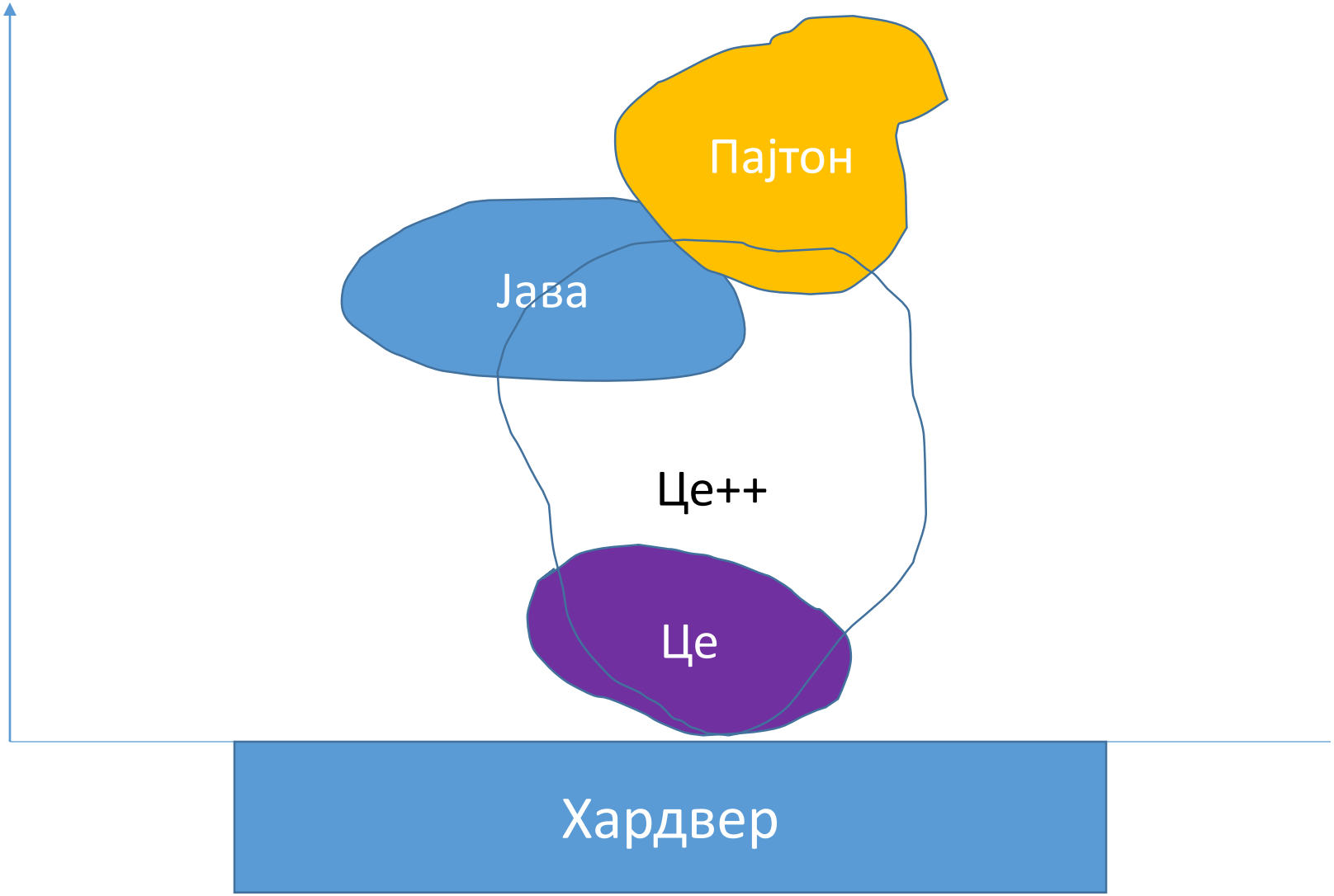
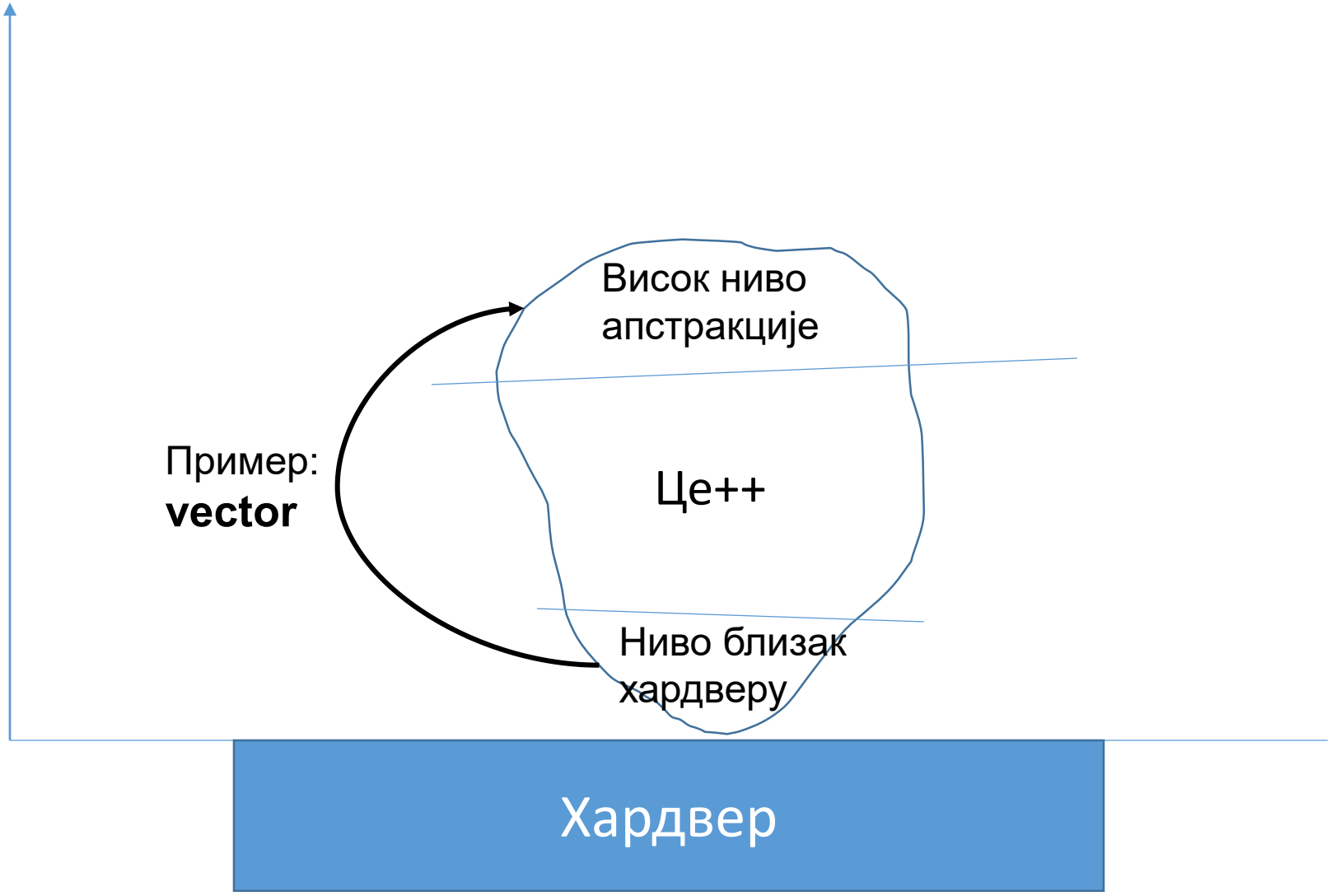
Показивачи, низови и вектор

