Strukture podataka
Letnji semestar 2015/2016

Lančane liste (Linked lists)

Prof. Dr Leonid Stoimenov
Katedra za računarstvo
Elektronski fakultet u Nišu

Lančane liste - Pregled

- Uvod
- Definicija
- Memorijska reprezentacija
- Operacije
- Tipovi listi

Uvod u lančane liste

- **Definicija liste:**
  - **Lista je kolekcija elemenata podataka kojima se pristupa redom polazeći od glave liste i završavajući sa repom liste**
  - **Veličina liste** je broj elemenata liste
  - **Linearna lista** ili **lista** je linearni skup elemenata podataka (objekata)
- Lista može biti sortirana ili nesortirana

Vrste lančanih listi

- Jednostruko spregnute ili jednosmerne
- Dvostruko spregnute ili dvosmerne

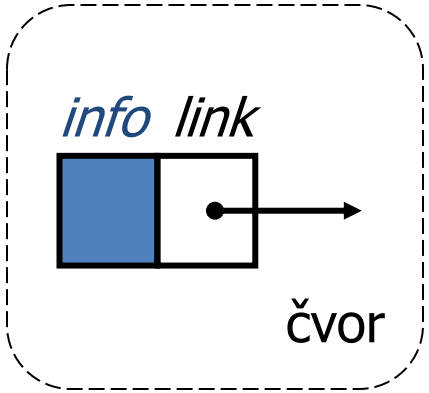
- Necirkularne
- Cirkularne

- Sa zaglavljem
- Bez zaglavlja

- Sortirane
- Nesortirane

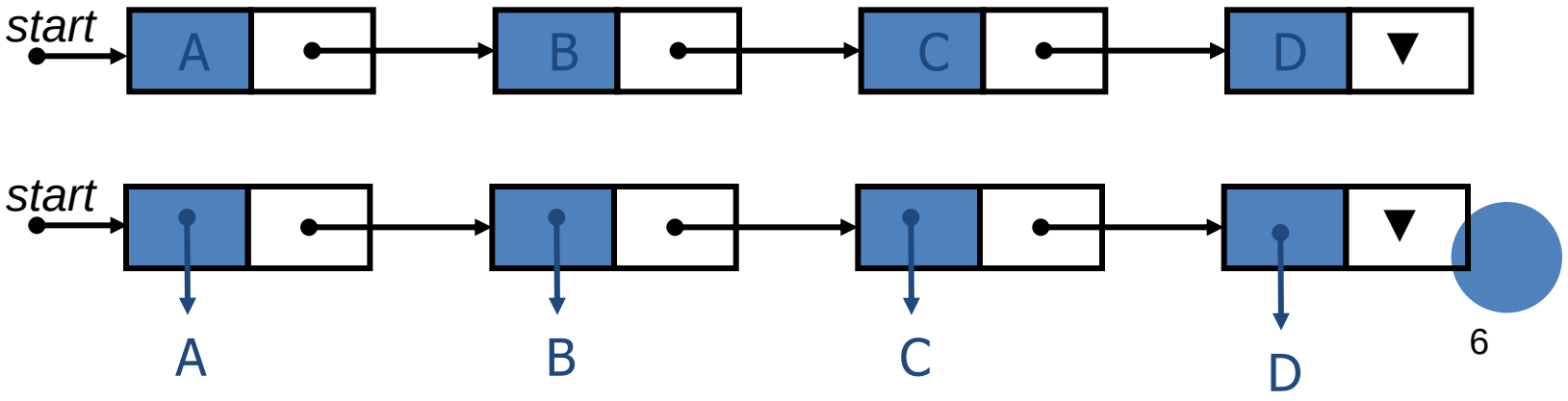
JEDNOSTRUKO SPREGNUTA LANČANA LISTA

- **Jednostruko spregnuta lančana lista** *(singly linked list)* je struktura podataka koja se sastoji od sekvence čvorova
- Svaki ***čvor*** sadrži dva polja:
  - ***info*** – pamti element liste ili adresu elementa liste
  - ***link*** – pamti adresu sledećeg čvora



Jednostruko spregnuta lančana lista

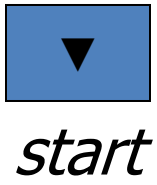
- **Jednostruko spregnuta lančana lista** *(singly linked list)* je struktura podataka koja se sastoji od sekvence čvorova
- Listi se pristupa preko eksternog pokazivača ***start*** koji ukazuje na **prvi element** liste
- Poslednji element liste sadrži u link polju specijalnu vrednost – ***null*** (▼) koja nije validna adresa



Prazna lista

- Lista koja nema elemenata se naziva ***prazna lista (empty list, null list)***
- Prazna lista ima

  start == null



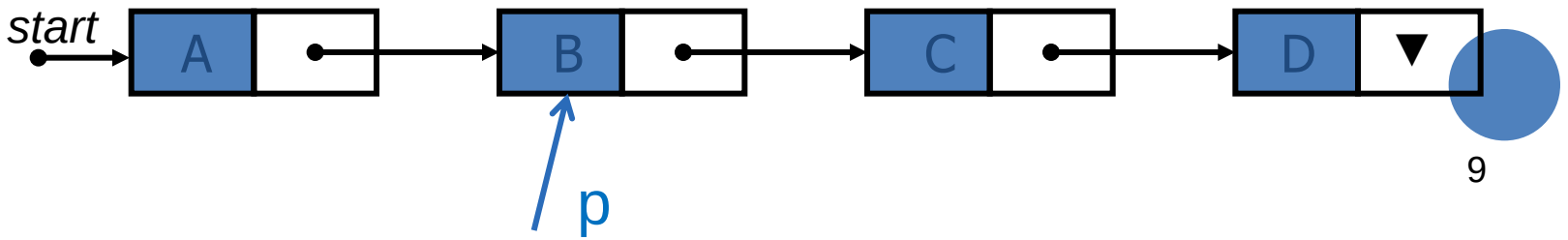
Prednosti i mane lančane liste

- Prednosti
  - Veličina liste nije fiksirana, već se dinamički menja
  - Efikasne operacije umetanja i brisanja, O(n), gde je n veličina liste
- Mane
  - Nemoguć direktni pristup elementima polja
- Upotreba
  - Za memorisanje promenljive količine podataka kojima se sekvencijalno pristupa
  - Za formiranje složenijih struktura – magacina, redova, dekova, tablica, stabala, grafova

