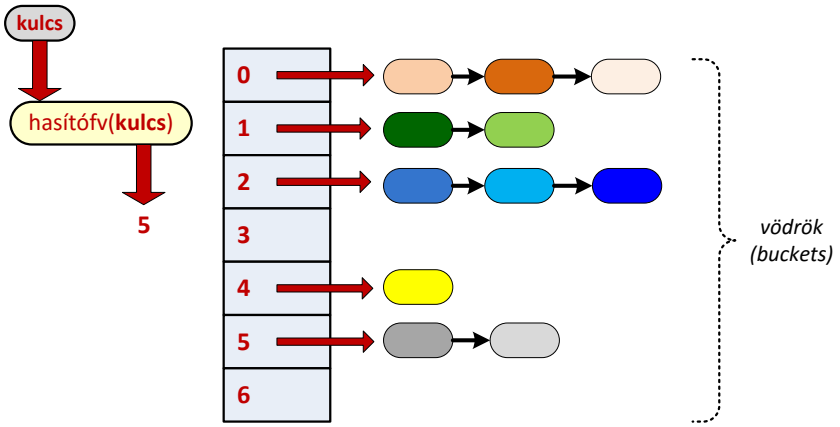
1.1.2 Asszociatív tárolók

Az asszociatív konténerekben az elemekhez való hozzáférés nem az elem pozíciója, hanem egy kulcs értéke alapján megy végbe. A rendezett asszociatív tárolók esetén biztosítani kell a rendezéshez használható kisebb (<) műveletet. Az elemek fizikailag egy önkiegyensúlyozó bináris keresőfa (*red–black tree*) adatstruktúrában helyezkednek el.



A rendezett konténerek esetén általában logaritmikus végrehajtási időt (*O(log(n))*) igényelnek a műveletek, azonban a rendezettségnek köszönhetően hatékony algoritmusokkal dolgozhatunk. Ebbe a csoportba tartoznak az egyedi kulcsokkal működő halmaz (***set***) és a szótár (asszociatív tömb: ***map***), valamint ezek kulcsismétlődést megengedő változataik: a ***multiset*** és a ***multimap.*** Megjegyezzük, hogy kulcsismétlődés esetén a keresés végrehajtási ideje lineáris (*O(n)*).

Más a helyzet a rendezetlen (*unordered*) asszociatív konténereket esetén. Ebben az esetben az elemek gyors elérése érdekében minden elemhez egy hasító érték tárolódik egy *hash*-táblában. Az elemek elérésekor ismét kiszámítódik a hasító érték, és ez alapján majdnem konstans idő alatt lehet elérni az elemeket (persze ez a hasító függvénytől is függ).



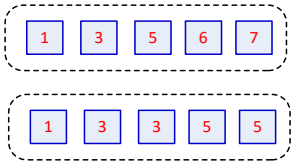
A hasító (kulcstranszformációs) függvény a kulcsobjektumot egy indexszé (hasító kód) alakítja, amely a hasító táblában kijelöl egy elemet (indexeli azt). A *hash*-tábla minden eleme az objektumok egy csoportjára (*bucket* – vödör, kosár) hivatkozik, amennyiben az adott hash-kódhoz tartoznak objektumok. Kereséskor a megfelelő *bucket* objektumait egymás után a kulcshoz hasonlítva találjuk meg a kívánt objektumot, amennyiban az létezik. Jól látható, hogy a hasító tábla működésének hatékonysága nagyban függ a hasító függvénytől. Egy jó *hash*-függvény véletlenszerűen és egyenletesen osztja szét az objektumokat a „vödrökbe”, minimalizálva ezzel a lineáris keresés lépéseit a *bucket*-ekben.

A C++ nyelv alaptípusaihoz az STL biztosítja a megfelelő *hash()* függvényeket (*<functional>*). A fenti négy asszociatív konténer nem rendezett változatai az ***unordered_set***, ***unordered_multiset***, ***unordered_map***, ***unordered_multimap***.

Míg a halmaz konténerekben a tárolt adat jelenti a kulcsot, addig a szótár tárolókban (kulcs/érték) adatpárokat helyezhetünk el. Az adatpárok típusa a ***pair*** struktúrasablon, amely lehetővé teszi, hogy egyetlen objektumban két (akár különböző típusú) objektumot tároljunk. A tárolt objektumok közül az elsőre a *first*, míg a másodikra a *second* névvel hivatkozhatunk. (A szótárakban a *first* jelenti a kulcsot.)

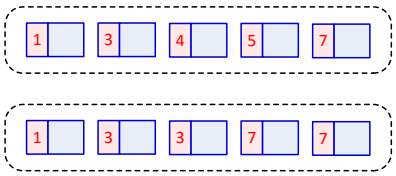
Az alábbi táblázatban röviden bemutatjuk az asszociatív konténereket.

set<>, multiset<>



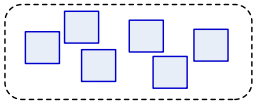
Mindkét rendezett halmaz konténer a tárolt adatokat kulcsként használja. A ***set***-ben a kulcsok (a tárolt adatok) egyediek kell, legyenek, míg a ***multiset***-ben ismétlődhetnek. A két osztálysablon műveletei a *count()* és az *insert()* tagfüggvényektől eltekintve megegyeznek.

map<>, multimap<>

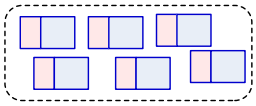


Mindkét szótár (asszociatív tömb) konténer elmei ***pair*** típusúak, és kulcs/érték adatpárokat tartalmaznak. A tárolók elemei a kulcs alapján rendezettek. A kulcsok a ***map*** esetén egyediek, míg a ***multimap*** esetén ismétlődhetnek. A halmazokhoz hasonlóan a két osztálysablonnak csak a *count()* és *insert()* tagfüggvényei különböznek egymástól.

unordered_set<>
unordered_multiset<>



unordered_map<>
unordered_multimap<>



Az alábbi összehasonlítás megállja a helyét mind a négy rendezett, illetve nem rendezett asszociatív konténer esetén:

- egy rendezett konténer kevesebb memóriát foglal ugyanannyi tárolt elem esetén,
- kevés elem esetén a keresés gyorsabb lehet a rendezett tárolókban,
- a műveletek többsége gyorsabb a rendezetlen asszociatív konténerekkel,
- a rendezetlen konténerek nem definiálják a lexikografikus összehasonlítás műveleteit: <, <=, > és >=.

1.2 Bejárók (iterátorok)

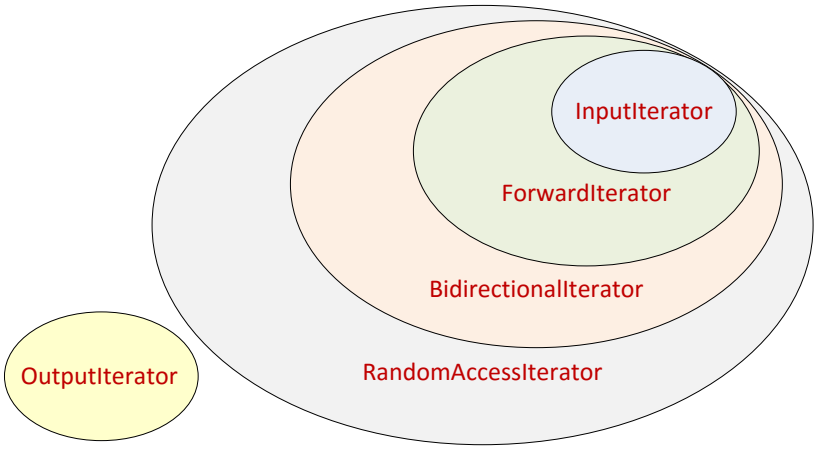
Az iterátorok (*iterators*) elkülönítik egymástól a konténerelemekhez való hozzáférés (és bejárás) módját a konténerek fajtájától. Ezzel lehetővé vált olyan általánosított algoritmusok készítése, amelyek függetlenek a konténerek eltérő elemhozzáférési megoldásaitól (*push_back()*, *insert()* stb.).

Mivel az iterátorosztályokat ellátták a hagyományos mutatók operátoraival, az iterátorokat paraméterként fogadó algoritmus függvénysablonok többsége C tömbökkel is működik.

Mivel a konténerek működése lényeges eltéréseket mutat, egyetlen általános iterátor helyett a szabvány négy egymásra épülő és egy ötödik, különálló iterátort vezetett be. A különböző algoritmusok is más és más kategóriájú iterátor(oka)t várnak paraméterként.

A legegyszerűbb a bemeneti (*input*) iterátor, amely mindössze két alapvető műveletet támogat: az aktuális érték kiolvasása a konténerből (*=** művelet) valamint léptetés a következő elemre (*++* művelet). Ezeket a műveleteket bővíti ki a konténerbe való írással (***=* művelet) az előrehaladó (*forward*)

iterátor. Tovább bővítve a műveletek sorát a dekrementálással (--), eljutunk a kétirányú (*bidirectional*) iterátorhoz. A sort az adott számú lépéssel előre és visszafelé is lépni tudó, valamint az indexelést (*[]* művelet) is támogató, tetszőleges elérés (*random-access*) iterátora zárja. (Ez utóbbi bejáró minden olyan műveletet támogat, ami a közönséges mutatókkal is elvégezhető.)



A különálló ötödik kategóriába tartozó kimenteti (*output*) iterátor segítségével írhatunk a konténer aktuális elemébe, illetve a következő elemre léphetünk. Az output iterátor előírásainak az előrehaladó, a kétirányú és és a tetszőleges elérésű bejárók is eleget tesznek.

1.3 Függvényobjektumok (funktorok)

Az STL sok szabványos algoritmust (bejárás, rendezés, keresés stb.) biztosít a programozók számára, amelyek feldolgozzák a konténerekben tárolt adatokat. Az algoritmusok működése függvényobjektumok (*function objects*, *functors*) megadásával testre szabható, hiszen ily módon meghatározhatjuk, hogy milyen műveletek hajtódjanak végre a kollekció elemein. A függvényobjektum hagyományos függvénymutató is lehet, azonban az esetek többségében objektumokat alkalmazunk.

A függvényobjektum olyan típus, amely megvalósítja a függvényhívás *()* operátorát. A függvényobjektumoknak két lényeges előnye van a közönséges függvényekhez képest:

- a függvényobjektum megőrizheti a működési állapotát,
- mivel a függvényobjektum egy típus, megadhatjuk sablon paraméterként.

Az STL maga is erősen támaszkodik a függvényobjektumokra, melyek különböző megjelenési formáival találkozhatunk: függvényobjektumok, predikátum függvények, összeállított függvény objektumok, tagfüggvény adapterek stb.

Amikor az egyoperandusú (*unary*) függvényobjektum **bool** típusú értékkel tér vissza, predikátumnak nevezzük. Bináris predikátumról beszélünk, amikor egy kétoperandusú függvényobjektum ad vissza **bool** típusú értéket, a két paraméter összevetésének eredményeként.

A C++11-től használható lambda-kifejezések valójában névtelen függvényobjektumok.

A függvényobjektumokkal kapcsolatos STL osztálysablonokat a *<functional>* fejállományban találjuk. Ugyanitt tárolódnak a ***hash*** fügvényobjektum alaptípusokkal és néhány STL típussal (***string***, ***bitset***, ***vector<bool>*** stb.) specializált változatai is.

1.4 Algoritmusok

Az STL algoritmusok igen hasznosak, hiszen felgyorsíthatják és megbízhatóvá tehetik a C++ programok fejlesztését. Napjainkban már közel 100 kipróbált függvénysablon áll a rendelkezésünkre. Az algoritmusok egy részét arra tervezték, hogy módosítsák egy kijelölt adatsor elemeit, azonban sohasem változtaják meg magukat az adatokat tároló konténerekek.

Az algoritmusok nem taggfüggvényei a konténereknek, globális függvénysablonok, amelyek iterátorok segítségével férnek hozzá a konténerekben tárolt adatokhoz. Az algoritmusok teljesen függetlenek a konténerektől, a paraméterként megkapott iterátorok feladata a konténerek ismerete.

Az algoritmusok használatához az *<algorithm>* fejállományt kell a programunkba beépíteni. A numerikus algoritmusok esetén a *<numeric>* deklarációs fájlra van szükségünk.

Az algoritmusok közötti eligazodásban segít, ha a különböző műveleteket a viselkedésük és a működésük alapján csoportokba soroljuk. Egy lehetséges kategórizálás – ahol egy algoritmus több csoportban is megjelenhet – az alábbiakban látható.

Nem módosító algoritmusok

Ezek az algoritmusok nem változtatják meg sem az adatelemeket, sem pedig azok tárolási sorrendjét.

adjacent_find()
all_of(), any_of(), none_of()
count(), count_if()
equal()
find(), find_if(), find_if_not()
find_end()
find_first_of()
for_each()
lexicographical_compare()
max()
min()
minmax()
max_element()
min_element()
minmax_element()
mismatch()
search()
search_n()

Módosító algoritmusok

Az adatmódosító algoritmusokat arra tervezték, hogy megváltoztassák a konténerben tárolt adatelemek értékét. Ez megtörténhet közvetlenül, magában a konténerben, vagy pedig az elemek más konténerbe való másolásával. Néhány algoritmus csupán az elemek sorrendjét módosítja, és ezért került ide.

copy(), copy_if()
copy_backward()
copy_n()
fill()
fill_n()
for_each()
generate()
generate_n()
iter_swap()
merge()
move()
move_backward()
replace(), replace_if()
replace_copy(),
replace_copy_if()
swap()
swap_ranges()
transform()

Eltávolító algoritmusok

Ezek valójában módosító algoritmusok, azonban céljuk az elemek eltávoltása egy konténerből, vagy másolása egy másik tárolóba.

remove(), remove_if()
remove_copy(),
remove_copy_if()
unique()
unique_copy()

Átalakító algoritmusok

Ezek is modosító algoritmusok, azonban kimondottan az elemsorrend megváltoztatásával jár a működésük.

is_partitioned()
is_permutation()
next_permutation()
partition()
partition_copy()
partition_point()
prev_permutation()
random_shuffle(), shuffle()
reverse()
reverse_copy()
rotate()
rotate_copy()
stable_partition()

Rendező algoritmusok

Az itt található módosító algorimusok feladata a teljes konténerben, vagy a tároló egy tartományában található elemek rendezése.

is_heap()	*nth_element()*	*push_heap()*
is_heap_until()	*partial_sort()*	*sort()*
is_partitioned()	*partial_sort_copy()*	*sort_heap()*
is_sorted()	*partition()*	*stable_partition()*
is_sorted_until()	*partition_copy()*	*stable_sort()*
make_heap()	*pop_heap()*	

Rendezett tartomány algoritmusok

Ezek az algoritmusok az elemek rendezettségét kihasználva igen hatékonyan működnek.

binary_search()	*lower_bound()*	*set_symmetric_difference()*
equal_range()	*merge()*	*set_union()*
includes()	*set_difference()*	*upper_bound()*
inplace_merge()	*set_intersection()*	

Numerikus algoritmusok

Számokat tároló konténerek elemein műveletek végző algoritmusok csoportja.

accumulate()	*inner_produc ()*	*partial_sum()*
adjacent_difference()	*iota()*	

Néhány tároló rendelkezik az algoritmusok némelyikével megegyező nevű tagfüggvénnyel. Ezek létezésnek oka, hogy kihasználva a konténerek speciális adottságait, hatékonyabb és biztonságosabb tagfüggvény készíthető, mint az általános algoritmus. Egyetemes szabályként megfogalmazható, hogy részesítsük előnyben a taggfüggvényeket a program készítése során.

1.5 Adapterek (adaptors)

A teljesség kedvéért megosztunk néhány gondolatot az adapter sablonokról. Általánosságban egy adapter valamit valamivé alakít. Mint láttuk a konténer adapterek néhány soros konténert olyan interfésszel látnak el, ami által megvalósulnak a verem, a sor és a prioritásos sor adatstruktúrák.

Az iterátoradapterek az algoritmusok és a tároló osztályok között képeznek egy interfészt, ami által egyszerűbbé válik az algoritmus hívásakor megkívánt típusú iterátor és a hivatkozott konténerobjektum összekapcsolása.

A C++98 nyelvben különböző adaptersablonok segítették a függvényobjektumok (funktorok) kezelését, valamint az objektumtagok funktorként való elérését. A C++11 szabvány a korábbi függvényobjektum adaptereket elavultnak minősítette, és helyettük egyszerűbb, ún. burkoló (*wrapper*) osztálysablonokat vezetett be.

1.6 Helyfoglalók (allocators)

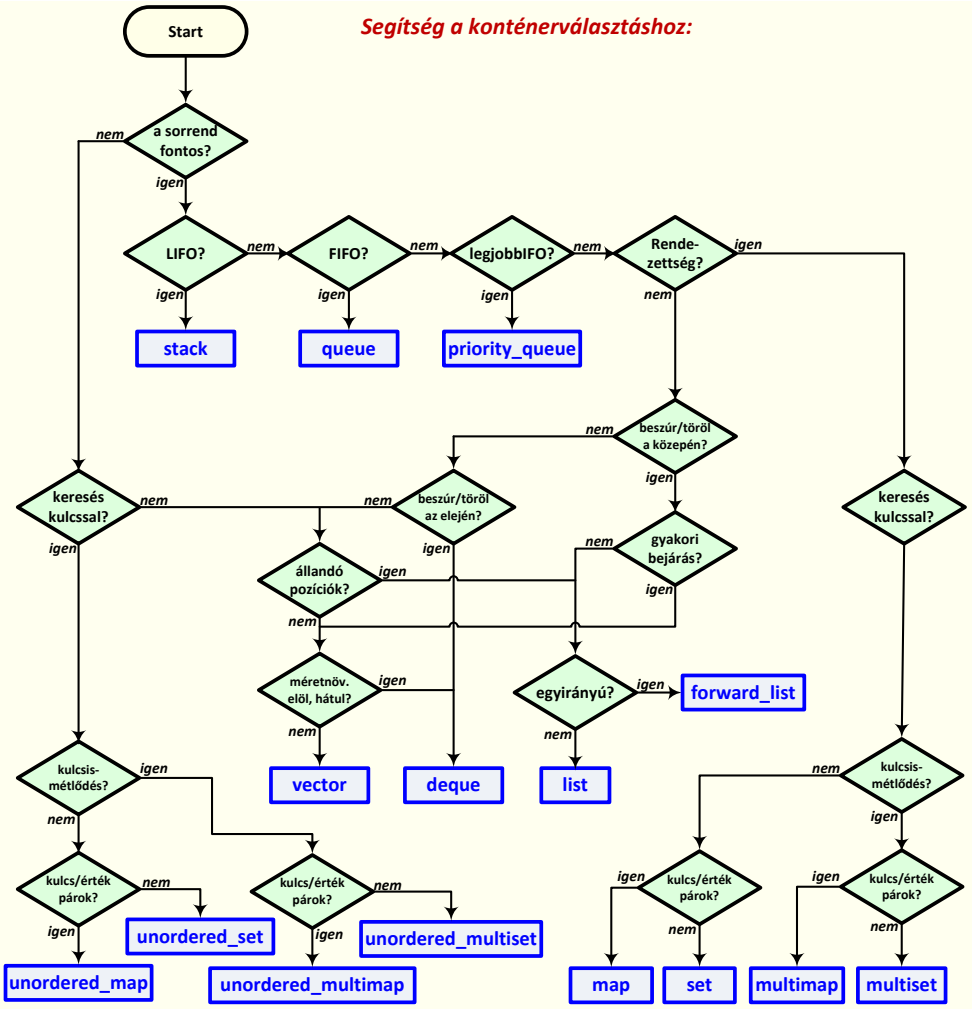
A helyfoglaló a konténerek számára lefoglalja a szükséges memóriaterületeket. Az ***array*** tároló kivételével minden konténer típus utolsó sablonparamétere az *Allocator*, mely alapértelmezés szerint az ***allocator*** osztálysablon (*<memory>*) példányát kapja értékül. Csak nagyon különleges esetekben lehet szüksége arra, hogy lecseréljük a tárolók alapértelmezés szerinti helyfoglalóját. A későbbiekben mi is csupán a technika bemutatására szorítkozunk.

2. Programozás az STL elemeivel

Egy szoftver tervezésekor többféle cél alapján optimalizálhatunk: memóriahasználatra, futási sebességre, fejlesztési időre, egyszerűségre, robosztusságra. Sokszor azonban az ismereteink és a programozási gyakorlatunk szabják meg a kiválasztott adatszerkezetet, vagy a felhasznált algoritmust. Például egy buborékrendezés megírása C++ nyelven senkinek sem jelent problémát, azonban egy gyorsrendezés hibátlan implementálása már sokaknak fejfájást okozhat. Hasonló a helyzet az adatszerkezetekkel is. Gyakran tesszük le a voksot a rögzített méretű tömbök mellet, mintsem a dinamikus megoldást választanánk, nem is beszélve a különböző listaszerkezetekről.

Egészen másképp áll egy feladathoz a programozó, ha az adatszerkezetek és az algoritmusok készen állnak a rendelkezésére a használt programozási nyelv könyvtárában. Napjainkban minden programozási nyelv gazdag, típusfüggetlen (*generic*, *template*) sablonkönyvtárral segíti a programfejlesztést.

Niklaus Wirth már 1975-ben megadta a programkészítés esszenciáját: „*Algoritmusok + adatsruktúrák = programok*”. Napjainkra az összefüggés valamelyest módosult, azonban a szoftverfejlesztés különböző szintjein felmerülő problémák megoldásánál jó használható ez a megközelítés. Ennek szellemében folytatjuk a Szabványos sablonkönyvtárral való ismerkedést. Számunkra a konténerek képviselik az adatszerkezeteket. A bennük tárolt adatokat általános algoritmusokkal dolgozhatjuk fel, iterátorok közvetítésével. Míg a bevezetésben általános fogalmakat, elveket tisztáztunk, a most következő részekben C++ programokon keresztül mutatjuk be az STL néhány alapvető elemének felhasználását.



2.1 Adatok tárolása párokban (pair)

A ***pair*** (pár) sablonosztály (*<utility>*) segítségével két objektumot egyetlen objektumként kezelhetünk. A ***pair*** objektumokban az első tárolt adathoz a *first*, míg a másodikhoz a *second* publikus adattagokkal férhetünk hozzá. Ezen tagok típusa mindig megegyezik a sablonosztály példányosítása során megadott típusokkal.

A ***pair*** sablonosztály a C++11 nyelvnek megfelelően rendelkezik alapértelmezett konstruktorral, amikor a tárolt objektumok az alapértékükkel inicializálódnak. Ugyancsak használhatjuk a paraméteres, a másoló és a mozgató (*move*) konstruktort.

```
pair<string, int> par1;
pair<string, int> par2("szin", 12);
pair<string, int> par3(par2);

pair<string, int> par4(move(par3));
string s1 = "magassag";
int m = 123;
pair<string, int> par5(move(s1), move(m));
```

Olvashatóbbá tehetjük a programjainkat, ha az adatpár típusát **typedef** segítségével állítjuk elő:

```
typedef pair<string, int> IntPropPair;
IntPropPair par1;
IntPropPair par2("szin", 12);
IntPropPair par3(par2);
IntPropPair par4(move(par3));
```

A ***pair*** osztálysanlon *operator=()* (értékadás) és *swap()* (csere) tagfüggvényei szintén fel vannak készítve a *move* szemantika alkalmazására. A konstruktorok mellett a *make_pair()* függvénysablon kényelmesebbé teszi az adatpárok inicializálását:

```
pair<string, int> par1 = pair<string, int>("index", 2);
pair<string, int> par2 = make_pair("index", 2);
```

A ***pair*** osztálysablon minden példánya a később bemutatásra kerülő konténer típusokhoz hasonlóan, rendelkezik belső (tag)típusokkal (*first_type*, *second_type*) melyekhez a hatókör operátorral (::) férhetünk hozzá.

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

int main() {
  pair<string, int> par = make_pair("index", 2);
  pair<string, int>::first_type nev = par.first;
  pair<string, int>::second_type adat = par.second;
  cout << nev << adat<< endl;  // index2
}
```

Az adatpárokban tárolt objektumokat a *get<0>(pár)* és a *get<1>(pár)* hívásokkal is elérhetjük:

```
pair<string, int>::first_type nev = get<0>(par);
pair<string, int>::second_type adat = get<1>(par);
```

Az adatpárokhoz relációs műveletek (*==*, *!=*, *<*, *<=*, *>*, *>=*) is tartoznak, amelyek ún. lexikografikus összehasonlítást végeznek. (Ez azt jelenti, hogy először összehasonlítják a párok *first* elemét, és csak akkor kerül sor a *second* elemek összevetésére, ha a *first* elemek azonosak.)

A ***pair*** típus kitüntetett szereppel bír az asszociatív tömbök (*maps*) létrehozásakor, hisz az adatpár első elemét (*first*) kulcsként, míg a másodikat (*second*) adatként használják.

A C++11 nyelvben bevezették a tetszőleges adategyüttes kialakítását lehetővé tevő ***tuple*** osztálysablont (*<tuple>*). Így ha több, akár különböző típusú objektumot kell konténerekben együtt tárolnunk, választhatunk a ***pair***/***turple*** osztálysablonok és a saját osztálytípus kialakítása között. *Például, az alábbi programban komplex számok tárolására használjuk a **pair** osztálysablont:*

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

typedef pair<double, double> komplex;
#define re first
#define im second

komplex operator+(const komplex& a, const komplex& b) {
  komplex c;
  c.re = a.re + b.re;
  c.im = a.im + b.im;
  return c;
}

komplex operator*(const komplex& a, const komplex& b) {
  komplex c;
  c.re = a.re*b.re-a.im*b.im;
  c.im = a.re*b.im + b.re*a.im;
  return c;
}

ostream& operator<< (ostream& out, const komplex& a) {
  out << a.re << ((a.im>0)? '+':'-') << abs(a.im) << 'i';
  return out;
}

int main() {
  komplex x = komplex(12, 23), y=komplex(11, -11);
  komplex z = x + y;
  cout << "x = " << x << endl;
  cout << "y = " << y << endl;
  cout << "x+y = " << z << endl;
  cout << "x*y = " << x*y << endl;
  cout << "x*(1-1i) = " << x*komplex(1,-1) << endl;
  return 0;
}
```

```
x = 12+23i
y = 11-11i
x+y = 23+12i
x*y = 385+121i
x*(1-1i) = 35+11i
```

2.2 Az iterátorok (bejárók) használata

Az iterátor olyan objektum, amely képes egy adathalmaz bejárására. Az adathalmaz jelentheti valamely STL konténerben tárolt elemeket, vagy azok résztartományát. Az iterátor egy pozíciót határoz meg a tárolóban. Az iterátorok használatához az *<iterator>* fejállomány kell a programunkba beépíteni.

Az iterátorra, mint általánosított mutatóra tekintve, jobban megérthetjük annak működését. Ez alapján az iterátorokhoz rendelt alapvető műveletek működése egyszerűen értelmezhető, amennyiben *p* és *q* iterátorkat, *n* pedig nemnegatív egész számot jelölnek. (Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az egyes műveletek alkalmazhatósága függ az iterátor fajtájától – lásd következő részt.)

- A **p* kifejezés megadja a konténer *p* által kijelölt pozícióján álló elemet. Amennyiben az elem egy objektum, akkor annak tagjaira a *(*p).tag* vagy a *p->tag* formában hivatkozhatunk.
- A *p[n]* kifejezés megadja a konténer *p+n* kifejezés által kijelölt pozícióján álló elemet - hatásában megegyezik a **(p+n)* kifejezéssel.
- A *p++* illetve a *p--*kifejezések hatására a *p* iterátor az aktuális pozíciót követő, illetve megelőző elemre lép. (A műveletek prefixes alakja is alkalmazható).
- A *p==q* és a *p!=q* kifejezések segítségével ellenőrizhetjük, hogy a *p* és *q* iterátorok a tárolón belül ugyanarra az elemre hivatkoznak-e vagy sem.
- A *p<q*, *p<=q*, *p>q*, *p>=q* kifejezések segítségével ellenőrizhetjük, hogy a tárolón belül a *p* által kijelölt elem megelőzi-e a *q* által mutatott elemet, illetve fordítva.
- A *p+n*, *p-n* kifejezésekkel a *p* által kijelölt elemhez képest *n* pozícióval távolabb álló elemre hivatkozhatunk előre (*+*), illetve visszafelé (*-*).
- A *p+=n*, *p-=n* kifejezések kiértékelése után a *p* az eredeti pozíciójához képest *n* pozícióval távolabb álló elemre hivatkozik előre (*+=*), illetve visszafelé (*-=*).
- A *q-p* kifejezés megadja a *q* és *p* iterátorok által kijelölt elemek pozíciókban mért távolságát egymástól.

2.2.1 Az iterátorok kategorizálása

A bejárókat öt alapvető kategóriába sorolhatjuk.

Iterátor-kategória	***Leírás***	***Műveletek (p az iterátor)***	***Alkalmazási terület***
Kimeneti (*output*)	írás a konténerbe, előre haladva	*p=, ++	**ostream**
Bemeneti (*input*)	olvasás a konténerből, előre haladva	=*p, ->, ++, ==, !=	**istream**
Előrehaladó (*forward*)	írás és olvasás, előre haladva	*p=, =*p, ->, ++, ==, !=	**forward_list**, **unordered_set**, **unordered_multiset**, **unordered_map**, **unordered_multimap**
Kétirányú (*bidirectional*)	írás és olvasás, előre vagy visszafelé haladva	*p=, =*p, ->, ++, --, ==, !=	**list**, **set**, **multiset**, **map**, **multimap**
Tetszőleges elérésű (*random-access*)	írás és olvasás, előre vagy visszafelé haladva, illetve indexelve is.	*p=, =*p, ->, ++, --, ==, !=, [ ], +, -, +=, -=, <, >, <=, >=	**vector**, **deque**, **array**

Fontos megjegyeznünk, hogy a *forward* iterátortól kezdve minden kategória helyettesítheti a megelőző kategóriákat. (A kategóriához tartozó új műveleteket bordó színnel emeltük ki.)

2.2.1.1 Az input iterátor

A legegyszerűbb iterátor, amely csak a konténerek olvasására használható. A bemeneti iterátorral csak az ***istream_iterátor*** osztálysablon tér vissza. Az input iterátor tetszőleges más iterátorral helyettesíthető, kivéve a kimeneti *iterátort. Az alábbi példában 3, szóközzel tagolt egész számot olvasunk be:*

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

int main () {
  double adatok[3] = {0};
  cout << "Kerek 3 szamot: ";

  istream_iterator<double> pOlvaso(cin);
  for (int i = 0; i < 3; i++) {
    adatok[i] = *pOlvaso;
    if(i<2) pOlvaso++;
  }

  for (int elem : adatok)
    cout << elem << "\t";
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.2.1.2 Az output iterátor

Az output iterátorral mindenütt találkozhatunk, ahol valamilyen adatfeldolgozás folyik az STL eszközeivel, például a másolás (*copy*), vagy az összefésülés (*merge*) algoritmusok. Kimeneti iterátort az output adatfolyam-iterátor adapter (***ostream_iterator***) és a beszúró iterátor adapterek (***inserter***, ***front_inserter*** és ***back_inserter***) szolgáltatnak. *A kimeneti adatfolyam iterátorra való másolás az adatok kirását jelenti:*

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

int main(void) {
  int adatok[] = {1, 2, 3, 12, 23, 34};
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int>(cout, "\t"));
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.2.1.3 A forward iterátor

Amennyiben egyesítjük a bemeneti és a kimeneti iterátorokat, megkapjuk az előrehaladó iterátort, amellyel a konténerben tárolt adatokon csak előre irányban lépkedhetünk. *Az előrehaladó iterátor műveleteivel minden további nélkül készíthetünk elemeket új értékkel helyettesítő függvénysablont:*

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

template <class FwdIter, class Tipus>
void Cserel(FwdIter elso, FwdIter utolso, const Tipus& regi, const Tipus& uj) {
   while (elso != utolso) {
      if (*elso == regi)
          *elso = uj;
      ++elso;
   }
}
```

```
int main(void) {
  int adatok[] = {1, 2, 3, 12, 23, 34};
  Cserel(begin(adatok), end(adatok), 2, 22);
  Cserel(begin(adatok), end(adatok), 1, 111);
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int>(cout, "\t"));
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.2.1.4 A bidirectional iterátor

A kétirányú iterátorral a konténerben tárolt adatokon előre és visszafelé is lépkedhetünk, köszönhetően a *decrement* (--) operátornak. Több algoritmus is kétirányú iterátorokat vár paraméterként, mint például az adatok sorrendjét megfordító *reverse()* algoritmus.

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

int main(void) {
  int adatok[] = {1, 2, 3, 12, 23, 34};
  reverse(begin(adatok), end(adatok));
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int>(cout, "\t"));
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.2.1.5 A random-access iterator

A tetszőleges elérésű iterátorok lehetőségei teljes egészében megegyeznek a normál mutatókéval. A *vector* és a *deque* tárolókon túlmenően a C tömbök esetén is ilyen iterátokat használhatunk. *Az alábbi példaprogramban egy függvénysablont készítettünk a tetszőleges elérésű iterátorokkal kijelölt tartomány elemeinek véletlenszerű átrendezésére. (Az elempárok cseréjét az iter_swap() algoritmus hívásával végezzük.)*

```
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <iterator>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
using namespace std;

template <class RandIter>
void Kever(RandIter elso, RandIter utolso) {
  while (elso < utolso) {
    iter_swap(elso, elso + rand() % (utolso - elso));
    ++elso;
  }
}

int main(void) {
  int adatok[] = {1, 2, 3, 12, 23, 34};
  srand(unsigned(time(nullptr)));
  Kever(begin(adatok), end(adatok));
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int>(cout, "\t"));
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.2.2 Iterátor-jellemzők (iterator traits)

Az ***iterator_traits*** osztálysablon egységes felületet biztosít a különböző típusú iterátorokhoz. Az osztálysablonban az ***iterator*** osztálynak megfelelő típusdefíniciókat találunk:

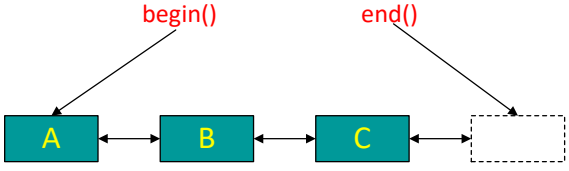
Típus	*Leírás*
distance_type	az iterátorok távolságát leíró típus,
value_type	az iterátor által elérhető adat típusa – ez **void** kimeneti bejárók esetén,
pointer	a bejárt (*value_type* típusú) adatokhoz tartozó mutatótípus,
reference	a bejárt (*value_type* típusú) adatokhoz tartozó referenciatípus,
iterator_category	az iterátor kategóriája, egyike az *input_iterator_tag*, az *output_iterator_tag*, a *forward_iterator_tag*, a *bidirectional_iterator_tag*, és a *random_access_iterator_tag* típusoknak.

A C++ nyelv mutatóihoz az ***iterator_traits*** osztálysablon specializált változatát használhatjuk. Az iterátor-jellemzőkre olyan sablonokban van szükség, amelyek iterátort várnak paraméterként. *Jól szemlélteti ezt az alábbi példaprogram, amelyben definiált függvénysablonnal a megadott tartomány elemeinek sorrendjét megfordítjuk:*

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

template<class BiIter>
void Megfordit(BiIter elso, BiIter utolso) {
  typename iterator_traits<BiIter>::difference_type n = distance(elso, utolso);
  n--;
  while(n > 0) {
    typename iterator_traits<BiIter>::value_type adat = *elso;
    *elso++ = *--utolso;
    *utolso = adat;
    n -= 2;
  }
}

int main(void) {
  int adatok[] = {1, 2, 3, 12, 23, 34};
  Megfordit(begin(adatok), end(adatok));
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int>(cout, "\t"));
  cout << endl;
  return 0;
}
```

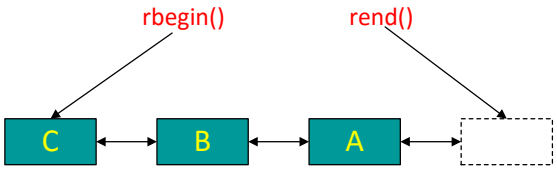
2.2.3 Iterátorok a konténerekben tárolt elemekhez

Normál és konstans iterátorral térnek vissza a konténerek *begin()* és *cbegin()* tagfüggvényei, míg az utolsó elem utáni pozícióra hivatkoznak az *end()* és *cend()* tagfüggvények. A bejáráshoz előre kell léptetnünk (++) a *begin()*/*cbegin()* tagok hívásával megkapott iterátorkat. (A függvények által visszaadott *iterator* és *const_iterator* típusú bejárók kategóriáját a konténer fajtája határozza meg.)