Релативни ниво апстракције Це++-а



Релативни ниво апстракције Це++-а



Највиши ниво – Це++	Међуниво – Це++	Најнижи ниво - Асм

`int g, a, b;`
`g = a + b;`
		`mov  eax,dword ptr [a]`
		`add  eax,dword ptr [b]`
		`mov  dword ptr [g],eax`

`MyCmpx g, a, b;`
`g = a + b;`
	`struct MyCmpx`
	`{`
	`  int r;`
	`  int i;`
	`};`
	
	`MyCmpx operator+(`
	`  const MyCmpx& x,`
	`  const MyCmpx& y)`
	`{`
	`  return MyCmpx`
	`  { x.r + y.r,`
	`  x.i + y.i };`
	`}`
		`mov  edx,dword ptr [b (0D5337Ch)]`
		`mov  eax,dword ptr ds:[00D53380h]`
		`add  edx,dword ptr [a (0D53384h)]`
		`add  eax,dword ptr ds:[0D53388h]`
		`mov  dword ptr [g (0D5338Ch)],edx`
		`mov  dword ptr ds:[00D53390h],eax`

Вектор

- Вектор је тип података која може да садржи више других типова података. Такви типови се зову контејнери.
- Вектор је најкориснији (најупотребљаванији) контејнер
  - Једноставан је
  - Компактно складишти елементе
  - Приступ елементима је брз
  - Може се проширити да садржи произвољан број елемената
  - Омогућава и проверу индекса при приступу
- Вектор је подразумевани контејнер
  - Ако вам треба контејнер – користите вектор... осим у случајевима када имате јасан разлог због ког бисте користили неки други контејнер.

Изградња вектора од доле

- На нивоу хардвера, барата се појмовима као што су меморија и адресе.
  - Ниског нивоа
  - Нетипизирано
  - Парчад меморије фиксне величине
  - Никакве провере
  - Али зато најбрже могуће
- На вишем нивоу апстракције треба нам нешто као вектор.
  - Операције високог нивоа
  - Типизирано
  - Величина може да се мења
  - Провера опсега током извршавања програма
  - И даље врло (довољно) брзо

Изградња вектора од доле

- На ниским нивоима, близу хардвера, живот је једноставан... и бруталан.
  - Све морате програмирати сами
  - Нема провере типова да вам помогне
  - Грешке током извршавања се откривају тако што добијете неисправне резултате или се програм „слеши“.
- Тежимо да се дигнемо у више нивое апстракције што пре можемо. На ниске нивое скачемо само када морамо.
  - То повећава продуктивност и поузданост
  - Људима је читљивије, тј. разумљивије
- У наредних неколико предавања показаћемо како се то ради.
  - У супротном, морали бисмо да верујемо у магију.
  - Технике које се користе у изградњи вектора су управо технике које су основа за сав рад са структурама података на високом нивоу апстракције.

