Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar

Alkalmazott modul: Programozás

6. előadás

Strukturált programozás: újrafelhasználható adattípusok

Giachetta Roberto
groberto@inf.elte.hu
http://people.inf.elte.hu/groberto

Adattípusok megvalósítása
Újrafelhasználhatóság

- Az adattípusok megvalósításának célja, hogy az összetett szerkezetű adatok is jól, könnyen kezelhetővé váljanak
  - amennyiben csak egy programon használnánk az új adattípust, akkor nem feltétlenül térülne meg a befektetett energia, ezért arra kell törekednünk, hogy az így létrehozott típusok *újrafelhasználható*ak legyenek
- Az újfelhasználhatóságot a C++ számos eszközzel támogatja:
  - egységbe zárás, láthatóság kezelés
  - fordítási egységek használata
  - konstansok kezelése (const correctness)
  - sablonok használata

Egységbe zárás
Az egységbe zárás fogalma

- Lehetőségünk van a rekord belsejében is megadni alprogramokat a mezők mellett, amelyek közvetlenül a rekord típusú változóhoz fognak kötődni
  - amikor változót deklarálunk a típusból, az alprogramok automatikusan értelmezésre kerülnek rajta
  - az alprogramok közvetlenül hozzáférnek a rekord mezőihez, nem kell paraméterben átadnunk a rekordot
- A típus műveleteinek beágyazását a típusba nevezzük *egységbe zárás*nak (*enkapszuláció*nak)
  - a beágyazott alprogramokat *metódus*oknak nevezzük
  - ezek a szűkebb értelemben vett típusműveletek

Egységbe zárás
Metódusok használata

- A metódusokat csak változón keresztül érhetjük el, ezért mindig kell legyen egy példány a típusból, ekkor `<változónév>.<metódusnév>(<paraméterek>)` formában meghívhatjuk az alprogramot
- A metódusok deklarációja megegyezik a megszokott alprogram deklarációval, csak a rekord belsejében végezzük:

```
struct <rekordnév> {
    <típus> <név>(<paraméterek>){
        <törzs>
    }
};
```

- Tulajdonképpen a konstruktor is egy metódus

Egységbe zárás
Példa

Feladat: Valósítsuk meg az egyetemi hallgató típusát. A hallgatónak van neve, illetve azonosítója, és rendelkezik valamennyi pénzmennyiséggel, amelyet növelhet ösztöndíjjal, illetve csökkenthet költekezéssel.

- elkészítjük a hallgató típusát (`Student`), amely rendelkezik három mezővel (`name`, `id`, `money`)
- létrehozunk egy konstruktort, amely paraméterben kapja a hallgató nevét és azonosítóját, a kezdeti pénzmennyiség 0
- létrehozunk két metódust az ösztöndíj utalásra (`grantScholarship`), illetve a költésre (`spendMoney`), természetesen költeni csak akkor tud, ha van pénze (egyébként csak annyit költhet, amennyi pénze van)

Egységbe zárás
Példa

Tervezés:

- $Student = \left(string(name) \times string(id) \times int\ (money), \{spendMoney, grantScolarship\}\right)$, ahol

$spendMoney: Student \times int \to Student,$
$spendMoney(s, amount) = (s.name, s.id, s.money - amound)$

$grantScolarship: Student \times in \to Student,$
$grantScolarship(s, amount) = (s.name, s.id, s.money + amound)$,

Egységbe zárás
Példa

Megoldás:

```
struct Student { // hallgató típusa
   string name; // név
   string id; // azonosító
   int money; // pénz

   Student(string i, string n){
      // konstruktor, amely megkapja az azonosítót
      // és a nevet
      id = i;
      name = n;
      money = 0; // a pénzt kinullázzuk
   }
```


Egységbe zárás
Példa

Megoldás:

```
   void grantScholarship(int amount){
      // ösztöndíj utalás
      if (amount > 0) money += amount;
         // ellenőrizzük, hogy az érték
         // megfelelő-e
   }
   void spendMoney(int amount){ // pénzköltés
      if (amount > 0)
         money =
            money > amount ? money - amount : 0;
         // 0 alá nem csökkenhet az összeg
   }
};
```


Egységbe zárás
Példa

Megoldás:

```
int main()
{
    Student h("ABCDEF", "Huba Hugó");
    h.grantScholarship(15000); // metódus hívás
    h.spendMoney(3600);
    h.spendMoney(2000);
    cout << h.name << " pénze: "
         << h.money << endl;
    return 0;
}
```