Az *array*, a *vector*, a *deque*, a *list*, a *set*, a *multiset*, a *map* és a *multimap* konténerek esetén fordított irányú bejárást is lehetővé tesznek az *rbegin()*, *crbegin()*, illetve az *rend()*, *crend()* tagfüggvények által visszaadott iterátorok. Ezek a függvények *reverse_iterator*, illetve *const_reverse_iterator* típusú ér-

tékkel térnek vissza. A bejáráshoz ebben az esetben is előre kell léptetnünk (++) az *rbegin()*/*crbegin()* tagok hívásával megkapott iterátorkat.



A C++11 bevezette a *begin()* és az *end()* függvénysablonokat, amelyekkel olyan tárolókhoz is készíthetünk iterátorokat, amelyek nem rendelkeznek az azonos nevű tagfüggvényekkel, mint például a C tömbök, az inicializációs lista vagy a ***valarray*** értéktömb. A C++14 ezt a megoldást az összes iterátor-függvényre kiterjesztette: *cbegin()*/*cend()*, *rbegin()*/*rend()*, *crbegin()*/*crend()*.

2.2.4 Az iterátor függvénysablonok használata

Az alábbi iterátor műveletek esetén azt a legkisebb „tudású” iterátortípust adjuk meg, amellyel a függvényhívás megvalósítható. Természetesen „nagyobb tudású” bejárókkal is minden további nélkül hívhatók ezek a függvények.

Az *advance(p)* függvénysablon az argumentumként megadott input iterátort a megadott számú lépéssel előre mozgatja, felülírva az iterátor eredeti értékét.

A *distance(p,q)* függvénysablonnal megtudhatjuk a megadott két input iterátor között elhelyezkedő elemek számát.

A *next(p)*, *next(p,n)* függvénysablon a megadott előrehaladó iterátort eggyel vagy a megadott számú lépéssel előre, míg a *prev(p)*, *prev(p,n)* a megadott kétirányú iterátort eggyel vagy a megadott számú lépéssel visszalépteti. Mindkét függvény visszatérési értéke tartalmazza az új iterátort.

A műveleteke használatát az alábbi példaprogrammal szemléltetjük:

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

int main(void) {
  int adatok[] = {1, 2, 3, 12, 23, 34};
  auto pAdatok = begin(adatok);
  advance(pAdatok, 3);
  cout << *pAdatok << endl;                // 12
  cout << distance(begin(adatok), end(adatok)) << endl; // 6
  cout << *next(begin(adatok)) << endl;    // 2
  cout << *next(begin(adatok), 2) << endl; // 3
  cout << *prev(end(adatok)) << endl;      // 34
  cout << *prev(end(adatok), 2) << endl;   // 23
  return 0;
}
```

2.2.5 Iterátor adapterek

Az iterátor adapter osztályok az algoritmusok valamint az adatfolyam és a tároló osztályok között egy interfészt valósítanak meg, melyekkel egyszerűbbé tehető az algoritmus hívásakor megkívánt típusú iterátor és a mögötte álló konténerobjektum összekapcsolása.

2.2.5.1 Adatfolyam-iterátor adapterek

A korábbi példákban már használtuk az *istream_iterator* és az *ostream_iterator* iterátor adaptereket. Ezeken túlmenően a puffert alkalmazó adapterváltozatokat (*istreambuf_iterator*, *ostreambuf_itera-*

tor) is megtaláljuk az STL-ben. *Az alábbi példákban karakterpufferből olvasunk karaktereket, és karakterpufferbe írunk szövegeket*.

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

int main(void) {
  istringstream s("NAT");
  istreambuf_iterator<char> iter(s);
  char a = *iter++;
  char b = *iter;
  cout << "a=" << a << "\tb=" << b << endl; // a=N     b=A
  return 0;
}
```

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

int main(void) {
  stringstream s;
  ostreambuf_iterator<char> iter(s);
  string m[] = {"Xenia", "Szofia", "Vaszja"};
  for (const string& elem : m) {
    copy(begin(elem), end(elem), iter);
    s << ", ";
  }
  cout << s.str() << endl; // Xenia, Szofia, Vaszja,
  return 0;
}
```

2.2.5.2Beszúró iterátor adapterek

A beszúró adapterek használatával az algoritmusok felülírás helyett beillesztik az adatokat a konténerbe. A különböző beszúró iterátor adapterek a működésük során más és más konténer-tagfüggvényt hívnak:

az iterátor adapter típusa (osztálysablon)	***az iterátor adaptert létrehozó függvénysablon***	***beszúrás az alábbi tagfüggvény hívásával***
back_insert_iterator	*back_inserter()*	*push_back()*
front_insert_iterator	*front_inserter()*	*push_front()*
insert_iterator	*inserter()*	*insert()*

2.2.5.3 Fordított (reverse) iterátor adapter

Mint láttuk a *rbegin()*/*rend()* tagfüggvényekkel állíthatunk elő ***reverse_iterator*** típusú iterátort. C++14-től fordított iterátort más iterátorból is előállíthatunk a *make_reverse_iterator()* függvénysablon segítségével.

2.2.5.4 Áthelyező (move) iterátor adapter

A C++ 11 nyelv jelentős újítása az ún. move szemantika bevezetése. A korábbi műveleteink az objektumok másolásán alapultak, most azonban választhatunk a másolás és az áthelyezés között. A legalább beviteli iterátort a *make_move_iterator()* függvénysablon hívásával áthelyező iterátor-adapterré (***move_iterator***) alakíthatjuk.

Az alábbi példában az elemek valóban áthelyeződtek, azonban a tömbök mérete nem változott meg, lévén azok statikus helyfoglalásúak.

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

int main(void) {
  int v1[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
  int v2[3];
  copy(make_move_iterator(begin(v1)),
       make_move_iterator(end(v1)),
       begin(v2) );
  for (int i=0; i<2; i++)
    cout << v1[i] << "\t"; // 45      56
  cout << endl;
  for (int i=0; i<3; i++)
    cout << v2[i] << "\t"; // 12      23      34
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.2.6 A konténerek bejárása

Az iterátorok és a C++ nyelv elemeinek felhasználásával különböző módon járhatjuk be a konténereinket. Mivel a konténerek részletes tárgyalását a következő fejezet tartalmazza, a példákban továbbra is C tömböket használunk. Ennek ellenére a megoldások a konténerekre is alkalmazhatók a mutatók megfelelő típusú iterátorral való helyettesítését követően.

Az első két esetben ismernünk kell a ciklusváltozóként használt iterátor típusát:

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
int * p = begin(adatok);
while (p!=end(adatok)) {
  cout << *p << endl;
  p++;
}
```

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (int* p=begin(adatok); p!=end(adatok); p++)
  cout << *p << endl;
```

Az **auto** kulcsszóval az iterátorok típusának felismerését a fordítóra is bízhatjuk:

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
auto p = begin(adatok);
while (p!=end(adatok)) {
  cout << *p << endl;
  p++;
}
```

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (auto p=begin(adatok); p!=end(adatok); p++)
  cout << *p << endl;
```

Természetesen a *p* iterátor segítségével módosíthatjuk is a tároló tartalmát:

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
auto p = begin(adatok);
while (p!=end(adatok)) {
  *p += 11;
  p++;
}
```

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (auto p=begin(adatok); p!=end(adatok); p++)
  *p += 11;
```

Az iterátorok kezelését is a fordítóra bízhatjuk a tartományalapú **for** ciklus alkalmazásával. Az elem típusának megválasztásakor dönthetünk arról, hogy kívánjuk-e módosítani a tároló elemeit, mivel ekkor referencia típust kell használnunk.

Az első két példában csak olvassuk az elemek értékét, míg a második kettőben meg is változtatjuk azokat:

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (int elem : adatok)
  cout << elem << endl;
```

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (const auto& elem : adatok)
  cout << elem << endl;
```

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (int& elem : adatok)
  elem += 11;
```

```
int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
for (auto& elem : adatok)
  elem += 11;
```

Végül használjuk a *for_each()* algoritmust lambda-függvényekkel!

```
for_each( begin(adatok),
      end (adatok),
      [](int& elem) { elem+=11; } );
```

```
for_each( begin(adatok),
    end (adatok),
    [](int elem) { cout<<elem<<endl;} );
```

Bonyolult műveletek sokszori végrehajtásával végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a leggyorsabb megoldást a tartományalapú for ciklus adja, melyet a *for_each()* algoritmus követ kicsivel lemaradva. Ezekhez képest majdnem kétszer annyi időt igényelnek az iterátorokat használó hagyományos ciklusok.

2.3 Programozás függvényobjektumokkal

Az alábbiakban egyszerű példákon keresztül ismerkedünk meg a függvényobjektumok készítésével és használatával. A példákban C tömböket és néhány egyszerűbb STL algoritmust használunk.

2.3.1 Függvénymutatók átadása az algoritmusoknak

A *find_if()* algoritmus két bemeneti iterátorral kijelölt tartományon belül (balról zárt, jobbról nyitott), megkeresi az első olyan elemet, amelyre az egyoperandusú predikátum igaz értékkel tér vissza. Amennyiben nem talál ilyet, a második iterátort adja vissza. *A keresés menetét egy párosságot ellenőrző függvénnyel vezéreljük. Ha a tömb elemei* ***int*** *típusúak, az alábbi program a megoldás:*

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

bool Paros(int x) {
  return (x % 2) == 0;
}

int main() {
  int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
  auto p = find_if(begin(adatok), end(adatok), Paros);
  if (p != end(adatok))
    cout << *p << endl;
  else
    cout << "nem talalt" << endl;
}
```

A függvénymutatók alkalmazásával ugyan egyszerű megoldáshoz jutunk, azonban két nagy hiányossággal találjuk szembe magunkat:

- Nem hatékony: a *find_if()* algoritmusban többször meg kell keresni a mutató által hivatkozott függvényt. A fordító nem tudja a kódot optimalizálni, hiszen a mutató tartalma elvileg meg is változtatható.
- Nem rugalmas: nem tudunk olyan predikátum függvényt készíteni, ami egy külső szinten definiált lokális változó értékét használná a függvényen belül.

Mindkét problémára megoldást jelent, ha függvényobjektumot használunk.

2.3.2 Függvényobjektumok átadása az algoritmusoknak

Függvényobjektum használatához egy olyan osztály kell készítenünk, amelyben szerepel a

típus operator() (paraméterek) { }

függvény. Az algoritmus hívásakor az osztály alapértelmezett (vagy más) konstruktorral előállított példányát (objektumát) adjuk át.

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

class Paros {
  public:
    bool operator() (int x) const {
      return (x % 2) == 0;
    }
};
```

```
int main() {
  int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
  auto p = find_if(begin(adatok), end(adatok), Paros());
  if (p != end(adatok))
    cout << *p << endl;
  else
    cout << "nem talalt" << endl;
}
```

Nagyon hasznos megoldás, ha a függvényobjektumhoz saját belső változót (állapotot) definiálunk, amely a konstruálás során kap értéket. *Az alábbi példában megkeressük az adatok tömb első olyan elemét, amely nagyobb, mint 42.*

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

class NagyobbMint {
  public:
    NagyobbMint(double x = 0) : allapot(x) {}
    bool operator() (double x) const {
      return x > allapot;
    }
  private:
    double allapot;
};

int main() {
  double adatok[5] = {12.01, 23.12, 34.23, 45.34, 56.45};
  auto p = find_if(begin(adatok), end(adatok), NagyobbMint(42));
  if (p != end(adatok))
    cout << *p << endl;
  else
    cout << "nem talalt" << endl;
}
```

A bevezető részben már említettük, hogy lambda-kifejezésekkel ún. névtelen függvényobjektumokat hozhatunk létre, amelyek még egyszerűbbé teszik a fenti két megoldást:

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
using namespace std;
int main() {
  int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
  auto p = find_if(begin(adatok), end(adatok),
                   [] (int x) -> bool { return (x%2)==0; } );
  if (p != end(adatok))
    cout << *p << endl;
  else
    cout << "nem talalt" << endl;
}
```

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
using namespace std;
int main() {
  double adatok[5] = {12.01, 23.12, 34.23, 45.34, 56.45};
  double allapot = 42;
  auto p = find_if(begin(adatok), end(adatok),
                   [allapot] (double x) -> bool { return x > allapot;} );
  if (p != end(adatok))
    cout << *p << endl;
  else
    cout << "nem talalt" << endl;
}
```

A fentiekhez hasonló módon készthetünk nem predikátum, kétparaméteres függvényobjektumokat is. *A transform() algoritmus segítségével számítsuk ki két vektor elemeinek páronkénti szorzatát!*

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

struct Szoroz {
  public:
    int operator()(int a, int b) {
      return a*b;
    }
};

int main() {
  int xt[5] = { 8,  5,  3,  2,  1};
  int yt[5] = {13, 21, 34, 55, 89};
  int zt[5];
  transform(begin(xt), end(xt), begin(yt), begin(zt), Szoroz());
  for (int e : zt)
    cout << e << "\t"; // 104     105     102     110     89
  cout << endl;
}
```

A megoldás lambda-kifejezés alkalmazásával:

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

int main() {
  int xt[5] = { 8,  5,  3,  2,  1};
  int yt[5] = {13, 21, 34, 55, 89};
  int zt[5];
  transform(begin(xt), end(xt), begin(yt), begin(zt),
            [] (int x, int y) { return x*y;} );
  for (int e : zt)
    cout << e << "\t"; // 104     105     102     110     89
  cout << endl;
}
```

2.3.3 Előre definiált függvényobjektumok

A C++ nyelv szabványos könyvtárában (*<functional>*) megtalálható, előre definiált függvényobjektumok lefedik az alapvető műveleteket. Például, a rendezésekhez használt (<) kisebb műveletnek a *less* függvényobjektum felel meg. Az alábbi táblázat bal oszlopában a függvényobjektumok neveit láthatjuk, míg jobb oldalon a paramétereket és a műveletet találjuk.

Aritmetikai műveletek	
negate	*- param*
plus	*param1 + param2*
minus	*param1 - param2*
multiplies	*param1 * param2*
divides	*param1 / param2*
modulus	*param1 % param2*
Összehasonlítások	
equal_to	*param1 == param2*
not_equal_to	*param1 != param2*
less	*param1 < param2*
greater	*param1 > param2*
less_equal	*param1 <= param2*
greater_equal	*param1 >= param2*

Logikai műveletek (rövidzár kiértékelés nélkül!)	
logical_not	*! param*
logical_and	*param1 && param2*
logical_or	*param1 || param2*
Bitenkénti logikai műveletek	
bit_not	*~ param*
bit_and	*param1 & param2*
bit_or	*param1 | param2*
bit_xor	*param1 ^ param2*

Amikor egy tömb adatait rendezzük a *sort()* algoritmussal, növekvő sorrendet kapunk. Ha csökkenő sorrendben szeretnénk látni a rendezés eredményét, a ***greater*** függvényobjektumot kell megadnunk a *sort()* utolsó argumentumaként:

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

int main() {
  int adatok[5] = { 35,  1,  3,  12,  23};
  sort(begin(adatok), end(adatok), greater<int>());
  for (int e : adatok)
    cout << e << "\t"; // 35      23      12      3       1
  cout << endl;
}
```

2.3.4 Függvényobjektumok előállítása programból

A C++11 eldobta a „régi” függvényobjektum adaptereket, és helyettük nagyon kényelmes burkolókat (*wrapper*) vezetett be a függvényekhez, a függvényobjektumokhoz és a lambda-kifejezésekhez.

A ***function*** osztálysablon segítségével mindenféle függvényobjektumra hivatkozhatunk. A *bind()* függvénysablonnal argumentumokat rendelhetünk a függvényobjektumokhoz. A *mem_fn()* sablonnal pedig osztálytagok eléréséhez készíthetünk burkolókat.

Adapter hívása	***Leírás***
g = bind(fv, argumentumok)	a *g(argumentumok2)* hívás megegyezik az *fv(argumentumok3)* hívással, ahol az *argumentumok*ban található helyfoglalók (*_1*, *_2*, *_3*) az *argumentumok2* megfelelő argumentumaival helyettesítődnek,
g = mem_fn(fv)	a *g(p, argumentumok)* hívás jelentése *p->fv(argumentumok)*, ha *p* mutató, és *p.tagfv(argumentumok)*, ha nem az,
g = not1(fv)	a *g(x)* hívás jelentése *!fv(x)*,
g = not1(fv)	a *g(x, y)* hívás jelentése *!fv(x, y)*,
r = ref(adat)	a burkoló referenciát készít az *adat*hoz,
r = cref(adat)	a burkoló konstans referenciát készít az *adat*hoz.

Az alábbi példában egyszerű függvények felhasználásával csokorba gyűjtöttük a fenti sablonok alkalmazásának fogásait:

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

```
int szoroz(int a, int b) {
  return a * b;
}

struct Szoroz {
  int operator()(int a, int b) const {
    return a*b;
  }
  int NegyzetOsszeg(int a, int b) const {
    return a*a + b*b;
  }
  int adat = 123;
};

int main()
{
  // normál függvény
  function<int(int,int)> fSzoroz = szoroz;
  cout << fSzoroz(12, 23) << endl;

  // függvényobjektum
  function<int(int,int)> fFunktor = Szoroz();
  cout << fFunktor(12, 23) << endl;

  // lambda-függvény
  function<int(int,int)> fLambda = [](int a, int b) { return a * b; };
  cout << fLambda(12, 23) << endl;

  // szorzó függvényobjektum 5*7
  auto fKot1 = bind(szoroz, 5, 7);
  cout << fKot1() << endl;

  // szorzó függvényobjektum 5*argumentum
  auto fKot2 = bind(szoroz, 5, _1);
  cout << fKot2(12) << endl;

  // tagfüggvényhívás beburkolása
  auto fKot3 = bind( &Szoroz::NegyzetOsszeg, Szoroz(), _1, _2);
  cout << fKot3(12, 23) << endl;

  // Osztálytagok elérése
  Szoroz szor;
  auto fTagFv = mem_fn(&Szoroz::NegyzetOsszeg);
  cout << fTagFv(szor, 12, 23) << endl;

  auto fAdatTag = mem_fn(&Szoroz::adat);
  cout << fAdatTag(szor) << endl;
}
```

Végül oldjuk meg az alfejezet induló feladatát kizárólag sablonok felhasználásával! A *bind()* hívásokat egymásba ágyazva összetettebb feltételeket is megfogalmazhatunk, bár a program olvashatósága kívánalmakat hagy maga után:

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <functional>
using namespace std;
using namespace std::placeholders;

int main() {
  int adatok[5] = {12, 23, 34, 45, 56};
  auto p = find_if(begin(adatok), end(adatok),
                   bind(equal_to<int>(), bind(modulus<int>(),_1, 2), 0)
                   );
  if (p != end(adatok))
    cout << *p << endl;
  else
    cout << "nem talalt" << endl;
}
```

2.3.5 Hasító függvények készítése

A C++ nyelv alaptípusaihoz a ***hash*** függvényobjektum specializált változatatait a *<functional>* fejállomány tartalmazza. Felhasználói típusokhoz (**struct**, **class**) a megfelelő hasító függvényt magunknak kell elkészíteni, felhasználva az alaptípusok ***hash*** függvényeit. Az alaptípusú adattagok hasító értékei között egyaránt végezhetünk bitenkénti és aritmetikai műveleteket.

Az alábbi példában a Pont struktúra minden adattagját felhasználtuk a PontHash hasító függvényobjektum elkészítéséhez, míg a PHash() függvényt csak a numerikus tagokra alapozva hoztuk létre.

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

struct Pont {
  string jel;
  int x,y;
};

struct PontHash {
  size_t operator()(const Pont& p) const {
    size_t h1 = hash<string>()(p.jel);
    size_t h2 = hash<int>()(p.x);
    size_t h3 = hash<int>()(p.y);
    return (h1 ^ (h2 << 1) ^ (h3<<2)) % 256;
  }
};

size_t PHash(const Pont& p) {
  size_t h1 = hash<int>()(p.x);
  size_t h2 = hash<int>()(p.y);
  return h1 ^ (h2 << 1) ;
}

int main() {
  Pont pontok[] = { {"A",1,2}, {"B",1,3}, {"B",2,3}, {"D",-1,-2}, {"A",2,1} };
  for (const auto& pont : pontok) {
    cout << PontHash()(pont) << "\t" << PHash(pont);
    cout << "\t(" << pont.jel << "," << pont.x << "," << pont.y << ")\n" ;
  }
}
```

```
243     5       (A,1,2)
191     7       (B,1,3)
185     4       (B,2,3)
155     3       (D,-1,-2)
249     0       (A,2,1)
```

2.4 A konténerekről programozói szemmel

Az STL-ben a konténerek is sablonok formájában vannak jelen. A fentiekben már találkoztunk osztály- és függvénysablonokkal, azonban tárolók esetén több lehetőség áll a rendelkezésünkre.

Miután kiválasztottuk a felhasználni kívánt konténertípust, a megfelelő deklarációs állományt (lásd a bevezetőt) be kell építenünk a programunkba. Ezt követően a konténer osztálysablont megfelelően paraméterezve példányosítjuk azt. Ha többször is használjuk a programban ugyanazt a tároló típust, javasolt a **typedef** alkalmazása. Bármelyik utat is választjuk, a konténerosztállyal – a szokásos módon – konténerobjektumokat kell készítenünk, gondoskodva a megfelelő konstruktor meghívásáról. A programkésztés további részeiben a tároló objektumokkal dolgozunk, hívjuk azok tagfüggvényeit, használjuk a kapcsolódó műveleteket, illetve iterátorok segítségével algoritmusokat hajtunk végre az elemeiken.

A leggyakrabban használt ***vector*** konténeren mutatjuk be az elmondottakat:

```
#include <iostream>
#include <vector>     // a szükséges deklarációs fájl
using namespace std;  // így nem kell az std:: névtér-hivatkozást használnunk

int main() {
  vector<int> vektor(10); // tíz 0 értékű elemmel feltöltött vektor
  for(int i = 0; i < vektor.size(); i++) // tagfüggvény hívása
    cout << vektor[i] << ' ';            // az indexelés operátorának használata
  cout << endl;
  return 0;
}
```

A következőkben először megismerkedünk konténerekre vonatkozó általános tudnivalókkal, majd pedig sorra vesszük az egyes tárolókat.

2.4.1 A konténersablonok paraméterezése

Minden konténer esetén kötelező paraméter a tárolandó adat(ok) típusa (*AdatTípus*, *KulcsTípus*), míg a többi paraméter rendelkezik alapértelmezés szerinti értékkel. Minden igazi (nem adapter) konténersablon utolsó paramétere a helyfoglaló *Allocator*, melynek ***allocator*** kezdőértékét csak igen ritkán változtatjuk meg, ezért a későbbiekben mindig elfogadjuk az alapértelmezett beállítást. Példaként tekintsük a ***vector*** sablon definícióját:

```
template<typename AdatTipus,
         typename Allocator = std::allocator<AdatTipus>>
class vector {
  // ...
};
```

A soros konténerek mindegyikét hasonlóan kell paraméterezni, kivételt képez az ***array***, amelyik egy konstans érték paraméterben várja a méretet, és amelynek nincs helyfoglaló paramétere:

```
array<AdatTípus, Méret>
vector<AdatTípus>
deque<AdatTípus>
list<AdatTípus>
forward_list<AdatTípus>
```

A rendezett asszociatív tárolósablonok egy további, *Compare* paraméterének egy függvényobjektumot kell átadnunk, amelyre a rendezettség fenntartása érdekében van szükség. Ez a paraméter is rendelkezik alapértelmezett értékkel az ***std::less***<*KulcsTípus*> (kisebb, <) függvényobjektummal,

amely minden C++ és STL típus esetén megfelel számunkra. Ezt csak akkor kell lecserélnünk, ha más rendezési elvet kívánunk használni, vagy ha saját osztályt adunk meg kulcstípusként.

```
set<KulcsTípus, Compare>
multiset<KulcsTípus, Compare>
```

Az asszociatív tömbök (szótárak) esetén két adattípust is meg kell adnunk a sablon példányosításakor, hiszen itt ***pair<const*** *KulcsTípus, AdatTípus>* adatpárok tárolódnak a konténerben a kulcs alapján rendezve.

```
map<KulcsTípus, AdatTípus, Compare>
multimap<KulcsTípus, AdatTípus, Compare>
```

A nem rendezett (*unordered*) konténersablonokban a *Compare* paraméter helyett egy *Hash* és egy *KeyEqual* (függvényobjektum) paraméter jelenik meg. Mindkettőre a hasító táblák kezelése során van szükség. A *Hash* (hasító) paraméter alapértéke a már megismert ***std::hash<****KulcsTípus****>*** funktor, míg a *KeyEqual* (kulcsegyenlőség, ==) paraméteré az ***std::equal_to<****KulcsTípus****>***. Mivel a ***hash*** osztálysablonnak a C++ alaptípusok mellet csak néhány STL típushoz létezik specializált változata, gyakrabban kell saját függvényobjektummal helyettesítenünk.

```
unordered_set<KulcsTípus, Hash, KeyEqual>
unordered_multiset<KulcsTípus, Hash, KeyEqual>
unordered_map<KulcsTípus, AdatTípus, Hash, KeyEqual>
unordered_multimap<KulcsTípus, AdatTípus, Hash, KeyEqual>
```

A konténer adapter osztálysablonok paraméterei között nem találjuk meg a helyfoglalót, hiszen mindegyikük valamelyik alapértelmezett soros tárolóra (*Container*) épül, amit persze magunk is megadhatunk. A *Container* paraméter alapértéke *std::**deque**<AdatTípus>* a verem (*stack*) és a sor (*queue*) esetén, míg *std::**vector**<AdatTípus>* a prioritásos sor (*priority_queue*) esetén. A prioritásos sor *Compare* paraméterének alapértéke a már megismert ***std::less<****AdatTípus****>*** függvényobjektum.

```
stack<AdatTípus, Container>
queue<AdatTípus, Container>
priority_queue<AdatTípus, Container, Compare>
```

A tárolt adatok és kulcsok típusaként minden olyan típust megadhatunk, amelyek objektumai konstruktorral vagy értékadással másolhatók (*copy*) és/vagy áthelyezhetők (*move*), illetve felcserélhetők (*swap*). Amennyiben egy típus nem támogatja ezeket a műveleteket, akkor annak mutatóját (*unique_ptr<Típus>* vagy Típus*) tárolhatjuk a konténerekben.

2.4.2 Típusok a konténer osztályokban

A konténerosztályok mindegyike egy sor nyilvános elérésű típust definiál, amelyekből megtudhatjuk az osztály kialakítása során felhasznált típusokat. Ezeket a típusokat az osztálynév és a hatókör operátor megadásával érhetjük el, például a tárolóhoz rendelt bejáró típusa:

```
vector<double>::iterator
```

Az alábbi táblázatban összefoglaltuk a *CC*-vel jelölt konténerosztályok (*Container Class*) típusait. A konténerosztály a megfelelő osztálysablon példányosításával jön létre, mint például *vector<**int**>*.

Megjegyezzük, hogy az *allocator_type* típus hiányzik az ***array*** konténerekből, míg a fordított iterátor típusokat nem találjuk meg a ***forward_list*** típusú és a rendezetlen asszociatív tárolókban.

Típus	*Leírás*
CC::*value_type*	a konténerben tárolt adatok típusa,
CC::*size_type*	a konténer méretének típusa (általában *size_t*),
CC::*reference*	a tárolt adatok referenciájának típusa,
CC::*const_reference*	a tárolt adatok konstans referenciájának típusa,
CC::*pointer*	mutatótípus a tárolt adathoz,
CC::*const_pointer*	konstans mutatótípus a tárolt adathoz,
CC::*iterator*	iterátor típus,
CC::*const_iterator*	a konstans iterátor típusa,
CC::*reverse_iterator*	a fordított iterátor típusa,
CC::*const_reverse_iterator*	a konstans fordított iterátor típusa,
CC::*difference_type*	két CC::*iterator* típusú érték különbségének típusa (általában *ptrdiff_t*).
CC::*allocator_type*	a memóriakezelő típusa.

A fenti táblázatban a *const_* előtaggal ellátott típusok konstans konténerek esetén kötelező alkalmazni, míg normál tárolók esetén az előtag nélküli típusok az alapértelmezettek, azonban szükség esetén a konstans típusokat is használhatjuk.

```
konténer<típus> normál;
const konténer<típus> konstans;
```

Felhívjuk a figyelmet, hogy a konstans konténereken semmilyen módosítás sem hajtható végre, ezért elsősorban függvények bemenő paramétereként szerepeltetjük:

```
fvtípus függvény(const konténer<típus>& paraméter) { ... }
```

Az asszociatív konténerek további típusokat is definiálnak:

Típus	*Leírás*
ASSOC::*key_type*	a kereső kulcs típusa,
ASSOC::*mapped_type*	az asszociatív tömbök (*maps*) párjaiban az adat típusa,
ASSOC::*key_compare*	a kulcsokat összehasonlító objektum típusa rendezett konténerek esetén,
ASSOC::*value_compare*	az *ASSOC::value_type* típusú értékek összehasonlításához használt típus (rendezett halmazok esetén),
ASSOC::*hasher*	a rendezetlen tárolóhoz rendelt hasító függvény típusa,
ASSOC::*key_equal*	a rendezetlen tárolóhoz rendelt azonosságot vizsgáló függvény típusa,
ASSOC::*local_iterator*	iterátor típus a bucketek (vödrök) bejáráshoz (rendezetlen tárolókban),
ASSOC::*const_local_iterator*	konstans iterátor típusa a bucketek (vödrök) bejáráshoz (rendezetlen tárolókban).

A konténer adapterek csupán néhány típussal rendelkeznek:

Típus	*Leírás*
ADAPT::*container_type*	annak a tárolónak a típusa, amelyre az adapter épül,
ADAPT::*value_type*	a konténer adapterben tárolt adatok típusa,
ADAPT::*size_type*	a konténer adapter méretének típusa (általában *size_t*),
ADAPT::*reference*	a tárolt adatok referenciájának típusa,
ADAPT::*const_reference*	a tárolt adatok konstans referenciájának típusa.

2.4.3 Konténerek konstruálása és értékadása

A konténerobjektumok létrehozásakor, a megfelelő konstruktor hívásával lehetőség van arra, hogy a konténert adatokkal töltsük fel. Ezeket az adatokat akár más konténerből is átmásolhatjuk vagy átmozgathatjuk. Az alábbi táblázatban *CC* a konténer osztályát jelöli, míg a *c* maga a konténerobjektum:

Konstruktorhívás	***Leírás***
CC *c* vagy CC *c{}*	alapértelmezett konstruktor, létrejön egy üres konténer,
CC *c(n)*	*c* inicializálása *n* darab *value_type {}* értékű elemmel (nem asszociatív konténerek esetén),
CC *c(n, x)*	*c* inicializálása *n* darab *x* értékű elemmel (nem asszociatív konténerek esetén),
CC *c {init. lista}*	*c* inicializálása a megadott inicializációs lista elemeivel,
CC *c(itb, ite)* vagy *c{itb, ite}*	*c* inicializálása az iterátorokkal kijelölt [*itb*, *ite*) tartomány elemeinek átmásolásával,
CC *c1(c2)* vagy *c1{c2}*	*c1* inicializálása az azonos típusú elemeket tároló *c2* konténer elemeinek átmásolásával,
CC *c1(move(c2))* vagy *c1{move(c2)}*	*c1* inicializálása az azonos típusú elemeket tároló *c2* konténer elemeinek átmozgatásával.

A fenti konstruktorhívások segítségével ideiglenes konténereket is készíthetünk, amennyiben a típusnevet paraméterezzük: *CC()*, *CC {init. lista}*, *CC(c)* stb. A táblázatban összegyűjtött megoldásokat ismét a ***vector*** típusú konténerek felhasználásával szemléltetjük:

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

typedef vector<int> iVektor;

int main() {
  iVektor v01, v02 {};   // üres vektorok
  iVektor v11(10);       // 10 db 0 értékű elemet tartalmazó vektor
  iVektor v21(10, 12);   // 10 db 12 értékű elemet tartalmazó vektor
  iVektor v31 {1,1,2,3,5,8,13};   // feltöltés inicializációs listából
  int a[5] {12, 23, 34, 45, 56};
  iVektor v41(&a[1], &a[3]), v42 {&a[1], &a[3]}; // 23, 34
  iVektor v51(v41), v52 {v41};                   // átmásolással
  iVektor v61(move(v51)), v62 {move(v52)};       // átmozgatással
  return 0;
}
```

A konténer adapterek esetén csak a másoló és a mozgató konstruktorok használata megengedett, azonban mindkét művelet elvégezhető a konténer alapjául szolgáló soros tároló objektumának felhasználásával is. A prioritásos sor esetén a konstruktorhívás első argumentumaként az összehasonlító függvény kell megadnunk, és csak a második helyen szerepelhet a konténer.

A konténerekhez definiált értékadás operátorral a bal oldalon álló konténer minden elemét felülírhatjuk egy másik, azonos típusú elemeket tartalmazó konténer elemeinek átmásolásával vagy átmozgatásával, illetve egy inicializációs lista tartalmával. Az előző példa *iVektor* típusánál maradva:

```
  iVektor av {1, 2, 2, 3, 3, 3}, bv, cv;
  bv = av;                    // elemek átmásolásával
  cv = move(av);              // elemek áthelyezésével
  av = {3, 5, 7, 9, 11};      // inicializációs listából
  bv = vector<int> {7,1,17};  // ideiglenes objektum elemeinek átmásolásával
  cv = move(iVektor(10, -1)); // ideiglenes objektum elemeinek átmozgatásával
```

Az értékadáshoz hasonlóan a konténer összes elemét felülírja az *assign()* tagfüggvény hívása.

```
iVektor av {1, 2, 2, 3, 3, 3}, bv, cv;
av.assign(10, 12);             // av feltöltése 10 darab 12 értékű elemmel
bv.assign(begin(av), end(av)); // bv felöltése a megadott iterátor-tartományból
cv.assign({3, 5, 7, 9, 11});   // cv feltöltése inicializációs listából
```

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az *assign()* hívás első formája nem használható az asszociatív tárolók esetén. A konténer adapterek az értékadás operátorának csak az első két formáját (másolás, mozgatás) támogatják, és nem rendelkeznek *assign()* tagfüggvénnyel.

2.4.3 A konténerek közös tagfüggvényei és operátorai

A következő néhány részben csak az elsődleges konténerekkel foglalkozunk, vagyis az elmondottak nem vonatkoznak sem a konténer adapterekre, sem pedig a tárolószerű osztálysablonokra. Valójában csak nagyon kevés közös tagfüggvénye van a tárolóknak, így a bemutatás során a kivételekről is szólnunk kell.

2.4.3.1 Iterátorok lekérdezése

Minden konténerhez tartozik egy *iterator* és egy *const_iterator* típus, amelyek segítik az adott tároló bejárását. A ***forward_list*** és a rendezetlen asszociatív tárolók kivételével az elemek fordított bejárása is lehetséges a *reverse_iterator* és a *const_reverse_iterator* típusok felhasználásával.

```
konténer<típus>::iterator iter;
konténer<típus>::const_iterator citer;
konténer<típus>::reverse_iterator riter;
konténer<típus>::const_reverse_iterator criter;
```

A fentiekben felsorolt típusú iterátor változók inicializálását tagfüggvények segítik.

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
iter = c.*begin()*, *citer* = c.*begin()* *citer* = c.*cbegin()*	az első elem iterátorának lekérdezése,
iter = c.*end()*, *citer* = c. *end()* *citer* = c.*cend()*	az utolsó elem utáni pozíció iterátorának lekérdezése,
riter = c.*rbegin()*, *criter* = c.*rbegin()* *criter* = c.*crbegin()*	a fordított elemsor első eleméhez tartozó iterátor lekérdezése,
riter = c.*rend()*, *criter* = c.*rend()* *criter* = c.*crend()*	a fordított elemsor utolsó elem utáni pozícióját kijelölő iterátor lekérdezése.

Megjegyezzük, hogy üres konténer esetén a *c.begin()* és a *c.end()* hívások ugyanazt az iterátort adják.

Egyszerűbbé tehető a programunk, ha a bejáró változók típusának meghatározását a C++ fordítóra bízzuk:

```
auto iter  = c.begin();
auto citer = c.cend();
auto riter = c.rend();
auto criter = c.crbegin();
```

A ***forward_list*** esetén az első elem előtti pozíció iterátorát szolgáltatják a *before_begin()* és a *cbefore_begin()* tagfüggvények. Ezekre az iterátor értékekre az előrehaladó lista *insert_after()*, *emplace_after()*, *erase_after()* és *splice_after()* tagfüggvényei hívásánál, valamint az inkrementálás műveleténél lehet szükségünk.

Nézzünk néhány példát a *c* konténerobjektum bejárására! Klasszikus megoldásnak számít a **for** ciklus alábbi módon történő alkalmazása:

```
for (auto it=c.begin(); it!=c.end(); it++) {
  cout << *it << endl;
}
```

A fentivel megegyező működésű, azonban jóval olvashatóbb megoldást biztosít a C++11 nyelv:

```
for (auto& elem : c) {
  cout << elem << endl;
}
```

Az első **for** ciklusban a *c.end()* ismételt hívását kiküszöbölhetjük segédváltozó bevezetésével. A megoldást a fordított bejárással szemléltetjük:

```
auto vege = c.rend();
for (auto rit=c.rbegin(); rit!=vege; rit++) {
  cout << *rit << endl;
}
```

2.4.3.2 A tárolók elemszáma

A konténerek esetén fontos tudnunk, hogy hány elemet tárolnak, és hogy nem üresek-e. Az alábbi tagfüggvények segítenek megszerezni ezeket az információkat:

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
c.*empty()*	**true** értékkel tér vissza, ha a *c* egyetlen elemet sem tartalmaz,
n = c.*size()*	a *c* konténerben tárolt elemek száma (*size_type* típusú adat), a *size()* a ***forward_list*** esetén nem használható,
n = c.*max_size()*	a *c* konténerben tárolható elemek maximális száma (*size_type* típusú adat).

Az előrehaladó lista (és más konténerek) esetén a *distance()* függvénysablon segíthet az elemszám megállapításában:

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

int main()
{
  forward_list<char> betuk {'S', 'T', 'L'};
  if (!betuk.empty()) {
    size_t elemszam = distance(betuk.begin(), betuk.end());
    cout << elemszam << endl; // 3
  }
  return 0;
}
```

2.4.3.3 Az elemek közvetlen elérése

Már láttuk, hogy az iterátorok segítségével a konténerek minden elemét elérhetjük (közvetve). Bizonyos konténerek esetén néhány tagfüggvény gyors, közvetlen elérést biztosít az elemekhez. Ezek a függvények az elemek referenciájával, illetve konstans referenciájával (**const** tárolók esetén) térnek vissza.