Животни век (трајност) променљиве

- Свакој променљивој требају ресурси.
- Ресурси морају бити придружени променљивој докле год је она жива, тј. током њеног животног века.
- Три питања: а) колико ресурса?, б) **<u>када их треба заузети?</u>** (када почиње животни век променљиве), в) **<u>када се могу ослободити?</u>** (када се завршава животни век).
- Одговор на а) може бити сложен у општем случају, али је суштински одређен типом променљиве.*
- Ограничење за б) је: не касније од места <u>прве</u> употребе променљиве, а не раније од почетка програма
- Ограничење за в) је: не раније од места <u>последње</u> употребе променљиве, а не касније од краја програма

*Типове можемо сврстати у две групе: типови код којих се потреба за ресурсима мења током животног века и они код којих је непроменљива. Ради једноставности, претпоставимо другу групу, јер нам је то сасвим довољно за разумевање одговора на друга два питања, а то нам је сада приоритет.

Животни век (трајност) променљиве

- Један конкретан одговор:
  - б) Живот променљиве почиње одмах на почетку програма
  - в) Завршава се на самом крају програма
- Дакле, ресурси променљивој морају бити придружени током трајања целог програма.
- Овако се третирају све глобалне променљиве, локалне декларисане са **static** и променљиве чланови класе (атрибути) декларисане са **static**. (Овакве променљиве се називају „променљиве **статичке трајности**“).

```
int x;

void foo() {
  ...
  static int y;
  ...
}

class Klasa {
  ...
  static int z;
  ...
};
```

Често ћете чути да се каже „глобалне променљиве“, а заправо се мисли на променљиве статичке трајности. То је непрезино, али разумљиво, јер највећи број променљивих статичке трајности су глобалне променљиве.

Животни век (трајност) променљиве

- Други конкретан одговор: нека компајлер сам (аутоматски) одреди када почиње животни век и када се завршава.
- Одговорност се пребацује на компајлер, а он то одређује током превођења. Такође се труди да то све оптимизује.*
- Овако се третирају све локалне променљиве („променљиве **аутоматске трајности**“).
- Међутим, компајлер се ослања на једну **претпоставку**: Животни век променљиве сигурно није шири од њеног **досега**.

```
void foo() {
  ...
  int x;
  ...
  x = 5;
  ...
  y = x + 3;
  ...
}
```

```
void foo() {
  ...
  {
    int x;
    ... // нека употреба x
  }
  ... // претпоставка да је x мртво
}
```

```
void foo() {
  int* p;
  {
    int x;
    ...
    p = &x;
  }
  y = *p; // ???
}
```

*У наредном предмету ћемо учити како компајлер то ради.

Заузимање и ослобађање ресурса

- Када размишљамо о заузимању и ослобађању ресурса придружених променљивама статичке и аутоматске трајности, не треба да замишљамо неки озбиљан процес који се обавља током извршавања. Код већине типова, све је припремљено у напред, током превођења.
- За сваку променљиву се зна (компајлер одлучи) које ресурсе користи и онда за сваки приступ тој променљивој се генеришу одговарајуће инструкције који раде управо са тим ресурсима (а не са неким другим).
- Да би се ово могло обавити током превођења, компајлер мора знати колико је ресурса потребно.

```
int x;
...
x = 5;
...
y = x + 3;
...
```

```
...
r3 <- 5
...
r4 <- r3 + 3
...
```

```
...
mem[_x] <- 5
...
r4 <- mem[_x] + 3
...
```

```
...
mem[_x] <- 5
...
r2 <- mem[_x]
r4 <- r2 + 3
...
```

- Важно је да се ресурси неке променљиве не користе у друге сврхе докле год је она жива, и компајлер се стара о томе.

```
...
r3 <- 5
...
r3 <- 3
...
r4 <- r3 + 3
...
```

Шта нам Це++ нуди на најнижем нивоу?