Egységbe zárás
Deklaráció és definíció szétválasztása

- Metódusok esetén is szeparálhatjuk a deklarációt a definíciótól, ekkor a rekordba csak a metódus szintaxisát írjuk, a törzsét később
  - a definíciónál meg kell jelölnünk, melyik típus metódusát adjuk meg a `::` (*scope*) operátor segítségével:

```
struct <típusnév>{
   …
   <típus> <metódusnév>(<paraméterek>);
};
…
<típus> <típusnév>::<metódusnév>(<param.>) {
   <metódustörzs>
}
```


Egységbe zárás
Példa

Feladat: Módosítsuk a hallgató típusát úgy, hogy leválasztjuk a metódusok törzsét a deklarációról.

Megoldás:

```
struct Student { // hallgató típusa
   string name; // név
   string id; // azonosító
   int money; // pénz

   Student(string i, string n); // konstruktor
   void grantScholarship(int amount);
      // ösztöndíj utalás
   void spendMoney(int amount); // pénzköltés
};
```


Egységbe zárás
Példa

Megoldás:

```
…
Student::Student(string i, string n) {
   // jelölnünk kell a típust
   id = i;
   name = n;
   money = 0; // a pénzt kinullázzuk
}
void Student::grantScholarship(int amount) {
   if (amount > 0)
      // ellenőrizzük, hogy az érték megfelelő-e
      money += amount;
}
…
```

Egységbe zárás
Operátorok metódusként

- Lehetőségünk van operátorainkat is metódusként megvalósítani, ekkor egy speciális szabály, hogy az operátor első paramétere az a típuspéldány lesz, amelybe beágyaztuk
  - így minden operátornak eggyel csökken a paraméterszáma, így pl. a + operátornak nulla és egy paraméteres változata lesz metódusként
  - bizonyos operátorok (értékadás, indexelés) csak metódusként, bizonyos operátorok (adatátvitel, egyes speciális értékadások) csak a típuson kívül adhatunk meg
  - a legtöbb operátort a típuson kívül szokás megadni

Egységbe zárás
Példa

Feladat: Módosítsuk a racionális szám típusát úgy, hogy az egyszerű operátorokat a típuson belül valósítjuk meg.

Megoldás:

```
struct Rational { // racionális szám típusa
   int numerator;
   int denominator;

   // konstruktorok:
   Rational();
   Rational(int);
   Rational(int, int);
```


Egységbe zárás
Példa

Megoldás:

```
   // operátor metódusok:
   Rational operator+(Rational);
   Rational operator+(int);
   Rational operator*(Rational);
   Rational operator*(int);
};

// további operátorok a típushoz:
Rational operator+(int e, Rational r);
Rational operator*(int e, Rational r);
istream& operator>>(istream& s, Rational &r);
ostream& operator<<(ostream &s, Rational r);
…
```


Láthatóság kezelés
Adatok elrejtése

- Típusoknál nem mindig célszerű, hogy külsőleg minden tag elérhető és változtatható legyen
  - egymástól függő, vagy korlátozott értékek rossz beállítása *inkonzisztens állapotba* hozhatja a példányt
  - pl. racionális szám esetén a nevező beállítása 0-ra
- A tagokat elrejthetjük a külvilág (többi programegység) elől a *láthatóság szabályozásával*
  - az elrejtendő tagokat `private:` kulcsszó mögé tesszük, ezek csak a típuson belül lesznek láthatóak
  - a mindenki számára elérhető tagokat a `public:` kulcsszó mögé tesszük

Láthatóság kezelés
Láthatóság szabályozó kulcsszavak

- Rejtett tagok külső elérésekor fordítási hibát kapunk
- A láthatósági kulcsszavak használata nem kötelező, ha nem tesszük meg, `struct` esetében alapértelmezetten minden látható lesz
- A kulcsszavakat elég csak egyszer kiírnunk, az azután következő elemekre érvényesek lesznek:

```
struct <típusnév>{
   public:
      // publikus tagok felsorolása
   private:
      // rejtett tagok felsorolása
};
```


Láthatóság kezelés
Lekérdező/beállító műveletek

- Az elrejtett tagokat elnevezhetjük más módon (pl. _ jellel kezdve), így könnyen azonosíthatjuk őket
- Amennyiben külső hozzáférést szeretnénk biztosítani a rejtett mezőkhöz biztonságos módon, készíthetünk publikus *beállító* (*setter*), illetve *lekérdező* (*getter*) műveleteket
- Pl.:

```
struct MyType {
private:
   int _value; // rejtett érték
public:
   void setValue(int v) { … } // beállítás
   int getValue() { return _value; } // lekérdezés
};
```

Láthatóság kezelés
Példa

Feladat: Módosítsuk a racionális szám típusát úgy, hogy a mezőket elrejtjük a külvilágtól, és lekérdező, valamint beállító műveleteket hozunk létre.