Az at() tagfüggvény és az indexelés [] operátora

Az ***array***, a ***vector*** és a ***deque*** soros konténerek elemeit egy *size_type* típusú index segítségével is elérhetjük. Az érvényes indexek *0*-val kezdődnek, és a *size()-1* értékig terjednek. Az indexhatárokat a két megoldás közül csak az *at(index)* hívás ellenőrzi, és *out_of_range* kivételt generál, ha az *index* kívül esik az érvényes tartományon.

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

int main() {
  vector<int> fibo {0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 30};
  try {
     fibo.at(9) = fibo[8] + fibo.at(7);
     fibo[12] = fibo.at(5);
     fibo.at(10) = 55;
  }
  catch(const out_of_range& ex) {
    cout << ex.what() << endl;
  }

  for (size_t i = 0; i<fibo.size(); i++) {
    cout << fibo[i] << " ";
  }
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
invalid vector<T> subscript
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34
```

A legtöbb adatot lekérdező tagfüggvény az elem referenciájával (illetve konstans referenciájával) tér vissza. A programban választhatunk, hogy az elemhez egy saját nevet illesztünk, vagy az elem másolatával dolgozunk:

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

int main() {
  vector<int> v{ 21, 32, 43, 54, 65 } ;
  int e = v[2];     // a 2 indexű elem másolata kerül az e1-be
  e += 11;          // a v vektor nem változik
  int& r = v[4];    // a 4 indexű elem referenciája másolódik az r-be
  r += 11;          // a v[4] elem módosul
  for (auto x: v)
      cout << x << " "; // 21 32 43 54 76
  return 0;
}
```

A ***map*** és az ***unordered_map*** konténerek esetén szintén használhatjuk az *at()* függvényt és az indexelés operátorát. Mindkét esetben argumentumként a kulcsot kell megadnunk, és a vele párban tárolt adat referenciáját kapjuk vissza. Ha kulcs nem létezik, az *at(kulcs)* hívás *out_of_range* kivételt hoz létre, míg az indexelés esetén egy új elemmel bővül az asszociatív tömb, melynek adat része az *AdatTípus {}* értékkel inicializálódik.

Az alábbi példában sorszámokkal látjuk el az angol ABC betűit:

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

int main()
{
    map<char, int>kodtabla {{'A', 65}, {'B', 66}, {'Z', 0}, {'K', -1}};
    for (auto& par : kodtabla) {
        kodtabla[par.first] = par.first - 'A' + 1;
    }
```

```
    kodtabla['A'] = 1;   // létező adat átírása
    kodtabla['M'] = 13;  // új elem hozzáadása
    for (const auto& par : kodtabla) {
        cout << par.first << " : " << par.second << endl;
    }
    return 0;
}
```

```
A : 1
B : 2
K : 11
M : 13
Z : 26
```

A back() és a front() tagfüggvények

A soros konténerek mindegyike esetén a *front()* hívás megadja az első tárolt elem hivatkozását. A ***forward_list*** kivételével pedig, a *back()* tagfüggvény az utolsó elem referenciájával tér vissza.

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

int main() {
  vector<string> C98Tarolok {"Hector", "deque", "list",
                             "set", "multiset", "map", "ulti"};
  C98Tarolok.front() = "vector";
  C98Tarolok.back()  = "multimap";
  cout << C98Tarolok.front() << endl;
  cout << *C98Tarolok.begin() << endl;
  cout << C98Tarolok.back() << endl;
  cout << *(C98Tarolok.end()-1) << endl;
  return 0;
}
```

```
vector
vector
multimap
multimap
```

A data() tagfüggvény

Az ***array*** és a ***vector*** konténerek tartalma folytonos memóriaterületen helyezkedik el. A lefoglalt területek kezdetére mutató, *AdatTípus** típusú pointerrel tér vissza a *data()* tagfüggvény. A visszadott mutató segítségével hagyományos módon is feldolgozhatjuk a tárolt adatokat:

```
#include <array>
#include <iostream>
#include <cstdint>
#include <cstring>
using namespace std;

int main() {
  const size_t meret = 12;
  array<uint8_t, meret> tomb;
  memset(tomb.data(), 123, meret);
  for (uint8_t b : tomb) {
    cout << unsigned(b) << endl;
  }
  return 0
}
```

2.4.3.4 A konténerek módosítása

Az eddigi tagfüggvények hívásával nem változtattuk meg a konténerekben tárolt adatok elhelyezkedését a memóriában. A következő függvénycsoport elemei azonban, új elemek hozzáadásával, ele-

mek törlésével és felcserélésével érvénytelenítik az elemreferenciákat, az elemmutatókat és az iterátorokat. Így ezeket a műveletek végeztével ismételten le kell kérdeznünk. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az ***array*** tárolók semmilyen módosítása sem megengedett.

Műveletek a soros tárolók elején (front) és végén (back)

A soros tárolók elején kiemelt fontosságú az adatsor első és utolsó pozíciójának kezelése, hiszen ezek a műveltek igen gyorsak. A ***vector*** tárolók nem definiálják a *_front* utótagú függvényeket, míg a ***forward_list*** konténerek nem rendelkeznek *_back* utótagú tagokkal, a műveletek lineáris futásideje miatt.

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
c.*push_front(x)* c.*push_front(move(x))*	az *x* adat bemásolása, illetve behelyezése a konténer elejére,
c.*emplace_front(argumentumok)*	új elem elhelyezése a *c* konténer elején, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,
c.pop_front()	a c konténer első elemének eltávolítása,
c.*push_back(x)* c.*push_back(move(x))*	az *x* adat bemásolása, illetve behelyezése a konténer végére,
c.*emplace_back(argumentumok)*	új elem elhelyezése a *c* konténer végén, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,
c.pop_back()	a c konténer utolsó elemének eltávolítása.

Az alábbi kis program a szóközökkel elválasztott szavakat beolvassa, és egy vektor végéhez illeszti. (Az adatbevitelt a <Ctrl+Z> billentyűkkel kell lezárni.)

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

int main()
{
  vector<string> szavak;
  string szo;
  while (cin >> szo)
     szavak.push_back(szo);
}
```

Elem beszúrása tetszőleges pozícióra

Új elem beillesztése a konténerbe, és elem törlése a konténerből – a tároló típusától függően – igencsak időigényes is lehet. Csak emlékeztetőül, a ***vector*** és a ***deque*** tárolók esetén ezek a műveletek lineáris futásidővel rendelkeznek, a listák esetén konstans, míg az asszociatív tárolóknál logaritmikus az időigény. Az előrehaladó listák *(flc)* esetén az *insert()* tagfüggvény helyett a teljesen azonos paraméterezésű *insert_after()* függvényt kell használnunk.

Az asszociatív konténerek (*ac*) beszúrás művelete jelentősen különbözik a soros tárolóknál (*sc*) használttól, hiszen az előbbinél az elemek azonosítása kulccsal történik.

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
iter = sc.insert(itp, adat) *iter = sc.insert(itp, move(adat))*	az *adat* beszúrása/áthelyezése az *itp* iterátorral kijelölt elem elé,
iter = sc.emplace(itp, argumentumok)	új elem beszúrása az *sc* konténer *itp* eleme elé, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,

Tagfüggvényhívás *(folytatás)*	***Leírás***
iter = sc.insert(itp, n, adat)	*n* darab *adat* beszúrása *itp* iterátorral kijelölt elem elé,
iter = sc.insert(itp, itb, ite)	elemek beszúrása az *[itb, ite)* tartományból az *itp* elem elé,
iter = sc.insert(itp, {init. lista})	adatok beszúrása az inicializációs listából az *itp* elem elé,
iter = fl.insert_after(itp, mint fent!) *iter = fl.emplace_after(itp, arg.ok)*	ez a két tagfüggvény a ***forward_list*** konténerekkel hívható; mindkét függvény az *itp* pozíció után szúrja be a kijelölt adatokat,
Asszociatív konténerek esetén használható hívások:	
ret = ac.insert(adat) *ret = ac.insert(move(adat))*	az *adat* beillesztése, illetve áthelyezése egy asszociatív konténerbe, a visszaadott érték vagy egy adatpár, vagy egy iterátor (lásd a táblázat után),
ret = ac.emplace(argumentumok)	új elem beszúrása a konténerbe, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,
iter = ac.insert(ith, adat) *iter = ac.insert(ith, move(adat))* *iter = ac.emplace_hint(ith, arg.ok)*	ez a három hívás az előző három függvényhívás hatékonyabb megvalósítása, ahol egy jól megválasztott céliterátorral (*ith*, *hint*) segíthetünk megtalálni az új elem helyét a konténerben,
ac.insert(itb, ite)	elemek beszúrása az *[itb, ite)* tartományból,
ac.insert({init. lista})	adatok beszúrása az inicializációs listából.

Soros konténerek esetén a függvények által visszaadott *iter* iterátorok a beillesztett elemre mutatnak a tárolóban.

Az egyedi kulcsot tartalmazó asszociatív tárolók (***set***, ***map*** stb.) esetén a beszúrás csak akkor lesz sikeres, ha a kulcs még nem szerepel a konténerben. Az ilyen tárolók használatakor a *ret* visszaadott érték egy *pair<iterator, bool>* pár, ahol az iterátor a beszúrt elemre hivatkozik, vagy arra, ami megakadályozta a beillesztést, a logikai érték pedig **true**-val jelzi, ha megtörtént a művelet. A több, azonos kulcsot is megengedő asszociatív tárolóknál (***multiset***, ***multimap*** stb.) a ret egy iterátor, ami kijelöli a beszúrt elemet.

A műveletek alkalmazása a lista adatstruktúra esetén:

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

class Ugyfel {
    unsigned ID;
    string nev, tel;
  public:
    Ugyfel(unsigned id, string n, string t) {
        ID = id, nev= n, tel = t;
    }
    Ugyfel(const Ugyfel& ugyfel) {
        *this = ugyfel;
    }
    void Kiir() const {
       cout << ID << "\t" << nev << "\t" << tel << endl;
    }
};

int main() {
  list<Ugyfel> ugyfelek { {67, "Nagy Kelemen", "-"},
                          {32, "Zold Zoltan", "06-50-234-32-12"} };
  Ugyfel ugyfel {23, "Kiss Veronika", "06-1-203-34-56"};
  // Az ugyfel beszúrása a fenti két listaelem közzé másolással:
  ugyfelek.insert(next(begin(ugyfelek)), ugyfel);
```

```
  // Listaelem felépítése a lista elején:
  ugyfelek.emplace(begin(ugyfelek), 17, "Okos Antal", "06-1-123-23-23");
  // A lista tartalma:
  for (const auto& ugyfel : ugyfelek)
    ugyfel.Kiir();
  return 0;
}
```

```
17      Okos Antal      06-1-123-23-23
67      Nagy Kelemen    -
23      Kiss Veronika   06-1-203-34-56
32      Zold Zoltan     06-50-234-32-12
```

Tetszőleges elem törlése

Míg konténerek minden elemét egyetlen hívással eltávolíthatjuk, addig az egyes elemek törléséhez iterátorokat kell alkalmaznunk. Az asszociatív tárolók esetén a kulcs megadásával is azonosíthatjuk a törlendő elemet. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a ***forward_list*** konténer saját *_after* utótagú tagfüggvényeket definiál.

A táblázatban a *« »* jelek között részek nem minden konténertípus esetén érvényesek. A soros tárolók esetén a törlés egy iterátorral tér vissza, amely az utolsó törölt elem utáni elemre hivatkozik. Ezzel szemben az asszociatív tárolóknál az *erase()* tagfüggvény **void** típusú.

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
c.*clear()*	a konténer összes elemének eltávolítása,
«iter = » c.*erase*(*itp*)	az *itp* iterátorral kijelölt pozíción álló elem törlése a *c* konténerből,
«iter = » c.*erase*(*itb, ite*)	az *[itb, ite)* iterátor tartománnyal kijelölt elemek eltávolítása a *c* konténerből,
iter = *fl*.*erase_after*(*itp*)	az *itp* iterátorral kijelölt pozíció után álló elem törlése az *fl* előrehaladó listából,
iter = *fl*.*erase_after*(*itb, ite*)	az *(itb, ite)* nyitott iterátor tartományba eső elemek eltávolítása az *fl* előrehaladó listából,
n = c.*erase*(*kulcs*)	a *c* asszociatív tároló adott kulcsú elemeinek törlése – a *size_type* típusú visszatérési érték a törölt elemek számát tartalmazza.

Soros konténerek átméretezése (resize)

A soros konténerek méretét (elemszámát) megváltoztathatjuk/beállíthatjuk a *resize()* tagfüggvény hívásával. Ez a művelet nem érhető el az ***array*** tárolókban, azonban a ***string*** típusú objektumokkal is felhasználható. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a *resize()* műveletet a ***vector*** (***string***) és a ***deque*** tárolók esetén igencsak időigényes. Az átméretezés során a megmaradnak azok a régi elemek, melyek beleesnek az új méretű konténerbe.

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
c.*resize*(*n*)	a *c* konténer mérete *n*-re módosul, és a hozzáadott elemek az *AdatTípus* alapértelmezett értékével töltődnek fel,
c.*resize*(*n, adat*)	a *c* konténer mérete *n*-re módosul, és a hozzáadott elemek az *adat*tal töltődnek fel.

Az alábbi példában egy globális szinten definiált ***vector*** konténer méretét a *main()* függvényben megváltoztatjuk:

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

vector<int> szamok {121, 144};
```

```
int main() {
  int n;
  cout << "n=";
  cin >> n; cin.get();
  szamok.resize(n, 0);
  for (int i = 2; i < n; i++)
    szamok[i] = i * i;
  copy (szamok.begin(), szamok.end(), ostream_iterator<int>(cout,", "));
  return 0;
 }
```

```
n=5
121, 144, 4, 9, 16,
```

Üres konténer esetén a méretet értékadással is beállíthatjuk:

```
vector<int> szamok;
szamok = move(vector<int>(n));
```

Konténerek tartalmának felcserélése (swap)

Minden konténer rendelkezik egy *swap()* tagfüggvénnyel, melynek segítségével gyorsan felcserélhetjük az aktuális konténer tartalmát egy másik ugyanilyen konténer elmeivel. Két tároló tartalmának teljes cseréjéhez használhatjuk a *swap()* algoritmus specializált változatait is.

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

int main() {
  vector<int> av { 1, 2, 3, 7, 9 };
  vector<int> bv { 121, 144, 169 };
  av.swap(bv);   // tagfüggvény
  copy (begin(bv), end(bv), ostream_iterator<int>(cout,", "));
  cout << endl;
  swap(av, bv);  // algoritmus
  copy (begin(bv), end(bv), ostream_iterator<int>(cout,", "));
  cout << endl;
  return 0;
 }
```

```
1, 2, 3, 7, 9,
121, 144, 169,
```

Konténerek tartalmának összehasonlítása

Függvénysablonok segítségével azonos típusú, soros és rendezett asszociatív konténerek tartalmát a C++ nyelv relációs műveleteivel (==, !=, <, <=, >, >=) összehasonlíthatjuk. Nem rendezett asszociatív tárolók esetén csak az azonosság (==) és a különbözőség (!=) állapítható meg.

Két konténert azonosnak (==) tekintünk, ha a tartalmuk megegyezik, ellenkező esetben különböznek (!=). A többi reláció esetén ún. lexikografikus összehasonlítás adja művelet eredményét. Ez azt jelenti, hogy az elemenkénti összehasonlítás során az elsőként megtalált különböző elemek összevetése határozza meg az eredményt.

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

```
int main() {
  vector<int> av { 1, 2, 3, 7, 9 };
  vector<int> bv { 1, 5 };
  cout << (av == bv) << endl;  // 0
  cout << (av != bv) << endl;  // 1
  cout << (av < bv ) << endl;  // 1
  cout << (av <= bv) << endl;  // 1
  cout << (av > bv ) << endl;  // 0
  cout << (av >= bv) << endl;  // 0
  return 0;
 }
```

2.4.4 Soros konténerek alkalmazása

A következőkben röviden áttekintjük az egyes soros tárolók használatával kapcsolatos további ismereteket.

2.4.4.1 array

Az array konténerek típusát az adattípus és a rögzített méret együtt határozza meg.

```
array<double, 100> a;
```

Ennél fogva, ellentétben a hagyományos C tömbökkel, a függvények hívása során az adattípusok egyezése mellet további feltétel a méretek azonossága is.

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

int skalar(const array<int, 10>& a, const array<int, 10>& b) {
  int osszeg = 0;
  for (size_t i=0; i<a.size(); i++)
    osszeg += a[i]*b[i];
    return osszeg;
}

int main() {
    array<int, 10> tomb1 {10, 34, 12, 31, 14, 28, 16};
    array<int, 10> tomb2;
    tomb2 = tomb1;
    tomb1[0]--;
    array<int, 10> tomb3(tomb2);
    tomb3.fill(0);
    cout << skalar(tomb1, tomb2) << endl;
    cout << (tomb1 < tomb2) <<endl;
    tomb3.swap(tomb2);
}
```

Az azonos típusú tömb tárolók esetén használhatjuk az értékadás és az összehasonlítás műveleteket, valamint a csere (*swap()*) tagfüggvényt.

Többdimenziós tömböt is készíthetünk az alábbiak szerint, melynek elemei sorfolytonosan helyezkednek el a memóriában:

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

int main() {
  const size_t nsor = 3, noszlop = 5;
  array <array<double, noszlop>, nsor> mat3x5 { {{ 1, 2, 3, 0, 1},
                                                 { 5, 1, 0, 0, 2},
                                                 { 3, 0, 1, 1, 0}} };
```

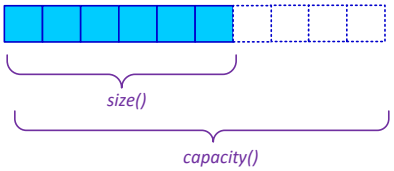
```
  for (size_t s=0; s<mat3x5.size(); s++) {
    for (size_t o=0; o<mat3x5[0].size(); o++)
      cout << mat3x5[s][o] << "\t";
    cout << endl;
  }
  cout << endl;
  for (const auto& sor : mat3x5) {
    for (double e : sor )
      cout << e << "\t";
    cout << endl;
  }
  return 0;
}
```

Amennyiben a rögzített méret korlátaitól meg szeretnénk szabadulni, a ***vector*** osztálysablont kell választanunk.

2.4.4.2 vector

Mivel a C++ programozás során a ***vector*** osztálysablon teljesen átveheti a hagyományos C tömbök szerepét, érdemes megismerkednünk effektív használatának kérdéseivel. Mivel a vektorok a C tömbökhöz hasonlóan folytonos memóriaterületen helyezkednek el, elég időigényes művelet, ha elemeket nem a végén adunk hozzá.

Azért, hogy az elemek végén történő hozzáadása során (*push_back()*) ne kelljen folyamatosan újabb területeket lefoglalni a vektor számára, a memóriafoglalás és az elemhozzáadás elválik egymástól. Elemek hozzáadásakor a vektor számára mindig egy nagyobb terület foglalódik le a memóriában, melynek mérete a *capacity()* tagfüggvény hívásával tudható meg. A *size()* és a *capacity()* értékek viszonya: *size() ≤ capacity()*.



Ha az elemek hozzáadása során (*size()*) elérjük a lefoglalt méretet (*capacity()*), új terület foglalódik le, ahova átmásolódnak a már meglévő elemek. (Az átmásolás után természetesen minden iterátor, mutató és referencia érvénytelenné válik.)

Ha előre ismerjük a vektorban tárolni kívánt elemek számát, akkor rossz programozási gyakorlatot tükröz az alábbi program, melynek futása során több mint 10-szer másolódik új területre a vektor:

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

int main() {
  size_t n = 1000; // ismerjük
  vector<double> v;
  for (int i=0; i < n; i++) {
    v.push_back(i);
  }
  cout << v.size() << " " << v.capacity() << endl; // 1000 1024
}
```

Egyszer sem másolódik a vektor tartalma, ha megfelelő konstruktort és értékadást használunk:

```
size_t n = 1000; // ismerjük
vector<double> v(n);
```

```
for (int i=0; i<n; i++) {
  v[i] = i;
}
```

Amennyiben egy feltöltött *n*-elemű vektort *m* elem hozzáadásával szeretnénk bővíteni, akkor a hatékony működés érdekében használnunk kell a *reserve()* tagfüggvényt, melynek segítségével megtarthatjuk, vagy megnövelhetjük a lefoglalt területet. Ha a *reserve()* hívás argumentuma kisebb vagy egyenlő, mint a *capacity()* érték, semmi sem történik, tehát ezen az úton nem csökkenthető a vektor számára lefoglalt terület mérete.

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

int main() {
  size_t n = 1000, m=2015;
  vector<double> v(n);
  for (int i=0; i<n; i++) {
    v[i] = i;
  }
  cout << v.size() << " " << v.capacity() << endl; // 1000 1000
  v.reserve(n + m);
  cout << v.size() << " " << v.capacity() << endl; // 1000 3015
  for (int i=0; i<m; i++) {
    v.push_back(i*i);
  }
  cout << v.size() << " " << v.capacity() << endl; // 3015 3015
}
```

Amennyiben a már megismert *resize()* tagfüggvény hívásakor az új elemszám kisebb (vagy egyenlő), mint a kapacitás csak a *size()* méret változik meg, míg a *capacity()* érték változatlan marad. Ha azonban az igényelt új méret meghaladja az aktuális kapacitást, mindkét függvény az új mérettel tér vissza.

A ***vector*** típus méretkezelésével kapcsolatos utolsó *shrink_to_fit()* függvény a lefoglalt memóriaterület méretét (*capacity()*) az elemszámhoz (*size()*) igazítja.

A vektor, mint függvényparaméter

Mivel a ***vector*** osztálysablonnál a méret nem épül be a típusba, az azonos típusú adatokat tároló, de különböző méretű vektorok teljesen típuskompatibilisak egymással. *Az alábbi példában ezt használjuk ki, amikor a polinomok összeadását végző függvényt (PolinomAdd) definiáljuk:*

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

typedef vector<double> Polinom;

Polinom PolinomAdd(const Polinom& pola, const Polinom& polb) {
  Polinom polc;
  if (pola.size() > polb.size()) {
    polc = pola;
    for(int i=0;  i<polb.size();  i++)
      polc[i] += polb[i];
  }
  else {
    polc = polb;
    for(int i=0;  i<pola.size();  i++)
      polc[i] += pola[i];
  }
  return polc;
}
```

```
int main() {
  Polinom a { 3, 2, 1 };       //             1x^2 + 2x + 3
  Polinom b { 2, 5, 3, 2, 1};  // 1x^4 + 2x^3 + 3x^2 + 5x + 2
  Polinom c;
  c = PolinomAdd(a, b);
  Polinom::const_reverse_iterator p;
  for (p = c.rbegin(); p!=c.rend(); p++)
    cout << *p << " ";         // 1 2 4 7 5
  cout << endl;
  return 0;
}
```

Mátrixok tárolása vektorokban

A ***vector*** osztálysablonok egymásba ágyazásával tetszőleges kiterjedésű dinamikus tömb létrehozható, melyek közül a kétdimenziós mátrixok tárolását nézzük meg részletesebben.

vector<vector<int>> matrix (sorok, vector<int>(oszlopok, init))

A megoldás egyetlen hátránya a kétdimenziós C tömbökkel szemben, hogy nem folytonosan helyezkednek el a memóriában a mátrix sorai. *Az alábbi példában kétdimenziós mátrixok feltöltését és kiírását végző függvényeket definiálunk, különböző kiterjedésű mátrixokat (háromszög mátrixot is) használunk, végül pedig megnöveljük egy mátrix sorainak és oszlopainak számát:*

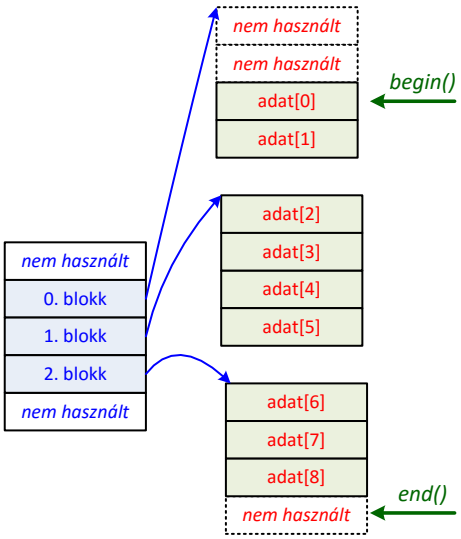
```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;

typedef vector<vector<int>> Matrix;

void MatrixFeltolt(Matrix& m, int e) {
  for (int i=0; i<m.size(); i++)
    for(int j=0; j<m[i].size(); j++)
      m[i][j] = e;
}

void MatrixKiir(const Matrix& m) {
  for (int i=0; i<m.size(); i++) {
    for(int j=0; j<m[i].size(); j++)
      cout << m[i][j] << "\t";
    cout << endl;
  }
}

int main() {
  // mátrixok készítése kezdőérték-adással
  Matrix m2x2 {{1, 2},
               {3, 4}};
  Matrix m2x3 {{1, 2, 3},
               {4, 5, 6}};
  Matrix mhsz {{1},
               {3, 4},
               {5, 6, 7}};
  MatrixKiir(m2x2); cout << endl;
  MatrixKiir(m2x3); cout << endl;
  MatrixKiir(mhsz); cout << endl;

  // mátrix készítése a sorok és az oszlopok számának megadásával
  const int sorok = 3, oszlopok = 5;
  Matrix mdin = move(vector<vector<int>> (sorok, vector<int>(oszlopok, 7)));
  MatrixKiir(mdin); cout << endl;
  MatrixFeltolt(mdin, 1);
```

```
  // mátrix újreméretezése
  mdin.resize(2*sorok);               // a sorok számának megváltoztatása
  for (int i=0; i<mdin.size(); i++)   // soronként az oszlopok számának módosítása
    mdin[i].resize(oszlopok+2);
  MatrixKiir(mdin); cout << endl;
  return 0;
}
```

```
1       2
3       4

1       2       3
4       5       6

1
3       4
5       6       7

7       7       7       7       7
7       7       7       7       7
7       7       7       7       7

1       1       1       1       1       0       0
1       1       1       1       1       0       0
1       1       1       1       1       0       0
0       0       0       0       0       0       0
0       0       0       0       0       0       0
0       0       0       0       0       0       0
```

2.4.4.3 deque

A ***deque*** kétvégű sor (*double ended queue*) sok szempontból emlékeztet a vektorra, ugyanúgy soros tároló, tetszőleges elérést biztosít az elemeihez, konstans idő szükséges az elemek végeken (itt kettő is van) történő hozzáadásához és levételéhez, valamint lineáris idő kell a közbenső pozíciókban a beszúráshoz és a törléshez.



A kettősvégű sor a vektorral szemben nem teszi lehetővé a lefoglalt terület méretének lekérdezését, illetve az elem-műveletek nélküli memóriafoglalást.

Egyedül a *shrink_to_fit()* tagfüggvényt használhatjuk, az elemek számára nem használt memóriaterületek törlésére.

A ***deque*** elemei nem folytonosan helyezkednek el, leginkább a fenti matrix típus memóriafoglalására hasonlít a memóriahasználata.

A kettősvégű sor segítségével olyan verem (*stack*) és sor (*queue*) adatstruktúrát valósíthatunk meg, melyek elemei nemcsak a végeken érhető el.

*Az alábbi példával bemutatjuk a **deque** használatának lépéseit és műveleteit:*

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

```
void Kiir(const deque<string>& deq) {
  cout << "( ";
  for (const string& s : deq)
    cout << s << " ";
  cout << " )" << endl;
}

int main() {
    deque<string> ksor { "kutya" };
    ksor.push_back("mokus");
    ksor.insert(begin(ksor),"cica");
    ksor.push_front("eger");
    cout << "Kiindulasi elemek: ";
    Kiir(ksor);

    cout << "\nBejaras indexelve: " << endl;
    for (int i=0; i<ksor.size(); i++)
       cout << ksor[i] << endl;
    cout << endl;

    cout << "Bejaras iteratorral: " << endl;
    auto iter = begin(ksor);
    while (iter != end(ksor)) {
       cout << *iter++ << endl;
    }
    cout << endl;

    cout << "Elemek elerese:" << endl;
    cout << "ksor.at(0)   = " <<  ksor.at(0) << endl;
    cout << "ksor.[0]     = " <<  ksor[0] << endl;
    cout << "ksor.front() = " <<  ksor.front() << endl;
    cout << "ksor.at(3)   = " <<  ksor.at(3) << endl;
    cout << "ksor.[3]     = " <<  ksor[3] << endl;
    cout << "ksor.back()  = " <<  ksor.back() << endl;

    cout << "\nModositasok:" << endl;
    ksor[1] = "teknos"; ksor.at(0) = "kacsa";
    Kiir(ksor);
    ksor.pop_front();
    cout << "ksor.pop_front() utan: "; Kiir(ksor);
    ksor.pop_back();
    cout << "ksor.pop_back() utan:  "; Kiir(ksor);
}
```

```
Kiindulasi elemek: ( eger cica kutya mokus  )

Bejaras indexelve:
eger
cica
kutya
mokus

Bejaras iteratorral:
eger
cica
kutya
mokus

Elemek elerese:
ksor.at(0)   = eger
ksor.[0]     = eger
ksor.front() = eger
ksor.at(3)   = mokus
ksor.[3]     = mokus
ksor.back()  = mokus

Modositasok:
( kacsa teknos kutya mokus  )
ksor.pop_front() utan: ( teknos kutya mokus  )
ksor.pop_back() utan:  ( teknos kutya  )
```

2.4.4.4 list

A ***list*** típus valójában egy kettős láncolású lista, amely nem támogatja az elemek közvetlen elérését. A kettős láncolás az adatsor előre- és hátrahaladó bejárását egyaránt biztosítja, valamint konstans idejű adatbeszúrást, illetve törlést tesz lehetővé a lista tetszőleges pozíciójában. A lista fontos jellemzője, hogy ellentétben a ***vektor*** és a ***deque*** konténerekkel, elem beszúrásakor a már lekérdezett iterátorok nem válnak érvénytelenné, törléskor pedig csak a törölt elem iterátora lesz érvénytelen.

Érdemes megjegyezni, hogy a listakezelő műveletek kivételével a lista programozói felülete ugyanazokat a tagfüggvényeket tartalmazza, mint a kettősvégű sor. Így egy listát használó program a sablontípus ***deque***-ra való lecserélésével általában továbbra is futóképes marad, bár az algoritmusok hívása beleszólhat ebbe.

A ***list*** típus egy sor algoritmust tagfüggvényként valósít meg, melyek kihasználják a kétirányú lista speciális lehetőségeit, így hatékonyabb és biztonságosabb megoldást adnak az általános algoritmusoknál. A listakezelő tagfüggvényeket az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
lst.merge(másLista) *lst.merge(move(másLista))*	a < művelet felhasználásával összefésüli az *lst* és a *másLista* tartalmát, amennyiben azok növekvő sorrendben rendezettek**,**
lst.merge(másLista, Hasonlító) *lst.merge(move(másLista), Hasonlító)*	a *Hasonlító* függvényobjektum segítségével összefésüli az *lst* és a *másLista* tartalmát, amennyiben azok növekvő sorrendben rendezettek**,**
lst.splice(iter, másLista) *lst.splice(iter, move(másLista))*	a *másLista* eleminek átmásolása/átmozgatása az *lst* lista *iter* pozíciója elé,
lst.splice(iter, másLista, másIter) *lst.splice(iter, move(másLista), másIter)*	a *másLista* egyetlen (*másIter*) elemének átmásolása/ átmozgatása az *lst* lista *iter* pozíciója elé,
lst.splice(iter, másLista, itb, ite) *lst.splice(iter, move(másLista), itb, ite)*	a *másLista* [itb, ite) elemeinek átmásolása/átmozgatása az *lst* lista *iter* pozíciója elé,
lst.remove(adat)	minden *adat* értékű elem törlése az *lst* listából,
lst.remove_if(unPred)	minden olyan elem törlése az *lst* listából, amelyre a megadott *unPred* függvényobjektum igaz értékkel tér vissza,
lst.reverse()	a lista elemsorrendjének megfordítása,
lst.sort()	a lista elemeinek rendezése növekvő sorrendbe a < művelet segítségével,
lst.sort(Hasonlító)	a lista elemeinek rendezése növekvő sorrendbe a *Hasonlító* fügvényobjektum felhasználásval,
lst.unique()	a == művelet alkalmazásával törli a listából az egymást követő ismétlődő elemeket, és csak az első marad meg közülük,
lst. unique (binPred)	a *binPred* függvényobjektum hívásával törli a listából az egymást követő ismétlődő elemeket, melyek közül csak az első marad meg.

A *Hasonlító* függvényt a

***bool** Hasonlító(**const** AdatTípus& a, **const** AdatTípus& a)*

formával kompatibilis módon kell előállítanunk. A függvény **true** értékkel tér vissza, ha $a < b$. Az unáris predikátum **true** értékkel mondja meg, hogy mely elemre kell a műveletet elvégezni. A rá vonatkozó formai előírás:

***bool** unPred(**const** AdatTípus& a)*.

A bináris predikátum igaz értékkel jelzi, ha az argumentumai megegyeznek. A *binPred* prototípusa:

***bool** binPred(**const** AdatTípus& a, **const** AdatTípus& a)*.

A listaműveletek használatára nézzük az alábbi példaprogramot!