- Низови елемената

```
char ac[7];
int max = 100;
int ai[max];

int f(int n)
{
  char lc[20];
  int li[60];
  double lx[n]; //грешка: величина низа мора бити позната током превођења

      // …
}
```

Својства низа – непроменљиве је величине

```
ifstream if;
int array[?];

{
 int i = 0;
 while (if)
 {
     int t;
     if >> t;
     array[i] = t; // овако се приступа појединачном елементу
     i += 1;
 }
}
```

Својства низа – не подржава доделу и поређење

```
{
 int a[300];
 int b[300];

 // ...

 if (a == b) ... // грешка у превођењу

 a = b; // грешка у превођењу

 // не подржава ни преношење по вредности
}
```

Својства низа – не зна своју величину

```
void f(int pi[], int n, char pc[])
 // исто што и void f(int* pi, int n, char* pc)
 // упозорење: врло опасан код
{
 int buf2[300];     // не можемо написати int buf2[n]
 if (300 < n) error("not enough space");
 for (int i = 0; i < n; ++i)
     buf2[i] = pi[i];    // да ли pi има довољну величину?
}
```

Иницијализација низа

```
int ai[] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6 };    // низ од 6 int-ова


int ai2[100] = { 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 };
  // осталих 90 елемената се поставља на  0

double ad3[100] = { }; // сви елементи се стављају на 0.0
```

Да ли низ задовољава наше потребе?

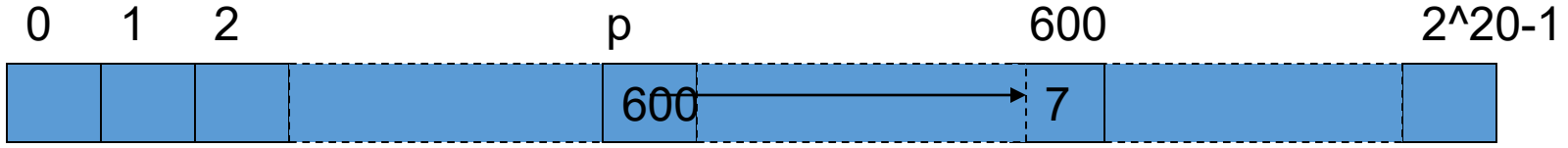
- Операције високог нивоа
- Типизирано
- Величина може да се мења
- Провера опсега током извршавања програма
- И даље врло брзо

Животни век (трајност) променљиве

- Трећи одговор: програмер сам одређује када ће променљива постати жива и када ће умрети.
- За такве променљиве се каже и да су **алоциране трајности**, због тога што се ресурси (сада је то искључиво меморија) за те променљиве алоцирају. (Убрзо ћемо видети да алокација, тј. заузимање меморије у овом случају није нешто што се обавља током превођења, већ током извршавања.)
- Заправо, назив „променљива“ и нећемо баш употребљавати за оно што ручно алоцирамо, већ ћемо то звати објектом. Објекат је, да се подсетимо, парче меморије у којем може бити вредност одређеног типа, а променљива је објекат са именом.
- Па ако нема име, како му се обраћамо?

Показивачи

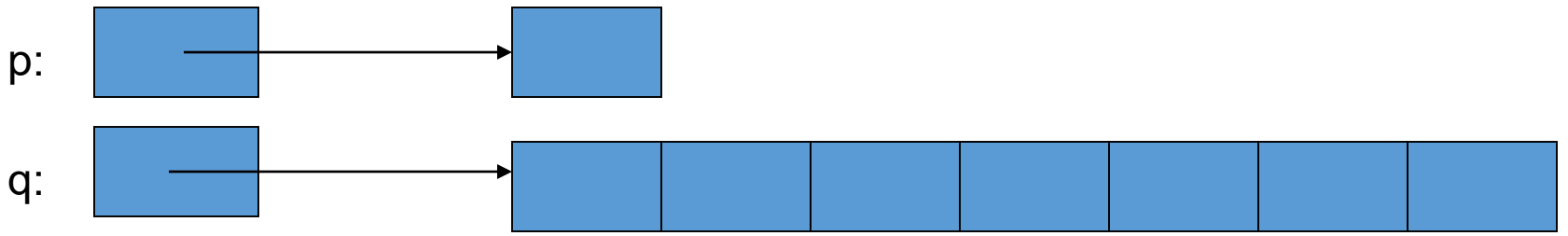
- Вредности показивача су адресе у меморији
  - У питању су целобројне вредности
  - Нпр. прва адреса у меморији је 0, следећа 1, итд.
  - Неки показивач **p** може садржати адресу неке мем. локације



- Показивач показује на објекат одређеног типа
  - Нпр. **double*** показује на **double**, не на, рецимо, **string**
- Тип показивача одређује како се меморија (објекат) на коју показује може користити
  - На исти начин на који тип променљиве одређује како се она може користити.

Показивачи и слободна меморија

- Програмер захтева заузимање (алоцирање) новог меморијског парчета у „слободној меморији“ (енгл. free store, heap) путем **new** оператора
  - Оператор **new** враћа адресу заузетог меморијског парчета
  - Та адреса се може сместити у показивач
  - Примери:
    - **int* p = new int;** **//** заузми меморију за један **int**
      // int* значи “показивач на **int**”
    - **int* q = new int[7]; //** заузми меморију за 7 **int**-ова
      // “низ од 7 **int**-ова”
    - **double* pd = new double[n]; //** овде се може користити и променљива
  - Показивач може садржати адресу само објеката одређеног типа
  - Показивач не зна колико таквих објеката се налази у низу



Заузимање меморије: пример

```
double* calc(int result_size, int max)
{
  double* p = new double[max];
  double* result = new double[result_size];
  double* t = new double(7.0);
  return result;
}

double* r = calc(200, 100);
```

- Ако не ослободимо заузету меморију, она ће бити ослобођена на крају програма.
- Међутим, то неки пут није довољно добро, и обично се зове цурење меморије.
- Програм који треба дуго да се извршава обично не може дозволити цурење меморије.