Megoldás:

```
struct Rational {
private: // a mezők rejtettek
   int _numerator;
   int _denominator;

public: // a műveletek publikusak
   Rational();
   Rational(int);
   Rational(int, int);
```


Láthatóság kezelés
Példa

Megoldás:

```
   // lekérdező és beállító műveletek:
   void setNumerator(int value);
   void setDenominator(int value);
   int numerator();
   int denominator();
   …
};
// további operátorok a típushoz:
Rational operator+(int e, Rational r);
Rational operator*(int e, Rational r);
istream& operator>>(istream& s, Rational &r);
ostream& operator<<(ostream &s, Rational r);
…
```


Láthatóság kezelés
Példa

Megoldás:

```
Rational::Rational() {
   _numerator = 0;
   _denominator = 1;
}
…
void Rational::setDenominator(int value) {
   _denominator = value == 0 ? 1 : value;
  // speciális beállítás
}
…
int Rational::denominator() {
   return _denominator;
}
```


Láthatóság kezelés
Példa

Megoldás:

```
// külső értékmódosítási operátorok:
Rational operator+=(Rational& r1, Rational r2) {
   r1.setNumerator(r1.numerator() *
       r2.denominator() + r2.numerator() *
       r1.denominator());
   // a műveletet a lekérdező/beállító
   // műveleteken keresztül végezzük el
   r1.setDenominator(r1.denominator() *
       r2.denominator());
   return r1;
}
```


Láthatóság kezelés
Szabályok

- Általában a mezőket és a segédműveleteket elrejtjük, a metódusokat láthatóvá tesszük
- Ha a konstruktort elrejtjük, akkor nem lehet példányosítani a típust, azaz nem tudunk belőle változót létrehozni
  - néha hasznos, ha a típust direkt nem akarjuk példányosítani
- A típusok tekintetében a C++ két kategóriát különböztet meg
  - `struct`: alapértelmezetten minden látható
  - `class`: alapértelmezetten minden rejtett
- A konvenció szerint a `class` kulcsszót összetett, a `struct` kulcsszót egyszerű típusokra használjuk

Láthatóság kezelés
Típus kulcsszavak

- Pl.:

```
struct MyType {       // struct -> public:
     MyType();        // látható
     ~MyType();       // látható
     string func1();  // látható
public:
     int func2();     // látható
     strint value1;   // látható
private:
     int func3();     // rejtett
     int _value2;     // rejtett
     int _value3;     // rejtett
};
```

Láthatóság kezelés
Típus kulcsszavak

- Pl.:

```
class MyType {        // struct -> private:
     MyType();        // rejtett
     ~MyType();       // rejtett
     string func1();  // rejtett
public:
     int func2();     // látható
     strint value1;   // látható
private:
     int func3();     // rejtett
     int _value2;     // rejtett
     int _value3;     // rejtett
};
```


Láthatóság kezelés
Példa

Feladat: Módosítsuk a racionális szám típusát úgy, hogy egyszerűsítést is végrehajtunk az értékbeállítások után.

- ez lehet rejtett művelet, hiszen csak belülről használjuk
- egyúttal adjunk másik kulcsszavat is a típusnak

Megoldás:

```
class Rational {
private: // a mezők és a segédműveletek rejtettek
   …
   void simplify(int& a, int& b); // egyszerűsítés
   …
```


Láthatóság kezelés
Példa

Megoldás:

```
void Rational::simplify(int& a, int& b) {
    int c = a, d = b;
    // euklideszi algoritmus futtatása
    while (c != d)
    {
        if (c > d)
            c -= d;
        else
            d -= c;
    }
    a /= c;
    b /= d;
}
```


Láthatóság kezelés
Példa

Megoldás:

```
…
Rational::Rational(int num, int denom) {
    _numerator = num;
    _denominator = denom != 0 ? denom : 1;
    simplify(_numerator, _denominator);
}

void Rational::setNumerator(int value)
{
    _numerator = value;
    simplify(_numerator, _denominator);
}
…
```