```
#include <iostream>
#include <list>
#include <iterator>
#include <ctime>
#include <cstdlib>
using namespace std;

void Kiir(const string& szoveg, const list<int>& lista) {
  cout << szoveg << ":\t";
  copy(begin(lista), end(lista), ostream_iterator<int>(cout," "));
  cout<< endl;
}

int main() {
  list<int> lista1 { 7, 2, 1, 3 };
  srand(time(nullptr));
  for(int i = 0; i < 7; i++) {
    lista1.push_back(rand()%10); // elemek hozzáadása a lista1 végéhez
  }
  Kiir("a lista1", lista1);

  lista1.sort(); // rendezés
  Kiir("a rendezett lista1", lista1);

  lista1.unique(); // az elemek kiegyelése
  Kiir("a kiegyelt lista1", lista1);

  list<int> lista2;
  for(int i = 0; i < 7; i++) {
    lista2.push_back(rand()%10);
  }
  Kiir("a lista2", lista2);

  lista2.sort();
  Kiir("a rendezett lista2", lista2);
  lista2.merge(lista1); // a listák összefésülése
  Kiir("az osszefesult listak", lista2);
  return 0;
}
```

```
a lista1:       7 2 1 3 7 3 3 3 6 0 0
a rendezett lista1:     0 0 1 2 3 3 3 3 6 7 7
a kiegyelt lista1:      0 1 2 3 6 7
a lista2:       4 7 3 0 4 1 2
a rendezett lista2:     0 1 2 3 4 4 7
az osszefesult listak:   0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 6 7 7
```

2.4.4.5 forward_list

A ***forward_list*** egy egyszeresen, előrehaladó láncolással kialakított lista. Minden elemből csak a rákövetkező elemre van hivatkozás, ezért a műveletek egy része eltér a szokásostól, amit egy *_after (után)* utótag is jelez (*insert_after()*, *emplace_after()*, *erase_after()*, *splice_after()*).

Az előrehaladó lista rendelkezik a ***list*** osztálysablonnál bemutatott listaműveletekkel, és a soros konténerekre jellemző tagfüggvényének egy részével. Az alábbi példában néhány megoldást mutatunk ezek alkalmazására. Például, egy meglévő előrehaladó lista végére, csak úgy fűzhetünk új elemet (*push_back*), ha végigmegyünk az egész listán.

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

```
void push_back(forward_list<int> &fl, int adat) {
  auto vege_elott = fl.before_begin();
  for (const auto& e : fl)
    vege_elott++;
  fl.insert_after(vege_elott, adat);
}

int main() {
  forward_list<int> flista { 1, 3, 2, 7};
  for (int e : flista)
     cout << e << " "; cout << endl;
  flista.insert_after(flista.before_begin(), 5); // az elejére
  flista.push_front(9);   // az előző elé
  push_back(flista, 11);  // a végére
  for (int e : flista)
     cout << e << " "; cout << endl;

  forward_list<double> flista2; // üres
  // feltöltés az elemek hozzáfűzésével
  auto iter = flista2.before_begin();
  for(int i = 0; i < 10; ++i)
    iter = flista2.insert_after(iter, i);
  for (double e : flista2)
     cout << e << " "; cout << endl;
  return 0;
}
```

```
1 3 2 7
9 5 1 3 2 7 11
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
```

2.4.4.6 A soros konténerek összehasonlítása

A soros konténerek általános összevetését az előzőek folyamán már több esetben is elvégeztük. Most csupán a programozási feladatok megoldásához kívánunk további segítséget nyújtani azzal, hogy a soros konténerek időbeli viselkedését összevetjük, néhány gyakori művelet esetén.

A soros konténerek néhány jellemvonása:

- a vektor feltöltése sokkal gyorsabb, ha a helyfoglalást előzőleg elvégeztük,
- a lista nagyon lassú, amikor a teljes konténert be kell járni,
- kisméretű adatelemekkel a vektor és a kettősvégű sor mindig gyorsabb, mint a lista,
- a vektor és a kettősvégű sor lassú, amikor nagyméretű adatokat kell másolnia,
- a lista gyors nagyméretű adatelemek kezelésekor,
- a kettősvégű sor hatékonyabb a vektornál, amikor tetszőleges pozícióba kell adatokat beszúrni (hisz a ***deque*** elejének eléréséhez konstans idő szükséges).

Javaslatok a soros konténerek kiválasztásához:

- Beszúrás tetszőleges pozícióba, a rendezettség megtartásával: ***vector***, ***deque***.
- Lineáris keresés: ***array***, ***vector***, ***deque***.
- Beszúrás tetszőleges pozícióba, törlés tetszőleges pozícióból:
  - kisméretű elemek: ***vector***.
  - nagyméretű elemek: ***list***, ***forward_list*** (ha nem kell keresni benne).
- Beszúrás a konténer elejére: ***deque***, ***list***, ***forward_list***.
- Nem C++ alaptípusok esetén, ha nem a keresés és a sok változtatás a fő cél: ***list***.
- Nem C++ alaptípusok esetén, ha a keresés és a sok változtatás a fő cél: ***vector***, ***deque***.

2.4.5 Programozás asszociatív konténerekkel

Az asszociatív konténerekben az adatok tárolása, elérése egy kulcs alapján történik. A kulcs felhasználási módja szerint két csoportra oszthatjuk a tárolókat.

Amikor az adatok tárolása a kulcs alapján rendezett sorrendben történik, rendezett konténerekről beszélünk (***set***, ***multiset***, ***map***, ***multimap***). A rendezett tárolók a sorrendet egy *Compare* összehasonlító függvényobjektum felhasználásával alakítják ki, melynek alapértéke a *less<KulcsTípus>* (kisebb). A másik csoportba tartozó (rendezetlen) konténerek az adatokat a kulcs alapján képzett hasító táblában tárolják (***unordered_set***, ***unordered_multiset***, ***unordered_map***, ***unordered_multimap***). Ehhez a tároláshoz szükséges hasító függvényt (*Hash*) és a kulcsok azonosságát vizsgáló függvényobjektumot (*KeyEqual*) szintén meg kell adnunk az osztálysablonok példányosításakor.

Egy másfajta csoportosításra ad lehetőséget a tárolt adatok vizsgálata. A halmaz tárolókban maguk a kulcsok tárolódnak egyetlen (***set***, ***unordered_set***), vagy több példányban (***multiset***, ***unordered_multiset***). Ezzel szemben az asszociatív tömbök (szótárak) elemeiben a kulcshoz egy adat is tartozik, adatpárokban (***pair***) összefogva. A ***map*** és ***unorderd_map*** esetén a kulcsok egyetlen példányban szerepelhetnek a tárolókban, míg a ***multimap*** és az ***unordered_multimap*** konténerek megengedik a kulcsok ismétlődését.

A következőkben a második csoportosítás alapján vesszük sorra a tárolókat, végül pedig összefoglaljuk a rendezetlen tárolók hasító táblájával kapcsolatos tagfüggvényeket.

2.4.5.1 Rendezett halmaz konténerek (set, multiset)

Az asszociatív konténerek konstruktorai további lehetőségeket is tartalmaznak a 2.4.3. részben elmondottakhoz képest. Mint tudjuk az osztálysablonok példányosítása során típusokat adunk meg argumentumként, és a példányosítás eredménye egy osztály- vagy függvénytípus. Ha az argumentumként megadott típus egy hagyományos függvénymutató típusa, akkor magát a függvényt a konstruktor hívásakor kell megadnunk, teljessé téve ezzel az objektum létrehozását. Jól szemlélteti az elmondottakat az alábbi példa:

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

class Auto {
 public:
    Auto(const string& tip = "") : tipus(tip) {}
    bool operator<(const Auto& masik) const {
      return tipus < masik.tipus;
    }
    friend ostream& operator<<(ostream& os, const Auto& a) {
      os << a.tipus;
      return os;
    }
    string Tipus() const { return tipus; }
  private:
    string tipus;
};

bool AutotHasonlit(const Auto& bal, const Auto& jobb) {
  return bal < jobb;
}
```

```
int main() {
  set<Auto, bool(*)(const Auto&, const Auto&)> ahalmaz(AutotHasonlit);
  ahalmaz.emplace("Volvo");
  ahalmaz.emplace("Scania");
  ahalmaz.emplace("Renault");
  copy(begin(ahalmaz), end(ahalmaz), ostream_iterator<Auto>(cout, "\n"));
}
```

A fenti *AutotHasonlit()* függvény típusa helyett az *Auto* típussal példányosíthatjuk a ***less*** osztálysablont (*<functional>*), amely aztán a megadott típushoz tartozó *operator<* műveletet alkalmazza:

```
set<Auto, less<Auto>> ahalmaz;
```

Mivel ebben az anyagban az STL használatával kapcsolatos alapismeretek közvetítjük, a példáinkban maradunk a konténersablonok minél teljesebb paraméterezésénél.

Ha az adattípusunk nem rendelkezik megfelelő relációs művelettel, akkor egy új függvényobjektum bevezetésével orvosolhatjuk a problémát:

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

class Auto {
  public:
    Auto(const string& tip = "") : tipus(tip) {}
    friend ostream& operator<<(ostream& os, const Auto& a) {
      os << a.tipus;
      return os;
    }
    string Tipus() const { return tipus; }
  private:
    string tipus;
};

struct Kisebb {
    bool operator()(const Auto& bal, const Auto& jobb) const {
      return bal.Tipus() < jobb.Tipus();
    }
};

int main() {
  set<Auto, Kisebb> ahalmaz;
  ahalmaz.insert(string("Volvo"));
  ahalmaz.insert(string("Scania"));
  ahalmaz.insert(string("Renault"));
  copy(begin(ahalmaz), end(ahalmaz), ostream_iterator<Auto>(cout, "\n"));
}
```

A továbbiakban áttekintjük a kulcs alapján kereséseket megvalósító tagfüggvényeket. Megjegyezzük, hogy a ***set*** és a ***multiset*** konténerek interfészei teljesen megegyeznek, egyetlen kis eltéréstől, a *count()* tagfüggvény visszatérési értékétől eltekintve.

Tagfüggvényhívás	***Leírás***
n = a.count(kulcs)	a *size_type* típusú visszatérési értékben megadja, hogy az *a* rendezett konténerben hány elem rendelkezik az adott *kulccsal* (a ***set*** esetén ez az érték *0* vagy *1*),
iter = a.find(kulcs)	sikeres esetben az adott *kulcsú* elem iterátorával tér vissza, míg sikertelen esetben az *a.end()* értékkel,
pair<itb, ite> p = a.equal_range(kulcs)	az adott *kulcsú* elemeket tartalmazó iterátor-tartomány [*itb, ite*) lekérdezése – sikertelen esetben mindkét visszaadott iterator értéke *a.end()*,

Tagfüggvényhívás *(folytatás)*	***Leírás***
iter = a.lower_bound(kulcs)	sikeres esetben egy olyan elem iterátorával tér vissza, amelyik nem kisebb, mint a megadott *kulcs*, míg sikertelen esetben az *a.end()* a függvényérték,
iter = a.upper_bound(kulcs)	sikeres esetben egy olyan elem iterátorával tér vissza, amelyik nagyobb, mint a megadott *kulcs*, míg sikertelen esetben az *a.end()* a függvényérték.

Megjegyezzük, hogy rendezett asszociatív konténerek esetén az *equal_range()* függvény által visszaadott iterátorokat a *lower_bound()* és az *upper_bound()* függvények is szolgáltatják. Elemismétlő halmaz esetén az alábbi példaprogram szemlélteti a kereső tagfüggvények használatát:

```
#include <set>
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
using namespace std;

int main() {
  srand(unsigned(time(nullptr)));
  multiset<int> szamok {7,7};
  int n = rand()%10 + 10;
  for (int i=0; i<n; i++)
    szamok.insert(rand()%12);
  for (int e : szamok)
    cout << e << " " ; cout << endl;
  if (szamok.find(7) != end(szamok)) { // tartalmazza a 7-et?
      cout << szamok.count(7) << endl;
      auto par = szamok.equal_range(7);
      cout << *par.first << "\t" << *szamok.lower_bound(7) << endl;
      cout << *par.second << "\t" << *szamok.upper_bound(7) << endl;
      for (auto p=par.first; p!=par.second; p++)
        cout << *p << "\t";
      cout << endl;
  }
  return 0;
}
```

```
0 0 0 1 2 4 5 5 5 6 7 7 7 8 9 9 9 10 11
3
7       7
8       8
7       7       7
```

2.4.5.2 Rendezett asszociatív tömb (szótár) konténerek

A ***map*** és a ***multimap*** konténerekben adatpárok tárolódnak, melyek első (*first*) tagja maga a kulcs, míg a második (*second*) tagja az adat. A szokásos konténerműveleteken túlmenően a minden változtatás nélkül alkalmazhatók a halmazoknál bemutatott keresési tagfüggvények (*find()*, *count()*, *lower_bound()* stb.). *Az első példában egyedi kulcsokkal hozunk létre egy konténert, és bemutatjuk az adatpárok hozzáadásának, lekérdezésének és módosításának különböző módjait:*

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

typedef map<string, string> Szotar;
```

```
void KiirMap(const Szotar& szotar) {
  cout << "- . -" << endl;
  cout << "Szotar:\n";
  for (const auto& par : szotar) {
    cout << par.first << "\t" << par.second << "\n";
  }
  cout << "- . -" << endl;
}
int main() {
  Szotar szotar { {"cat", "macska"}, {"dog", "kutya"} };
  szotar.insert(make_pair("gopher", "horcsog"));
  szotar.insert(pair<string, string>("mouse", "eger"));
  szotar["eagle"] = "sas";
  cout << szotar["rat"] << endl;
  KiirMap(szotar);
  if (szotar.find("rat")!= end(szotar)) {
    cout << szotar["eagle"] << endl;
  }
  szotar["rat"] = "patkany";
  auto ret = szotar.insert(make_pair("cat", "cica"));
  if (!ret.second) {
    cout << ret.first->first << " kulcs mar szerepel a szotarban." << endl;
  }
  KiirMap(szotar);
  return 0;
}
```

```
- . -
Szotar:
cat     macska
dog     kutya
eagle   sas
gopher  horcsog
mouse   eger
rat
- . -
sas
cat kulcs mar szerepel a szotarban.
- . -
Szotar:
cat     macska
dog     kutya
eagle   sas
gopher  horcsog
mouse   eger
rat     patkany
- . -
```

Felhívjuk a figyelmet, hogy az indexelés műveletét a kulcsokkal csak a ***map*** (***unordered_map***) konténereknél használhatjuk. Ha az indexelés során megadott kulcs nem létezik, akkor az adott kulcsú elem mindig létrejön, még akkor is, ha lekérdezés volt a célunk. Ekkor az adat a típusának megfelelő alapértékkel inicializálódik.

Indexelés nélkül egy adatpárt úgy módosíthatunk, hogy először töröljük a bejegyzést, majd hozzáadjuk az új tartalmat a szótárhoz:

```
auto ret = szotar.insert(make_pair("cat", "cica"));
if (!ret.second) {
  szotar.erase("cat"); //  a cat kulcsú elem eltávolítása
  szotar.insert(make_pair("cat", "cica"));
}
```

*A következő telefonregiszter példával szemléltetjük a **multiset** használatának fogásait a fentiekben ismertetett tagfüggvények alkalmazásával:*

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

typedef multimap<string, unsigned> Telefon;
typedef pair<string, unsigned> Bejegyzes;

void MMKiir(const Telefon& telreg) {
  cout << "Bejegyzesek szama: " << telreg.size() << endl;
  Telefon::const_iterator iter = begin(telreg);
  while(iter != end(telreg)) {
    cout << "Nev= " << iter->first << "\tTel = " << iter->second << endl;
    iter++;
  }
  cout << endl;
}

int main() {
  Telefon telreg { {"Szende", 1223}, {"Morgo", 1122}, {"Tudor", 1002} };

  telreg.insert(Bejegyzes("Szundi",1234));
  telreg.insert(Bejegyzes("Hapci", 4444));
  telreg.insert(Bejegyzes("Szundi",3690));
  telreg.insert(Bejegyzes("Kuka",  5673));
  telreg.insert(Bejegyzes("Hapci", 9999));
  telreg.insert(Bejegyzes("Vidor", 4532));
  MMKiir(telreg);

  set<string> nevek; // a nevek összegyűjtése
  for (auto par : telreg)
    nevek.insert(par.first);

  cout<<"A nevek elofordulasa:"<<endl;
  for (auto e : nevek)
    cout << e << "\ttelefonszamainak szama: " << telreg.count(e) << endl;

  cout << "\nSzundi szamainak kidobasa:" << endl;
  auto iterpar = telreg.equal_range("Szundi");
  for(auto iter = iterpar.first; iter != iterpar.second; ++iter)
    cout << "Nev= " << iter->first << "\tTel = " << iter->second << endl;
  telreg.erase(iterpar.first, iterpar.second);
  cout << endl;
  MMKiir(telreg);
  return 0;
}
```

```
Bejegyzesek szama: 9
Nev= Hapci      Tel = 4444
Nev= Hapci      Tel = 9999
Nev= Kuka       Tel = 5673
Nev= Morgo      Tel = 1122
Nev= Szende     Tel = 1223
Nev= Szundi     Tel = 1234
Nev= Szundi     Tel = 3690
Nev= Tudor      Tel = 1002
Nev= Vidor      Tel = 4532

A nevek elofordulasa:
Hapci   telefonszamainak szama: 2
Kuka    telefonszamainak szama: 1
Morgo   telefonszamainak szama: 1
Szende  telefonszamainak szama: 1
Szundi  telefonszamainak szama: 2
Tudor   telefonszamainak szama: 1
Vidor   telefonszamainak szama: 1

Szundi szamainak kidobasa:
Nev= Szundi     Tel = 1234
Nev= Szundi     Tel = 3690

Bejegyzesek szama: 7
Nev= Hapci      Tel = 4444
Nev= Hapci      Tel = 9999
Nev= Kuka       Tel = 5673
Nev= Morgo      Tel = 1122
Nev= Szende     Tel = 1223
Nev= Tudor      Tel = 1002
Nev= Vidor      Tel = 4532
```

2.4.5.3 Rendezetlen halmaz és asszociatív tömb (szótár) konténerek

A 2.4.5.1. rész bevezető példájának rendezetlen halmazra való átírásával láthatjuk azokat a követelményeket, amelyek teljesítésével saját típusainkat ***unordered_set***, illetve ***unordered_multiset*** sablonokban tárolhatjuk.

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

class Auto {
  public:
    Auto(const string& tip = "") : tipus(tip) {}
    bool operator==(const Auto& masik) const {
      return tipus == masik.tipus;
    }
    friend ostream& operator<<(ostream& os, const Auto& a) {
      os << a.tipus;
      return os;
    }
    const string& Tipus() const { return tipus; }
  private:
    string tipus;
};

struct AutoHash {
  size_t operator()(const Auto& a) const {
    return hash<string>()(a.Tipus());
  }
};
```

```
int main() {
  unordered_set<Auto, AutoHash, equal_to<Auto>> ahalmaz;
  ahalmaz.insert(string("Volvo"));
  ahalmaz.insert(string("Scania"));
  ahalmaz.insert(string("Renault"));
  copy(begin(ahalmaz), end(ahalmaz), ostream_iterator<Auto>(cout, "\n"));
}
```

Saját típus esetén szükségünk van egy hasító és egy azonosságot vizsgáló függvényobjektumra, és ugyanez igaz a rendezetlen szótárak esetén. Felhívjuk a figyelmet, hogy a rendezetlen halmazokban és szótárakban a tárolt adatok sorrendje teljes mértékben implementációfüggő, így nem szabad a tárolási sorrendre építeni a megoldási módszereinket.

Sokkal kellemesebb helyzet, ha a programunkban C++ alaptípusú vagy a string típusú kulcsot használunk. Ekkor a rendezett asszociatív konténerekkel működő programunk kis módosítással rendezetlen halmazt vagy szótárt használó programmá alakítható. Jogos a kérdés, hogy miért tennénk ilyet?

A rendezett tárolókban a rendezettség fenntartása igen időigényes. Ez a rendezettség azonban azt is biztosítja, hogy az STL algoritmusok mindegyikét használjuk, például a halmazműveleteket is. Amennyiben ezekre nincs szükségünk, és gyorsabb programfutást szeretnénk, javasolt a rendezetlen asszociatív konténerekre való átállás. Nézzünk néhány fontos megjegyzést ezzel kapcsolatban:

- A rendezetlen tárolóknak nincs *lower_bound()* és *upper_bound()* tagfüggvényük.
- Az *equal_range()* függvény által visszaadott iterátorpár ez első és az utolsó, adott kulccsal rendelkező elemre hivatkozik.
- A rendezetlen asszociatív tárolókat csak az *==* és a *!=* műveletekkel hasonlíthatjuk össze.
- A rendezett tárolókhoz kétirányú iterátorok tartoznak, míg a rendezetlenekhez előrehaladó (egyirányú) iterátorok.
- Míg a rendezett tárolókat a *key_comp* és a *value_comp* fügvényobjektumok jellemzik, addig a rendezetleneket a *hash_function* és a *key_eq* funktorok.

Ugyancsak különböznek a két konténercsoport lekérdezhető ún. megfigyelő függvényei, melyeket egy rövid programmal szemléltetünk:

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

int main() {
  set<double> rset { 1, 2, 3, 4, 5 };
  unordered_set<double> uset { 1, 2, 3, 4, 5 };

  set<double>::key_compare kcmp = rset.key_comp();
  set<double>::value_compare vcmp = rset.value_comp();

  unordered_set<double>::hasher hashfv =  uset.hash_function();
  unordered_set<double>::key_equal keq =  uset.key_eq();

  cout << kcmp(12, 23) << endl;  // 1
  cout << vcmp(12, 23) << endl;  // 1
  cout << hashfv(1223) << endl;  // 3750804164
  cout << keq(12, 23) << endl;   // 0

  return 0;
}
```

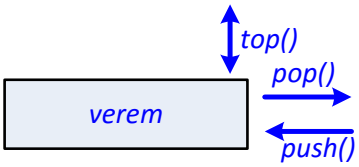
A rendezetlen tárolók további tagfüggvényei lehetőséget biztosítanak arra, hogy információkat szerezzünk a hasítótáblák szerkezetéről (*begin(n)*, *end(n)*, *bucket_count()*, *max_bucket_count()*, *bucket_size(n)*, *bucket(kulcs)*, *load_factor()*, *max_load_factor()*), de akár a tábla ismételt felépítését is kérhetjük (*rehash()*, *reserve()*).

2.4.6 Programozás konténer adapterekkel

A konténer adapter osztályoksablonok a verem, a sor és a prioritásos sor elméleti adatstruktúráknak megfelelő interfészt képeznek a ***vector***, a ***deque*** vagy a ***list*** soros konténerek valamelyikén.

2.4.6.1 A verem adatstruktúra

A *„last-in, first-out, LIFO”* működésű ***stack*** (*<stack.h>*) egyaránt adaptálható ***vector***, ***list*** és ***deque*** konténerekre építve. A veremre jellemző, hogy az elemeihez csak az egyik végén – a verem tetején, *top* – férhetünk hozzá.



Az *stack<típus>* osztállyal létrehozott *verem* objektum tagfüggvényhívásait és műveleteit táblázatban foglaltuk össze:

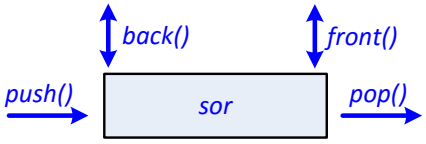
Tagfüggvényhívások	***Leírás***
verem.push(adat)	az *adat* bemásolása a verem tetejére,
verem.push(move(adat))	az *adat* áthelyezése (*move*) a verem tetejére,
verem.emplace(argumentumok)	új elem elhelyezése a verem tetején, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,
verem.top()	megadja a verem felső elemének referenciáját vagy konstans referenciáját,
verem.pop()	a verem felső elemének levétele,
verem.empty()	**true** értékkel jelzi, ha a verem üres,
verem.size()	visszatér a veremben lévő elemek számával,
verem.swap(másik verem)	felcseréli a két verem tartalmát,
swap(verem1, verem2)	a *swap* algoritmus vermekre specializált változata,
==, !=, <, <=, >, >=	két verem lexikografikus összehasonlítása,
verem1 = verem2	a *verem2* tartalmának átmásolása a *verem1*-be,
verem1 = move(verem2)	a *verem2* tartalmának áthelyezése a *verem1*-be.

*Az alábbi példaprogramban adott számrendszerbe (alap) való átváltásra használjuk a **vector** konténerre épített vermet:*

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

int main() {
  int szam=20151002, alap=16;
  stack<int, vector<int>> verem;
  do {
    verem.push(szam % alap);
    szam /= alap;
  } while (szam>0);

  while (!verem.empty()) {
    szam = verem.top();
    verem.pop();
    cout << (szam < 10 ? char(szam + '0') : char(szam + 'A' - 10)); // 1337ADA
  }
  return 0;
}
```

2.4.6.2 A sor adatstruktúra

A *„first-in, first-out, FIFO”* működésű sort (***queue***) (*<queue.h>*) ***list*** vagy ***deque*** tárolókból adaptálhatjuk. A sor alapműveletei mindegyikéhez (elem hozzáadása a sor végéhez, elem kivétele a sor elején, az első és az utolsó elem elérése) konstans (*O(1)*) idő szükséges.



Az ***queue<típus>*** osztállyal létrehozott *sor* objektum tagfüggvényhívásait és műveleteit az alábbi táblázat tartalmazza:

Tagfüggvényhívások	***Leírás***
sor.push(adat)	az *adat* bemásolása a sor végére,
sor.push(move(adat))	az *adat* áthelyezése (*move*) a sor végére,
sor.emplace(argumentumok)	új elem elhelyezése a sor végén, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,
sor.back()	megadja a sor utolsó elemének referenciáját vagy konstans referenciáját,
sor.front()	megadja a sor első elemének referenciáját vagy konstans referenciáját,
sor.pop()	a sor első elemének kivétele,
sor.empty()	**true** értékkel jelzi, ha a sor üres,
sor.size()	visszatér a sorban tárolt elemek számával,
sor.swap(másik sor)	felcseréli a két sor tartalmát,
swap(sor1, sor2)	a *swap* algoritmus sorokra specializált változata,
==, !=, <, <=, >, >=	két sor lexikografikus összehasonlítása,
sor1 = sor2	a *sor2* tartalmának átmásolása a *sor1* -be,
sor1 = move(sor2)	a *sor2* tartalmának áthelyezése a *sor1* -be.

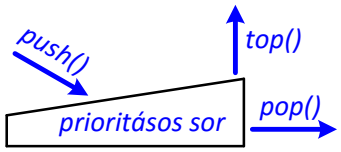
Jól használható a sor adatstruktúra a program futása során keletkező részadatok tárolására, mint ahogy ezt az egész számok törzstényezőkre való bontása során tesszük:

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

int main() {
  unsigned n;
  cout << "N = "; cin >> n; cin.get();
  queue<unsigned> sor;
  unsigned n0 = n;

  for (unsigned i = 2; i <= n; i++) {
     while (n % i == 0) {
       sor.push(i);
       n /= i;
     }
  }

  cout << n0 << " = ";
  while (!sor.empty()) {
    cout << sor.front();
    if (sor.size() > 1) cout << "*";
    sor.pop();
  }
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
N = 2015
2015 = 5*13*31
```

2.4.6.3 A prioritásos adatstruktúra

A prioritásos sor (***priority_queue***) olyan tároló, melynek elemei különböző prioritással rendelkeznek. Az elsőbbséget egy rendezési előírás (összehasonlító függvényobjektum) definiálja, melyet a sablon harmadik paraméterében kell megadnunk. (Alapértelmezés szerint az **operator<** műveletet használja a prioritásos sor.) A sor elején mindig az egyik legnagyobb prioritású elem helyezkedik el. A prioritásos sor a ***vector*** és a ***deque*** tárolókból egyaránt adaptálható. (A prioritásos sor működését szokás a *BIFO – best in first out* betűkkel jellemezni, ahol a legjobb a legnagyobb prioritású elemek egyikét jelenti.)



Az ***priority_queue<típus>*** osztállyal létrehozott *prisor* objektum tagfüggvényhívásait és műveleteit az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

Tagfüggvényhívások	***Leírás***
prisor.push(adat)	az *adat* bevitele a prioritásos sorba,
prisor.push(move(adat))	az *adat* áthelyezése (*move*) a prioritásos sorba,
prisor.emplace(argumentumok)	új elem behelyezése a prioritásos sorba, és inicializálása az argumentumoknak megfelelő konstruktor hívásával,
prisor.top()	megadja a prioritásos sor első elemének konstans referenciáját, így az elem csak kiolvasható, és nem módosítható,
prisor.pop()	a prioritásos sorba első elemének levétele,
prisor.empty()	**true** értékkel jelzi, ha a prioritásos sorba üres,
prisor.size()	visszatér a prioritásos sorban lévő elemek számával,
verem.swap(másik prisor)	felcseréli a két prioritásos sor tartalmát,
swap(prisor1, prisor2)	a *swap* algoritmus prioritásos sorokra specializált változata,
prisor1 = prisor2	a *prisor2*tartalmának átmásolása a *prisor1*-be,
prisor1 = move(prisor2)	a *prisor2*tartalmának áthelyezése a *prisor1*-be.

*Az alábbi példában a C++ szabványos **complex** típusát tároljuk prioritásos sorban. Az összehasonlító függvényobjektumban azt a komplex számot tekintjük nagyobbnak, melynek nagyobb az abszolút értéke:*

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

typedef complex<double> komplex;

struct KomplexKisebb {
  bool operator()(const komplex& x, const komplex& y) const {
    return abs(x) < abs(y);
  }
};

int main() {
  complex<double> cv[] = {{1,2}, {2, 3}, {5, 3}, {3, 2}};
  priority_queue <komplex, vector<komplex>, KomplexKisebb>
                                              prisor(begin(cv), end(cv));
  prisor.push(komplex(3,7));
```

```
  while (!prisor.empty()) {
    cout << prisor.top() << endl;
    prisor.pop();
  }
  return 0;
}
```

```
(3,7)
(5,3)
(2,3)
(3,2)
(1,2)
```

A lexikografikus összehasonlítás (a valós rész dönt, de ha egyenlőek a képzetes rész értéke a meghatározó) megvalósításával egészen más sorrendet kapunk:

```
struct KomplexKisebb {
  bool operator()(const komplex& x, const komplex& y) const {
    if (x.real() != y.real())
        return x.real() < y.real();
    else
        return x.imag() < y.imag();
  }
};
```

```
(5,3)
(3,7)
(3,2)
(2,3)
(1,2)
```

2.5 Ismerkedés az algoritmusokkal

Az algoritmusok *<algorithm>* kiszélesítik a konténerek felhasználhatóságának lehetőségeit. Mivel függvénysablonok formájában állnak a rendelkezésünkre, típusok széles skálájához használhatjuk őket. Az algoritmusok többségét iterátorokkal kapcsoljuk a konténerekhez, és ha iterátort adnak vissza, akkor annak típusa megegyezik a bemeneti iterátor(ok) típusával. Már említettük, ha egy konténer valamely algoritmust saját tagfüggvénnyel valósít meg, akkor azt javasolt használni, mivel az hatékonyabb és biztonságosabb.

Az algoritmusok leírásánál – a jobb áttekinthetőség érdekében – az iterátorokra és a függvényobjektumokra rövidítéseket használunk, az alábbiak szerint:

input iterátorok:	*itb*, *ite*, *it1*, *it2*, *iter*	
output iterátorok:	*oitb*, *oit1*, *oit2*, *oiter*	
előrehaladó iterátorok:	*fitb*, *fite*, *fit1*, *fit2*, *fiter*	
kétirányú iterátorok:	*bitb*, *bite*, *bite2*, *biter*	
tetszőleges elérésű iterátorok:	*ritb*, *rite*, *riter*	
egyoperandusos művelet:	*műv*	*fvtípus műv(**const** típus &a);*
kétoperandusos művelet:	*binműv*	*fvtípus binműv(**const** típus1 &a, **const** típus2 &b);*
egyoperandusos predikátum:	*pred*	***bool** pred(**const** típus &a);*
kétoperandusos predikátum:	*binpred*	***bool** binpred(**const** típus1 &a, **const** típus2 &b);*
összehasonlító függvény:	*compfv*	***bool** compfv(**const** típus1& a, **const** típus2& b);*

A függvényobjektumok esetén a paramétertípusokban a **const** és & előírások el is hagyhatók.

2.5.1 Az algoritmusok végrehajtási ideje

A konténerműveletek időigénye mellet a felhasznált algoritmusok időigénye együtt határozza meg az adott programrész futásidejét. Az algoritmusok végrehatásához szükséges időigényt a feldolgozandó adatsor elemeinek számával (*n*) jellemezhetjük:

Végrehajtási idő	***Algoritmusok***
O(1)	*swap()*, *iter_swap()*,
O(log(n))	*lower_bound()*, *upper_bund()*, *equal_range()*, *binary_search()*, *push_heap()*, *pop_heap()*,
O(n·log(n))	*inplace_merge()* *(legrosszabb esetben)*, *stable_partition()* *(legrosszabb esetben)*, *sort()*, *stable_sort()*, *partial_sort()*, *partial_sort_copy()*, *sort_heap()*,
$O(n^2)$	*find_end()*, *find_first_of()*, *search()*, *search_n()*,
O(n)	minden más algoritmus.

2.5.2 Nem módosító algoritmusok

A nem módosító algoritmusok csak olvassák a konténer elemeit, nem rendezik át és nem változtatják meg azokat.

2.5.2.1 Adott művelet elvégzése az elemeken – *for_each()*

A *for_each()* algoritmus a megadott *[itb, ite)* tartomány minden elemén végrehajtja a megadott műveletet. A hívás a műveletet függvényobjektumként adja vissza.

```
auto fvobj = for_each(itb, ite, műv);
```

Az alábbi példában a műveletek megadásához függvényt, lambda-kifejezést és függvényobjektumot használunk:

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

void Add12(int &elem) {
  elem += 12;
}

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

int main() {
  vector<int> szamok{2, 3, 5, 8, 13, 21, 34};

  cout << "Hivas elott\t";
  for (auto e : szamok)
    cout << e << " ";  cout << endl;

  // minden elem növelése 12-vel - függvény segítségével
  for_each(begin(szamok), end(szamok), Add12);

  cout << "12-vel valo noveles hivasa utan\t";
  for (auto e : szamok)
    cout << e << " "; cout << endl;

  // minden elem felezése – lambda-kifejezés alkalmazásával
  for_each(begin(szamok), end(szamok), [](int &e){ e /= 2; });

  cout << "2-vel valo osztas hivasa utan\t";
  for (auto e : szamok)
    cout << e << " "; cout << endl;

  // az Osszeg::operator() hívása minden elemre
  Osszeg s = for_each(begin(szamok), end(szamok), Osszeg());

  cout << "az oszegzes hivasa utan\t";
  for (auto e : szamok)
    cout << e << " "; cout << endl;

  cout << "Elemosszeg: " << s.osszeg << endl;

  int osszeg = 0;
  // összegzés – lambda-kifejezés alkalmazásával
  for_each(begin(szamok), end(szamok), [&osszeg](int e){ osszeg += e; });

  cout << "Elemosszeg: " << osszeg << endl;
  return 0;
}
```

```
Hivas elott     2 3 5 8 13 21 34
12-vel valo noveles hivasa utan 14 15 17 20 25 33 46
2-vel valo osztas hivasa utan   7 7 8 10 12 16 23
az oszegzes hivasa utan 7 7 8 10 12 16 23
Elemosszeg: 83
Elemosszeg: 83
```

2.5.2.2 Elemek vizsgálata

Algoritmus hívása	***Leírás***
bool *b = all_of(itb, ite, pred)*	értéke **true**, ha a *pred(elem)* igaz minden elemre az *[itb, ite)* tartományban,
bool *b = any_of(itb, ite, pred)*	értéke **true**, ha a *pred(elem)* legalább egy elemre igaz az *[itb, ite)* tartományban,
bool *b = none_of(itb, ite, pred)*	értéke **true**, ha a *pred(elem)* egyetlen elemre sem igaz az *[itb, ite)* tartományban.

Az alábbi példában a v vektor elemeinek vizsgálata során különböző módon adjuk meg a predikátum-függvényt:

```
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;
using namespace std::placeholders;

bool Oszthato5(unsigned e) {
  return e % 5;
}

int main() {
  vector<unsigned> v {23, 17, 63, 35, 29};
  cout << "A vektor elemei: ";
  copy(v.cbegin(), v.cend(), ostream_iterator<unsigned>(cout, " "));
  cout << endl;
  // lambda-kifejezés a predikátum
  if (all_of(v.cbegin(), v.cend(), [](unsigned e){ return e % 2 == 1; })) {
     cout << "Minden elem paratlan" << endl;
  }
  // predikátum-függvény
  if (any_of(v.cbegin(), v.cend(), Oszthato5)) {
     cout << "Legalabb egy elem oszthato 5-tel" << endl;
  }
  // összeállított függvényobjektum a predikátum
  if (none_of(v.cbegin(), v.cend(), bind(greater<unsigned>(),_1, 64))) {
     cout << "Egyetlen elem sem nagyobb 64-nel" << endl;
  }
  return 0;
}
```

2.5.2.3 Elemek számlálása –count()

Algoritmus hívása	***Leírás***
n = count(itb, ite, adat)	visszatér azon elemek számával az *[itb, ite)* tartományban, melyek értéke megegyezik az *adat*tal,
n = count_if(itb, ite, pred)	megadja azon elemek számát az *[itb, ite)* tartományban, melyekre a *pred(elem)* hívás igaz értéket ad.

Az egyenlőség vizsgálatánál alaphelyzetben az *operator==()* függvényt használja az algoritmus, kivéve, ha predikátum is szerepel a paraméterlistán. A predikátum **true** értékkel jelzi az azonosságot. *Az alábbi példában megszámoljuk, hogy a v vektornak hány 7-es eleme, illetve hány 10-zel osztható eleme van:*

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

int main() {
  vector<int> v { 7, 12, 20, 30, 7, 10, 50, 23 };
  int db7 = count(begin(v), end(v), 7);
  int db10oszt = count_if(begin(v), end(v), [](int e) {return e%10==0;});
  cout << "7 erteku elemek szama: " << db7 << endl;
  cout << "10-zel oszthato elemek szama: " << db10oszt << endl;
  return 0;
}
```

```
7 erteku elemek szama: 2
10-zel oszthato elemek szama: 4
```

2.5.2.4 Elemek keresése – a find() csoport

Algoritmus hívása	***Leírás***
iter = find(itb, ite, adat)	az *[itb, ite)* tartományban megkeresi az első olyan elemet, melynek értéke megegyezik az *adat*tal (**iter == adat*),
iter = find_if(itb, ite, pred)	az *[itb, ite)* tartományban megkeresi az első olyan elemet, melyre a *pred(*iter)* igaz,
iter = find_if_not(itb, ite, pred)	az *[itb, ite)* tartományban megkeresi az első olyan elemet, melyre a *pred(*iter)* hamis,
fiter = find_first_of(fitb, fite, fitb2, fite2)	a *[fitb, fite)* tartományban megkeresi az első olyan elemet, amely megtalálható a *[fitb2, fite2)* tartományban is,
fiter = find_first_of(fitb, fite, fitb2, fite2, binpred)	a *[fitb, fite)* tartományban megkeresi az első olyan elemet, amellyel és a *[fitb2, fite2)* tartomány valamelyik elemével paraméterezve a predikátumot, az igaz értékkel tér vissza,
fiter = find_end(fitb, fite, fitb2, fite2)	a *[fitb, fite)* tartományban megkeresi az utolsó olyan elemet, amelytől rendre megtalálható a *[fitb2, fite2)* tartomány minden eleme,
fiter = find_end(fitb, fite, fitb2, fite2, binpred)	a *[fitb, fite)* tartományban megkeresi az utolsó olyan elemet, amelytől kezdődő elemekkel és a *[fitb2, fite2)* tartomány megfelelő elemeivel paraméterezve a predikátumot, az igaz értékkel tér vissza,
fiter = adjacent_find(fitb, fite)	megkeresi az első olyan elemet, melynek értéke megegyezik a rákövetkező elem értékével (**fiter == *(fiter+1)*),
fiter = adjacent_find(fitb, fite, binpred)	megkeresi az első olyan elemet az *[itb, ite)* tartományban, melyre a *binpred(*fiter, *(fiter+1))* hívás igaz értéket ad,

A keresési algoritmusok sikertelen esetben az *ite* iterátor értékével térnek vissza. *Az első példában a v vektorban megkeressük az 5 értékű elem összes előfordulását, és megjelenítjük az elemek indexeit:*

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

int main() {
  vector<int> v {3, 1, 4, 1, 5, 9, 2, 6, 5, 3, 5, 9};
  cout << "A vektor tartalma:\n";
  for (vector<int>::size_type i = 0; i < v.size(); i++)
    cout << v.at(i) << " ";
  cout << "\nVarakozas az Enter lenyomasara...";  cin.ignore(80, '\n');
  cout << "\nAz 5 erteku elemek indexei:";
  auto p = begin(v);
```

```
  while (p != end(v)) {
    p = find(p, end(v), 5);
    if (p != end(v)) {
      cout << distance(begin(v), p) << " ";
      p++;
    }
  }
  return 0;
}
```

```
A vektor tartalma:
3 1 4 1 5 9 2 6 5 3 5 9
Varakozas az Enter lenyomasara...