Заузимање меморије: пример

```
double* calc(int result_size, int max)
{
 int* p = new double[max];
 double* result = new double[result_size];
 double* t = new double(7.0);
 delete[] p;
 delete t;
 return result;
}

double* r = calc(200,100);
```

Заузимање меморије: пример

```
double* calc(int result_size, int max)
{
  int* p = new double[max];
  double* result = new double[result_size];
  double* t = new double(7.0);
  delete[] p;
  delete t;
  return result;
}

double* r = calc(200,100);

delete[] r;                    // лако се заборави
```

- Цурење меморије није добро или лоше, већ може бити неповољно у одређеним условима

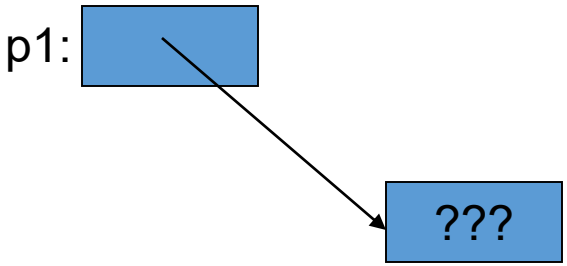
Парови оператора за заузимање меморије

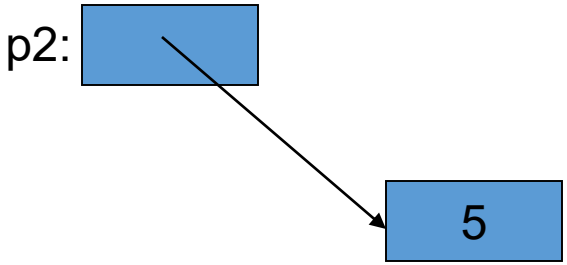
- Оператор **new** мора бити упарен са својим одговарајућим **delete**!

```
int* pin = new int[100];
delete[] pin;

int* pi = new int;
delete pi;
```

- Када се брише само један елемент, онда су током компајлирања доступни сви неопходни подаци: колико меморије (величина типа) и на којој адреси (вредност показивача).
- Када показивач показује на адресу низа елемената, онда количина меморије није позната, тј. недостаје информација о броју елемената.
- Та информација се складишти испод хаубе.
- Зато су **new** и **delete** за низове елемената посебна операција.

Приступ објектима преко показивача





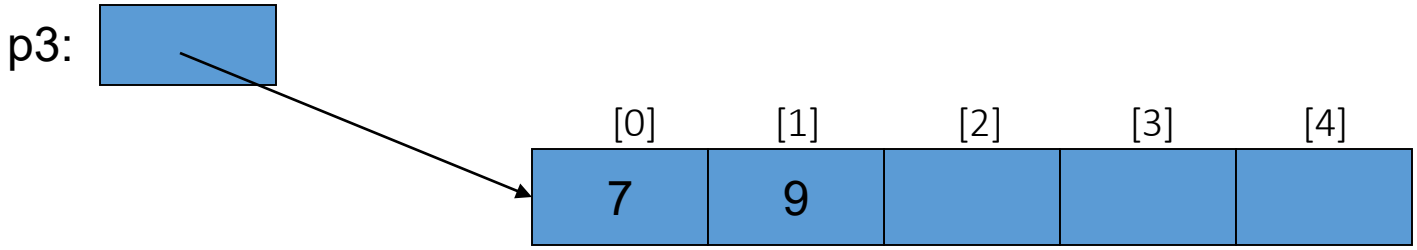
- Појединачни елементи

```
int* p1 = new int;
int* p2 = new int(5); // заузми меморију за int и иницијализуј на 5

int x = *p2;          // прочитај вредност на коју p2 показује
                      // у овом случају број 5
int y = *p1;          // чита недефинисану вредност
```

Вредности показивача

```
// Можете видети вредности показивача, али то вам је ретко када потребно
int* p1 = new int(7);
double* p2 = new double(7);
cout << "p1==" << p1 << " *p1==" << *p1 << "\n";  // p1==??? *p1==7
cout << "p2==" << p2 << " *p2==" << *p2 << "\n";  // p2==??? *p2==7
```