Láthatóság kezelés
Barát műveletek

- Néha kényelmetlen, hogy a típushoz tartozó külső metódusok (pl. operátorok) nem láthatják a rejtett mezőket, holott igazából nem a külvilághoz tartoznak
- A típusban lehetőségünk van megadni *barát* (*friend*) műveletek halmazát, olyan külső műveleteket, amelyek láthatják a rejtett értékeket is
  - a műveletek szintaxisát a típusban kell leírni a `friend` kulcsszó mellett (ez nem számít deklarációnak, csak egy jelzésnek)
  - az azonos szintaxissal létrehozott külső műveletek láthatják a rejtett értékeket

Láthatóság kezelés
Barát műveletek

- Pl.:

```
struct MyType {
private:
   int _value; // rejtett érték

   friend void AddValue(MyType, int);
      // barát művelet jelzése
};
…
void AddValue(MyType m, int v){
   // barát művelet definíciója
   m._value += v;
   // módosíthatjuk a rejtett értéket
}
```

Láthatóság kezelés
Példa

Feladat: Módosítsuk a racionális szám típusát úgy, hogy a külső operátorok barát műveletek legyenek.

Megoldás:

```
class Rational {
   …

   // barát műveletek:
   friend Rational operator+(int e, Rational r);
   friend Rational operator*(int e, Rational r);
   friend istream& operator>>(istream& s,
                              Rational &r);
   …
```


Láthatóság kezelés
Példa

Megoldás:

```
// külső értékmódosítási operátorok:
Rational operator+=(Rational& r1, Rational r2) {
   r1._numerator = r1._numerator *
        r2._denominator + r2._numerator *
        r1._denominator;
      // a műveletet a rejtett mezőkön végezzük el
   r1._denominator = r1._denominator *
        r2._denominator;
   r1.simplify(r1._numerator, r1._denominator);
      // rejtett egyszerűsítés meghívása
   return r1;
}
…
```


Fordítási egységek
Fájlok C++-ban

- Nagy mennyiségű programkódnál a kódfájl áttekintetlen lesz, ekkor célszerű a kódot több fájlban elhelyezni
- A program fordítása során a *fordítóprogram* (*compiler*) feladata az egyes fájlok kódjának átalakítása gépi kódra, míg a *szerkesztőprogram* (*linker*) feladata ezen gépi kódok összeillesztése egy futtatható állománnyá
  - ezt kiegészítheti az *előfordító*, amely előzetes átalakításokat végez a kódon
- *Fordítási egység*nek nevezzük a nyelvnek az az egységét, ami a fordítóprogram egyszeri lefuttatásával, a program többi részétől elkülönülten lefordítható

Fordítási egységek
Fájlok C++-ban

- C++-ban a fordítási egységek két fájlból állnak:
  - a *fejlécfájl* (*header,* `.h`, `.hpp`) tartalmazza a típusok felületét, rekordok és alprogramok deklarációját
    - tartalmazhatja az alprogramok megvalósítását is, de ez nem kötelező
  - a *törzsfájl* (*source,* `.cpp`) tartalmazza az alprogramok definícióját, megvalósítását
- A beépített könyvtárak is ilyen fájlokból tevődnek össze, a programjaikban sokszor hivatkozunk fejlécfájlokra (pl.: `iostream`, `string`, `vector`, …), amelyekhez megfelelő törzsfájlok tartoztak (általában előre lefordítva)

Fordítási egységek
Programok fordítása

- Az előfordító bemásolja a törzsfájlokba a hivatkozott fejlécfájlok tartalmát
  - ehhez az `#include` direktívát használjuk, az `"..."`-ben hivatkozott fájlokat az aktuális könyvtárban, a `<...>`-ben hivatkozott fájlokat a központi könyvtárban keresi
  - a fejlécfájlokban lévő további hivatkozásokat is feldolgozza (ezért tilos körkörös hivatkozást adni)
- Az így előállított kódot a fordítóprogram fordítja le gépi kódra (`.o`, `.a`, vagy `.lib` kiterjesztésben)
- A szerkesztőprogram összeilleszti a különböző fájlokat, és elkészíti a futtatható állományt (`.exe`)