Az 5 erteku elemek indexei:4 8 10
```

A következő példában a v2 vektor elemeinek utolsó előfordulását keressük a v1-ben. Az összehasonlítás alapja a számjegyek összege:

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

bool SzamjegyOsszeg (int a, int b) {
  int osszeg1 = 0;
  while (a != 0) {
    osszeg1 += a % 10;
    a /= 10;
  }
  int osszeg2 = 0;
  while (b != 0) {
    osszeg2 += b % 10;
    b /= 10;
  }
  return osszeg1 == osszeg2;
}

int main() {
  vector<int> v1 {17, 23, 12, 52, 7, 8, 32, 102, 25, 9, 11};
  cout << "A v1 tartalma:\n";
  for (int e : v1)
    cout << e << " "; cout << endl;

  vector<int> v2 {23, 12, 7};
  cout << "A v2 tartalma:\n";
  for (int e : v2)
    cout << e << " "; cout << endl;

  auto p = find_end(begin(v1), end(v1), begin(v2), end(v2), SzamjegyOsszeg);
  if (p != end(v1))
    cout << "A v2 utolso elofordulasanak kezdoindexe a v1-ben: "
         << distance(begin(v1), p);
  return 0;
}
```

```
A v1 tartalma:
17 23 12 52 7 8 32 102 25 9 11
A v2 tartalma:
23 12 7
A v2 utolso elofordulasanak kezdoindexe a v1-ben: 6
```

Az utolsó keresési példában az első pozitív számot, illetve a 0-ás elemet keressük meg a v vektorban:

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

int main() {
  vector<double> v {-3.1, -1.25, 0, 2.7, 4.01, 6.321};
  auto p = find_if(begin(v), end(v), [](double e) {return e > 0;} );
  if (p != end(v))
    cout << "Az elso pozitiv szam: " << v[distance(begin(v), p)];

  p = find_if_not(begin(v), end(v), [](double e) {return e > 0 || e < 0;} );
  if (p != end(v))
    cout << "\nA nulla: " << v[distance(begin(v), p)];
  return 0;
}
```

```
Az elso pozitiv szam: 2.7
A nulla: 0
```

2.5.2.5 Azonosság (*equal()*) és eltérés (*mismatch()*) vizsgálata

Algoritmus hívása	***Leírás***
bool *b =* *equal(itb, ite, itb2)*	igaz értékkel tér vissza, ha *[itb, ite)* tartomány elemei sorra megegyeznek az *[itb2, itb2+(ite-itb))* tartomány elemeivel,
bool *b = equal(itb, ite, itb2, binpred)*	igaz értékkel tér vissza, ha *[itb, ite)* és az *[itb2, itb2+(ite-itb))* tartomány minden elempárjára a predikátum igaz értékű,
pair<it1, it2> p = mismatch(itb, ite, itb2)	a visszaadott iterátorpár jelzi, hogy az *[itb, ite)* és *[itb2, itb2+(ite-itb))* tartományok elemei hol különböznek először – ha *it1 == ite*, nincs eltérés,
pair<it1, it2> p = mismatch(itb, ite, itb2, binpred)	a visszaadott iterátorpár jelzi, hogy az *[itb, ite)* és *[itb2, itb2+(ite-itb))* tartományok elemei hol különböznek először a predikátum szerint – ha *it1 == ite*, nincs eltérés.

Meg kell jegyeznünk, hogy a *mismatch()* algoritmus eredménye definiálatlan, ha a második tartomány rövidebb az elsőnél. *Az alábbi példa palindrom() függvénye megállapítja, hogy egy szöveg visszafele megegyezik-e önmagával. A megoldásban kihasználtuk, hogy a string típus a **vector** típussal rokon konténerműveletekkel rendelkezik. A program további részeiben a mismatch() és az equal() algoritmusok használatának lépéseit is bemutatjuk.*

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

bool palindrom(const string szoveg){
  string szoveg2(begin(szoveg),
                 mismatch(begin(szoveg), end(szoveg), szoveg.rbegin()).first);
  return equal(begin(szoveg), end(szoveg), begin(szoveg2));
}
```

```
int main() {
  vector<int> v1 = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 };
  vector<int> v2 = { 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 0 };
  auto iterpar = mismatch(begin(v1), end(v1), begin(v2));
  if (iterpar.first == end(v1))
    cout << "megegyeznek" << endl;
  else
    cout << *iterpar.first << " " << *iterpar.second << endl;
  vector<int> v10 = { 1, 0, 1 ,0, 1, 0, 1, 0, 1, 0 };
  bool b = equal(begin(v1),end(v1),begin(v10), [](int a,int b) {return a%2 == b;} );
  if (b)
    cout << "azonosak\n";
  else
    cout << "kulonboznek\n";
  string szoveg1 = "indulagorogaludni";
  if (palindrom(szoveg1))
    cout << szoveg1 << " palindrom" << endl;
  szoveg1 = "ose az eso";
  if (!palindrom(szoveg1))
    cout << szoveg1 << " nem palindrom" << endl;
  return 0;
}
```

```
4 5
azonosak
indulagorogaludni palindrom
ose az eso nem palindrom
```

2.5.2.6 Elemsorozat keresése (*search()*)

Algoritmus hívása	***Leírás***
fiter = serach(fitb, fite, fitb2, fite2)	a *[fitb2, fite2)* altartomány első előfordulásának helyével tér vissza az *[fitb, fite-(fite2-fitb2))* tartományban,
fiter = serach(fitb,fite, fitb2, fite2, binpred)	a *[fitb2, fite2)* altartomány első előfordulásának helyével tér vissza az *[fitb, fite-(fite2-fitb2))* tartományban, az elemek egyenlőségét a predikátum dönti el,
fiter = serach_n(fitb, fite, n, adat)	az *adat n* darab előfordulásának kezdetével tér vissza a *[fitb, fite)* tartományban,
fiter = serach_n(fitb, fite, n, adat, binpred)	az *adat n* darab előfordulásának kezdetével tér vissza a *[fitb, fite)* tartományban, az azonosságot a predikátum jelzi.

Mind a négy esetben az *ite* értéket kapjuk vissza, ha a kívánt szekvencia nem található meg az *[itb, ite)* tartományban. *A lineáris keresés bemutatásához először egy vektorban keressük meg egy lista elemeinek első előfordulását, majd pedig meghatározzuk egy vektorban tárolt ismétlődő betűk kezdőpozícióit:*

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

int main() {
  vector<int> vektor { 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144 };
  list <int> lista { begin(vektor) + 3, begin(vektor) + 7 };
  auto iter = search(begin(vektor), end(vektor), begin(lista), end(lista));
  for (int i=0; i < lista.size(); i++)
    *(iter+i) += 123;
  for (int e : vektor)
```

```
    cout << e << " ";   cout << endl;
  string s = "ABBCCCDDDDEEEEEFFFFFFGGGGGGGHHHHHHHH";
  vector<char> betuk (begin(s), end(s));
  auto p = begin(betuk);
  for (char ch='A'; ch <= 'H'; ch++) {
      p=search_n(begin(betuk), end(betuk), (ch-'A'+1), ch);
      cout << ch << "\t" << distance(begin(betuk), p) << endl;
  }
  return 0;
}
```

```
2 3 5 131 136 144 157 55 89 144
A       0
B       1
C       3
D       6
E       10
F       15
G       21
H       28
```

2.5.3 Elemek sorrendjét módosító algoritmusok

A következő algoritmusok megváltoztathatják az argumentumként átadott tartományokban az elemek sorrendjét.

2.5.3.1 Elemek átalakítása – *transform()*

Algoritmus hívása	***Leírás***
oiter = transform(itb, ite, oitb, műv)	az algoritmus az *[itb, ite)* tartomány minden elemére végrehajtja a megadott unáris műveletet, és az *oitb* output iterátorral kijelölt helyre másolja az eredményt,
oiter = transform(itb, ite, itb2, oitb, binműv)	az algoritmus az *[itb, ite)* és *[itb2, itb2+(ite-itb))* tartományok minden elempárjára végrehajtja a megadott bináris műveletet, és az *oitb* output iterátorral kijelölt helyre másolja az eredményt.

Az algoritmusok az utolsó átalakított elem utáni kimenő iterátorral térnek vissza. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a műveletfüggvények nem módosíthatják a tartományok elemeit. *Az alábbi példában bemutatjuk a transform() algoritmus különböző hívásait. A hívásokhoz szükséges egyparaméteres függvényobjektum az átadott elemet megszorozza egy tényezővel, és eltolja egy offszettel. A kétparaméteres műveletobjektumot lambda-kifejezésként definiáljuk.*

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

// függvényobjektum egy adat megszorzására adott tényezővel,
// és eltolására adott értékkel
template <typename T> class FaktorOffszet {
  private:
    T faktor, offszet;
  public:
    FaktorOffszet(T f, T o) : faktor(f), offszet(o) { }
    T operator()(const T& elem) const {
      return elem * faktor + offszet;
    }
};
```

```
int main() {
  vector <int> v1 {1, 3, 5, 7, 9, 11};
  vector <double> v2 (v1.size());
  // a v1 módosítása helyben
  transform(begin(v1), end(v1), begin(v1), FaktorOffszet<int>(3,1));
  for (int e : v1)
    cout << e << "\t";   cout << endl;
  // a v1 módosításai a v2-be kerülnek
  transform(begin(v1), end(v1), begin(v2), FaktorOffszet<double>(1, 0.5));
  for (double e : v2)
    cout << e << "\t ";   cout << endl;
  // a v1 és v2 elempárjaival kiszámolt adatok a v3-ba kerülnek
  FaktorOffszet<double> Modosit(2, 1.3);
  auto fv = [Modosit](double e1, double e2) {return Modosit(e1+e2);};
  vector<double> v3;
  transform(begin(v1), end(v1), begin(v2), back_inserter(v3), fv);
  for (double e : v3)
    cout << e << "\t";   cout << endl;
  return 0;
}
```

```
4       10      16      22      28      34
4.5      10.5    16.5    22.5    28.5    34.5
18.3    42.3    66.3    90.3    114.3   138.3
```

2.5.3.2 Elemek másolása, áthelyezése

Algoritmus hívása	***Leírás***
oiter = copy(itb, ite, oitb)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány minden elemét az *oitb* output iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve,
oiter = copy_if(itb, ite, oitb, pred)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány azon elemeit az *oitb* kimeneti iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, amelyre a predikátum **true** értékkel tér vissza,
oiter = copy_n(itb, n, oitb)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány első *n* darab elemét az *oitb* output iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve,
biter = copy_backward(bitb, bite, bite2)	átmásolja az *[bitb, bite)* tartomány minden elemét az *bite2* kétirányú iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, visszafelé haladva,
oiter = move(itb, ite, oitb)	áthelyezi az *[itb, ite)* tartomány minden elemét az *oitb* kimeneti iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve,
biter = move_backward(bitb, bite, bite2)	áthelyezi az *[bitb, bite)* tartomány minden elemét az *bite2* kétirányú iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, visszafelé haladva.

Az előre haladó algoritmusok az utolsó átmásolt elem utáni pozícióval térnek vissza, míg a visszafelé működő algoritmusok megadják az utolsó átmásolt elem pozícióját. Egymást átfedő tartományok esetén a *backward* utótagú algoritmusokat kell használnunk. *A másolási műveletek alkalmazását az alábbi példaprogram szemlélteti:*

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

int main() {
  vector<int> adatok { 2, 7, 1, 8, 2, 8, 1, 8, 2, 8, 4, 5, 9, 0 };
  cout << "az eredeti vektor:" << endl;
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int> {cout, " "});
```

```
  cout << endl;
  cout << "a vektor elso felet a masodik felebe masolva:" << endl;
  copy_backward(begin(adatok),  begin(adatok)+adatok.size()/2,  end(adatok));
  copy(begin(adatok), end(adatok), ostream_iterator<int> {cout, " "});
  cout << endl;
  vector<double> dv;
  cout << "a paratlen elemek atmasolasa egy masik vektorba:" << endl;
  copy_if(begin(adatok), end(adatok), back_inserter(dv),
          [](int e) {return e%2==1;});
  copy(begin(dv), end(dv), ostream_iterator<double> {cout, " "});
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
az eredeti vektor:
2 7 1 8 2 8 1 8 2 8 4 5 9 0
a vektor elso felet a masodik felebe masolva:
2 7 1 8 2 8 1 2 7 1 8 2 8 1
a paratlen elemek atmasolasa egy masik vektorba:
7 1 1 7 1 1
```

2.5.3.3 Az ismétlődő szomszédos elemek törlése a tartományból – unique()

Algoritmus hívása	***Leírás***
fiter = unique(fitb, fite)	a *[fitb, fite)* tartományból eltávolítja a szomszédos, ismétlődő elemeket – az *==* operátorral vizsgálva az elemek azonosságát,
fiter = unique(fitb, fite, binpred)	a *[fitb, fite)* tartományból eltávolítja a szomszédos, ismétlődő elemeket – az elemek azonosságát a predikátum **true** értéke jelzi,
oiter = unique_copy(itb, ite, oitb)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány elemeit az *oitb* output iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, a szomszédos, ismétlődő elemek kihagyásával (*==*),
oiter = unique_copy(itb, ite, oitb, binpred)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány elemeit az *oitb* kimeneti iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, a szomszédos, ismétlődő elemek kihagyásával (*binpred*).

A *unique()* algoritmus visszatérési értéke a módosított szekvencia új végét jelzi, míg az *unique_copy()* az utolsó átmásolt elem utáni pozícióval tér vissza. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a *unique()* művelet az elemek balra tolásával hajtódik végre, így a konténer fizikai mérete változatlan marad. A tartomány új és régi vége közötti elemeket fizikailag a konténer *erase()* tagfüggvényével távolíthatjuk el.

Az alábbi példában 32 darab, 1 és 12 közé eső véletlen számmal töltünk fel egy vektort. Ezt követően megvizsgáljuk, hogy az 1..12 tartomány minden eleme szerepel-e a generált számok között. A program kódja után két futási erdményt is bemutatunk:

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

int main() {
  srand((unsigned)time(nullptr));
  const vector<int> v0 {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12};
  vector<int> v;
  for (int i=0; i<32; i++)
    v.push_back(rand() % 12 + 1); // 1..12
```

```
  sort(v.begin(), v.end());
  auto vege = unique(v.begin(), v.end());
  v.erase(vege, v.end());
  for (int e : v)
    cout << e << " ";   cout << endl;
  if (equal(begin(v), end(v), begin(v0)))
    cout << "sikeres szamgeneralas" << endl;
  else
    cout << "sikertelen szamgeneralas" << endl;
  return 0;
}
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
sikeres szamgeneralas

1 2 3 4 6 7 9 11 12
sikertelen szamgeneralas
```

2.5.3.4 Elemek eltávolítása a tartományból – remove()

Algoritmus hívása	***Leírás***
fiter = remove(fitb, fite, adat)	a *[fitb, fite)* tartományból eltávolítja az *adat*tal egyező elemeket – az == operátorral vizsgálva az azonosságot,
fiter = remove_if(fitb, fite, pred)	a *[fitb, fite)* tartományból eltávolítja azokat az elemeket, melyekre a predikátum **true** értékkel tér vissza,
oiter = remove_copy(itb, ite, oitb, adat)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány azon elemeit az *oitb* kimeneti iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, amelyek nem egyeznek meg az adattal (==),
oiter = remove_copy_if(itb, ite, oitb, pred)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány azon elemeit az *oitb* output iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, amelyekre a predikátum **false** értéket ad.

A *remove* algoritmusok visszatérési értéke a módosított szekvencia új végét jelzik, míg az *remove_copy hívások* az utolsó átmásolt elem utáni pozícióval térnek vissza. A *remove()* az *unique()* algoritmushoz hasonlóan csupán átcsoportosítja az elemeket, így az elemek fizikai törléséhez most is az *erase()* tagfüggvényt kell használnunk. A *remove()* és a replace() algoritmusok használatát *string* típusú tárolókkal szemléltetjük, amelyek a mi szempontunkból vektorként viselkednek. *A példában először eltávolítjuk a szövegből a tagoló (white-space) karaktereket, majd a vesszőket, végül pedig minden 'A' betűnél kisebb kódú karaktert:*

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

int main() {
  string szoveg = "A=65, B=66, C=67,\n D=68, \tE=69  ,  F=70";
  cout << szoveg << endl;
  auto vege = remove_if(begin(szoveg), end(szoveg), ::isspace);
  szoveg.erase(vege, end(szoveg));
  cout << szoveg << endl;
  vege = remove(begin(szoveg), end(szoveg), ',');
  szoveg.erase(vege, end(szoveg));
  cout << szoveg << endl;
  vege = remove_if(begin(szoveg), end(szoveg), [](char ch) {return ch<'A';});
  szoveg.erase(vege, end(szoveg));
  cout << szoveg << endl;
  return 0;
}
```

```
A=65, B=66, C=67,
 D=68,  E=69  ,  F=70
A=65,B=66,C=67,D=68,E=69,F=70
A=65B=66C=67D=68E=69F=70
ABCDEF
```

2.5.3.5 Elemek lecserélése – replace()

Algoritmus hívása	***Leírás***
replace(fitb, fite, radat, uadat)	a *[fitb, fite)* tartomány minden (régi) *radat*tal megegyező elemét (új) *uadat*ra cseréli (==),
replace_if(fitb, fite, pred, uadat)	a *[fitb, fite)* tartományban *uadat*ra cseréli azokat az elemeket, melyekre a predikátum **true** értékkel tér vissza,
oiter = replace_copy(itb, ite, oitb, radat, uadat)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány elemeit az *oitb* output iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, és eközben lecseréli az *radat*tal egyező elemeket az *uadat*ra (==),
oiter = replace_copy_if(itb, ite, oitb, pred, uadat)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány elemeit az *oitb* kimeneti iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, és eközben *uadat*ra cseréli azokat az elemeket, melyekre a predikátum **true** értéket ad vissza.

Az alábbi példában először a szövegben megadott vesszőket szóközökre cseréljük, majd a szöveg átmásolásakor a kisbetűket szóközzel helyettesítjük. A program végén pedig az ismétlődő szóközöket eltávolítjuk a sztringből:

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

int main() {
  string eredeti = "C++17,ISO/IEC,C++,szabvany,kovetkezo,valtozatanak,"
                   "nem,hivatalos,neve.";
  string s1;
  cout << eredeti << endl;
  replace(begin(eredeti), end(eredeti), ',', char(32) );
  cout << eredeti << endl;
  replace_copy_if(begin(eredeti), end(eredeti),
                  back_inserter(s1), ::islower, char(32) );
  auto vege = unique(begin(s1)+17, end(s1));
  s1.erase(vege, end(s1));
  cout << s1 << endl;
  return 0;
}
```

```
C++17,ISO/IEC,C++,szabvany,kovetkezo,valtozatanak,nem,hivatalos,neve.
C++17 ISO/IEC C++ szabvany kovetkezo valtozatanak nem hivatalos neve.
C++17 ISO/IEC C++ .
```

2.5.3.6 Az elemek sorrendjének módosítása

Algoritmus hívása	***Leírás***
reverse(bitb, bite)	megfordítja az *[bitb, bite)* tartomány elemeinek sorrendjét,
oiter = reverse_copy(bitb, bite, oitb)	úgy másolja át az *[bitb, bite)* tartomány elemeit az *oitb* output iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, hogy az új tartományban az elemek fordított sorrendben helyezkedjenek el,
fiter = rotate(fitb, fitelso, fite)	a *[fitb, fite)* tartomány elemeit balra haladva körbe lépteti (*swap()* hívásokkal), egészen addig, míg az *fitelso* elem a tartomány első eleme nem lesz,
oiter = rotate_copy(fitb, fitelso, fite, oitb)	úgy másolja át a *[fitb, fite)* tartomány elemeit az *oitb* kimeneti iterátorral kijelölt pozíciótól kezdve, hogy az új tartományban *fitelso* elem legyen az első helyen,
random_shuffle(ritb, rite)	a *[ritb, rite)* tartomány elemeit véletlen sorrendbe rendezi (keveri) egy szabványos véletlenszám-generátor segítségével (az implementációk egy részében ez a *rand()*),
random_shuffle(ritb, rite, veletlenfv)	a *[ritb, rite)* tartomány elemeit véletlen sorrendbe rendezi (keveri) a *veletlenfv* funktor hívásával,
shuffle(itb, ite, veletlengen)	az *[itb, ite)* tartomány elemeit véletlen sorrendbe rendezi (keveri) az egyenletes eloszlású véletlenszám-generátor *veletlengen* felhasználásával.

A fenti algoritmusok megfordítják (*reverse*), balra elforgatják (*rotate*) és véletlenszerűen elrendezik (keverik – *shuffle*) a megadott tartomány elemeit. Amennyiben jobbra szeretnénk forgatni az elemeket, fordított iterátorokat kell használnunk az algoritmus hívásakor. Mindhárom csoport műveleteinek végrehajtásakor az elemek cseréje a *swap()* függvény hívásával valósul meg.

A következő program az egyes műveleteket szemlélteti. Mivel a C++14 a random_shuffle() algoritmust elavultnak minősíti, a példában a támogatott shuffle() műveleltet használjuk.

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

int main() {
  default_random_engine rnd;
  rnd.seed(time(nullptr)); // a generáló algoritmus inicializálása

  vector<int> v  {1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, 45, 55, 66, 78, 91, 105 };
  cout << "az eredeti vektor: " << endl;
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
  cout << endl;

  cout << "forgatas balra 2x: " << endl;
  for (int i=0; i<2; i++) {
    rotate(begin(v), begin(v)+1, end(v));
    copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
    cout << endl;
  }

  cout << "forgatas jobbra 2x: " << endl;
  for (int i=0; i<2; i++) {
    rotate(v.rbegin(), v.rbegin()+1, v.rend());
    copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
    cout << endl;
  }
```

```
  cout << "forditott elemsorrend: " << endl;
  reverse(begin(v), end(v));
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
  cout << endl;
  cout << "veletlen elemsorrend 3x: " << endl;
  for (int i=0; i<3; i++) {
    shuffle(begin(v), end(v), rnd);
    copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
    cout << endl;
  }
  return 0;
}
```

```
az eredeti vektor:
1 3 6 10 15 21 28 36 45 55 66 78 91 105
forgatas balra 2x:
3 6 10 15 21 28 36 45 55 66 78 91 105 1
6 10 15 21 28 36 45 55 66 78 91 105 1 3
forgatas jobbra 2x:
3 6 10 15 21 28 36 45 55 66 78 91 105 1
1 3 6 10 15 21 28 36 45 55 66 78 91 105
forditott elemsorrend:
105 91 78 66 55 45 36 28 21 15 10 6 3 1
veletlen elemsorrend 3x:
6 28 15 105 66 55 78 36 21 10 3 91 45 1
6 105 28 78 21 10 66 15 55 36 45 3 91 1
78 28 105 10 66 45 1 15 6 3 36 21 55 91
```

2.5.3.7 Az elemek permutációja

Ebben az esetben permutáció alatt a megadott tartomány elemeinek következetes átrendezését értjük, a kiindulási elrendezés figyelésével. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az összes lehetséges permutációt csak akkor állítják elő az algoritmusok, ha a tartomány elemei között nincsenek azonos elemek, mivel az algoritmus leáll, ha a kiindulásival azonos permutáció áll elő az ismétlődő elemek miatt.

Algoritmus hívása	***Leírás***
bool *b = next_permutation(bitb, bite)*	előállítja az *[bitb, bite)* tartomány elemeinek következő permutációját a lexikografikus < művelet alkalmazásával,
bool *b = next_permutation(bitb, bite, compfv)*	előállítja az *[bitb, bite)* tartomány elemeinek következő permutációját a *compfv* függvényobjektum alkalmazásával,
bool *b = prev_permutation(bitb, bite)*	előállítja az *[bitb, bite)* tartomány elemeinek előző permutációját a lexikografikus < művelet alkalmazásával,
bool *b = prev_permutation(bitb, bite, compfv)*	előállítja az *[bitb, bite)* tartomány elemeinek előző permutációját a *compfv* függvényobjektum alkalmazásával,
bool *b = is_permutation(fitb, fite, fitb2)*	igaz értékkel tér vissza, ha az *[fitb, fite)* tartomány elemei a *fitb2* kezdetű tartomány permutációját alkotják – az ellenőrzéshez a == műveletet használja a függvény,
bool *b = is_permutation(fitb, fite, fitb2, binpred)*	igaz értékkel tér vissza, ha az *[fitb, fite)* tartomány elemei a *fitb2* kezdetű tartomány permutációját adják – az ellenőrzés során a *binpred* predikátumot alkalmazza a függvény.

A *compfv* függvényobjektum **true** értékkel tér vissza, ha az első argumentuma kisebb a másodiknál::

```
bool compfv(const típus1& a, const típus2& b);
```

A permutációt előállító algoritmusok **true** értékkel jelzik az új permutáció sikeres előállítását, míg a **false** érték azt jelenti, hogy elértük a permutáció-sorozat kezdetét (vagyis a híváskor fennálló sorrendet). *A permutációk előállítását és ellenőrzését az alábbi példaprogram mutatja be:*

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

int main() {
  string s = "ABC";
  do {
    cout << s << '\t';
  } while(next_permutation(begin(s), end(s)));
  cout << endl;

  s = "ADA";
  do {
     cout << s << '\t';
  } while(prev_permutation(begin(s), end(s)));
  cout << endl;

  vector<int> v1 { 3, 7, 10, 11, 14, 17 }, v2(v1);
  random_shuffle(begin(v2), end(v2));
  if (is_permutation(begin(v1), end(v1), begin(v2)))
      cout << "v2 v1 permutacioja" << endl;
  if (!is_permutation(begin(v1), end(v1), begin(v2)+1))
      cout << "v2+1 nem permutacioja a v1-nek" << endl;
  return 0;
}
```

```
ABC     ACB     BAC     BCA     CAB     CBA
ADA     AAD
v2 v1 permutacioja
v2+1 nem permutacioja a v1-nek
```

2.5.3.8 Az elemek felosztása (particionálása)

Algoritmus hívása	***Leírás***
fiter = partition(fitb, fite, pred)	kettéosztja a *[fitb, fite)* tartomány elemeit: előre kerülnek azok, melyekre a predikátum **true** értékkel tér vissza, a végére pedig azok, melyekre **false** a függvényérték; a visszaadott iterátor kijelöli a második csoport első elemét,
biter = stable_partition(bitb, bite, pred)	az elemek relatív helyének megőrzése mellett, a *partition()* algoritmushoz hasonlóan osztja ketté a *[bitb, bite)* tartomány elemeit,
pair<oit1, oit2> p = partition_copy(itb, ite, oitb_true, oitb_false, pred)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány elemeit: az *oitb_true* pozíciótól kezdve kerülnek azok az elemek, melyekre a predikátum igaz értéket ad, míg az *oitb_false* pozíciótól kezdve másolódnak a hamis predikátum-értékűek; a visszaadott pár *oit1, oit2* iterátorai az átmásolt tartományok végeit jelölik,
fiter = partition_point(fitb, fite, pred)	megvizsgálja a felosztott *[fitb, fite)* tartományt, és visszatér annak az elemnek a pozíciójával, melyre a predikátum először hamis értéket ad, vagy a *fite* értékkel, ha nincs ilyen elem,
bool *b =is_partitioned(itb, ite, pred)*	**true** értékkel tér vissza, ha az *[itb, ite)* tartomány partícionált vagy üres.

Az alábbi példában először kettéosztjuk a v vektor elemeit a középső elem értéke alapján, majd pedig sorba rendezzük az eredeti v vektor elemeit a particionálást használó gyorsrendezés függvénnyel:

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

template<typename RandomIter>
void GyorsRendezes(RandomIter ritb, RandomIter rite) {
  typedef typename iterator_traits<RandomIter>::value_type AdatTipus;
  if (rite - ritb < 2)
    return;
  RandomIter ritkozep = ritb + (rite - ritb)/2;
  RandomIter ritutolso = rite-1;
  iter_swap(ritkozep, ritutolso); // a pivot elem elmentése az utolsó pozícióba
  ritkozep = partition(ritb, ritutolso,
                       [ritutolso] (const AdatTipus& x) { return x < *ritutolso;});
  iter_swap(ritkozep, ritutolso); // a pivot elem visszaállítása
  GyorsRendezes(ritb, ritkozep);
  GyorsRendezes(ritkozep+1, rite);
}

int main() {
  vector<int> v {1, 12, 5, 26, 7, 14, 3, 7, 2};
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
  cout << endl;

  // a v vektor particionálása a középső elem alapján
  int kelem = v[v.size()/2];
  auto iter = partition(begin(v), end(v), [kelem] (int e) {return e<= kelem;} );
  vector<int> v1(begin(v), iter);
  copy(begin(v1), end(v1), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
  cout << endl;
  vector<int> v2(iter, end(v));
  copy(begin(v2), end(v2), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
  cout << endl;

  GyorsRendezes(begin(v), end(v));
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "} );
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
1 12 5 26 7 14 3 7 2
1 2 5 7 7 3
14 26 12
1 2 3 5 7 7 12 14 26
```

2.5.3.9 Elemek inicializálása

Algoritmus hívása	***Leírás***
fill(fitb, fite, adat)	az *adat*tal tölti fel a *[fitb, fite)* tartomány elemeit,
oiter = fill_n(oitb, n, adat)	az *adat*tal inicializálja az *oitb* kezdetű tartomány első *n* darab elemét, és visszatér az utolsó inicializált elem utáni pozícióval,
generate(fitb, fite, gen)	a *gen* függvényobjektum értékeivel inicializálja a *[fitb, fite)* tartomány elemeit,
oiter = generate_n(oitb, n, gen)	a *gen* függvényobjektum értékeivel tölti fel az *oitb* kezdetű tartomány első *n* darab elemét, és visszatér az utolsó inicializált elem utáni pozícióval.

Valamely tartomány elemeit feltölthetjük egy megadott adat, illetve egy függvény által visszaadott érték bemásolásával. A *gen* függvényobjektumot az alábbi formában definiálhatjuk:

típus gen();

Az alábbi példában egy 12 elemű vektort a Fibonacci-számsor értékeivel töltünk fel:

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

struct Fibo {
  unsigned e0{0}, e1{1};
  unsigned operator()() {
    unsigned e2 = e0 + e1;
    e0 = e1;
    e1 = e2;
    return e2;
  }
};

int main() {
  vector<unsigned> fibo(12);
  generate(begin(fibo), end(fibo), Fibo());
  copy(begin(fibo), end(fibo), ostream_iterator<unsigned>{cout, ", "});
  return 0;
}
```

```
1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233,
```

A *fill()* és a *generate()* algoritmusokkal már valamilyen módon inicializált elemeket új értékkel látunk el. Alacsony szintű programozás során azonban olyan területekkel is találkozhatunk, melyek elemei még nem voltak inicializálva. Az ilyen területek feltöltéséhez a *<memory>* fejállományban találunk néhány algoritmust:

Algoritmus hívása	***Leírás***
uninitialized_fill(fitb, fite, adat)	az *adat*tal inicializálja a *[fitb, fite)* inicializálatlan tartomány elemeit,
fiter = uninitialized_fill_n(fitb, n, adat)	az *adat*tal inicializálja az *fitb* kezdetű inicializálatlan tartomány első *n* darab elemét, majd visszatér az utoljára inicializált elem utáni pozícióval,
fiter = uninitialized_copy(itb, ite, fitb)	átmásolja az *[itb, ite)* tartomány minden elemét az *fitb* iterátorral kijelölt inicializálatlan tartományba, és visszatér az utoljára másolt elem utáni pozícióval,
fiter = uninitialized_copy_n(itb, n, fitb)	átmásolja az *itb kezdetű* tartomány első *n* darab elemét az *fitb* iterátorral kijelölt inicializálatlan tartományba, és visszatér az utoljára másolt elem utáni pozícióval.