Приступ објектима преко показивача



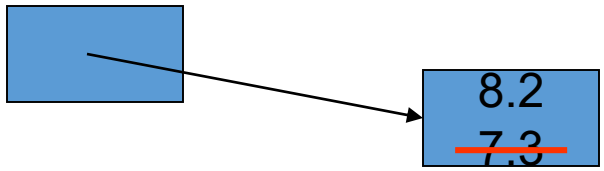
- Низови елемената

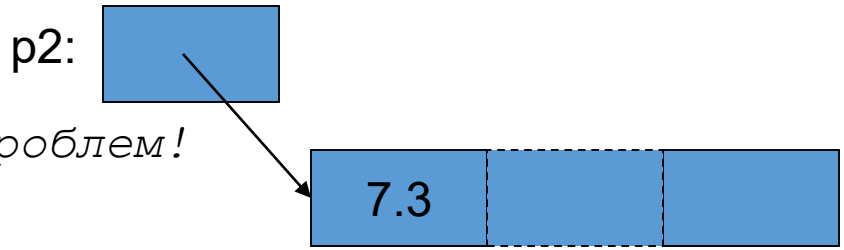
```
int* p3 = new int[5];

p3[0] = 7;          // упиши први елемент низа
p3[1] = 9;

int x2 = p3[1];

int x3 = *p3;       // *p3 значи p3[0]
```

Приступ објектима преко показивача

- Показивач не зна број елемената на које показује (само адресу првог елемента)

```
double* p1 = new double;
*p1 = 7.3;          // ok
p1[0] = 8.2;        // ok
p1[17] = 9.4;       // проблем!
p1[-4] = 2.4;       // проблем!

double* p2 = new double[100];
*p2 = 7.3;          // ok
p2[17] = 9.4;       // ok
p2[-4] = 2.4;       // и даље проблем!
p2[106] = 6.3;      // проблем!
```

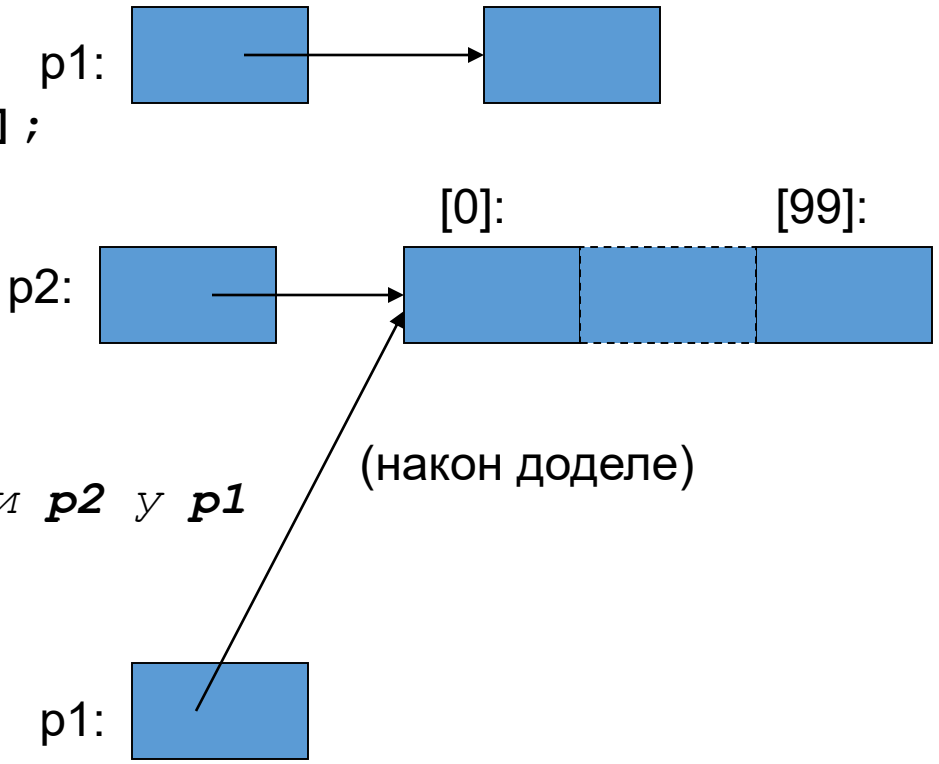




Приступ објектима преко показивача

- Показивач не зна број елемената на које показује (само адресу првог елемента)

```
double* p1 = new double;
double* p2 = new double[100];
```



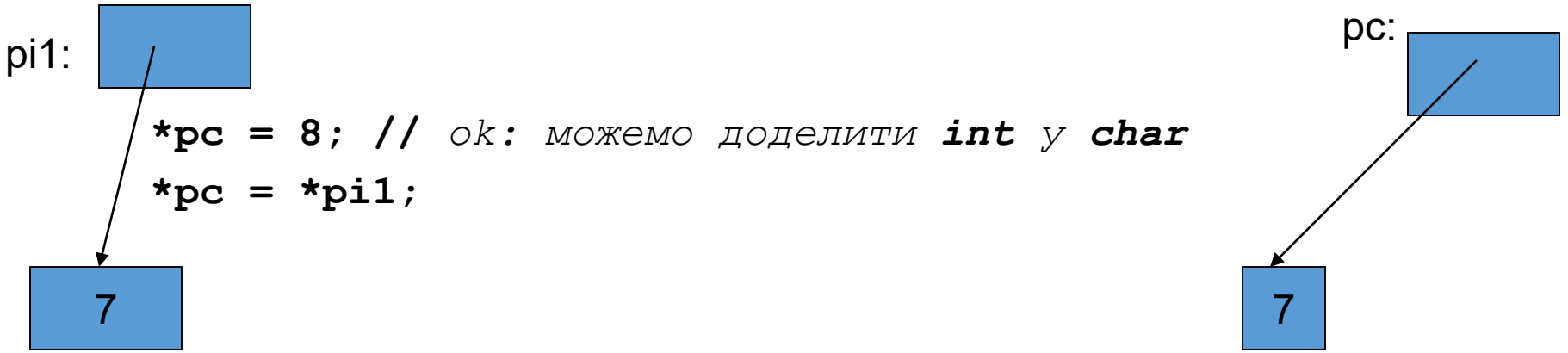

```
p1[17] = 9.4; // грешка

p1 = p2; // додела вредности p2 у p1

p1[17] = 9.4; // сада је у реду
```