Fordítási egységek
Programok tördelése több fájlba

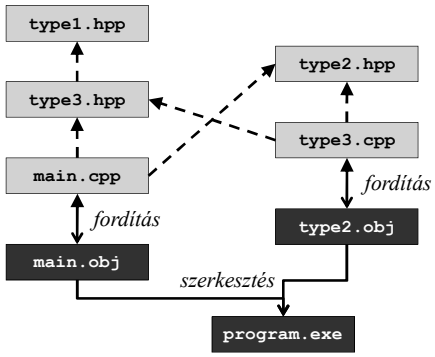
- Típusainkat, alprogramjainkat elhelyezhetjük külön fájlokban, a deklarációs részeket a fejlécfájlba, a megvalósítást a törzsfájlba tesszük
  - a két fájl nevének ajánlatos megegyeznie
  - a törzsfájlban megadjuk a hozzátartozó fejlécfájl hivatkozását
  - további fájlhivatkozásokat a megszokott módon tesszük, de a fejlécfájlban megadott hivatkozásokat nem kell megismételnünk a törzsfájlban
  - a fejlécfájlban biztonsági okokból nem adjuk meg a használt névtereket (pl. `std`), csak az egyes típusoknál hivatkozunk rájuk

Fordítási egységek
Programok tördelése több fájlba

- Mivel a teljes fejlécfájl kódja bekerül a törzsfájlunkba, ezért a törzsfájl tartalmát egy az egyben behelyezhetjük a fejlécfájlba
  - ugyanúgy elhelyezhetjük a típus megvalósítását a típus felületén belül, nem kell szétválasztanunk a kódot
  - ekkor a programkód nem külön objektumfájlba fordul, de ez a használatot nem befolyásolja
  - akkor érdemes alkalmazni, amikor a megvalósítási részt nem akarjuk szétválasztani, elrejteni a felülettől
- A főprogramunk (`main` függvény) fájlja (`main.cpp`) általában nem tartalmaz típusokat, alprogramokat, csak a hivatkozásokat a többi fájlra

Fordítási egységek
Programok tördelése több fájlba

- Pl.:



Fordítási egységek
Fejlécfájlok felépítése

- A fejlécfájlok használatánál figyelni kell arra, hogy a tartalma csak egyszer kerüljön felhasználásra, különben többszörös definíciók születnek (pl. egy típus kétszer is bekerül a programkódba)
- A fejlécfájl tartalmát ezért egy elágazásba kell helyeznünk, amely a fordítás számára jelöli, amennyiben már használatba került, ezt előfordítási direktívák segítségével érhetjük el
  - a `#define <név>` utasítással létrehozhatunk egy makrót, amely egy új elnevezés lesz a fordító számára
  - az `#ifndef <név>` … `#endif` elágazással készíthetünk egy kódsorozatot, amelyet csak akkor vesz figyelembe a fordító, amennyiben még nem definiált a makró

Fordítási egységek
Fejlécfájlok felépítése

- Ennek megfelelően a fejlécfájlt a következő keretbe építjük:

```
#ifndef <név>
#define <név>

… // a fejlécfájl tartalma

#endif
```

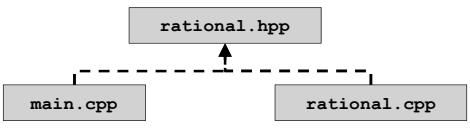
- A név általában megegyezik a fájl nevével, de egyébként bármi lehet (konvenció szerint csupa nagy betűvel írjuk)
- A törzsfájlok tartalma is bekerülhet többszörösen a programkódba (szerkesztéskor), de megfelelő használattal ez elkerülhető

Fordítási egységek
Példa

Feladat: Valósítsuk meg a racionális szám típusát külön fordítási egységben.

- létrehozzuk a `rational.hpp` fejlécfájlt, valamint a `rational.cpp` forrásfájlt, ezekbe helyezzük a típust, a főprogram egy külön törzsfájlba (`main.cpp`) kerül

Tervezés:



Fordítási egységek
Példa

Megoldás (`rational.hpp`):

```
#ifndef RATIONAL_HPP
   // védelem a többszörös behelyezés ellen
#define RATIONAL_HPP

#include <iostream>
// nincs névtér használat megadva

class Rational { … } // racionális szám típusa

// további operátorok a típushoz:
Rational operator+(int e, Rational r);
…
#endif // RATIONAL_HPP
```

Fordítási egységek
Példa

Megoldás (`rational.cpp`):

```
#include "rational.hpp"
   // szükséges a fejlécfájl használata
using namespace std;
   // itt adjuk meg a névtér használatot

void Rational::simplify(int& a, int& b){ … }
…
int operator*=(int& e, Rational r) { … }
```