Míg a *fill()*, a *generate()* és a *copy()* algoritmusok az értékadás műveletét (=) használják, addig az *uninitialized* algoritmusok a másoló konstruktort hívják. *Az alábbi példában C könyvtári függvénnyel lefoglalt 12-elemű dinamikus tömböt inicializálunk 23 értékű elemekkel:*

```
#include <memory>
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <vector>
using namespace std;
```

```
class Egesz { // nincs alapértelemzett konstruktor
  public:
    Egesz(int x) : ertek( x ) {}
    int GetErtek( ) { return ertek; }
  private:
   int ertek;
};

int main() {
  const int n = 12;
  Egesz adat(23);
  Egesz* tomb = (Egesz*) malloc( n * sizeof(Egesz) ); // dinamikus helyfoglalás
  uninitialized_fill(tomb, tomb + n, adat );
  for (int i=0; i<n; i++)
    cout << tomb[i].GetErtek() << ", ";
  cout << endl;
  return 0;
}
```

2.5.3.10 A csere algoritmus – swap()

A *<utility>* fejállományban deklarált *swap()* függvénysablon két azonos típusú objektum tartalmának felcserélésére készült. Általánosított formájában két változó, illetve két azonos méretű tömb elemi-nek cseréjére használhatjuk:

***template<class** Típus>* ***void** swap(Típus & a, Típus & b);*

***template<class** Típus, size_t N>* ***void** swap(Típus (&a)[N], Típus (&b)[N]);*

Ezeken kívül a legtöbb STL típushoz a csere függvény egy-egy specializált változata tartozik. *Az alábbi példában háromféle típus esetén alkalmazzuk a swap hívásokat:*

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

int main() {
  double e=exp(1), pi=4*atan(1);
  swap(e, pi);
  cout << e << "\t" << pi << endl;   // 3.14159 2.71828

  const size_t m = 5;
  int a[m] { 1, 3, 5, 7,  9 };
  int b[m] { 2, 4, 6, 8, 10 };
  swap(a, b);
  for (int e : a)
    cout << e << " "; cout << endl;  // 2 4 6 8 10
  for (int e : b)
    cout << e << " "; cout << endl;  // 1 3 5 7 9

  vector<int> va {a, a + m};
  vector<int> vb {b, b + m};
  swap(va, vb);
  for (int e : va)
    cout << e << " "; cout << endl;  // 1 3 5 7 9
  for (int e : vb)
    cout << e << " "; cout << endl;  // 2 4 6 8 10
  return 0;
}
```

A csere alábbi két változatát sorolhatjuk az algoritmusok közé:

Algoritmus hívása	*Leírás*
fiter = swap_ranges(fitb, fite, fiteb2)	a *[fitb, fite) és a fitb2* kezdetű tartományok megfelelő elemeit felcseréli egymással, és visszatér a második tartomány utoljára felcserélt eleme utáni pozícióval,
iter_swap(fite1, fite2)	felcseréli az iterátorokkal kijelölt elemeket.

*A következő példában egy **int** vektor utolsó 5 elemét felcseréljük egy **double** lista első 5 elemével:*

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

template <typename T>
void Kiir(string sz, T kontener) {
  cout << sz;
  copy(begin(kontener), end(kontener),
       ostream_iterator<typename T::value_type> {cout, " "} );
  cout << endl;
}

int main() {
  vector<int> vektor { 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 };
  list<double> lista { 2.1, 10.1, 31.2, 52.3, 73.4, 94.5};
  Kiir("vektor: ", vektor);
  Kiir("lista:  ", lista);
  cout << "-----------------------------------" << endl;
  const int n = 5;
  swap_ranges(end(vektor)-n, end(vektor), begin(lista));
  Kiir("vektor: ", vektor);
  Kiir("lista:  ", lista);
  return 0;
}
```

```
vektor: 1 3 5 7 9 11 13 15 17
lista:  2.1 10.1 31.2 52.3 73.4 94.5
-----------------------------------
vektor: 1 3 5 7 2 10 31 52 73
lista:  9 11 13 15 17 94.5
```

2.5.4 Rendezés és keresés

A keresés és a rendezés nagy hangsúlyt kap a legtöbb programban. A rendezés elsősorban ahhoz kell, hogy gyorsabban tudjuk megtalálni a tárolt adatok között azt, amire kíváncsiak vagyunk. Természetesen a felhasználó is jobban boldogul a megjelenített adatokkal, ha azok rendezettek. Mindkét művelet során alapvető fontosságú a kisebb összehasonlítás (*a<b*), mellyel szükség esetén az azonosságot is ellenőrizhetjük: *!(a<b) && !(b<a)*.

2.5.4.1 Rendezési algoritmusok

Az esetek többségében alkalmazott rendezési algoritmust a *sort()* függvénysablon testesíti meg. Első formájában a kisebb operátort használja az összehasonlítások során, míg második alakjában egy hasonlító függvényobjektum is megadható, melynek **true** értéke jelzi, ha az első argumentuma kisebb a másodiknál:

Algoritmus hívása	*Leírás*
sort(ritb, rite)	a kisebb operátor (<) felhasználásával növekvő sorrendbe rendezi az *[ritb, rite)* tartomány elemeit, és eközben nem garantálja, hogy az azonos elemek sorrendje megmarad,
sort(ritb, rite, compfv)	a *compfv* segítségével sorba rendezi az *[ritb, rite)* tartomány elemeit, és eközben az azonos elemek sorrendje megváltozhat.

A *compfv* függvényobjektum **true** értékkel tér vissza, ha az első argumentuma kisebb, mint a második. (Kisebb memóriaigényű típusok esetén a függvényfejből a **const** kulcsszó és a **&** referenciajel el is hagyhatók.)

***bool** compfv(**const** típus1& a, **const** típus2& b);*

***bool** compfv(típus1 a, típus2 b);*

Az alábbi példában véletlen számokkal töltünk fel egy vektort, majd rendezzük az elemeit növekvő sorrendbe, majd pedig kétféleképpen csökkenő sorrendbe:

```
#include <random>
#include <vector>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <functional>
#include <iterator>
#include <ctime>
using namespace std;

int main() {
  const int n = 10;
  mt19937 generator; // véletlenszám generátor
  generator.seed(time(nullptr));
  uniform_int_distribution<> eloszlas(-12, 23); // [-12, 23]
  vector<int> v;
  // a vektor feltöltése
  generate_n(back_inserter(v), n, bind(eloszlas, generator));
  cout << "a generalt elemek:\t";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});
  cout << endl;
  sort(begin(v), end(v));
  cout << "novekvo sorrend:\t";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});
  cout << endl;
  random_shuffle(begin(v), end(v));
  sort(begin(v), end(v), [](int e1, int e2){return e1 > e2;});
  cout << "csokkeno sorrend:\t";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});
  cout << endl;
  random_shuffle(begin(v), end(v));
  sort(begin(v), end(v), greater<int>());
  cout << "csokkeno sorrend:\t";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
a generalt elemek:      12 1 0 5 21 -4 3 -11 -8 -1
novekvo sorrend:        -11 -8 -4 -1 0 1 3 5 12 21
csokkeno sorrend:       21 12 5 3 1 0 -1 -4 -8 -11
csokkeno sorrend:       21 12 5 3 1 0 -1 -4 -8 -11
```

A további rendezéssel kapcsolatos algoritmusokat táblázatban foglaltuk össze:

Algoritmus hívása	***Leírás***
stable_sort(ritb, rite)	a kisebb operátor (<) felhasználásával növekvő sorrendbe rendezi a *[ritb, rite)* tartomány elemeit, eközben garantálja, hogy az azonos elemek sorrendje nem változik,
stable_sort(ritb, rite, compfv)	a *compfv* segítségével sorba rendezi a *[ritb, rite)* tartomány elemeit, és eközben az azonos elemek sorrendje megmarad,
partial_sort(ritb, ritm, rite)	a kisebb operátor (<) felhasználásával növekvő sorrendbe rendezi a *[ritb, rite)* tartomány *ritm-ritb* darab legkisebb elemét, és a *[ritb, ritm)* tartományba helyezi azokat; a *[ritm, rite)* tartományban az elemsorrend definiálatlan,
partial_sort(ritb, ritm, rite, compfv)	a *compfv* segítségével sorba rendezi a *[ritb, rite)* tartomány elemeit, és az első *ritm-ritb* darab elemet a *[ritb, ritm)* tartományba helyezi; a *[ritm, rite)* tartományban az elemsorrend definiálatlan,
riter = partial_sort_copy(itb, ite, ritb, rite)	a növekvő sorrendbe rendezi az *[itb, ite)* tartomány *rite-ritb* darab legkisebb elemét, és a *[ritb, rite)* tartományba másolja azokat; a függvényérték a rendezett tartomány végét jelöli,
riter = partial_sort_copy(itb, ite, ritb, rite, compfv)	a *compfv* segítségével sorba rendezi az *[itb, ite)* tartomány elemeit, és az első *rite-ritb* darab elemet a *[ritb, rite)* tartományba másolja; a függvényérték a rendezett tartomány végét jelöli,
***bool** b = is_sorted(fitb, fite)* ***bool** b = is_sorted(fitb, fite, compfv)*	ellenőrzi, hogy a *[fitb, fite)* tartomány elemei növekvő sorrendbe rendezettek-e,
fiter = is_sorted_until(fitb, fite) *fiter = is_sorted_until(fitb, fite, compfv)*	megadja, hogy a *[fitb, fite)* elemek a tartomány elejétől meddig rendezettek növekvő sorrendben; a *fiter* az utolsó rendezett elem utáni pozíciót jelöli,
nth_element(ritb, ritn, rite) *nth_element(ritb, ritn, rite, compfv)*	az algoritmusok úgy rendezik át a *[ritb, rite)* elemeit, hogy a közbenső *ritn* pozícióba az az elem kerüljön, mintha teljes rendezés történt volna; minden eleme a *[ritb, ritn)* tartománynak *≤ *itn*, és minden eleme a *[ritn, rite)* tartománynak *≥ *itn*.

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

int main() {
  vector<int> v {4, 20, 8, 13, 21, 11, 23, 19, 9, 5, 12, 3, 7, 5};
  cout << "erdeti:\n";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  partial_sort(begin(v), begin(v)+v.size()/2, end(v));
  cout << "elso fele rendezett:\n";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  vector<int> w(20);
  auto riter = partial_sort_copy(begin(v)+v.size()/2, end(v), begin(w), end(w));
  cout << "masodik fele egy masik vektorba rendezett:\n";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  copy(begin(w), riter, ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
```

```
  if (!is_sorted(begin(v), end(v))) {
    cout << "v vektornak csak egy resze rendezett:\n";
    copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  }
  auto fiter = is_sorted_until(begin(v), end(v));
  cout << "a rendezett resz:\n";
  copy(begin(v), fiter, ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  stable_sort(begin(v), end(v));
  cout << "a rendezett vektor:\n";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  random_shuffle(begin(v), end(v));
  nth_element(begin(v), begin(v)+12,  end(v), less<int>());
  cout << "a 12. pozicioban az elem a helyen all:\n";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  return 0;
}
```

```
erdeti:
4 20 8 13 21 11 23 19 9 5 12 3 7 5
elso fele rendezett:
3 4 5 5 7 8 9 23 21 20 19 13 12 11
masodik fele egy masik vektorba rendezett:
3 4 5 5 7 8 9 23 21 20 19 13 12 11
11 12 13 19 20 21 23
v vektornak csak egy resze rendezett:
3 4 5 5 7 8 9 23 21 20 19 13 12 11
a rendezett resz:
3 4 5 5 7 8 9 23
a rendezett vektor:
3 4 5 5 7 8 9 11 12 13 19 20 21 23
a 12. pozicioban az elem a helyen all:
19 4 13 5 3 8 11 5 7 9 12 20 21 23
```

2.5.4.2 Bináris keresés rendezett tartományokban

A bináris rendezés algoritmusát a *binary_search()* függvénysablon valósítja meg:

Algoritmus hívása	***Leírás***
bool *b = binary_search(fitb, fite, adat)*	a kisebb operátor (<) felhasználásával ellenőrzi, hogy az adat megtalálható-e a megadott tartomány elemei között,
bool *b = binary_search(fitb, fite, adat, compfv)*	a *compfv* segítségével ellenőrzi, hogy az adat megtalálható-e a megadott tartomány elemei között.

További algoritmusok is épülnek a bináris keresésre:

Algoritmus hívása	***Leírás***
fiter = lower_bound(fitb, fite, adat) *fiter = lower_bound(fitb, fite, adat, compfv)*	az első olyan elem iterátorával tér vissza, amelyik nem kisebb, mint a megadott *adat*; sikertelen esetben *fite* a függvényérték,
fiter = upper_bound(fitb, fite, adat) *fiter = upper_bound(fitb, fite, adat, compfv)*	az első olyan elem iterátorával tér vissza, amelyik nagyobb, mint a megadott *adat*; sikertelen esetben *fite* a függvényérték,
pair<fitb, fite> = equal_range(fitb, fite, adat) *pair<fitb, fite> = equal_range(fitb, fite, adat, compfv)*	az *adat*tal megegyező elemeket tartalmazó tartománnyal *[fitb, fite)* tér vissza – sikertelen esetben mindkét visszaadott iterator értéke *fite*.

A fenti híváspárokból az első hívás a < műveletet, míg a második a *compfv* függvény használja összehasonlításra. A bináris keresés sikeres működésének előfeltétele, hogy a rendezéshez és a kereséshez ugyanazt a műveletet alkalmazzuk, mint ahogy ez az alábbi példából is látható:

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

int main() {
  vector<int> v {43, 25, 20, 03, 27, 44, 89, 85, 60, 00};
  sort(v.begin(), v.end());
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  bool van = binary_search(begin(v), end(v), 43);
  if (van)
    cout << "43 megtalalhato az elemek kozott" << endl;
  van = binary_search(begin(v), end(v), 43, greater<int>());
  if (!van)
    cout << "43 nem talalhato meg az elemek kozott" << endl;
  sort(v.begin(), v.end(), greater<int>());
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  van = binary_search(begin(v), end(v), 43, greater<int>());
  if (van)
    cout << "43 megtalalhato az elemek kozott" << endl;
  return 0;
}
```

```
0 3 20 25 27 43 44 60 85 89
43 megtalalhato az elemek kozott
43 nem talalhato meg az elemek kozott

89 85 60 44 43 27 25 20 3 0
43 megtalalhato az elemek kozott
```

Rendezett tartományban azonos elemek intervallumát, illetve ilyen intervallumok határait kereshetjük:

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

int main() {
  vector<int> v {1, 6, 1, 8, 3, 5, 8, 8, 7, 11};
  cout << "indexek: ";
  for (int i =0; i<v.size(); i++)
    cout << i << " " ; cout << endl;
  sort(v.begin(), v.end());
  cout << "vektor:  ";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  auto fiter = lower_bound(begin(v), end(v), 2);
  cout << "elso >= 2 elem pozicioja: " << distance(begin(v), fiter) << endl;
  fiter = upper_bound(begin(v), end(v), 7);
  cout << "elso > 7 elem pozicioja: " << distance(begin(v), fiter) << endl;
```

```
  auto par = equal_range(v.begin(),v.end(), 8);
  cout << "a 8 elemek indextartomanya: [" << distance(begin(v), par.first) << ", ";
  cout << distance(begin(v), par.second) << ")" << endl;
  fiter = lower_bound(begin(v), end(v), 8);
  cout << "elso >= 8 elem pozicioja: " << distance(begin(v), fiter) << endl;
  fiter = upper_bound(begin(v), end(v), 8);
  cout << "elso > 8 elem pozicioja: " << distance(begin(v), fiter) << endl;
  return 0;
}
```

```
indexek: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
vektor:  1 1 3 5 6 7 8 8 8 11
elso >= 2 elem pozicioja: 2
elso > 7 elem pozicioja: 6
a 8 elemek indextartomanya: [6, 9)
elso >= 8 elem pozicioja: 6
elso > 8 elem pozicioja: 9
```

2.5.4.3 Rendezett tartományok összefésülése

A *merge* algoritmusok két rendezett tartományt egybe építenek.

Algoritmus hívása	***Leírás***
oiter = merge(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb) *oiter = merge(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb, compfv)*	egyetlen rendezett tartománnyá (az *oitb*-től kezdve) egyesíti az [*itb1*, *ite1*) és [*itb2*, *ite2*) rendezett tartományokat, a visszaadott iterátor kijelöli az új tartomány végét,
inplace_merge(bitb, bitm, bite) *inplace_merge(bitb, bitm, bite, compfv)*	összefésüli a szomszédos [*bitb*, *bitm*) és [*bitm*, *bite*) rendezett tartományokat egyetlen rendezett tartománnyá [*bitb*, *bite*).

A fenti híváspárokból az első hívás a < műveletet, míg a második a *compfv* függvény használja összehasonlításra.

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

int main() {
  vector<int> v1 {1, 3, 5, 7, 9, 11, 2, 4, 6, 8};
  vector<int> v2 {1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21};
  vector<int> v3;
  cout << "vektor1:  " << endl;
  copy(begin(v1), end(v1), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  inplace_merge(begin(v1), begin(v1)+6, end(v1));
  cout << "osszefesules helyben vektor1:  " << endl;
  copy(begin(v1), end(v1), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  cout << "vektor2:  " << endl;
  copy(begin(v2), end(v2), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  merge(begin(v1), end(v1), begin(v2), end(v2), back_inserter(v3));
  cout << "vektor1 es vektor2 osszefesulese vektor3-ba:  " << endl;
  copy(begin(v3), end(v3), ostream_iterator<int>{cout, " "});   cout << endl;
  return 0;
}
```

```
vektor1:
1 3 5 7 9 11 2 4 6 8
osszefesules helyben vektor1:
1 2 3 4 5 6 7 8 9 11
vektor2:
1 1 2 3 5 8 13 21
vektor1 es vektor2 osszefesulese vektor3-ba:
1 1 1 2 2 3 3 4 5 5 6 7 8 8 9 11 13 21
```

2.5.4.4 Halmazműveletek rendezett tartományokkal

Az alábbi algoritmusok a megadott tartományokat halmazként értelmezik, és rajtuk halmazműveleteket hajtanak végre. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy rendezett bemenő tartományokat kell megadunk, és a kimenő tartományok is rendezettek lesznek. (Ez a rendezettség nem feltétlenül a konténer sajátossága, például a *sort()* metódus hívásával is előállítható.)

Algoritmus hívása	***Leírás***
bool *b = includes(itb1, ite1, itb2, ite2)* ***bool*** *b = includes(itb1, ite1, itb2, ite2, compfv)*	**true** értékkel térnek vissza, ha az *[itb2, ite2)* rendezett tartomány minden eleme megtalálható az *[itb1, ite1)* rendezett tartományban, vagy ha az első tartomány üres – **részhalmaz**,
oiter = set_union(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb) *oiter = set_union(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb, compfv)*	rendezett tartományba (az *oitb*-től kezdve) másolja azokat az elemeket, amelyek megtalálhatók az *[itb1, ite1)* és *[itb2, ite2)* rendezett tartományok bármelyikében; a visszaadott iterátor kijelöli az új tartomány végét – **unió**,
oiter = set_intersection(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb) *oiter = set_ intersection(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb, compfv)*	rendezett tartományba (az *oitb*-től kezdve) másolja azokat az elemeket, amelyek megtalálhatók az *[itb1, ite1)* és *[itb2, ite2)* rendezett tartományok mindegyikében; a visszaadott iterátor kijelöli az új tartomány végét – **metszet**,
oiter = set_difference(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb) *oiter = set_ difference(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb, compfv)*	rendezett tartományba (az *oitb*-től kezdve) másolja azokat az elemeket, amelyek szerepelnek az *[itb1, ite1)* rendezett tartományban, azonban nem találhatók meg az *[itb2, ite2)* tartományban; a visszaadott iterátor kijelöli az új tartomány végét – **különbség**,
oiter = set_symmetric_difference(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb) *oiter = set_symmetric_difference(itb1, ite1, itb2, ite2, oitb, compfv)*	rendezett tartományba (az *oitb*-től kezdve) másolja azokat az elemeket, amelyek az *[itb1, ite1)* és *[itb2, ite2)* rendezett tartományok pontosan egyikében szerepelnek; a visszaadott iterátor kijelöli az új tartomány végét – **szimmetrikus különbség**.

A fenti híváspárokból az első hívás a < műveletet, míg a második a *compfv* függvény használja összehasonlításra.

A műveletekben üres halmazok (tartományok) is szerepelhetnek, és az üres halmaz minden halmaz részhalmaza. Az eleme viszony vizsgálatához a ***set*** típus *find()* tagfüggvényét, míg más konténerek esetén a *find()* algoritmust használhatjuk. Elemek hozzádását és eltávolítását a halmazhoz a konténer típusától függő módon végezhetjük el.

A különböző halmazműveleteket – eleme és részhalmaza vizsgálat, valamint unió, metszet és különbségek képzések – az alábbi példában szedtük csokorba:

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

void HalmazKiir(const string& sz, const set<char>& halmaz) {
  cout << sz << " [  ";
  for (char ch : halmaz)
    cout << ch << "  ";
  cout << "]" << endl;
}

int main() {
  set<char> a{'A', 'E', 'I', 'O', 'U', 'X', 'Y', 'L'};
  HalmazKiir("A =", a);
  set<char> b{'C', 'P', 'P', 'N', 'Y', 'E', 'L', 'V'};
  HalmazKiir("B =", b);
  set<char> c;
  HalmazKiir("C =", c);

  set_intersection( begin(a), end(a),
                    begin(b), end(b),
                    inserter(c, begin(c)));

  HalmazKiir("A intersect B =", c);
  HalmazKiir("C =", c);
  if (includes(begin(a), end(a), begin(c), end(c)))
    cout << "C reszhalmaza A-nak" << endl;
  c.clear();

  set_union( begin(a), end(a), begin(b), end(b), inserter(c, begin(c)));
  HalmazKiir("A union B     =", c);
  c.clear();

  set_difference( begin(a), end(a), begin(b), end(b), inserter(c, begin(c)));
  HalmazKiir("A diff. B     =", c);
  c.clear();

  set_symmetric_difference( begin(a), end(a), begin(b), end(b),
                            inserter(c, begin(c)));
  HalmazKiir("A sym.diff. B =", c);
  HalmazKiir("C =", c);
  if (c.find('X') != end(c))
    cout << "X eleme C-nek" << endl;
  return 0;
}
```

```
A = [  A  E  I  L  O  U  X  Y  ]
B = [  C  E  L  N  P  V  Y  ]
C = [  ]
A intersect B = [  E  L  Y  ]
C = [  E  L  Y  ]
C reszhalmaza A-nak
A union B     = [  A  C  E  I  L  N  O  P  U  V  X  Y  ]
A diff. B     = [  A  I  O  U  X  ]
A sym.diff. B = [  A  C  I  N  O  P  U  V  X  ]
C = [  A  C  I  N  O  P  U  V  X  ]
X eleme C-nek
```

2.5.4.5 Halomműveletek

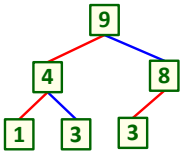
A halom (*heap*) olyan adatstruktúra, amely az első helyen mindig a legnagyobb elemét tárolja. A halmot legjobban bináris faként képzelhetjük el, melynek a gyökerében található a legnagyobb elem. A következő algoritmusokkal a tetszőleges elérésű tartományokat halomként kezelhetjük.

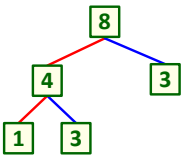
Algoritmus hívása	*Leírás*
make_heap(ritb, rite) *make_heap(ritb, rite, compfv)*	a megadott tartomány elemeit halommá alakítja,
push_heap(ritb, rite) *push_heap(ritb, rite, compfv)*	a megadott tartomány (*rite-1*) pozícióján álló elemét beilleszti a *[ritb, rite-1)* halomba,
pop_heap(ritb, rite) *pop_heap(ritb, rite, compfv)*	felcseréli a megadott tartomány *ritb* és (*rite-1*) pozícióin álló elemeket, és a *[ritb, rite-1)* tartományt halommá alakítja,
sort_heap(ritb, rite) *sort_heap(ritb, rite, compfv)*	a *[ritb, rite)* halmot rendezett tartománnyá alakítja, ami már nem halom,
***bool** b = is_heap(ritb, rite)* ***bool** b = is_heap(ritb, rite, compfv)*	**true** értékkel tér vissza, ha a megadott tartomány halom,
riter = is_heap_until(ritb, rite) *riter = is_heap_until(ritb, rite, compfv)*	megkeresi a megadott tartomány elejétől kezdve azt a legnagyobb tartományt, amely halom; a visszaadott iterátor a halom utolsó elemét követő pozíciót jelöli.

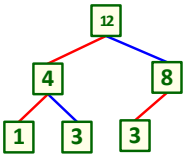
A fenti híváspárokból az első hívás a < műveletet, míg a második a *compfv* függvény használja összehasonlításra.

A halommal kapcsolatos algoritmusok használatát az alábbi programmal szemléltetjük:

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

int main () {
  vector<int> v { 1, 9, 3, 4, 3, 8 };
  make_heap (v.begin(),v.end());
  cout << "a halom: ";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  cout << "a legnagyobb elem: " << v.front() << '\n';

  cout << "-- pop_heap --" << endl;
  pop_heap (v.begin(),v.end());
  cout << "a kivett elem: " << v.back() << endl;
  v.pop_back();
  cout << "a halom: ";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  cout << "a legnagyobb elem pop_heap utan: " << v.front() << '\n';

  cout << "-- push_heap --" << endl;
  v.push_back(12);
  push_heap (v.begin(),v.end());
  cout << "a halom: ";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  cout << "a legnagyobb elem push_heap utan: " << v.front() << '\n';

  cout << "-- sort_heap --" << endl;
  if (is_heap(v.begin(),v.end()))
    cout << "meg halom" << endl;
  sort_heap (v.begin(),v.end());
  cout << "a rendezett halom:";
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  if (!is_heap(v.begin(),v.end()))
    cout << "mar nem halom" << endl;;
  return 0;
}
```







```
a halom: 9 4 8 1 3 3
a legnagyobb elem: 9
-- pop_heap --
a kivett elem: 9
a halom: 8 4 3 1 3
a legnagyobb elem pop_heap utan: 8
-- push_heap --
a halom: 12 4 8 1 3 3
a legnagyobb elem push_heap utan: 12
-- sort_heap --
meg halom
a rendezett halom:1 3 3 4 8 12
mar nem halom
```

2.5.4.6 Tartományok lexikografikus összehasonlítása

Az alábbi hívások a megadott tartományokat lexikografikusan hasonlítják össze a kisebb művelet, illetve a megadott *compfv* felhasználásával. A lexikografikus összehasonlítás jellemzői:

- a két tartományt elempáronként hasonlítja,
- az első eltérő elempár viszonya meghatározza az eredményt (kisebb vagy nagyobb),
- ha az egyik tartomány megtalálható a hosszabb másik tartomány elejétől kezdve, akkor az lexikografikusan kisebb,
- egy üres tartomány lexikografikusan kisebb minden, nem üres tartománynál,
- ha két tartomány elemei páronként megegyeznek, és hosszuk is azonos, akkor lexikografikusan egyenlőek,
- két üres tartomány lexikografikusan azonos.

Algoritmus hívása	***Leírás***
bool *b = lexicographical_compare(itb1, ite1, itb2, ite2)* ***bool*** *b = lexicographical_compare(itb1, ite1, itb2, ite2, compfv)*	**true** értékkel tér vissza, ha az *[itb1, ite1)* tartomány lexikografikusan kisebb az *[itb2, ite2)* tartománynál.

Az alábbi példában két vektor tartalmát addig változtatjuk véletlenszerűen, míg az első lexikografikusan kisebb nem lesz a másodiknál:

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

void Kiir(const vector<char>& v, string sz) {
  for (char ch : v)
    cout << ch << ' ';
  cout << sz;
}

int main() {
  srand(unsigned(time(nullptr)));
  vector<char> v1 {'A', 'B', 'C', 'D', 'E' };
  vector<char> v2 {'A', 'B', 'C', 'D', 'E' };
  while (!lexicographical_compare(begin(v1), end(v1), begin(v2), end(v2))) {
    Kiir(v1, ">= ");
    Kiir(v2, "\n");
    random_shuffle(begin(v1), end(v1));
    random_shuffle(begin(v2), end(v2));
  }
```

```
  Kiir(v1, "< ");
  Kiir(v2, "\n");
  return 0;
}
```

```
A B C D E >= A B C D E
D E C A B >= D A B E C
C A D E B >= A D C B E
A D E C B < B E D C A
```

2.5.4.7 Legkisebb és legnagyobb kiválasztása

Az algoritmusok egy része két érték, illetve egy inicializációs lista elemei közül választja ki a legkisebb/legnagyobb adatot, illetve mindkettőt egyszerre. A választás történhet a kisebb művelet alkalmazásával, illetve egy összehasonlító függvény (*compfv*) hívásával.

Algoritmus hívása	***Leírás***
m = min(adat1, adat2) *m = min(adat1, adat2, compfv)* *m = min({init.lista})* *m = min({init.lista}, compfv)*	két adat közül a kisebb, illetve az inicializációs listából a legkisebb elem kiválasztása,
m = max(adat1, adat2) *m = max(adat1, adat2, compfv)* *m = max({init.lista})* *m = max({init.lista}, compfv)*	két adat közül a nagyobb, illetve az inicializációs listából a legnagyobb elem kiválasztása,
pair<a, b> = minmax(adat1, adat2) *pair<a, b> = minmax(adat1, adat2, compfv)* *pair<a, b> = minmax({init.lista})* *pair<a, b> = minmax({init.lista}, compfv)*	két adat közül a kisebb (*a*), nagyobb (*b*), illetve az inicializációs listából a legkisebb (*a*), legnagyobb (*b*) elem kiválasztása.

A műveletek más név alatt iterátorokkal kijelölt tartományokra is használhatók. Ekkor a visszatérési értékek is iterátorok, amelyek kijelöli a minimális, vagy a maximális elemet a tartományban. (Üres tartomány esetén a tartomány végét jelző iterátor a függvényérték.) A kiválasztás itt is a kisebb művelet, vagy egy összehasonlító függvény segítségével megy végbe.

Algoritmus hívása	***Leírás***
fiter = min_element(fitb, fite) *fiter = min_element(fitb, fite, compfv)*	a *[fitb, fite)* tartomány legkisebb elemére hivatkozó iterátorral tér vissza,
fiter = max_element(fitb, fite) *fiter = max_element(fitb, fite, compfv)*	visszatér a *[fitb, fite)* tartomány legnagyobb elemére hivatkozó iterátorral,
pair< fit1, fit2 > = minmax_element(fitb, fite) *pair< fit1, fit2 > = minmax_element(fitb, fite, compfv)*	párban megadja a *[fitb, fite)* tartomány legkisebb (*fit1*) és legnagyobb (*fit2*) elemeire hivatkozó iterátorokat.

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

```
int main() {
  vector<int> v { 12, 23, 7, 29, 10, 2, 11, 30, 12, 7 };
  auto par = minmax_element(begin(v), end(v));
  cout << "a legkisebb elem erteke:  " << *par.first << endl;
  cout << "a legkisebb elem indexe:  " << distance(begin(v), par.first) << endl;
  cout << "a legnagyobb elem erteke: " << *par.second << endl;
  cout << "a legnagyobb elem indexe: " << distance(begin(v), par.second) << endl;
  return 0;
}
```

```
a legkisebb elem erteke:  2
a legkisebb elem indexe:  5
a legnagyobb elem erteke: 30
a legnagyobb elem indexe: 7
```

2.5.5 Numerikus algoritmusok

A <numeric> deklarációs állományban találunk néhány, a tartományokat feldolgozó numerikus algoritmust. Az algoritmusok egy alapértelmezett műveletet vagy a megadott *binműv* függvényobjektumot használják. Kikötés a *binműv* funktorokra, hogy egyetlen iterátort és elemet se módosítsanak a megadott tartományon belül.

Algoritmus hívása	***Leírás***
res = accumulate(itb, ite, initadat) *res = accumulate(itb, ite, initadat, binműv)*	összegzi (*+*) az *iniadat* értékét az [*itb, ite*) tartomány elemeivel, és visszatér az összeg értékével,
res = inner_product(itb, ite, itb2, initadat) *res = inner_product(itb, ite, itb2, initadat, binműv1, binműv2)*	összegzi (*+*) az *iniadat* értékét az [*itb, ite*) és az *itb2* kezdetű tartomány elempárjainak szorzatértékével (***), és visszatér a számítás eredményével,
oiter = partial_sum(itb, ite, oitb) *oiter = partial_sum(itb, ite, oitb, binműv)*	az [*itb, ite*) tartomány egyre növekvő hosszúságú résztartományainak összegét (*+*) az *oitb* iterátorral kijelölt tartományba írja, a visszaadott érték kijelöli az új tartomány végét,
oiter = adjacent_difference(itb, ite, oitb) *oiter = adjacent_difference(itb, ite, oitb, binműv)*	az első elem átmásolását (*oitb*) követően, az [*itb, ite*) tartomány szomszédos elemeinek különbségeit (*-*) az (*oitb+1)* iterátorral kijelölt tartományba írja, a visszaadott érték kijelöli az új tartomány végét,
iota(fitb, fite, adat)	feltölti a [*fitb, fite*) tartományt az *adat*, *adat+1*, *adat+2*, … számsor elemeivel.

Az accumulate() példában először az iota() algoritmus hívásával feltöltünk egy hételemű vektort 1-től 7-ig, majd meghatározzuk az elemek összegét, szorzatát és négyzetösszegét:

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

int main() {
  vector<int> v(7);
  iota(begin(v), end(v), 1); //feltöltés 1, 2, 3, ..., 7 értékekkel
  for(int e : v)
    cout << e << " ";  cout << endl;
  int osszeg = accumulate(v.begin(), v.end(), 0);
  int szorzat = accumulate(v.begin(), v.end(), 1, multiplies<int>());
  cout << "elemek osszege:  " << osszeg << endl;
  cout << "elemek szorzata: " << szorzat << endl;
```

```
  function<int(int, int)> sum2=
                          [](int sum, int elem)->int {return sum + elem*elem;};
  int negyzetosszeg = accumulate(v.begin(), v.end(), 0, sum2);
  cout << "elemek negyzetosszege: " << negyzetosszeg << endl;
  return 0;
}
```

```
1 2 3 4 5 6 7
elemek osszege:  28
elemek szorzata: 5040
elemek negyzetosszege: 1407
```

Az inner_product() algoritmus segítségével meghatározzuk két azonos méretű vektor skaláris szorzatát, megszámoljuk azokat az elempárokat, amelyek különböző adatokat tartalmaznak, végül pedig elkésztjük az elempárösszegek szorzatát:

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

int main() {
  vector<int> va { 7, 3, 2, 3, 5, 1, 10};
  vector<int> vb { 5, 3, 2, 7, 5, 9, 2 };
  for(int e : va)
    cout << e << " ";  cout << endl;
  for(int e : vb)
    cout << e << " ";  cout << endl;
  int skalarszorzat = inner_product(begin(va), end(va),
                                    begin(vb), 0);
  cout << "a ket vektor skalarszorzata: " << skalarszorzat << endl;
  int kulonbozoek = inner_product(begin(va), end(va), begin(vb), 0,
                                  plus<int>(), not_equal_to<int>());
  cout << "a ket vektor azonos helyen allo, kulonbozo elemeinek szama: "
       << kulonbozoek << endl;
  // Az elempárösszegek szorzata
  int szorszum = inner_product(begin(va), end(va), begin(vb), 1,
                               [](int x, int y) {return x*y;},
                               [](int x, int y) {return x+y;} );
  cout << "az elemparok osszegeinek szorzata: " << szorszum << endl;
  return 0;
}
```

```
7 3 2 3 5 1 10
5 3 2 7 5 9 2
a ket vektor skalarszorzata: 123
a ket vektor azonos helyen allo, kulonbozo elemeinek szama: 4
az elemparok osszegeinek szorzata: 3456000
```

A partial_sum() példaprogramban feltöltünk egy 9-elemű vektort 1-től 9-ig számokkal, majd egy másik vektorba bemásoljuk az elemek részösszegeit. A program másik részében helyettesítjük az eredeti vektor elemeit az elemek szorzataival, így faktoriális értékeket kapunk:

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

```
int main() {
  vector<int> v(9), w;
  iota(begin(v), end(v), 1);

  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, "\t"}); cout << endl;
  partial_sum(begin(v), end(v), back_inserter(w));
  copy(begin(w), end(w), ostream_iterator<int> {cout, "\t"}); cout << endl;
  cout << endl;

  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, "\t"}); cout << endl;
  partial_sum(begin(v), end(v), begin(v), multiplies<int>());
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, "\t"}); cout << endl;
  return 0;
}
```

```
1       2       3       4       5       6       7       8       9
1       3       6       10      15      21      28      36      45

1       2       3       4       5       6       7       8       9
1       2       6       24      120     720     5040    40320   362880
```

Az adjacent_difference() algoritmus segítségével először meghatározzuk az első 10 négyzetszámból álló sorozat elemeinek különbségeit, és az eredményt egy másik vektorba töltjük. Ezt követően a vektort feltöltjük 1 értékű elemekkel, majd helyben lecseréljük az elemeket a Fibonacci számsor elemeivel:

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

int main() {
  vector<int> v {1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100 }, w;
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  adjacent_difference(begin(v), end(v), back_inserter(w));
  copy(begin(w), end(w), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  cout << endl;
  fill(begin(v), end(v), 1);
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  adjacent_difference(begin(v), end(v)-1, begin(v)+1, plus<int>());
  copy(begin(v), end(v), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  return 0;
}
```

```
1 4 9 16 25 36 49 64 81 100
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 2 3 5 8 13 21 34 55
```

2.6 Helyfoglalás allokátorokkal

Az allokátorobjektumok *<memory>* a tárolók számára lefoglalt memóriaterületet kezelik. Az allokátorok lehetővé teszik, hogy egy konkrét környezet feltételeihez igazítsuk a memóriafoglalást, méghozzá úgy, hogy megőrizzük a konténerosztály interfészének hordozhatóságát.

Az allokátor-definíciókban megtalálhatjuk a *value_type*, *reference*, *size_type*, *pointer* és a *difference_type* típusokat. A legfontosabb allokátor-tagfüggvényeket az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

Tagfüggvény	***Leírás***
allocator()	konstruktorok és a destruktor,
allocator(**const** allocator& a)	
~allocator()	
pointer *address* (reference r) **const**	*r* címével tér vissza,
pointer *allocate* (size_type n)	tárfoglalás *n* darab objektum számára,
void *deallocate*(pointer p, size_type n)	a lefoglalt memória felszabadítása,
size_type *max_size* () **const**	a *difference_type* legnagyobb értékével tér vissza.