Notacija koja će se koristiti

- *p* je pokazivač
- *node(p)* je čvor na koji ukazuje pokazivač *p*
- *info(p)* je *info* polje čvora *node(p)*
- *link(p)* je *link* polje čvora *node(p)*

- ako *link(p)≠0*, tada *info(link(p))* označava *info* polje čvora koji sledi čvor *node(p)* u listi



Operacije

- Obilazak liste
- Traženje elementa u listi

- Umetanje čvora u listu
- Brisanje čvora iz liste

- Brisanje liste
- Kopiranje liste
- Cepanje liste
- Spajanje (konkatenacija) listi

Obilazak jednostruko spregnute lančane liste

Algoritam SLL.1. Obilazak lančane liste

Traversal(START)

// Ovaj algoritam obilazi listu i nad svakim elementom polja

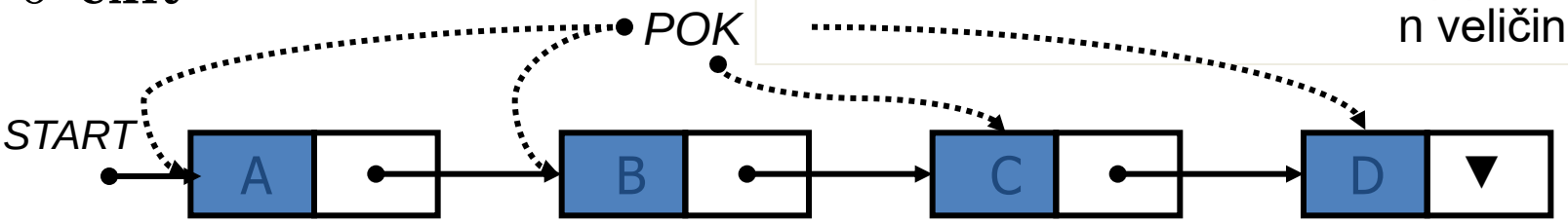
// primenjuje operaciju OBRADA

// Pokazivač POK stalno ukazuje na čvor koji će se sledeći obrađivati

```
1  POK ← START          /* POK se postavlja na prvi element liste*/
2  while(POK≠NULL)
3     OBRADA(info(POK))
4     POK ← link(POK)   /*POK se postavlja na sledeći čvor liste */
5  endwhile
6  exit
```

Asimptotska složenost: *O(n), linearna*

n veličina liste



TRAŽENJE U NESORTIRANOJ LISTI

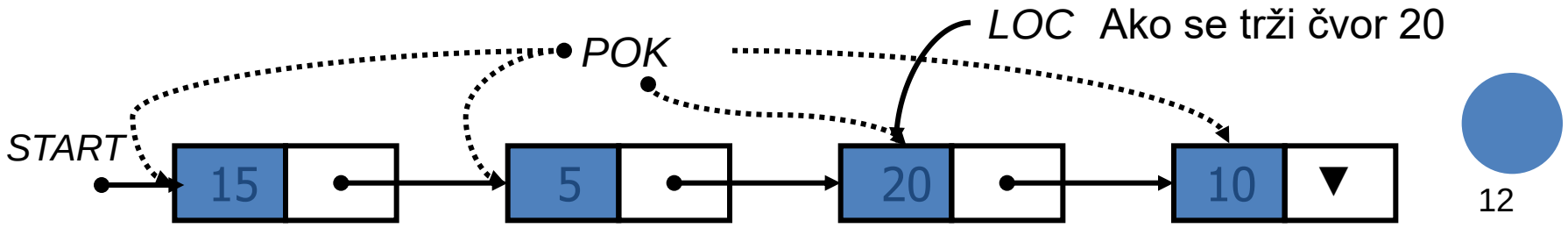
Algoritam SLL.2. Linearno traženje u nesortiranoj listi

searchNonSorted(START,E,LOC)

// Ovaj algoritam traži element E u nesortiranoj lančanoj listi START
// i vraća njegovu lokaciju LOC,ako je traženje uspešno,
// ili LOC=NULL, ako je traženje neuspešno

```
1     POK ← START
2     while (POK≠NULL AND info(POK) ≠ E)
3          POK ← link(POK)
4     endwhile
5     if info(POK) = E
6     then
            LOC ← POK          /*traženje uspešno*/
7     else
8           LOC ← NULL         /*traženje neuspešno*/
9      exit
```

Asimptotska složenost:
O(n), linearna



TRAŽENJE U SORTIRANOJ LISTI

Algoritam SLL.3. Linearno traženje u sortiranoj listi

searchSorted(START,E,LOC)