Fordítási egységek
Példa

Megoldás (`main.cpp`):

```
#include <iostream>
#include "rational.hpp"
   // a racionális típus használata
using namespace std;

// főprogram:
int main()
{
    Rational t[5];
    …
}
```


Konstansok kezelése
Konstansok

- A programjainkban sokszor használunk *konstans*okat, amelyek lehetnek név nélküli, vagy elnevezett konstansok
  - elnevezett konstansokat a `const` kulcsszóval tudunk létrehozni, ekkor a névhez rögzített értéket rendelhetünk, pl.: `const double pi = 3.14159265358979323846;`
  - lehetőségünk van konstansokat változónak, illetve változóértéket konstansnak értékül adni, pl.:

```
int u; u = 5; // u változó, kezdetben 5 értékkel
const int v = u;
   // v egy elnevezett konstans, amely megkapja
   // u értékét, azaz 5-t
int w = v; // w már változó
w++; // így módosíthatjuk az értékét
```


Konstansok kezelése
Konstansok

- Konstansokat alprogramoknál a paraméterátadásban, vagy a visszatérési értékben is használhatunk
  - konstans paraméter esetén nem módosíthatjuk a paraméterben kapott értéket
  - konstans visszatérési érték esetén az érték nem módosítható
  - pl.:

```
const int SomeFunction(const float param){ … }
```

- Természetesen a saját típusainkból is létrehozhatunk konstansokat, pl.: `const MyType m;`
  - a konstruktor művelet beállítja a kezdőértékeket, de ezt követően nem módosíthatunk semmin

Konstansok kezelése
Konstans referenciák

- Nem csupán egyszerű konstansokat, de *konstans referenciák*at (álneveket) is létrehozhatunk
  - pl.:

```
MyType m; // változó
const MyType& n = m; // konstans referencia
```

  - ekkor nem jön létre új érték, de nem módosíthatunk az értékeken a későbbiek során a referencián keresztül (a változón keresztül igen)
  - ha paraméterátadásban használjuk, akkor elérjük, hogy csak bemenő irányú legyen a paraméter, ugyanakkor ne másolódjon a memóriában, ami *hatékony és biztonságos programműködés*t tesz lehetővé

Konstansok kezelése
Konstans metódusok

- Amennyiben egy típuspéldányt konstansként (vagy konstans referenciaként) hozunk létre, csak olyan metódusai hívhatóak, amelyek nem módosítják az objektum mezőit, ezeket nevezzük *konstans metódusok*nak
  - konstans metódusban nem módosíthatóak a mezők (ez fordítási időben ellenőrzésre kerül)
  - a kódban a `const` kulcsszóval jelöljük a metódust:

```
class <típusnév> {
   <típus> <metódusnév>(<paraméterek>) const {
      <nem módosító műveletek>
   }
   …
};
```

Konstansok kezelése

Konstans metódusok

```
class MyType {
  private:
     int _value;
  public:
     int getValue() const { // konstans művelet
        return _value;
     } // nem módosít semmilyen értéket
      void setValue(int v) { _value = v; }
};

…
const MyType mt; // konstans objektum
cout << mt.getValue(); // ez megengedett
mt.setValue(10); // erre fordítási hibát kapunk
```


Konstansok kezelése

Példa

Feladat: Módosítsuk a racionális szám típusát, hogy konstans értékekkel is jól, hatékonyan dolgozzon.

- a lekérdező műveleteket, operátorokat konstans műveletnek jelöljük
- paraméterátadáskor az érték szerinti másolás helyett konstans referenciát használunk

Megoldás (`rational.hpp`):

```
class Rational {
   …
   void simplify(int& a, int& b) const;
      // egyszerűsítés, lehet konstans művelet
   …
```


Konstansok kezelése

Példa

Megoldás (`rational.hpp`):

```
   // lekérdező és beállító műveletek:
   void setNumerator(int value);
   void setDenominator(int value);
   int numerator() const;
      // a lekérdezések konstans műveletek
   int denominator() const;

   // operátor metódusok:
   Rational operator+(const Rational&) const;
      // az operátorok is konstans műveletek
   Rational operator+(int) const;
   …
```


Konstansok kezelése

Példa

Megoldás (`rational.hpp`):

```
// további operátorok a típushoz:
Rational operator+(int e, const Rational& r);
Rational operator*(int e, const Rational& r);
std::istream& operator>>(std::istream& s,
                         Rational &r);
std::ostream& operator<<(std::ostream &s,
                         const Rational& r);
…
```