Az alábbi példában saját allokátorsablont készítünk, és alkalmazzuk azt vektor létrehozása során.

```
#include <vector>
#include <cstddef>
#include <iostream>
#include <typeinfo>
#include <limits>
using namespace std;

template <class T> class allokator {
  public:
    typedef T value_type;
    typedef size_t size_type;
    typedef ptrdiff_t difference_type;
    typedef T* pointer;
    typedef const T* const_pointer;
    typedef T& reference;
    typedef const T& const_reference;

    void construct(pointer p, const_reference val) {
      new (p) T(val);
    }

    void destroy(pointer p) {
      p->~T();
    }

    pointer allocate(size_type sz, void* vp = 0) {
      pointer p = static_cast<pointer>(::operator new(sz * sizeof(value_type)));
      cout << "allocate " << dec << sz << " darab " << typeid(T).name() <<" elem, a "
           << hex <<(unsigned long)p << " cimen" << endl;
      return p;
    }

    void deallocate(pointer p, size_type) {
      cout << "deallocate " << (unsigned long)p << endl;
      ::operator delete(p);
    }

    size_type max_size() const {
      return numeric_limits<size_type>::max() / sizeof(T);
    }

       pointer address(reference r) { return &r; }
       const_pointer address(const_reference r) { return &r; }
};
```

```
int main() {
  // alapértelmezett allokátor használata
  vector<double> v(123, 12);
  // saját allokátor alkalmazása
  vector<int, allokator<int> > vv(100, 23);

  // a helyfoglaló alkalmazás dinamikus tömbhöz:
  allokator<double> dal;
  double *pd = dal.allocate(12);
  for (int i=0; i<12; i++)
    dal.construct(pd+i,i * i);
  for (int i=0; i<12; i++) {
    cout << pd[i] << " ";
    dal.destroy(pd+i);
  }
  cout << endl;
  dal.deallocate(pd, 12);
}
```

```
allocate 100 darab i elem, a 8b33c8 cimen
allocate 12 darab d elem, a 8b1c50 cimen
0 1 4 9 16 25 36 49 64 81 100 121
deallocate 8b1c50
deallocate 8b33c8
```

2.7 A konténerszerű osztályok használata

Az utolsó részben szereplő osztályok több-kevesebb sikerrel felelnek meg az STL konténerekre vonatkozó előírásoknak. Legfontosabb kérdés az, hogy készíthetők-e hozzájuk iterátorok, amely szükséges feltétele az algoritmusok használatának. További kérdés, hogy miként használhatjuk az objektumokat a programozás során.

2.7.1 A C++ nyelv hagyományos tömbjei

A C++ nyelv hagyományos tömbjei esetén a tömbelemek eléréséhez használt mutatók rendelkeznek a tetszőleges elérésű bejárók jellemzőivel, így a tömböket is felhasználhatjuk az STL algoritmusok hívásakor. Ebben segítségünkre lehet, hogy C++ könyvtárban megtalálhatók a *begin()*/*end()*, a *cbegin()*/*cend()*, az *rbegin()*/*rend()* valamint a *crbegin()*/*crend()* – ez utóbbi két páros a *C++14*-től kezdve – függvénysablonok tömbökre specializált változatai.

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <numeric>
#include <iterator>
#include <functional>
#include <cstdlib>
using namespace std;

int main() {
  int a[12] {0};
  if (begin(a)==a)
    cout << "begin(a)==a" << endl;
  if (end(a)==a+12)
    cout << "end(a)==a+12" << endl;
  iota(begin(a), end(a), -distance(begin(a), end(a))/2);
  copy(begin(a), end(a), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  random_shuffle(begin(a), end(a));
  cout << "osszekeveres: " << endl;
  copy(begin(a), end(a), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  auto par = minmax_element(begin(a), end(a));
  cout << "min: " << *par.first << "\t\tmax: " << *par.second << endl;
  int abssum = accumulate(begin(a), end(a), 0,
                          [](int s, int e) { return s + abs(e);} );
  cout << "az elemek abszolut ertekenek osszege: " << abssum << endl;
  sort(begin(a), end(a), greater<int>());
  cout << "rendezes csokkeno sorrendbe: " << endl;
  copy(begin(a), end(a), ostream_iterator<int> {cout, " "}); cout << endl;
  if (binary_search(begin(a), end(a), 2 , greater<int>()))
    cout << "2 megtalalhato az elemek kozott." << endl;
  return 0;
}
```

```
begin(a)==a
end(a)==a+12
-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
osszekeveres:
4 -5 3 -4 -6 5 1 -3 -2 0 2 -1
min: -6         max: 5
az elemek abszolut ertekenek osszege: 36
rendezes csokkeno sorrendbe:
5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3 -4 -5 -6
2 megtalalhato az elemek kozott.
```

A továbbiakban nemcsak azt vizsgáljuk meg, hogy az adott osztály esetén használhatunk-e algoritmusokat, hanem röviden be is mutatjuk az adott típus alkalmazási lehetőségeit.

2.7.2 Sztringek

A C++11 nyelv karaktersorozat (sztring) osztályai a tárolt karakterek típusától eltekintve azonos programozási felülettel rendelkeznek. A különböző sztringosztályok a ***basic_string*** osztálysablon **char**, **wchar_t**, ***char16_t*** és ***char32_t*** típusokkal elkészített példányai, melyek eléréséhez a *<string>* fejállományt kel a programunkba beépíteni.

Sztringtípus	*Definíció*
string	basic_string<**char**>
wstring	basic_string<**wchar_t**>
u16string	basic_string<char16_t>
u32string	basic_string<char32_t>

A következőkben a **char** típusú elemek vektoraként megvalósított ***string*** típussal ismerkedünk meg részletesebben.

2.7.2.1 A string és a vector<char> típusok azonos tagfüggvényei

A ***vector*** konténer tagfüggvényeinek egy része sztringek esetén is elérhetők. Ezekkel specifikus műveleteket végezhetünk, illetve algoritmusokat hívhatunk. A leírásokban az *str* névvel egy ***string*** típusú változót jelölünk, és bordó színnel emeljük ki azt a sztringspecifikus műveletet, amely rokon egy másik tagfüggvénnyel.

Tagfüggvények hívása	*Rövid leírás*
Iterátorok lekérdezése:	
str.begin() / str.end()	*iterator,*
str.cbegin() / str.cend()	***const*** *iterator,*
str.rbegin() / str.rend()	*reverse_iterator,*
str.crbegin() / str.crend()	***const*** *reverse_iterator,*
Karakterek elérése:	
char*& chn = str[n]*	indexelés indexhatár-ellenőrzés nélkül,
char*& chn = str.at(n)*	indexelés indexhatár-ellenőrzéssel,
char*& chelso = str.front()*	a 0 indexű karakter,
char*& chutolso = str.back()*	az utolsó karakter,
const char* *peleje = str.data()*	a tárolt karaktersorozat kezdetének mutatója – nem garantált a záró 0-ás bájt jelenléte,
const char* *peleje = str.c_str()*	a tárolt karaktersorozat kezdetének mutatója a karaktereket 0-ás bájt zárja,
Tárolóterület kezelése:	
bool *b = str.empty()*	üres-e a sztring, mint az *str*=="" vizsgálat,
size_t n = str.size()	a tárolt karakterek száma,
size_t n = str.length()	a tárolt karakterek száma,
size_t n = str.max_size()	az adott környezetben tárolható leghosszabb sztring mérete,
size_t n = str.capacity()	a sztring számára lefoglalt tárolóterület mérete,
str.reserve(n)	*n* bájt méretű tároló terület foglalása a sztring számára,
str.shrink_to_fit()	a *capacity()* lecsökkentése a *size()* méretre,

Tagfüggvények hívása *(folytatás)*	***Rövid leírás***
Sztringek módosítása:	
str.clear()	a sztring karaktereinek eltávolítása – eredménye üres sztring,
str.push_back(ch)	karakter hozzáfűzése a sztring végéhez,
str.pop_back()	az utolsó karakter eltávolítása,
str.resize(n)	a sztring átméretezése *n* méretűre, ha *n* > *size()*, szóközökkel, illetve *ch* karakterekkel tölti fel az új pozíciókat,
str.resize(n, ch)	
str.swap(masikstr)	a sztring felcserélése a *masikstr* tartalmával,
swap(str1, str2)	a megadott két sztring tartalmának felcserélése a *swap()* algoritmus specializált változatával.

Mivel ezek a tagfüggvények már ismertek a korábbi részekből, nem hozunk példákat a használatukra. A következő alfejezetben olyan speciális megoldásokkal foglalkozunk, amelyek a sztringek és a karakterek (**char**) mellett, a sztringet tároló karakter tömbökkel (**const char** *) is képesek műveleteket végezni.

2.7.2.2 A string típus speciális tagfüggvényei

A konténereknél látott konstruálási lehetőségek mellett, további kezdőérték-adási megoldások is rendelkezésünkre állnak. (A táblázatban csak az alapértelmezett helyfoglalóval rendelkező konstruktorok szerepelnek.)

A felsorolásban az *str* ***string*** típusú változót jelöl, míg a *cstr* C-stílusú karaktersorozatot, amely egyaránt lehet **char** típusú tömbben, illetve karaktersorozat konstansban (literálban): *"szöveg"*. A karakterpozíciót kijelölő *poz* és a karakterszámot megadó *n* *size_t* típusúak, a *ch* pedig **char** típusú karakter.

Konstruktorhívások	***Rövid leírás***
string str *string str {}*	üres sztringet létrehozó alapértelmezett konstruktor,
string str(cstr) *string str {cstr}*	sztring inicializálása a *cstr* tartalmával,
string str(cstr, n) *string str {cstr, n}*	sztring inicializálása a *cstr* első *n* elemével,
string str(str0) *string str {str0}*	sztring inicializálása az *str0* sztring tartalmának átmásolásával,
string str(move(str0)) *string str {move(str0)}*	sztring inicializálása az *str0* sztring tartalmának áthelyezésével,
string str(str0, poz) *string str {str0, poz}*	sztring inicializálása az *str0* karaktereinek átmásolásával az adott *pozíciótól* a sztring végéig (*string::npos*),
string str(str0, poz, n) *string str {str0, poz, n}*	sztring inicializálása az *str0* adott *pozíción* kezdődő, *n* darab karakterének átmásolásával – ha *n* túl nagy, a sztring végéig másol,
string str(n, ch)	sztring inicializálása *n* darab *ch* karakterből álló sztringgel,
string str {ch₁, ch₂, …, chₙ}	sztring inicializálása a *karakterlistából* előállított sztringgel,
string str(itb, ite) *string str {itb, ite}*	sztring inicializálása *az [itb, ite)* tartomány karaktereivel.

A különböző konstruktorhívásokat az alábbi példaprogramban fogtuk csokorba:

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

int main() {
  char cstr[] = "Abrakadabra";
  string s1 {cstr};
  cout << "s1: " << s1 << endl;
  string s2 {"C++ programozas 30 eve", 15};
  cout << "s2: " << s2 << endl;
  string s3 {move(s2)};
  cout << "s3: " << s3 << endl;
  cout << "s2: " << s2 << endl;
  string s4 {s3, 4};
  cout << "s4: " << s4 << endl;
  string s5 {s3, 4, 7};
  cout << "s5: " << s5 << endl;
  string s6 (12, 'N');
  cout << "s6: " << s6 << endl;
  string s7 {'C', '+', '+'};
  cout << "s7: " << s7 << endl;
  string s8 {begin(s3), end(s3)-4};
  cout << "s8: " << s8 << endl;
  return 0;
}
```

```
s1: Abrakadabra
s2: C++ programozas
s3: C++ programozas
s2:
s4: programozas
s5: program
s6: NNNNNNNNNNN
s7: C++
s8: C++ program
```

A ***string*** típus további különlegessége, hogy a példányai közvetlenül kaphatnak értéket *input* adatfolyamokból, illetve *output* adatfolyamokba írhatjuk a tartalmukat. A műveleteket az *<iostream>* állomány deklarálja:

I/O műveletek	***Rövid leírás***
getline(input, str)	karaktereket olvas az *str*-be a *'\n'* (újsor – *enter*) karakterig, ami nem kerül be a sztringbe,
getline(input, str, tagolóch)	karaktereket olvas az *str*-be a *tagolóch* karakterig, ami nem kerül be a sztringbe,
input >> str	karaktereket olvas az *str* sztringbe az első tagoló karakterig; a tagoló karakter is beolvasódik, azonban nem kerül be a sztringbe; ilyen tagoló karakter a szóköz is!
output << str	a sztring tartalmának kiírása a megadott adatfolyamba.

Az alábbi példában egy teljes nevet olvasunk be, majd pedig szóközzel tagolt szavakat dolgozunk fel egészen a <Ctrl+Z> és <Enter> billentyűk lenyomásáig.

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

```
int main() {
  string s;
  cout << "Nev: ";
  getline(cin, s);
  cout << s << endl;
  while (cin >> s)
      cout << s << endl;
  return 0;
}
```

```
Nev: Bjarne Stroustrup↵
Bjarne Stroustrup
alfa beta gamma delta iota↵
alfa
beta
gamma
delta
iota
^Z↵
```

Az értékadás szokásos módjait (*operator=()* és *assign()* tagfüggvények) is használhatjuk a ***string*** típusú változók esetén. Az értékadás jobb oldalán sztring, move(sztring), C-stílusú sztring, karakter és karaktereket tartalmazó inicializációs lista egyaránt szerepelhet. Az *assign()* tagfüggvényt pedig a sztring típus konstruktorainak megfelelő módon paraméterezhetjük.

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

int main() {
  char cstr[] = "Abrakadabra";
  string s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8;
  s1 = cstr;
  cout << "s1: " << s1 << endl;
  s1 = 'C';
  cout << "s1: " << s1 << endl;
  s2 = move(s1);
  cout << "s2: " << s2 << endl;
  s1 = {'C','+', '+', 32, '3' , '0', 32, 'e', 'v', 'e'};
  cout << "s1: " << s1 << endl;
  cout << endl;
  s1.assign(cstr);
  cout << "s1: " << s1 << endl;
  s2.assign("C++ programozas 30 eve", 15);
  cout << "s2: " << s2 << endl;
  s3.assign(move(s2));
  cout << "s3: " << s3 << endl;
  // C++14-től: s4.assign(s3, 4);
  // cout << "s4: " << s4 << endl;
  s5.assign(s3, 4, 7);
  cout << "s5: " << s5 << endl;
  s6.assign(12, 'N');
  cout << "s6: " << s6 << endl;
  s7.assign({'C', '+', '+'});
  cout << "s7: " << s7 << endl;
  s8.assign(begin(s3), end(s3)-4);
  cout << "s8: " << s8 << endl;
  return 0;
}
```

```
s1: Abrakadabra
s1: C
s2: C
s1: C++ 30 eve

s1: Abrakadabra
s2: C++ programozas
s3: C++ programozas
s5: program
s6: NNNNNNNNNNN
s7: C++
s8: C++ program
```

A sztingekkel végezhető műveletek egy részét a *string* osztály tagfüggvényei valósítják meg, másokat azonban külső függvények hívásával érhetünk el. A tagfüggvények többsége magának a sztring objektumnak a referenciájával tér vissza – az ettől eltérő eseteket a leírásban jelezzük. A művelet elvégzésénél általában választhatunk a karaktertömbös és az iterátoros felfogás között.

Sztringműveletek	***Rövid leírás***
rstr = str.insert(index, n, ch) *rstr = str.insert(index, cstr)* *rstr = str.insert(index, str0)* *rstr = str.insert(index, str0, poz, n)* *rstr = str.insert(index, str0, poz)* C++14 *rstr = str.insert(index, { ch₁, ch₂, …, chₙ })*	karakterek beszúrása az *index* pozíciótól kezdve – a forrás helyét különböző módon adhatjuk meg,
str.insert(itpoz, ch) *str.insert(itpoz, n, ch)* *str.insert(itpoz, itb, ite)* *str.insert(itpoz, { ch₁, ch₂, …, chₙ })*	karakter(ek) beszúrása az *itpoz* iterátorral kijelölt pozíciótól kezdődően,
rstr = str.erase()	*str* karaktereinek törlése, az eredmény egy üres sztring,
rstr = str.erase(index)	*str* karaktereinek törlése az adott *index*ű karaktertől a sztring végéig,
rstr = str.erase(index, n)	az adott *index*ű karaktertől *n* darab karakter törlése,
riter = str.erase(itpoz)	az *itpoz* iterátorral kijelölt karakter törlése; a visszaadott iterátor az utolsó törölt utáni karakterre hivatkozik,
riter = str.erase(itb, ite)	*az [itb, ite)* tartomány karaktereinek törlése; a visszaadott iterátor az utolsó törölt utáni karakterre hivatkozik,
rstr = str.append(n, ch) *rstr = str.append(cstr)* *rstr = str.append(cstr, n)* *rstr = str.append(str0)* *rstr = str.append(str0, poz, n)* *rstr = str.append(str0, poz)* C++14 *rstr = str.append(itb, ite)* *rstr = str.append({ ch₁, ch₂, …, chₙ })*	karakterek hozzáfűzése az *str* sztringhez – a forrás helyét különböző módon adhatjuk meg,
str += str0 *str += ch* *str += cstr* *str += { ch₁, ch₂, …, chₙ }*	karakterek hozzáfűzése az *str* sztringhez a *+=* operátorral – a forrás helyét különböző módon adhatjuk meg,

Sztringműveletek *(folytatás)*	***Rövid leírás***
rstr = str1 + str2 *rstr = str1 + ch* *rstr = ch + str1* *rstr = str1+ cstr* *rstr = cstr + str1*	a *+=* művelethez hasonló eredményre jutunk a *+* külső operátorral, amelynek bármelyik operandusa ***string*** típusú, az összekapcsolás eredménye is az lesz; megjegyezzük, hogy a *move(str1)* és/vagy a *move(str2)* is használható,
rstr = str.replace (poz, n, str0) *rstr = str.replace (itb, ite, str0)* *rstr = str.replace (poz, n, str0, poz0, n0)* *rstr = str.replace (poz, n, str0, poz0)* C++14 *rstr = str.replace (itb, ite, itb0, ite0)* *rstr = str.replace (poz, n, cstr)* *rstr = str.replace (itb, ite, cstr)* *rstr = str.replace (poz, n, cstr, n0)* *rstr = str.replace (itb, ite, cstr, n0)* *rstr = str.replace (poz, n, n0, ch)* *rstr = str.replace (itb, ite, n0, ch)* *rstr = str.replace (itb, ite, {ch₁, ch₂, … })*	az *str*-ben lecseréli a *[poz, poz+n)*, illetve az *[itb, ite)* karaktereket a megadott karaktersorozat karaktereivel,

A különböző sztringkezelő műveleteket az alábbi példaprogrammal szemléltetjük:

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

int main() {
  char cszul[] = "1985. oktober 14.";
  string str;
  str = string("A C++ nyelv szuletesi ideje") + '\t' + cszul;
  cout << str << endl;
  // Összerakjuk az egyre növekvő számú 'B' illetve 'C' betűkből álló
  // sztringet
  str.clear();
  for (int i=0; i<7; i++)
    str.append(i+1, {'B'+ (i % 2)});
  cout << "append:  " << str << endl;
  // Pozíciószámítással minden 'B' karakterrel kezdődő sztringrész
  // elé 'A' karaktert szúrunk be
  size_t m = str.size()/4;
  for (size_t i=0, j=1; i<=m; i+=j++)
    str.insert(4*i, 1, 'A');
   cout << "insert:  " << str << endl;
   // Az "AB" karaktereket "CC"-re cseréljük
   size_t poz;
   while ((poz = str.find("AB")) != string::npos)
       str.replace(poz, 2, "CC");
  cout << "replace: " << str << endl;
  // Töröljük a 'B' karaktereket tartalmazó sztringrészeket
  size_t n = 0;
  do {
    poz = str.find('B');
    if (poz != string::npos)
      str.erase(poz, n+=2);
  } while (poz != string::npos);
  cout << "erase:   " << str << endl;
  return 0;
}
```

```
A C++ nyelv szuletesi ideje     1985. oktober 14.
append:  BCCBBBCCCCBBBBBCCCCCCBBBBBBB
insert:  ABCCABBBCCCCABBBBBCCCCCCABBBBBBB
replace: CCCCCCBBCCCCCCBBBBCCCCCCCCBBBBBB
erase:   CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
```

Külön csoportba gyűjtöttük azokat a műveleteket, amelyek részsztringekkel (*substring*) kapcsolatosak.

Sztringműveletek	***Rövid leírás***
m = str.copy(chptr, n, poz) *m = str.copy(chptr, n)*	kimásolja az *str* sztring *[poz, poz+n),* illetve *[0, n),* karaktereit a **char*** típusú *chptr* mutatóval kijelölt területre, és visszatér az átmásolt karakterek számával; amennyiben *poz >= size()*, *out_of_range* kivétel lép fel,
rstr = str.substr(poz, n) rstr = str.substr(poz) rstr = str.substr()	új sztringben visszaadja az *str* sztring *[poz, poz+n), [0, n),* illetve *[0, size())* részét; ha *poz >= size()*, *out_of_range* kivétel keletkezik,
ires = str.compare(str0) *ires = str.compare(p, n, str0)* *ires = str.compare(p1, n1, str0, p2, n2)* *ires = str.compare(p1, n1, str0, p2)* *C++14* *ires = str.compare(cstr)* *ires = str.compare(p, n, cstr)* *ires = str.compare(p, n1, cstr, n2)*	az *str*-t, illetve annak egy részét lexikografikusan összehasonlítja a zölddel kiemelt sztringgel, illetve annak egy részével; a függvényérték jelzi a sztringek viszonyát: ires < 0, ez első sztring kisebb a másodiknál, ires == 0, ez első sztring azonos a másodikkal, ires > 0, ez első sztring nagyobb a másodiknál.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a *copy()* tagfüggvény nem helyez nullás bájtot az átmásolt karakterek után – erről magunknak kell gondoskodnunk a visszaadott függvényérték felhasználásával. *A részsztringek kezelését az alábbi példaprogramban követhetjük nyomon:*

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

int main() {
  string str = "VAKACIO";
  cout << str.substr() << endl;

  cout << "1." << endl;
  for (int n=str.size()-1; n>=0; n--) {
    cout << str.substr(n) << endl;
  }

  cout << "2." << endl;
  for (int n=1, poz= str.size()/2; poz>=0; n+=2, poz--) {
    cout << str.substr(poz, n) << endl;
  }

  cout << "3." << endl;
  char cs[12];
  int n = str.copy(cs, 3, 4);
  cs[n] =0; // a sztringet záró 0-ás bájt
  cout << cs << endl;

  cout << "4." << endl;
  char *cstr = new char[str.size()+1];
  fill(cstr, cstr+str.size(), 0); // a sztringet záró 0-ás bájt miatt
  for (size_t poz=0,cpoz=str.size()-1; poz<str.size(); poz++, cpoz--) {
    str.copy(cstr+cpoz, 1, poz);
  }
  cout << cstr << endl;
  delete[] cstr;
```

```
    cout << "5." << endl;
    cout << str.compare(str) << endl;                   // "VAKACIO" == "VAKACIO"
    cout << str.compare("vakacio") << endl;             // "VAKACIO" < "vakacio"
    cout << str.compare(0, 3, "VAK") << endl;           // "VAK" == "VAK"
    cout << str.compare(0, 4, "AKACFA", 0, 4) << endl;  // "VAKA" > "AKAC"
    cout << str.compare(0, 2, "VAKACIO", 0, 5) << endl; // "VA" < "VAKAC"
    cout << str.compare(0, 5, "VAKACIO", 0, 2) << endl; // "VAKAV" > "VA"
    return 0;
}
```

```
VAKACIO
1.
O
IO
CIO
ACIO
KACIO
AKACIO
VAKACIO
2.
A
KAC
AKACI
VAKACIO
3.
CIO
4.
OICAKAV
5.
0
-1
0
1
-3
3
```

A ***string*** osztály gazdag résztringet kereső függvénykészlettel rendelkezik. A hagyományos *find()* a karaktersorozat elejétől (*str.begin()*) keres, előre haladva, míg az *rfind()* az *str.end()*-től visszafelé halad. A kereső függvények sikertelen esetben a *string::npos* (*not a position*) értékkel térnek vissza.

Kereső műveletek	***Rövid leírás***
rpoz = str.find(str0) *rpoz = str.find(str0, poz)* *rpoz = str.find(cstr)* *rpoz = str.find(cstr, poz)* *rpoz = str.find(cstr, poz, n)* *rpoz = str.find(ch)* *rpoz = str.find(ch, poz)*	az *str* sztringben (adott *pozíciótól*) keresi a megadott sztring, C-sztring, C-sztring első *n* karakterének vagy egy karakter első előfordulását; a visszatérési érték a találat kezdőpozíciója,
rpoz = str.rfind(str0) *rpoz = str.rfind(str0, poz)* *rpoz = str.rfind(cstr)* *rpoz = str.rfind(cstr, poz)* *rpoz = str.rfind(cstr, poz, n)* *rpoz = str.rfind(ch)* *rpoz = str.rfind(ch, poz)*	az *str* sztringben (adott *pozíciótól*) visszafelé keresi a megadott sztring, C-sztring, C-sztring első *n* karakterének vagy egy karakter első előfordulását; a visszatérési érték a találat kezdőpozíciója.

A *find_xxx_of()* tagfüggvényekkel karaktereket kereshetünk a sztringben.

Kereső műveletek	***Rövid leírás***
rpoz = str.find_first_of(str0) *rpoz = str.find_first_of(str0, poz)* *rpoz = str.find_first_of(cstr)* *rpoz = str.find_first_of(cstr, poz)* *rpoz = str.find_first_of(cstr, poz, n)* *rpoz = str.find_first_of(ch)* *rpoz = str.find_first_of(ch, poz)*	az *str* sztringben (adott *pozíciótól*) keresi az első olyan karaktert, amely benne van a megadott sztringben, C-sztringben, C-sztring első *n* karakterében vagy megegyezik a megadott karakterrel; a visszatérési érték a találat kezdőpozíciója,
rpoz = str.find_first_not_of(mint fent)	az *str* sztringben keresi az első olyan karaktert, amely nincs benne a fentieknek megfelelően megadott karaktersorozatban,
rpoz = str.find_lasl_of(mint fent)	az *str* sztringben visszafelé keresi az utolsó olyan karaktert, amely benne van a fentieknek megfelelően megadott karaktersorozatban,
rpoz = str.find_last_not_of(mint fent)	az *str* sztringben visszafelé keresi az utolsó olyan karaktert, amely nincs benne a fentieknek megfelelően megadott karaktersorozatban.

A következő példában egy írásjelekkel tagolt mondatot az írásjelek mentén szavakra bontunk, majd pedig összerakunk:

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

int main() {
  string mondat =  "A Cplusplus 30 eves! 1985. oktober 14-en jelent meg";
  mondat += " a Cplusplus nyelv elso kiadasanak kereskedelmi"
            " forditoprogramja.";
  // felbontjuk a mondatot szavakra írásjeleknél vágva
  vector<string> szavak;
  int poz = 0, rpoz = 0;
  char irasjelek[] = " ,.!?";
  while (rpoz < mondat.size()) {
    poz = mondat.find_first_of(irasjelek, rpoz);
    szavak.push_back(mondat.substr(rpoz, poz-rpoz));
    rpoz = poz + 1;
  }
  // összerakjuk a mondatot szócserével
  mondat=szavak[0];
  for (int i=1; i<szavak.size(); i++) {
    if (!szavak[i].compare("Cplusplus"))
      mondat += " C++" ;
    else if (!szavak[i].empty())
      mondat += ' ' + szavak[i];
  }
  mondat += '!';
  cout<<mondat<<endl;
  return 0;
}
```

```
A C++ 30 eves 1985 oktober 14-en jelent meg a C++ nyelv elso kiadasanak
kereskedelmi forditoprogramja!
```

2.7.2.3 Összehasonlító külső sztringműveletek

Nem tagfüggvény operátor függvénysablonok segítik két ***string*** típusú sztring, illetve egy C-sztring és egy ***string*** típusú sztring lexikografikus összehasonlítását. (Ez utóbbi esetben az operandusok sorrendje tetszőleges lehet.) A műveletek **bool** típusú értékkel jelzik a relációk igazságtartalmát.

Összhasonlító műveletek	***Rövid leírás***
b = str1 == str2 *b = str == cstr* *b = cstr == str*	a lexikografikus egyenlő reláció vizsgálata,
!= *<* *<=* *>* *>=*	további relációs műveletek.

A relációs műveleteket a `szavak` *sztringtömb egyszerű sorbarendezés során alkalmazzuk:*

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

int main() {
  string szavak[] {"ADA", "C++", "C#", "FORTRAN", "BASIC", "JAVA", "F#", "C"};
  int meret = distance(begin(szavak), end(szavak));
  for(int i = 0; i < meret - 1; i++)
    for (int j = i + 1; j < meret; j++)
      if (szavak[i] > szavak[j])
         swap(szavak[i], szavak[j]);
  for (const auto & szo : szavak)
     cout << szo << endl;
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
ADA
BASIC
C
C#
C++
F#
FORTRAN
JAVA
```

2.7.3 Bitkészletek – bitset

Az alacsony szintű programozás során gyakran használunk kétállapotú állapotjelzőket, a rendszer állapotainak (jó/rossz, igaz/hamis, be/ki stb.) tárolására. Az alap C++ nyelv (a C nyelvtől örökölt) bitenkénti operátorok és struktúrába ágyazott bitmezőkkel segíti az ilyen jellegű programok készítését.

A C++ STL-ben megtalálható ***bitset*** osztálysablon (*<bitset> header*) egységessé teszi a rövidebb, hosszabb (azonban példányosításkor rögzített méretű) bitkészletek kezelését. A *bitset<N>* osztály egy olyan tömb, ami *N* bitet tárol.

A ***bitset*** sokban különbözik az STL konténerektől, nincsenek iterátorai, *out_of_range* kivétellel jelzi az indexhatárok túllépését stb. A bitpozíciókat jobbról balra indexeljük *[0, N)* tartományban. A bitkészletet N-jegyű bináris számként képzelhetjük el legjobban.

Például, a *bitset<12> bs(2015)* bitkészlet:

11.	*10.*	*9.*	*8.*	*7.*	*6.*	*5.*	*4.*	*3.*	*2.*	*1.*	*0.*
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1

2.7.3.1 Bitkészletek létrehozása

A ***bitset*** sokféle konstruktort biztosít számunkra. Inicializálhatjuk a bitkészletet egész számmal, sztringgel, ami nem feltétlenül 0 és 1 karaktereket tartalmaz.

Konstruktorhívások	***Rövid leírás***
bitset<N> bs *bitset<N> bs {}*	*N* darab 0-ás bittel feltöltött bitkészlet,
bitset<N> bs(num) *bitset<N> bs {num}*	az **unsigned long long** típusú *num* szám bitjeivel inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(str) *bitset<N> bs {str}*	a *0* és *1* karaktereket tartalmazó sztring alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(str, p) *bitset<N> bs {str, p}*	a *0* és *1* karaktereket tartalmazó sztring *p.* pozíciójától a sztring végéig terjedő résztring alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(str, p, n) *bitset<N> bs {str, p, n}*	a *0* és *1* karaktereket tartalmazó sztring *p.* pozícióján kezdődő, *n* darab karakterből álló része alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(str, p, n, ch0) *bitset<N> bs {str, p, n, ch0}*	a *ch0* és *1* karaktereket tartalmazó sztring *p.* pozícióján kezdődő, *n* darab karakterből álló része alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(str, p, n, ch0, ch1) *bitset<N> bs {str, p, n, ch0, ch1}*	a *ch0* és *ch1* karaktereket tartalmazó sztring *p.* pozícióján kezdődő, *n* darab karakterből álló része alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(cstr) *bitset<N> bs {cstr}*	a *0* és *1* karaktereket tartalmazó C-sztring alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(cstr, n) *bitset<N> bs {cstr, n}*	a *0* és *1* karaktereket tartalmazó C-sztring elejétől az *n. pozícióig* terjedő résztring alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(cstr, n, ch0) *bitset<N> bs {cstr, n, ch0}*	a *ch0* és *1* karaktereket tartalmazó C-sztring elejétől az *n. pozícióig* terjedő résztring alapján inicializált bitkészlet,
bitset<N> bs(cstr, n, ch0, ch1) *bitset<N> bs {cstr, n, ch0, ch1}*	a *ch0* és *ch1* karaktereket tartalmazó C-sztring elejétől az *n. pozícióig* terjedő résztring alapján inicializált bitkészlet.

Az alábbi példaprogramban különböző konstruktorhívásokat használunk:

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

int main() {
  // üres konstruktor
  bitset<8> bs1;
  cout << "bs1 :  " << bs1 << endl;

  // unsigned long long argumentumú konsruktorok
  bitset<8> bs2(123ull);
  cout << "bs2 :  " << bs2 << endl;
  bitset<16> bs3(0xffull);
  cout << "bs3 :  " << bs3 << endl;

   // string argumentumú konstruktorok
  bitset<8> bs4(string("11001010"));
  cout << "bs4 :  " << bs4 << endl;
  bitset<8> bs5(string("11001010"), 2);
  cout << "bs5 :  " << bs5 << endl;
  bitset<8> bs6(string("11001010"), 2, 5);
  cout << "bs6 :  " << bs6 << endl;
```

```
    bitset<16> bs7(string("CXXCXXXCXXXXCCCC"), 0, 16, 'C', 'X');
    cout << "bs7 :  " << bs7 << endl;

    // C-sztring argumentumú konstruktorok
    bitset<8> bs8("01101001");
    cout << "bs8 :  " << bs8 << endl;
    bitset<8> bs9("01101001", 5);
    cout << "bs9 :  " << bs9 << endl;
    bitset<8> bs10("XXXXYYYY", 8, 'X', 'Y');
    cout << "bs10:  " << bs10 << endl;
    return 0;
}
```

```
bs1 :  00000000
bs2 :  01111011
bs3 :  0000000011111111
bs4 :  11001010
bs5 :  00001010
bs6 :  00000101
bs7 :  0110111011110000
bs8 :  01101001
bs9 :  00001101
bs10:  00001111
```

Természetesen, az azonos méretű bitkészletek esetén az alapértelmezett másoló konstruktor, illetve az értékadás operátorával elvégzett másolás művelete is használhatók.

2.7.3.2 Bitkészlet-műveletek

A *bitset* típushoz tagfüggvények és külső operátorfüggvények egyaránt rendelkezésünkre állnak. A tagfüggvények nagy része a *bitset<N>* objektum (*bs*) referenciájával tér vissza, hogy a hívásokat egymásba építhessük.

Bitenkénti műveletek	***Rövid leírás***
bool *bn = bs[index]* *bs[index] =* ***true*** *(1) vagy* ***false*** *(0)*	a *bs index.* bitjének lekérdezése, illetve felülírása, kivétel dobása nélkül,
bool *bn = bs.test(index)*	a *bs index.* bitjének lekérdezése; *out_of_range* kivétel keletkezik, ha túllépjük az indexhatárokat,
rbs = bs.set() *rbs = bs.set(index, adat)*	*bs* minden bitjét *1*-be állítja, *bs[index] = adat*, ahol az *adat* **true** *(1)* vagy **false** *(0)*,
rbs = bs.reset() *rbs = bs.reset(index)*	*bs* minden bitjét *0*-ba állítja, *bs[index] = 0*,
rbs = bs.flip() *rbs = bs.flip(index)*	*bs* minden bitjét ellentettjére változtatja: *bs[i] = ~bs[i]*, *bs[index] = ~bs[index]*,
db = bs.count()	visszatér a **true** *(1)* értékű bitek számával a bitkészletben,
bool *b = bs.all()*	igaz értékkel tér vissza, ha a bitkészletben minden bit 1 értékű,
bool *b = bs.any()*	igaz értékkel tér vissza, ha a bitkészletben legalább egy bit 1 értékű,
bool *b = bs.none()*	igaz értékkel tér vissza, ha a bitkészletben nincs 1 értékű bit,
db = bs.size()	visszatér a bitkészlet méretével.

A következőkben azokat a műveleteket vesszük sorra, melyek során az azonos méretű, alap- és egy másik ***bitset*** objektum megfelelő indexű bitjei között hajtódnak végre a bináris logikai műveletek,

melyek eredménye szerint változik meg az alapobjektum. Ugyancsak ebbe a csoportba soroltuk az alapobjektumra vonatkozó egyéb belső és külső műveleteket is.