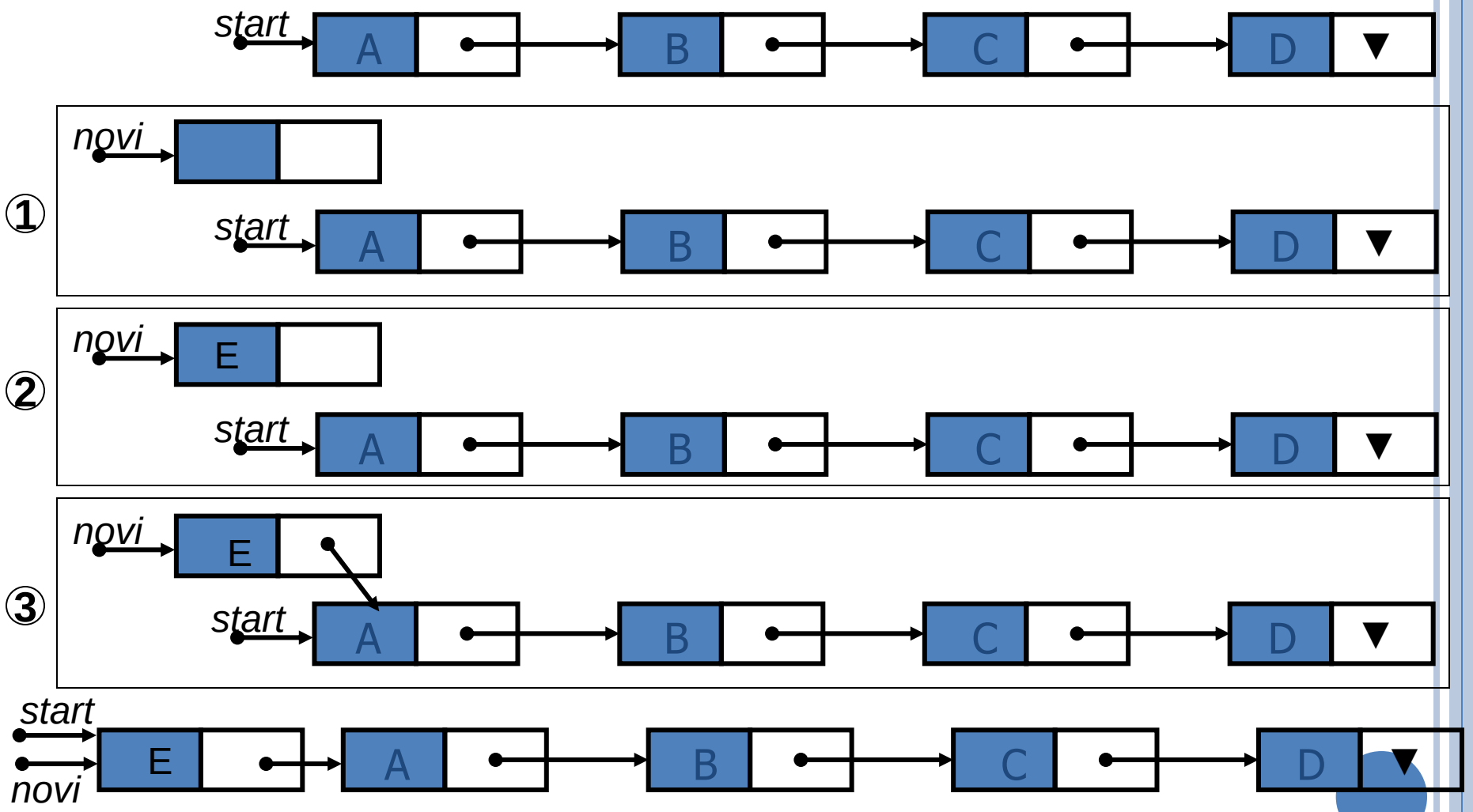
```
// Ovaj algoritam traži element E u sortiranoj lančanoj listi START.
// Vraća njegovu lokaciju LOC, ako je traženje uspešno, ili je
// LOC=NULL, ako je traženje neuspešno
1   POK ← START
2   while (POK≠NULL)
3       if(info(POK)=E) then
4           LOC ← POK
5           exit            /*traženje uspešno*/
6       else    if(E<info(POK) then
7                   LOC ← NULL
8                   exit    /*traženje neuspešno*/
9               else
10                  POK ← link(POK)
11      endif       /*kraj if strukture */
12  endwhile
13  LOC ← NULL /*traženje neuspešno*/
10  exit
```

Asimptotska složenost:
O(n), linearna

Umetanje u lančanu listu

- Ovom operacijom se umeće novi čvor u lančanu listu
- Novi čvor se umeće:
  - Na početak liste
  - Na kraj liste
  - Ispred zadatog čvora
  - Iza zadatog čvora
- Čvor se zadaje
  - Pozicijom u listi (prvi, drugi,..)
  - Pokazivačem (adresom)
  - Vrednošću *info* polja (npr. čvor koji sadrži D)

UMETANJE NA POČETAK LISTE - PRIMER

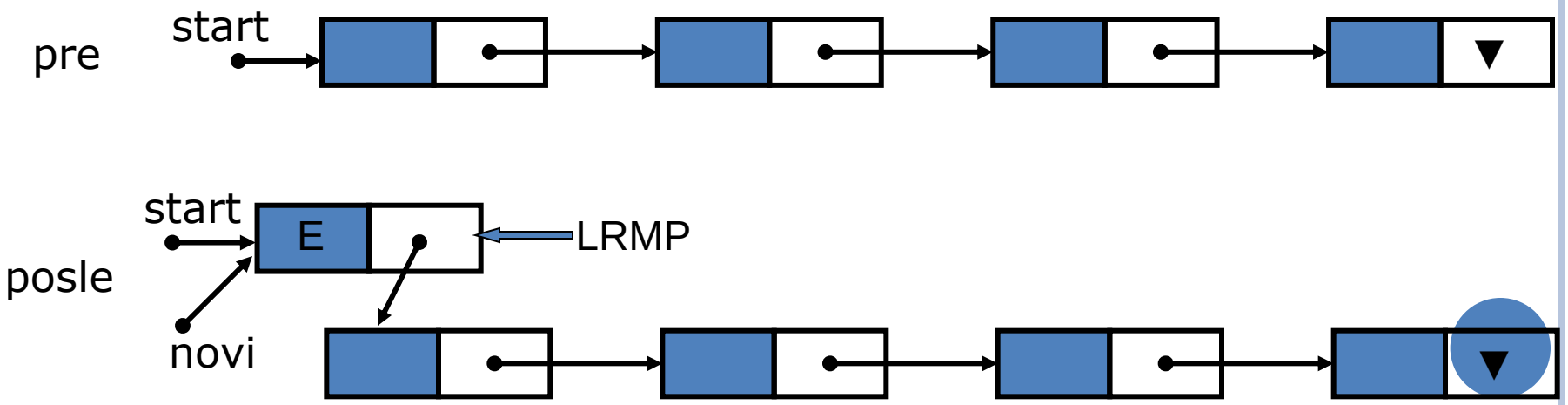


UMETANJE NA POČETAK LISTE

Algoritam SLL.4. Umetanje na početak lančane liste
insertAtStart(START,E)

// Ovaj algoritam umeće element E na početku lančane liste START

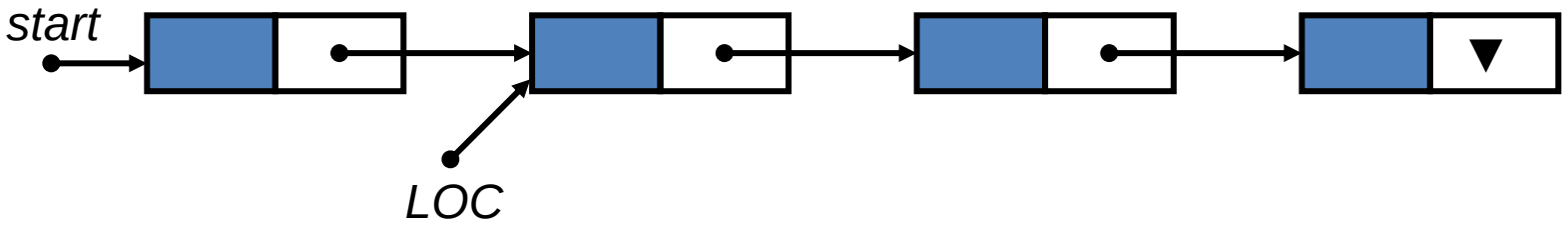
```
1       novi ← getnode()        /*uzimanje praznog čvora iz LRMP*/
2       info(novi)=E            /*upis elementa E u novi čvor*/
3       link(novi) ← START      /*povezivanje novog čvora*/
4       START ← novi            /*izmena početka liste*/
5       exit                    /*kraj algoritma*/
```