Приступ објектима преко показивача

- Показивач зна тип објекта на који показује

```
int* pi1 = new int(7);
int* pi2 = pi1;   // ok
double* pd = pi1; // грешка: не може int* у double*
char* pc = pi1;   // грешка: не може int* у char*
```

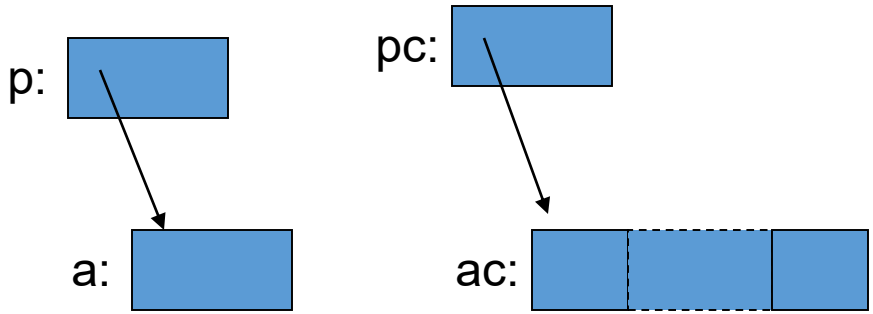
  - Не постоје имплицитне конверзије између два различита типа показивача
  - међутим, постоје имплицитне конверзије између типова на које показују:



Оператор „адреса“: &

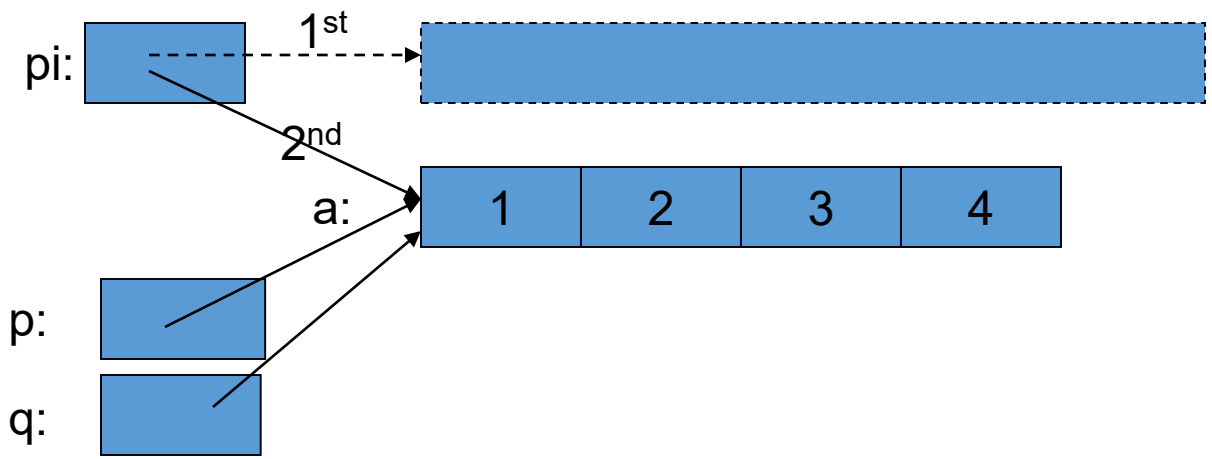
- Можемо добити адресу и променљивих
  - не само објеката алоцираних у слободној меморији

```
int a;
char ac[20];

void f(int n)
{
  int b;
  int* p = &b;
  p = &a;
  char* pc = ac;
  pc = &ac[0];// исто што и pc = ac
  pc = &ac[n];// показивач на n+1 елемент (елемент са индексом n)
              // упозорење: нема провере опсега
     // …
}
```



Низови се (врло често) конвертују у показиваче

```
void f(int pi[ ])   // исто што и void f(int* pi)
 {
 int a[ ] = { 1, 2, 3, 4 };
 int b[ ] = a; // грешка!
 b = pi;  // грешка! На име низа се може гледати
          // као на непроменљив показивач (показивачки литерал)
 pi = a;  // ОК, али не копира садржај:
          // pi сада показује a-ов први елемент

 int* p = a;
 int* q = pi;
}
```



Опрезно са показивачима и низовима

```
char* f()
{
  char ch[20];
  char* p = &ch[90];
  // …
  *p = 'a';           // шта ће ово преписати?
  char* q;
  *q = 'b';           // шта ће ово преписати?
  return &ch[10];     // ch ће нестати по повратку из f()
                      // (чувени „висећи показивач“)
}

void g()
{
  char* pp = f();
  // …
  *pp = 'c';     // шта ће ово преписати?
}
```

Што се уопште бакћемо са низовима?