Bitkészlet-műveletek	***Rövid leírás***
bs &= masikbs	bináris *ÉS* művelet,
bs |= masikbs	bináris *VAGY* művelet,
bs ^= masikbs	bináris *KIZÁRÓ VAGY* művelet,
rbs = bs~	a *bs* másolatán elvégzi a bináris *NEM* művelet (*flip()*), és visszatér a másolattal,
bs <<= n	eltolja a *bs* bitjeit balra *n* pozícióval, és 0-ás bitek jönnek be jobbról,
rbs = bs << n	a *bs* másolatán elvégzi a biteltolás balra műveletet, és visszatér a másolattal,
bs >>= n	eltolja a *bs* bitjeit jobbra *n* pozícióval, és 0-ás bitek jönnek be balról,
rbs = bs >> n	a *bs* másolatán elvégzi a biteltolás jobbra műveletet, és visszatér a másolattal,
***bool** b = bs == masikbs*	igaz értéket ad, ha az alap és a másik bitkészlet egyezőek,
***bool** b = bs != masikbs*	igaz értéket ad, ha az alap és a másik bitkészlet különbözőek,
rbs = bs1 & bs2	bináris *ÉS* művelet,
rbs = bs1 | bs2	bináris *VAGY* művelet,
rbs = bs1 ^ bs2	bináris *KIZÁRÓ VAGY* művelet,
output << bs	karakteres formában (‘0’, ‘1’) kiírja a *bs* bitjeit az *output* adatfolyamba,
input >> bs	karakteres formában (‘0’, ‘1’) beolvassa a *bs* bitjeit az *input* adatfolyamból.

Az alábbi példában nagy, előjel nélküli egész számok összeadására és szorzására készítünk függvénysablonokat, melyek használatát faktoriális számítással mutatjuk be. A megoldás nagyon nagy számokra is alkalmazható, azonban a felhasznált to_ullong() tagfüggvény „csak” 64-bites egészeket tud megjeleníteni, amibe legfeljebb 20! (2432902008176640000) fér bele:

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

template<unsigned int N>
void bsOsszead(bitset<N>& x, const bitset<N>& y) {
  bool atvitel = false, bitszum;
  for (int i = 0; i < N; i++) {
    bitszum = (x[i] ^ y[i]) ^ atvitel;
    atvitel = (x[i] && y[i]) || (x[i] && atvitel) || (y[i] && atvitel);
    x[i] = bitszum;
  }
}

template<unsigned int N>
void bsSzoroz(bitset<N>& x, const bitset<N>& y) {
  bitset<N> tmp = x;
  x.reset();
  for (int i=0; i < N; i++) {
    if (tmp[i])
      bsOsszead(x, y << i);
  }
}
```

```
typedef bitset<128> nagyszam;

int main() {
  const nagyszam egy(1);
  nagyszam f{egy};
  nagyszam n{egy};
  for (int k=0; k < 20; k++) {
    bsSzoroz(f, n);
    bsOsszead(n, egy);
  }
  cout << f.to_ullong() << endl;
  return 0;
}
```

2.7.3.2 Konverziós műveletek

A bitkészletben tárolt biteket egész számmá és sztringgé alakítva egyaránt megkaphatjuk az alábbi konverziós tagfüggvények hívásával. A számmá alakítás során a 0 indexű bit lesz a szám legkisebb helyiértékű bitje, míg a legutolsó bit a legnagyobb helyiértékű.

Konverziós műveletek	***Rövid leírás***
unsigned long *num = bs.to_ulong()*	a konverzió eredménye **unsigned long** típusú lesz, azonban *overflow_error* lép fel, ha az átalakítás nem végezhető el,
unsigned long long *num = bs.to_ullong()*	a konverzió eredménye **unsigned long long** típusú lesz, azonban *overflow_error* lép fel, ha az átalakítás nem végezhető el,
string *str = bs.to_string()*	*'0'* és *'1'* karaktereket tartalmazó sztringgé alakítja a *bs* tartalmát,
string *str = bs.to_string(ch0)*	*ch0* és *'1'* karaktereket tartalmazó sztringgé alakítja a *bs* tartalmát,
string *str = bs.to_string(ch0, ch1)*	*ch0* és *ch1* karaktereket tartalmazó sztringgé alakítja a *bs* tartalmát.

A konverziókat egyszerű programmal mutatjuk be:

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

int main() {
  bitset<32> bs(0x20041002ul);
  cout << bs << endl;
  cout << hex << bs.to_ulong() << endl;
  cout << hex << bs.to_ullong() << endl;
  cout << bs.to_string() << endl;
  cout << bs.to_string('o') << endl;
  cout << bs.to_string('o', '|') << endl;
  cout << endl;
  bs = ~bs;
  cout << bs << endl;
  cout << hex << bs.to_ulong() << endl;
  cout << hex << bs.to_ullong() << endl;
  cout << bs.to_string() << endl;
  cout << bs.to_string('o') << endl;
  cout << bs.to_string('o', '|') << endl;
  return 0;
}
```

```
00100000000001000001000000000010
20041002
20041002
00100000000001000001000000000010
oo1ooooooooo1ooooo1ooooooooo1o
oo|ooooooooo|ooooo|ooooooooo|o

11011111111110111110111111111101
dffbeffd
dffbeffd
11011111111110111110111111111101
11o11111111110111110111111111o1
||o||||||||||o|||||o||||||||||o|
```

2.7.4 A vector<bool> specializáció

A *vector<bool>* a ***vector*** konténertípus specializációja, amely lehetővé teszi a **bool** típusú értékek tömörített (bites) tárolását. A ***bitset***-hez való hasonlósága kézenfekvő, azonban sokban különbözik is attól: mérete megváltoztatható, nincsen semmilyen eszköz egészek és sztringek konvertálására, illetve lekérdezésére. Összességében a *vector<bool>* egy bites tárolású logikai vektor, amely azonban nem tekinthető konténernek. Ha az adatainkat konténerben szeretnénk tárolni a *deque<bool>* vagy a *vector<char>* típusokat alkalmazhatjuk helyette.

Alapvetően a már megismert ***vector*** konténer tagfüggvényeit használhatjuk, néhány különbséggel:

- az elemeknek sem címe, sem referenciája nem kérdezhető le, azonban iterátorokat használhatunk,
- az új *void flip()* tagfüggvény minden elemet ellentettjére állít.

Az elmondottakat szemlélteti az alábbi példaprogram:

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

int main () {
  vector <bool> vbool(3);
  // 3 elem beírása index operátorral
  vbool[0] = vbool[1] = true;
  vbool[2] = false;
  // további 5 elem hozzáadása
  for (int i=0; i<5; i++)
    vbool.push_back(bool(i%2));
  cout << "A bool vektor tartalma: " ;
  for (size_t i = 0; i < vbool.size(); ++i)
     cout << vbool[i] << ' ';
  cout << endl;

  // a vektorban tárolt logikai értékek tagadása
  vbool.flip();
  cout << "A bool vektor tartalma: " ;
  for (size_t i = 0; i < vbool.size(); ++i)
     cout << vbool[i] << ' ';
  cout << endl;

  transform(begin(vbool), end(vbool), begin(vbool), [](bool e) { return !e;});
  vector<bool>::iterator x = begin(vbool);
  cout << "A bool vektor tartalma: " ;
  for (; x != end(vbool); x++)
    cout << *x << ' ';
  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
A bool vektor tartalma: 1 1 0 0 1 0 1 0
A bool vektor tartalma: 0 0 1 1 0 1 0 1
A bool vektor tartalma: 1 1 0 0 1 0 1 0
```

2.7.5 A valarray értéktömb

A ***valarray*** osztálysablon (*<valarray>*) egy általános célú numerikus értéktömb, melyet azért vezettek be, hogy a C++-ban is elérhetők legyenek a FORTRAN, MATLAB stb. rendszerekben megszokott, tömbökön elvégezhető, hatékony numerikus műveletek.

A ***valarray*** önmagában olyan műveletek elvégzésére képes, melyekhez a konténerekkel algoritmusokat kell hívnunk. Ennek ellenére a C++ 11-ben a *begin()*, az *end()* és a *swap()* függvénysablonok hozzáadásával az értéktömb is szerepelhet algoritmusok argumentumában.

2.7.5.1 Az értéktömb létrehozása és értékadása

A ***valarray*** konstruktoraival az értéktömböt numerikus C tömbök elemeivel, vagy akár különálló értékekkel is inicializálhatjuk. A ***valarray*** osztálysablont valamilyen numerikus típussal (*T*) kell példányosítanunk: *valarray<T>*.

Konstruktorhívások	***Rövid leírás***
valarray<T> va *valarray<T> va {}*	üres értéktömb,
valarray<T> va(n)	*n*-elemű értéktömb, melynek elemei *T { }* értékkel inicializálódnak,
valarray<T> va(adat, n)	*n*-elemű értéktömb, melynek elemei az *adat* értékkel inicializálódnak,
valarray<T> va(ctomb, n) *valarray<T> va {ctomb, n}*	*n*-elemű értéktömb, melynek elemei a *ctomb* első *n* elemével inicializálódnak,
valarray<T> va(va2) *valarray<T> va {va2}*	másoló konstruktor – a *va* a *va2* tartalmával inicializálódik,
valarray<T> va(move(va2)) *valarray<T> va {move(va2)}*	áthelyező konstruktor – a *va* a *va2* tartalmával inicializálódik,
valarray<T> va({init. lista}) *valarray<T> va {init. lista}*	az értéktömb a megadott inicializációs lista elemeiből jön létre,
valarray<T> va(tomb) *valarray<T> va {tomb}*	az értéktömb a megadott tomb elemeiből jön létre, amely tomb típusa lehet *slice_array<T>*, *gslice_array<T>*, *mask_array<T>* vagy *indirect_array<T>*.

A következő példában az értéktömbök létrehozásának különböző módjait szemléltetjük. Az utolsó konstruktorban szereplő tömbtípusokkal később ismerkedünk meg.

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

typedef float T;

void KiirVa(const string& str, const valarray<T>& va) {
  cout << str << "\t";
  for (const auto e : va) // begin(va) és end(va) hívódik meg
    cout << e << " ";
  cout << endl;
}
```

```
int main() {
  int n = 5;
  T ctomb[6] {1.1, 2.3, 5.8, 8.13, 31.34};
  T adat = 12.23;
  valarray<T> va1(adat, n);
  KiirVa("va1", va1);
  valarray<T> va2 {ctomb, n};
  KiirVa("va2", va2);
  valarray<T> va3 {va2};
  KiirVa("va3", va3);
  valarray<T> va4 {1.2, 2.3, 4.5, 5,6, 6.7, 7.8};
  KiirVa("va4", va4);
  valarray<T> va5 {move(va1)};
  KiirVa("va5", va5);
  KiirVa("va1", va1);
  return 0;
}
```

```
va1     12.23 12.23 12.23 12.23 12.23
va2     1.1 2.3 5.8 8.13 31.34
va3     1.1 2.3 5.8 8.13 31.34
va4     1.2 2.3 4.5 5 6 6.7 7.8
va5     12.23 12.23 12.23 12.23 12.23
va1
```

A ***valarray*** saját értékadásokat definiál az = operátor túlterhelésével. Az értékadás kifejezés értéke egy referencia magára az értéktömbre:

Értékadások	***Rövid leírás***
va = masikva	a *masikva* értéktömbbel azonos lesz a *va*,
va = move(masikva)	a *masikva* értéktömb átkerül a *va*-ba,
va = adat	a *va* értéktömb minden eleme felveszi az *adat* értéket,
va = {init. lista}	az *inicializációs listából* készített értéktömbbel lesz azonos a *va*,
va = tomb	a *va* értéktömb méretével azonos *slice_array<T>*, *gslice_array<T>*, *mask_array<T>* vagy *indirect_array<T>* *tömb* elemei másolódnak át a *va*-ba,
va ⊛= masikva	összetett értékadás: *va[index] ⊛= masikva[index]* a *va* értéktömb minden elemére, ahol a ⊛ jel a /, %, +, –, ^, &, |, <<, >> műveletek egyikét jelöli,
va ⊛= adat	összetett értékadás: *va[index] ⊛= adat* a *va* értéktömb minden elemére, ahol a ⊛ jel a /, %, +, –, ^, &, |, <<, >> műveletek egyikét jelöli.

Az értékadások menete jól látható az alábbi példából:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <valarray>
#include <string>
#include <numeric>
using namespace std;

typedef int T;

void KiirVa(const string& str, const valarray<T>& va) {
  cout << str << "\t";
  for (const auto e : va)
    cout << setw(4) << e << " ";
  cout << endl;
}
```

```
int main() {
  valarray<T> va1;
  va1 =  {25, 14, 6, 0, 1, 12, 43, 108, 234, 466};
  valarray<T> va2(va1.size());
  iota(begin(va2), end(va2), 1);
  KiirVa("va1", va1);
  KiirVa("va2", va2);
  va1 -= 36;
  KiirVa("va1", va1);
  va1 /= va2;
  KiirVa("va1", va1);
  va1 += 12;
  KiirVa("va1", va1);
  return 0;
}
```

```
va1      25   14    6    0    1   12   43  108  234  466
va2       1    2    3    4    5    6    7    8    9   10
va1     -11  -22  -30  -36  -35  -24    7   72  198  430
va1     -11  -11  -10   -9   -7   -4    1    9   22   43
va1       1    1    2    3    5    8   13   21   34   55
```

2.7.5.2 Az indexelés művelete

Az értéktömbök mérete lekérdezhető, illetve szükség esetén meg is változtatható a konténereknél megszokott módon. A [*0, size()*) indextartományon belül az elemeket a szokásos indexelés (*[ ]*) operátorával érhetjük el (olvashatjuk vagy írhatjuk).

Értékadások	***Rövid leírás***
m = va.size()	a *va* értéktömb eleminek száma,
va.resize(n)	a *va* értéktömb átméretezése *n*-eleműre az új elemek az elemtípus alapértékét veszik fel,
va.resize(n, adat)	a *va* értéktömb átméretezése *n*-eleműre az új elemek az *adat* értékét veszik fel,
adat = va[index] *va[index] = adat*	az indexelés operátora az index által kijelölt elem referenciájával tér vissza; nincs indexhatár ellenőrzés,
tomb = va[kijeloles] *va[kijeloles] = tomb*	a *va* értéktömb kijelölt részének olvasása/írása – bővebben a táblázat után.

Az értéktömbök indexelés operátorát a szokásos értelmezésen túlmenően különleges képességgel is ellátták. A kijelöléssel egyszerre több elemre hivatkozhatunk, az alábbi táblázatban összefoglalt eszközökkel:

Kijelölések	***Rövid leírás***
slice (kezdo, meret, lepes)	a *va* értéktömb kijelölt elemei: *kezdo+0*lepes, kezdo+1*lepes, … kezdo + (meret-1)*lepes*,
gslice(kezdo, {meret lista}, {lepes lista})	a *va* értéktömb kijelölt elemei: $k_j = kezdo+\Sigma_j(lepes_j*meret_j)$,
*valarray<**bool**>*	a *va* értéktömb elemeit egy *logikai értéktömb* igaz elemei jelölik ki,
valarray<size_t>	a *va* értéktömb elemeit egy *indexhalmaz* elemi jelölik ki.

Amennyiben az indexelt tömb konstans, a kijelölt elemek másolatát *valarray<T>* típusú tömbben kapjuk meg. Ellenkező esetben, mivel a C++ közvetlenül nem engedi referenciatömbök készítését, speciális típusú értéktömbökben kapjuk meg az eredményt:

Kijelölés	*Az eredménytömb típusa*
slice (kezdo, meret, lepes)	*slice_array<T>*,
gslice(kezdo, {meretlista}, {lepeslista})	*gslice_array<T>*,
*valarray<**bool**>*	*mask_array<T>*,
valarray<size_t>	*indirect_array<T>*.

A kijelölések alkalmazásának megértéséhez az alábbi példaprogram áttanulmányozásával kerülhetünk közelebb:

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

void KiirVa(const string& str, const valarray<char>& va) {
  cout << str << "\t" << va.size() << "\t";
  for (const auto e : va)
    cout << e;
  cout << endl;
}

int main() {
  cout << "slice:" << endl;
  const valarray<char> va1 {"abcdefghijklmnopqrstuvwxyz", 26};
  valarray<char> va2 {va1[slice(1, 6, 2)]};
  KiirVa("va1", va1); KiirVa("va2", va2);

  valarray<char> va3 {va1};
  const valarray<char> va4 {"ABCDEF", 6};
  va3[slice(1, 6, 2)] = va4;
  KiirVa("va3", va3); KiirVa("va4", va4);

  cout << "\ngslice:" << endl;
  const valarray<size_t> meretek {2, 3};
  const valarray<size_t> lepesek {4, 5};
  valarray<char> va5 {va1[gslice(2, meretek, lepesek)]};
  KiirVa("va1", va1); KiirVa("va5", va5);

  valarray<char> va6 {va1};
  va6[gslice(2, meretek, lepesek)] = va4;
  KiirVa("va6", va6); KiirVa("va4", va4);

  cout << "\nvalarray<bool>:" << endl;
  const valarray<bool> vb {false, true, true, false, false, true, true};
  valarray<char> vbch (vb.size());
  for (int i=0; i<vb.size(); i++)
    vbch[i] = char('0'+vb[i]);
  valarray<char> va7 {va1[vb]};
  KiirVa("va1", va1); KiirVa("vach", vbch); KiirVa("va7", va7);

  valarray<char> va8 {va1};
  va8[vb] = va4;
  KiirVa("va8", va8); KiirVa("vach", vbch); KiirVa("va4", va4);

  cout << "\nvalarray<size_t>:" << endl;
  const valarray<size_t> vidx {13, 8, 5, 1, 3, 2};
  valarray<char> vidxjel (' ', va1.size());
  for (int i=0; i<vidx.size(); i++)
    vidxjel[vidx[i]] = '0'+ i;
  valarray<char> va9 {va1[vidx]};
  KiirVa("va1", va1); KiirVa("vidxjel", vidxjel); KiirVa("va9", va9);

  valarray<char> va10 {va1};
  va10[vidx] = va4;
  KiirVa("va10", va10); KiirVa("vidxjel", vidxjel); KiirVa("va4", va4);
  return 0;
}
```

```
slice:
va1     26      abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
va2     6       bdfhjl
va3     26      aAcBeCgDiEkFmnopqrstuvwxyz
va4     6       ABCDEF

gslice:
va1     26      abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
va5     6       chmglq
va6     26      abAdefDBijkECnopFrstuvwxyz
va4     6       ABCDEF

valarray<bool>:
va1     26      abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
vach    7       0110011
va7     4       bcfg
va8     26      aABdeCDhijklmnopqrstuvwxyz
vach    7       0110011
va4     6       ABCDEF

valarray<size_t>:
va1     26      abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
vidxjel 26       354 2  1    0
va9     6       nifbdc
va10    26      aDFEeCghBjklmAopqrstuvwxyz
vidxjel 26       354 2  1    0
va4     6       ABCDEF
```

2.7.5.3 További műveletek

Az értéktömbbel további műveleteket tagfüggvények és külső függvények segítségével egyaránt végezhetünk:

Műveletek	***Rövid leírás***
m = va.sum()	a *va* értéktömb elemeinek összege (az *operator+=()* kell hozzá),
m = va.min()	a *va* értéktömb legkisebb elemértéke (az *operator<()* kell hozzá),
m = va.max()	a *va* értéktömb legnagyobb elemértéke (az *operator<()* kell hozzá),
va1 = va.shift(n)	egy olyan új értéktömböt ad vissza, amelyben a *va* elemei *n* pozícióval balra (a *0. elem irányába*) lépnek, és a kieső elemek helyére a típus alapértéke jön be; az *i.* elem új pozíciója *i-n*,
va1 = va.cshift(n)	egy olyan új értéktömböt ad vissza, amelyben a *va* elemei *n* pozícióval balra (a *0. elem irányába*) lépnek, és a bal oldalon kieső elemek a jobb oldalon jönnek be – körkörös léptetés; az *i.* elem új pozíciója *(i-n)%size()*,
va1 = va.apply(fuggveny)	egy olyan új értéktömböt ad vissza, amelyben a *va* elemeit a *fuggveny* funkcionál által visszadott érték helyettesíti; a függvény lehetséges prototípusai: *T fuggveny (T)* vagy *T fuggveny(**const** T&)*,
va1 = ⊛ va	*va1[index] = ⊛ va[index]* a *va* értéktömb minden elemére, ahol a ⊛ jel a +, - (előjelek), ~ és ! műveletek egyikét jelöli,
va.swap(vamasik)	a *va* értéktömb elemeinek felcserélése a *vamasik* elemeivel,
va3 = va1 ⊛ va2	*va3[index] = va1[index] ⊛ va2[index]* az azonos méretű *va1* és *va2* értéktömbök minden elemére, ahol a ⊛ jel a +, –, *, /, %, &, |, ^, <<, >>, &&, || műveletek egyikét jelöli,
va2 = va1 ⊛ adat *va2 = adat ⊛ va1*	*va2[index] = va1[index] ⊛ adat* a *va1* értéktömb minden elemére, ahol a ⊛ jel a +, –, *, /, %, &, |, ^, <<, >>, &&, || műveletek egyike,

Műveletek *(folytatás)*	***Rövid leírás***
vabool = va1 ⊛ va2	*vabool[index] = va1[index] ⊛ va2[index] a va1 és va2* azonos méretű értéktömbök minden elemére, ahol a ⊛ jel a ==, !=, <, <=, >, >= műveletek egyikét jelöli; a *vabool* pedig *valarray<bool>* típusú,
vabool = va1 ⊛ adat *vabool = adat ⊛ va1*	*vabool[index] = va1[index] ⊛ adat* a *va1* értéktömb minden elemére, ahol a ⊛ jel a ==, !=, <, <=, >, >= műveletek egyike,
va2 = ⊛(va1)	*va2[index] = ⊛(va1[index])* a *va1* értéktömb minden elemére, ahol a ⊛ jel az *abs*, *acos*, *asin*, *atan*, *cos*, *cosh*, *exp*, *log*, *log10*, *sqrt*, *sin*, *sinh*, *tan*, *tanh* függvények egyikének neve,
va3 = atan2(vay, vax)	*va3[index] = atan2(vay[index], vax[index])* az azonos méretű *vay* és *vax* értéktömbök minden (*y*, *x*) elempárjára meghatározza az inverz tangens (*y/x*) értékét,
va2 = atan2(vay, x) *va2 = atan2(y, vax)*	*va2[index] = atan2(vay[index], x)*, illetve *va2[index] = atan2(y, vax[index])* a *vay*, illetve a *vax* minden elemére,
va3 = pow(valap, vkitevo)	*va3[index] = pow(valap[index], vkitevo[index])* az azonos méretű *valap* és *vkitevo* értéktömbök minden elempárjára elvégzi a hatványszámítást,
va2 = pow(valap, kitevo) *va2 = pow(alap, vkitevo)*	*va2[index] = pow(valap[index], kitevo)*, illetve *va2[index] = pow(alap, vkitevo[index])* a *valap*, illetve a *vkitevo* minden elemére.

Az értéktömb műveleteit adott számú másodfokú egyenlet megoldását végző programmal mutatjuk be. Az egyenletek együtthatóit véletlenszerűen töltjük fel [-10, 10] közötti számokkal, ügyelve arra, hogy a négyzetes tag együtthatója ne legyen 0.

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

int main() {
  mt19937 rndMotor;
  rndMotor.seed(time(nullptr));
  uniform_int_distribution<int32_t> Random(-10,10);

  const int n = 10;
  valarray<double> a(n), b(n), c(n);
  for (int i=0; i<n; i++)   {
      while ((a[i] = Random(rndMotor))==0);
      b[i] = Random(rndMotor);
      c[i] = Random(rndMotor);
  };

  valarray<double> d(a.size()), x1(a.size()), x2(a.size());
  d = pow(b, 2.0) - 4.0 * a * c;
  valarray<bool> vanValosGyok = (d >= 0.0);
  x1 = (-b + sqrt(d)) / (2.0 * a);
  x2 = (-b - sqrt(d)) / (2.0 * a);

  cout << "masodfoku egyenlet           gyok1,     gyok2" << "\n";
  for (size_t i = 0; i < a.size(); ++i) {
    if (vanValosGyok[i]) {
            cout << a[i] << "x2 + " << b[i] << "x + " << c[i] << " = 0   \t";
            cout << setw(10) << x1[i] << "," << setw(10) << x2[i] << endl;
    }
  }
```

```
  valarray<bool> nincsValosGyok = !vanValosGyok;
  size_t nKomplexGyokok = 0;
  for (bool e : nincsValosGyok)
    nKomplexGyokok += e;
  cout << "\nValos gyok nelkuli egyeneletek szama: " << nKomplexGyokok << endl;
  return 0;
}
```

```
masodfoku egyenlet            gyok1,      gyok2
4x2 + 1x + -3 = 0              0.75,         -1
6x2 + -10x + 4 = 0                1,   0.666667
-5x2 + -3x + 8 = 0             -1.6,          1
-10x2 + 10x + 2 = 0       -0.17082,    1.17082
-1x2 + -4x + 3 = 0        -4.64575,   0.645751
-4x2 + 2x + 2 = 0              -0.5,          1
-4x2 + 9x + -5 = 0                1,       1.25

Valos gyok nelkuli egyeneletek szama: 3
```

Azoknál a műveleteknél, ahol az értéktömb mellett skalár is szerepel, fontos, hogy a skalár adattípusa megegyezzék az értéktömb elemeinek típusával. A fenti program nem fordul le, ha például a következő utasítást használjuk a diszkrimináns kiszámítására:

```
d = pow(b, 2) - 4 * a * c;
```

A javítás legyegyszerűbb módja, ha az egész konstansokat **double** típusúakkal helyettesítjük:

```
d = pow(b, 2.0) - 4.0 * a * c;
```

Egy másik megoldáshoz jutunk típuselőírások alkalmazásával:

```
d = pow<double>(b, 2) - double(4) * a * c;
```

A példaprogrammal kapcsolatos másik kérdés, hogy mi történik a számítások során azokkal az egyenletekkel, amelyeknek nincs valós gyöke? A C++11 a valós értékekekre átvette az IEEE 754 szabványból a *NAN* (nem szám) és a végtelen értelmezését, így a komplex gyökök helyett *NAN* értékek jelennek meg az *x1* és *x2* értéktömbökben.

2.7.5.4 Mátrixműveletek

A már bemutatott kijelölő megoldások közül a ***slice*** (szelet) osztály segítségével az értéktömb elemeit, mint egy mátrix sorait, illetve oszlopait érhetjük el. A ***gslice*** (általánosított *slice*) osztály segítségével pedig többdimenziós tömböt, illetve annak szeleteit kezelhetjük. Mindkét osztály objektumait az értéktömb indexeként kell megadnunk. Minkét kijelölő osztállyal példákon keresztül folytatjuk az ismerkedést.

*Az első példában a **slice** segítségével különválasztjuk az értéktömb páros, illetve páratlan indexű pozícióban álló elemeit:*

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

int main() {
  valarray<int> etomb = {0, 1, 20, 3, 40, 5, 60, 7, 80, 9};
  int kezdoindex = 0;
  int meret = etomb.size()/2; // 5
  int lepes = 2;
  valarray<int> paros = etomb[slice(kezdoindex, meret, lepes)];
  valarray<int> paratlan = etomb[slice(kezdoindex+1, meret, lepes)];
  for (int e : etomb)
    cout << e << " " ;  cout << endl;
  cout << "paros indexu elemek:" << endl;
  for (int e : paros)
    cout << e << " " ;  cout << endl;
```

```
  cout << "paratlan indexu elemek:" << endl;
  for (int e : paratlan)
    cout << e << " " ;  cout << endl;
  return 0;
}
```

```
0 1 20 3 40 5 60 7 80 9
paros indexu elemek:
0 20 40 60 80
paratlan indexu elemek:
1 3 5 7 9
```

*Az következő példában értéktömbökben tárolt négyzetes mátrixokat szorzunk össze. A művelethez az első mátrix sorainak, illetve a második mátrix oszlopainak kijelölését a **slice** osztály segítségével végezzük.*

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

// Négyzetes mátrix alakú megjelenítés
template<class T>
void MatrixKiiras(const valarray<T>& a) {
  size_t n = size_t(sqrt(a.size()));
  for(size_t sor = 0; sor < n; sor++) {
    valarray<T> asora = a[ slice(n*sor, n, 1) ];
    for (const T& e : asora)
      cout << setw(4) << e;
    cout << endl;
  }
  cout << endl;
}
// Négyzetes mátrixok szorzása
template<class T>
valarray<T> MatrixSzozas(const valarray<T>& a, const valarray<T>& b, size_t n) {
  valarray<T> mszorzat(n * n);
  for(size_t i = 0; i < n; i++)
    for(size_t j = 0; j < n; j++) {
      valarray<T> asora    = a[ slice(n*i, n, 1) ]; // az i. sor kijelölése
      valarray<T> boszlopa = b[ slice(j, n, n) ];   // a j. oszlop kijelölése
      mszorzat[i * n + j] = (asora * boszlopa).sum();
  }
  return mszorzat;
}

int main() {
  valarray<int> a = { 1,  1,  3,
                      0, -2,  0,
                      3,  0,  1 };
  MatrixKiiras(a);
  valarray<int> b = { 1,  0, -2,
                      3,  2,  1,
                      0, -1,  3 };
  valarray<int> c(MatrixSzozas(a, b, 3));
  MatrixKiiras(b);
  MatrixKiiras(c);
}
```

```
   1    1    3
   0   -2    0
   3    0    1

   1    0   -2
   3    2    1
   0   -1    3

   4   -1    8
  -6   -4   -2
   3   -1   -3
```

A ***gslice*** használatához azonos méretű értéktömbökben kell megadni a hoszakat (*lengths*) és a lépéseket (*strides*). Az alábbi függvény szemlélteti a kijelölés menetét kételemű hosszak és lépések esetén. (Az elemszám növelésével a ciklusok számát kell növelni.)

```
void GSliceKiiras(const valarray<int> va, size_t start,
                  const valarray<size_t> lengths , const valarray<size_t> strides) {
  size_t index;
  for (int i=0; i<lengths[0]; i++) {
    for (int j=0; j<lengths[1]; j++) {
      index = start +  i*strides[0] + j*strides[1];
      cout << va[index] << " ";
    }
    cout << endl;
  }
}
```

*Az utolsó példában egy háromdimenziós tömb elemeit tároljuk értéktömbben. A 3x3 méretű mátrixok elemei egymás után helyezkednek el (0 és 9 kezdőpozíciókon). A **gslice** osztály segítségével kimásoljuk a mátrixok elemeit új értéktömbökbe, majd műveletek végzése után visszamásoljuk az eredeti értéktömbbe.*

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

// Négyzetes mátrix alakú megjelenítés
void MatrixKiiras(const valarray<int>& a) {
  size_t n = size_t(sqrt(a.size()));
  for(size_t sor = 0; sor < n; sor++) {
    valarray<int> asora = a[ slice(n*sor, n, 1) ];
    for (int e : asora)
      cout << setw(4) << e;
    cout << endl;
  }
  cout << endl;
}

void GSliceKiiras(const valarray<int> va, size_t start,
                  const valarray<size_t> lengths , const valarray<size_t> strides) {
  size_t index;
  for (int i=0; i<lengths[0]; i++) {
    for (int j=0; j<lengths[1]; j++) {
      index = start + i*strides[0] + j*strides[1];
      cout << va[index] << " ";
    }
    cout << endl;
  }
}
```

```
int main() {
  valarray<int>  va { 1, 0, 1,
                      2, 1, 2,
                      0, 3, 0,

                      1, 1, 2,
                      2, 2, 0,
                      0, 1, 3};

  valarray<size_t> hosszak{3,3};  // 3x3 mátrixok
  valarray<size_t> lepesek{3,1};
  valarray<int> velso(0,9), vmasodik(0,9);   // a kijelölt elemek tarolására

  velso = va[gslice(0,hosszak,lepesek)];     // első mátrix
  vmasodik = va[gslice(9,hosszak,lepesek)];  // második mátrix
  MatrixKiiras(velso);
  MatrixKiiras(vmasodik);

  velso *= 7;
  va[gslice(0,hosszak,lepesek)] = velso;
  MatrixKiiras(velso);
  vmasodik += 12;
  va[gslice(9,hosszak,lepesek)] = vmasodik;
  MatrixKiiras(vmasodik);

  GSliceKiiras(va, 0, hosszak, lepesek);
  cout << endl;
  GSliceKiiras(va, 9, hosszak, lepesek);
  return 0;
}
```

```
   1   0   1
   2   1   2
   0   3   0

   1   1   2
   2   2   0
   0   1   3

   7   0   7
  14   7  14
   0  21   0

  13  13  14
  14  14  12
  12  13  15

7 0 7
14 7 14
0 21 0

13 13 14
14 14 12
12 13 15
```

3. Utószó helyett

A C++ nyelv más programozási nyelvekhez hasonlóan fejlődik, átalakul. A C++14 szabványtól kezdve a nyelv bizonyos összetevőit hivatalosan elavultnak nyilváníthatják, majd azokat egy későbbi változatban akár ki is hagyhatják. Ezért fontos ismételten kihangsúlyoznunk, hogy könyvünk a C++11 nyelvi szabványra épül, bár néhány helyen C++14 megjegyzések is szerepelnek benne.

Természetesen az ismeretek nagy része C++98 nyelvi környezetben is haszonnal alkalmazható. A példaprogramok többségében a C++11 nyelvi struktúrákat C++98 megoldásokra kell cserélnünk. Példaként tekintsük az alábbi egyszerű, ***vector*** konténert használó programot!

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

int main() {
  vector<int> v = { 3, 1, 2, 3, 7 };
  for (auto vi=begin(v); vi<end(v); vi++) {
    *vi *= 3;
  }
  for (int e : v) {
    cout << e << " ";
  }
  cout << endl;
}
```

A C++98-as változatban kezdőértékadást két lépésben végezzük el, az **auto** helyett magunk adjuk meg a típust, a ***begin()*** és ***end()*** sablonok helyett tagfüggvényeket használunk, míg a tartományalapú **for** ciklust lecseréljük:

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

int main() {
  int v0[5] = { 3, 1, 2, 3, 7 };
  vector<int> v(v0, v0+5);
  for (vector<int>::iterator vi=v.begin(); vi<v.end(); vi++) {
    *vi *= 3;
  }
  for (int i =0; i< v.size(); i++) {
    cout << v[i] << " ";
  }
  cout << endl;
```

A könyvben a C++11 nyelv STL elemeinek csupán egy részét alkalmaztuk. A teljesség kedvéért tekintsük át az STL további, általunk nem tárgyalt lehetőségeit is, néhány jellemző függvényt, osztályt, sablont felsorakoztatva:

Kategória	***Jellemző elemek***	***Fejállomány***
fordítás idejű racionális aritmetika	*ratio<>*	<ratio>
fordítás idejű típus-információk	*is_copy_constructible<>*, *is_null_pointer<>*, *add_rvalue_reference<>*, *remove_volatile<>*	<type_traits>
helyi beállítások kezelése	*locale*, *use_facet<>*	<locale>

Kategória	***Jellemző elemek***	***Fejállomány***
I/O adatfolyamok	*istream*, *ostream*, *iostream*, *ifstream*, *ofstream*, *fstream* *istringstream*, *ostringstream*, *stringstream*,	<iostream>, <iomanip> <fstream> <sstream>
időkezelés	*system_clock*, *steady_clock*, *high_resolution_clock*, *duration<>*, *duration_cast<>()*, *time_point<>*	<chrono>
kivételek	*exception*, *rethrow_exception()*, *terminate()*	<exception>
komplex számok	*complex<float>*, *complex<double>*, *complex<long double>*	<complex>
numerikus típusok határai	*numeric_limits<>*	<limits>
„okos” mutatók	*unique_ptr<>*, *shared_ptr<>*, *weak_ptr<>*	<memory>
párhuzamos feladat-végrehajtás	*thread*, *mutex*, *lock_guard<>*, *unique_lock<>*, *future*, *atomic<>*, *condition_variable*	<thread>, <mutex>, <future>, <atomic>, <condition_variable>
reguláris kifejezések	*regex*, *regex_match()*, *regex_search()*, *regex_replace()*, *match_results<>*, *sub_match<>*, *regex_iterator<>*,	<regex>
véletlen számok	*default_random_engine*, *shuffle_order_engine<>*, *normal_distribution<>*, *uniform_int_distribution<>*	<random>

Teljesen jogosan vetődik fel a kérdés, hogy mennyire lesz hatékony a C++ programunk, ha STL konténereket és algoritmusokat használunk. Akárcsak magát a C++ nyelvet, az STL lehetőségeit is többféle módon lehet felhasználni. Amennyiben egy feladat megoldása során a legmegfelelőbb elemeket alkalmazzuk, hatékony kódhoz juthatunk.

Néhány további szempont annak eldöntéséhez, hogy az STL megoldásiból építkezünk, vagy mindent saját magunk programozunk:

- Az STL első változatát az 1980-as években fejlesztették ki, azóta több javításon, optimalizáláson és bővítésen van túl.
- Az STL elemeit használva a programunk olvashatóbb lesz, és a fejlesztés során a konkrét feladatra koncentrálhatunk.
- Mivel az STL osztály- és függvénysablonokból áll, ugyanazokat a megoldásokat változtatás nélkül alkalmazhatjuk több típus esetén.
- A szabványos algoritmusok hagyományos tömbök esetén is felhasználhatók, így akár a konténerek nélkül is kezdhetjük az ismerkedést az STL könyvtárral.
- … (*a folytatást az Olvasóra bízzuk*)