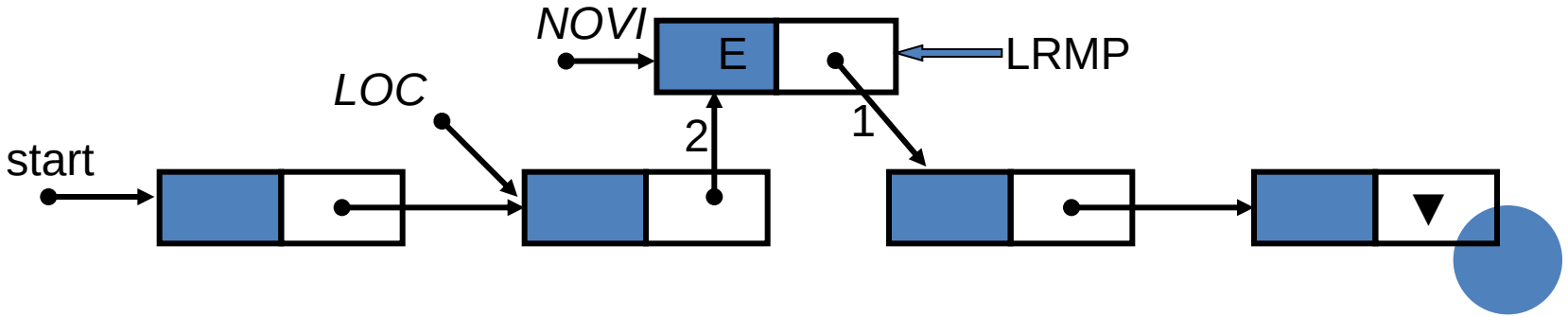
UMETANJE POSLE ZADATOG ČVORA

Dodaje se novi čvor koji ima **vrednost E** iza čvora čija je **lokacija LOC zadata**

Lančana lista **pre** dodavanja
Čvor iza koga se dodaje novi čvor je zadat lokacijom LOC



Lančana lista **posle** dodavanja
NOVI se odnosi na novi čvor u koji upisujemo vrednost E



UMETANJE POSLE ZADATOG ČVORA

Algoritam SLL.5. Umetanje na zadatu lokaciju lančane liste

insertAfterLoc(START,LOC,E)

// Ovaj algoritam umeće element E iza čvora LOC

// Ako je LOC=null, E se umeće kao prvi čvor

```
1  novi ← getnode()    /*uzimanje praznog čvora iz LRMP*/
2  info(novi) ← E      /*upis elementa E u novi čvor*/
3  if(LOC=null) then
4       link(novi) ← START
5       START ← novi                /*E se umeće kao prvi čvor*/
6  else
7       link(novi) ← link(LOC)
8       link(LOC) ← novi            /*E se umeće posle čvora loc*/
9  exit          /*kraj algoritma*/
```

Umetanje u sortiranu LL

Algoritam SLL.6. Umetanje u sortiranu lančanu listu

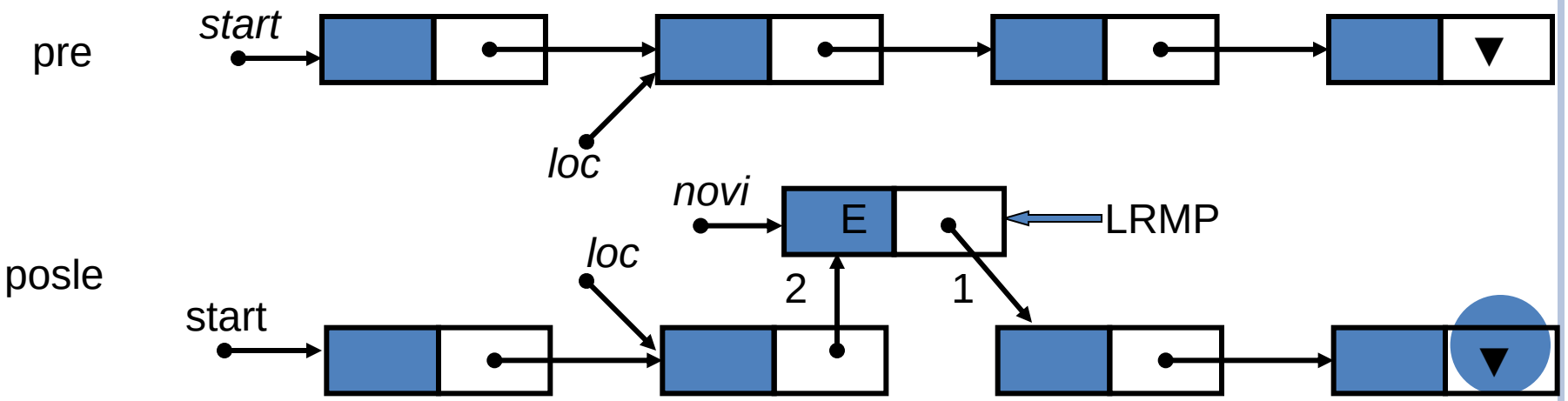
insertSorted(START,E)

// Ovaj algoritam umeće element E u sortiranu lančanu listu

1 call findA(start,E,loc) /*nalazi lokaciju čvora koji prethodi čvoru E*/

2 call insertAfterLoc(start,E,loc) /*umeće E posle čvora *loc**/

3 exit /*kraj algoritma*/



TRAŽENJE 2 U SORTIRANOJ LISTI

Algoritam SLL.7. Linearno traženje u sortiranoj lančanoj listi

findA(START,E,LOC)