- То је све што Це језик има од „контејнера“
  - Рецимо, нема вектора
  - Мноооого кода је написано у Цеу
    - Реда величине милијарди линија
  - Много Це++ кода је написани у Це стилу
    - Реда величине 100 милиона линија
  - Пре или касније ћете наићи на код који користи низове
- Представљају примитивну меморију у Це++ програмима
  - **Потребни су нам** (обично приликом динамичког заузимања путем **new**) **да би имплементирали контејнере вишег нивоа**
- Али, не користите их ако баш не морате
  - Они су највећи извор багова у Це и Це++ програмима
  - Једни су од највећих узрока безбедносних пропуста (најчешће кроз прекорачење бафера, тј. заузете меморије)

Зашто се уопште бакћемо са заузимањем меморије?

- Да би користили променљиву као величину низа
- Да направимо објекте који ће живети дуже од досега у којима су направљени:
  - На пример:

```
double* make(int n)
{
   return new double[n];
}
```

Показивачи, низови и вектори

- Са показивачима и низовима директно додирујемо хардвер, уз минималну помоћ језика. У таквом режиму врло озбиљне грешке се могу направити, које се касније могу врло тешко открити и исправити.
  - Будите опрезни са овим и користите само када морате
- Вектор представља један начин којим се добија велика флексибилност и скоро потпуна ефикасност низова, уз много већу подршку језика (што се своди на мање багова и мање дебаговања)

Резиме заузимања меморије

- Заузимање коришћењем оператора **new**
  - **`int* pi = new int;`**
  - **`char* pc = new char('a');`**
  - **`double* pd = new double[10];`**
  - **New** баца **bad_alloc** изузетак уколико не може да заузме меморију
- Ослобађање коришћењем **delete** или **delete[ ]**
  - **`delete pi;`** `// ослобађа појединачни објекат`
  - **`delete pc;`** `// ослобађа појединачни објекат`
  - **`delete[] pd;`** `// ослобађа низ објеката`
  - Ослобађање нул показивача не ради ништа
    - **`char* p = nullptr;`**
    - **`delete p;`** `// безопасно`

Још мало о показивачима: void*

- **void*** значи
  „показивач на неки објекат чији тип се не зна”
- Помоћу **void*** се у одређеним случајевима превазилази статичка типизираност програмског језика. Када желимо да проследимо адресу неког објекта између делова кода који не знају одговарајуће типове – зато програмер мора знати.
  - Пример: аргументи колбек (callback) функције из FLTK
- Не постоје објекти (или променљиве) типа **void**
  - `void v;  // грешка`
  - `void f(); // f() не враћа ништа`
    `// није да враћа вредност типа void`
- Сваки показивач на објекат може бити додељен показивачу типа **void***
  - `int* pi = new int;`
  - `double* pd = new double[10];`
  - `void* pv1 = pi;`
  - `void* pv2 = pd;`

void*

- Да бисмо користили **void*** морамо рећи компајлеру на шта то показује

```
void f(void* pv)
{
  void* pv2 = pv;
  double* pd = pv;   // грешка! нема имплицитног конвертовања
  *pv = 7;           // грешка! не можемо дереференцирати void*

  pv[2] = 9;         // грешка! не може се индексирати void*
  pv++;        // грешка! не може се увећавати void*
  int* pi = static_cast<int*>(pv);   // ОК: експлицитна конверзија
  // …
}
```

void*

- Да се подсетимо демистификације примера са претходног предавања.

```
typedef void* Address;
// using Address = void*;
void Lines_window::cb_quit(Address, Address pw)
  // Позива Lines_window::quit() за објекат Прозор који се налази на адреси pw
{
  reference_to<Lines_window>(pw).quit();
}

void Lines_window::cb_quit(void*, void* pw)
  // Позива Lines_window::quit() за објекат Прозор који се налази на адреси pw
{
   static_cast<Lines_window&>(*pw).quit();
   // (Lines_window&)(*pw).quit();
   // static_cast<Lines_window*>(pw)->quit();
}
```

Животни век (трајност) променљиве

- Четврти одговор: програмер сам одређује када ће променљива постати жива, а рантајм окружење (сакупљач смећа) одређује када ће умрети.
- У Це++-у постоји подршка и за ово, али се ретко користи. (Зашто?)

- Пети одговор: променљива постаје жива при стварању нове нити, а умире при гашењу нити.
- Ово су променљиве нитске трајности, али се тиме нећемо бавити.