// Nalazi lokaciju LOC poslednjeg čvora u sortiranoj listi čiji je info(LOC)<E
// ili vraća LOC=null, ako je traženje neuspešno

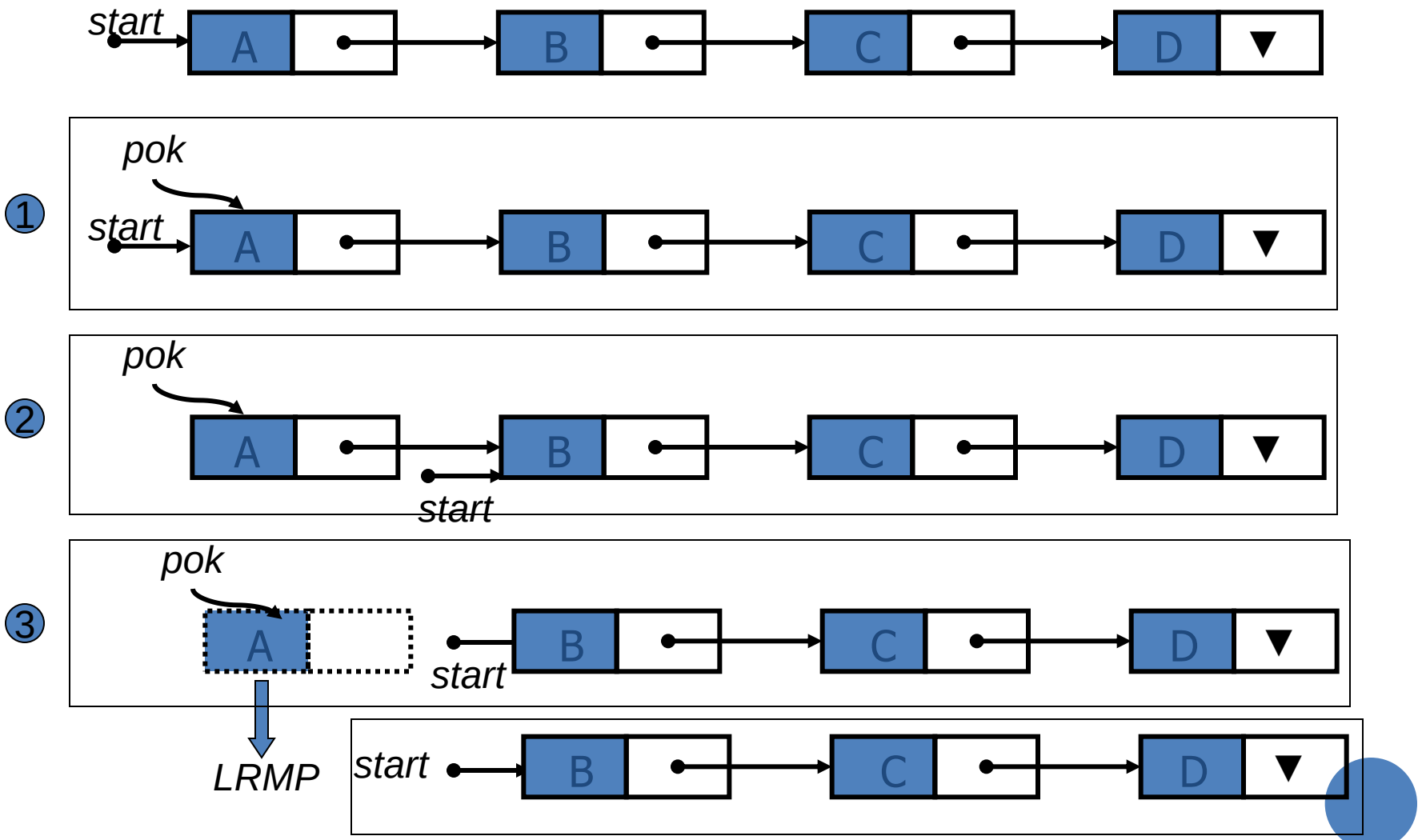
```
1   if (START=null) then
2       LOC ← null
3       return                      /*prazna lista*/
3   if (E<info(START)) then
4       LOC ← null
5       return                      /*granični slučaj*/
6   spok ← START
7   npok ← link(START)              /*inicijalizacija pokazivača*/
8   while (npok≠NULL)
9       if(E<info(npok))then
10          LOC ← spok
11          return
12      spok ← npok
13      npok ← link(npok)           /*ažuriranje indeksa*/
14  endwhile
15  LOC ← spok
16  return
```

Asimptotska složenost:
O(n), linearna

Brisanje čvora iz lančane liste

- Ovom operacijom se briše iz lančane liste zadati čvor
- Čvor se briše:
  - Sa početka liste
  - Sa kraja liste
  - Ispred zadatog čvora
  - Iza zadatog čvora
- Čvor se zadaje
  - Pozicijom u listi (prvi, drugi,..)
  - Pokazivačem (adresom)
  - Vrednošću *info* polja (čvor koji sadrži E)

Brisanje čvora sa početka liste - Primer



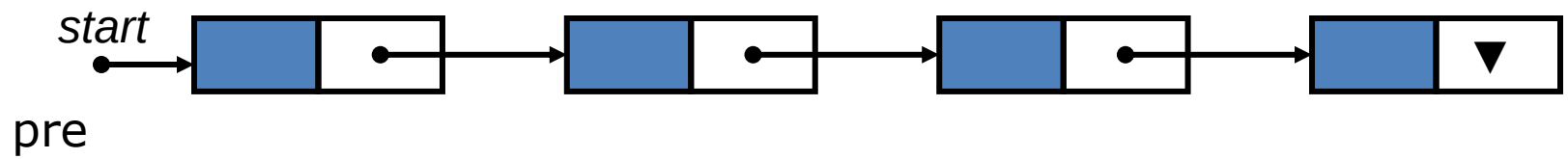
Brisanje čvora sa početka liste - Algoritam

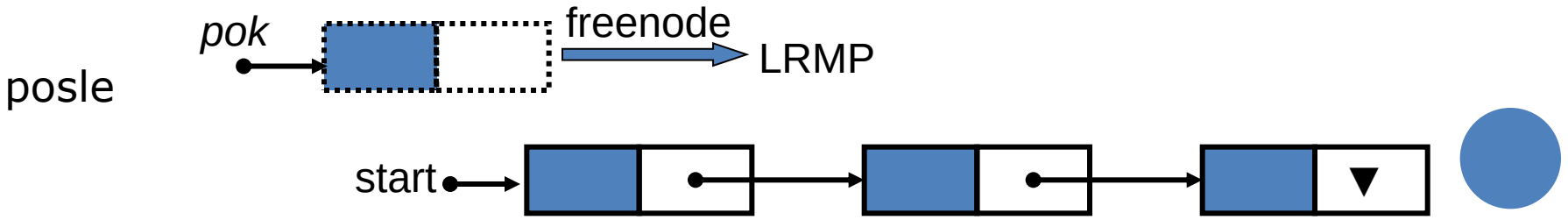
Algoritam SLL.8. Brisanje čvora sa početka lančane liste

deleteFromStart(START,E)

// Ovaj algoritam briše element E sa početka lančane liste START

```
1  pok ← START          /*postavljanje pokazivača na početak liste*/
2  START ← link(pok)    /*izmena početka liste*/
3  E ← info(pok)        /*čitanje elementa E*/
4  freenode(pok)        /*oslobađanje čvora, tj. vraćanje čvora u LRMP*/
5  exit                 /*kraj algoritma*/
```





Brisanje čvora sa zadate lokacije - Algoritam

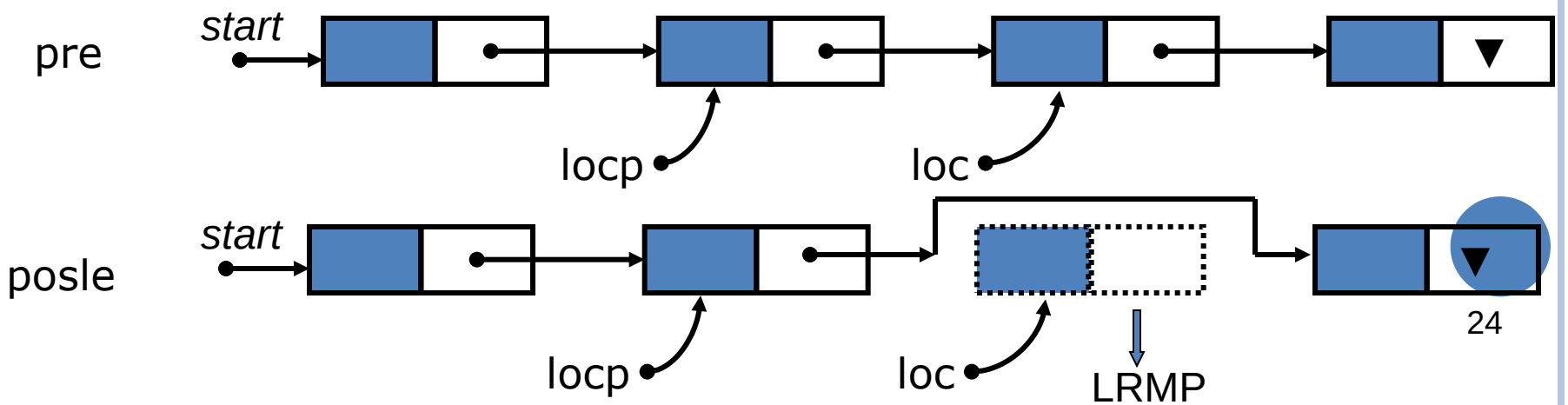
Algoritam SLL.9. Brisanje čvora sa lokacije LOC

deleteFromLOC(ISTART,LOC,LOCP)

// Ovaj algoritam briše čvor sa lokacije LOC lančane liste START

// LOCP je lokacija čvora koji prethodi čvoru LOC koji se briše

1 **if** (LOCP=null)
2 **then** START ← link(START) /*brisanje prvog čvora*/
3 **else** link(LOCP) ← link(LOC) /*brisanje čvora X*/
4 freenode (LOC) /*oslobađanje čvora, tj. vraćanje čvora u LRMP*/
5 **return** /*kraj algoritma*/



BRISANJE ČVORA ZADATE VREDNOSTI - ALGORITAM

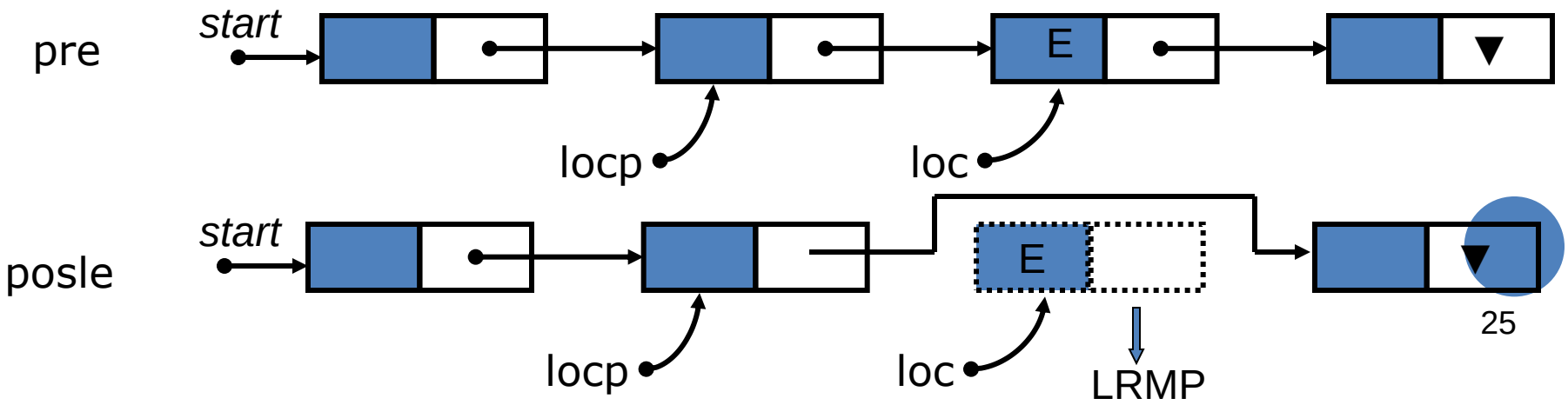
Algoritam SLL.10. Brisanje čvora koji sadrži E

deleteE(START,E, STATUS)

// Ovaj algoritam briše iz lančane liste prvi čvor koji sadrži E

// STATUS vraća informaciju o tome da li je brisanje uspešno izvedeno

```
1  call findB(START,E,LOC,LOCP)  /* nalaženje lokacije LOC čvora
                                    koji sadrži E i lokacije njegovog prethodnika LOCP*/
2  if (LOC=null) then
3       status ← 1
4       exit                                  /*brisanje neuspešno, E nije u listi*/
5  call deleteFromLOC(START,LOC,LOCP)         /*brisanje čvora*/
6  status ← 0                                 /*brisanje uspešno, E je u listi*/
5  exit                                       /*kraj algoritma*/
```



TRAŽENJE U LANČANOJ LISTI

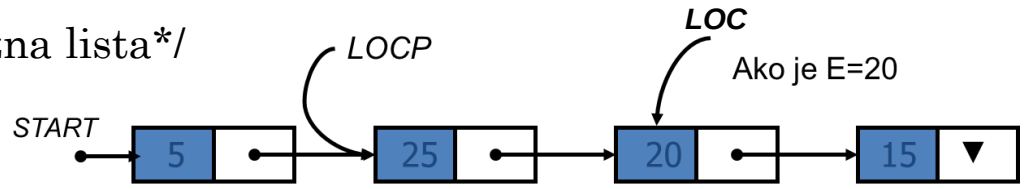
Algoritam SLL.11. Traženje elementa E

findB(START,E,LOC,LOCP)

// Nalazi lokaciju LOC prvog čvora koji sadrži E, kao i lokaciju LOCP čvora koji mu prethodi

// Ako E nije u listi, tada je LOC=null, a ako je E u prvom čvoru liste, tada je LOCP=null.

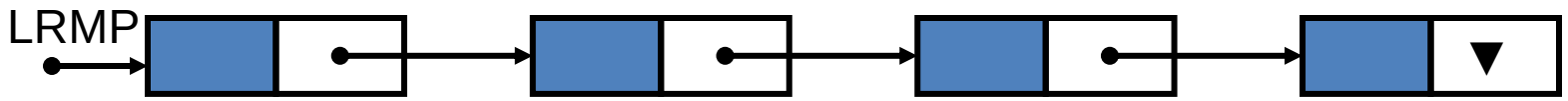
```
1  if (START=null) then
2      LOC ← null
3      LOCP ← null
4      return                    /*prazna lista*/
5  if(info(START)=E) then
6      LOC ← START
7      LOCP ← null
8      return                    /*E je u prvom čvoru*/
9  spok ← START
10 npok ← link(START)            /*inicijalizacija pokazivača*/
11 repeat while (npok≠NULL)
12     if (info(npok)=E) then
13         LOC ← npok
14         LOCP ← spok
15         return}               /*traž.uspešno*/
16     spok ← npok
17     npok ← link(npok)         /*ažuriranje indeksa*/
18 endrepeat
19 LOC ← null                    /*traženje neuspešno*/
20 return
```



Asimptotska složenost:
O(n), linearna

Operacije getnode i freenode (1)

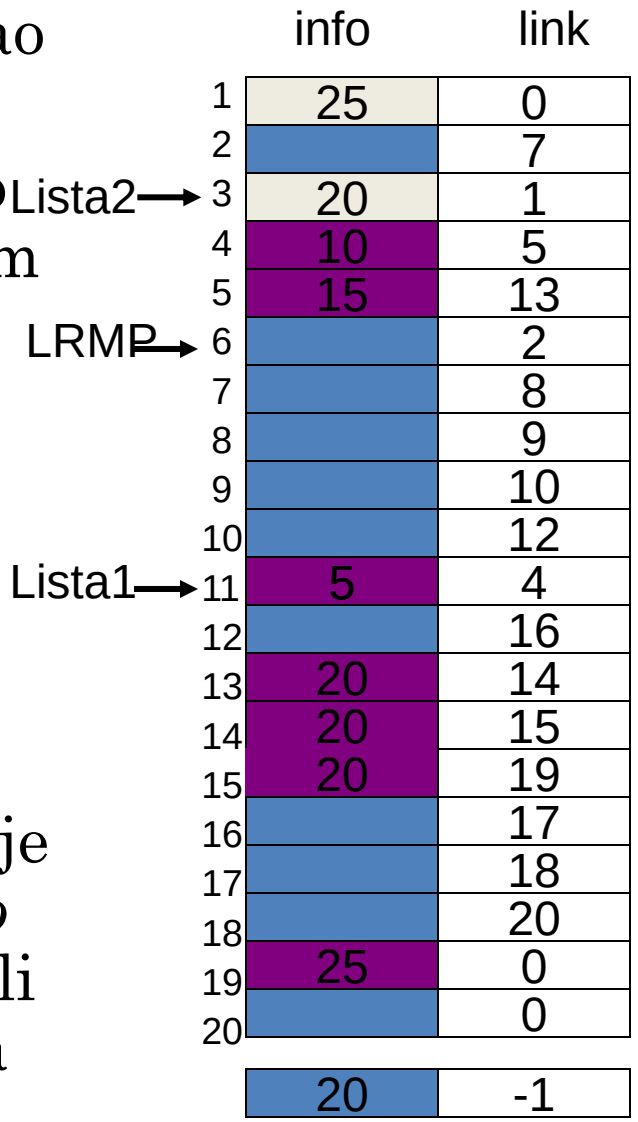
- Za memorisanje lančane liste se rezerviše u memoriji određeni broj čvorova koji čine tzv. ***listu raspoloživog memorijskog prostora*** čiji je eksterni pokazivač ***LRMP***
- Operacija ***getnode*** uzima jedan čvor sa početka ove liste
- Operacija ***freenode*** vraća jedan čvor u ovu listu
- Pošto je ova lista konačna može se desiti da je prazna i tada operacija **getnode** treba da registruje da je došlo do ***prekoračenja*** memorijskog prostora



Prazna lista LRMP=null

Lančana lista kao polje

- LL se može implementirati kao polje čvorova
- Čvorovi liste nisu uređeni kao elementi polja, tako da svakom elementu polja, gde je memorisan čvor liste, treba dodati pokazivač na sledeći čvor
- Inicijalno se svi rezervisani elementi polja stavljaju u LRMP
- Može se koristiti jedno 2D polje LISTA, gde je LISTA[i,1] *info* polje, a LISTA[i,2] *link* polje ili se mogu koristiti dva 1D polja INFO i LINK



link=0 kraj liste, ako su indeksi 1,2,…

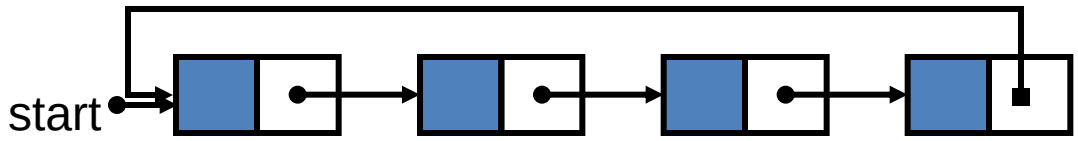
link=-1 kraj liste, ako su indeksi polja 0,1,..

Ograničenja implementacije liste kao polja

- Na početku se uspostavlja fiksni skup čvorova
- Pokazivač na čvor je predstavljen relativnom pozicijom čvora unutar polja
- Otuda proističu sledeća dva nedostatka:
  - Broj elemenata polja se obično teško može predvideti kada se program piše. Obično je broj čvorova određen podacima koje program obrađuje dok se izvršava.
  - Ma koliko čvorova mi deklarisali, određeni broj će ostati prazan u toku izvršenja programa
    - Na primer, ako smo rezervisali 100 čvorova, a trenutno obrađujemo samo 10, 90 će biti rezervisano za taj program i ta se memorija ne može dodeliti drugom programu
- Rešenje ovog problema je umesto ovih *statičkih* čvorova koristiti *dinamičke* čvorove, što znači da se memorija rezerviše kada je potreban novi čvor, a kada čvor više nije potreban, memorija se oslobađa. Takođe, nema predefinisanog ograničenja u broju čvorova.

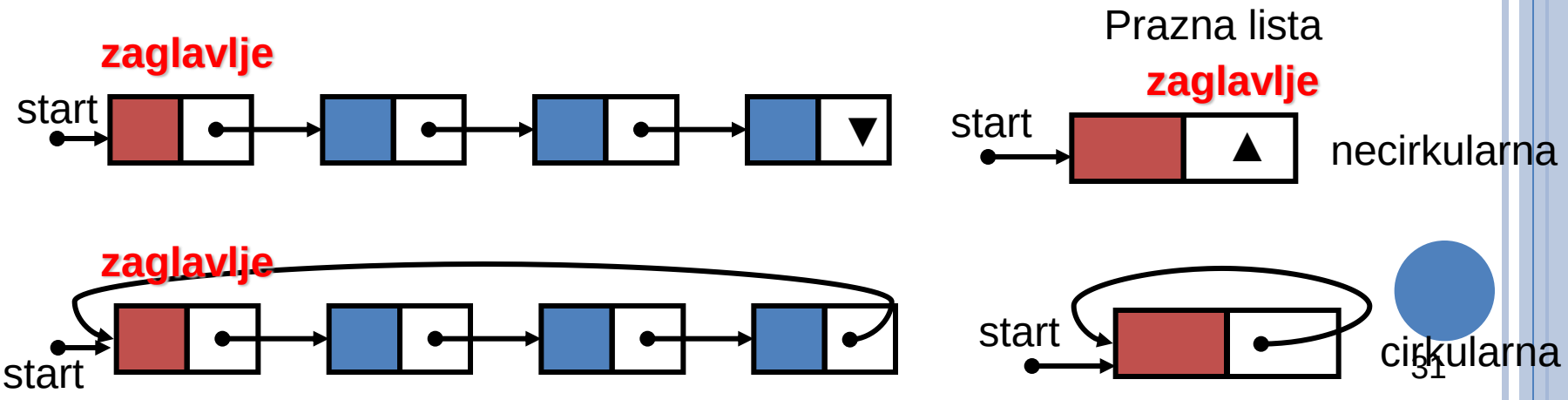
Cirkularne lančane liste

- Poslednji čvor liste ukazuje na početak liste
- Iz bilo kog čvora se može doći do bilo kog čvora
- Nema potrebe da cirkularna lista ima prvi i poslednji čvor
- Magacin i red se često implementiraju kao cirkularna lista
- Operacije:
  - Obilazak
  - Traženje lokaciono ili asocijativno
  - Umetanje čvora pre ili posle zadatog čvora
  - Brisanje čvora pre ili posle zadatog čvora
  - …



LANČANE LISTE SA ZAGLAVLJEM

- LL sadrži specijalan čvor nazvan ***zaglavlje*** i to kao prvi čvor
- Mogu biti: necirkularne i cirkularne
- ***Zaglavlje*** je specijalni čvor koji se drži na početku liste i nije element liste
- ***info*** polje zaglavlja može biti prazno, ali češće sadrži globalne informacije o listi (kao što su broj čvorova liste, datum kreiranja liste, itd.) i/ili pokazivač na kraj liste i/ili pokazivač na tekući čvor pri obilasku liste, itd.



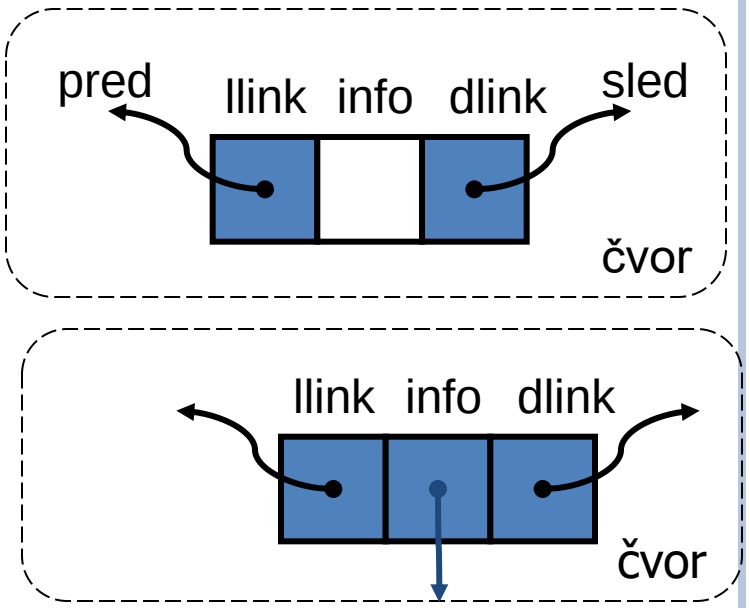
Cirkularne lančane liste

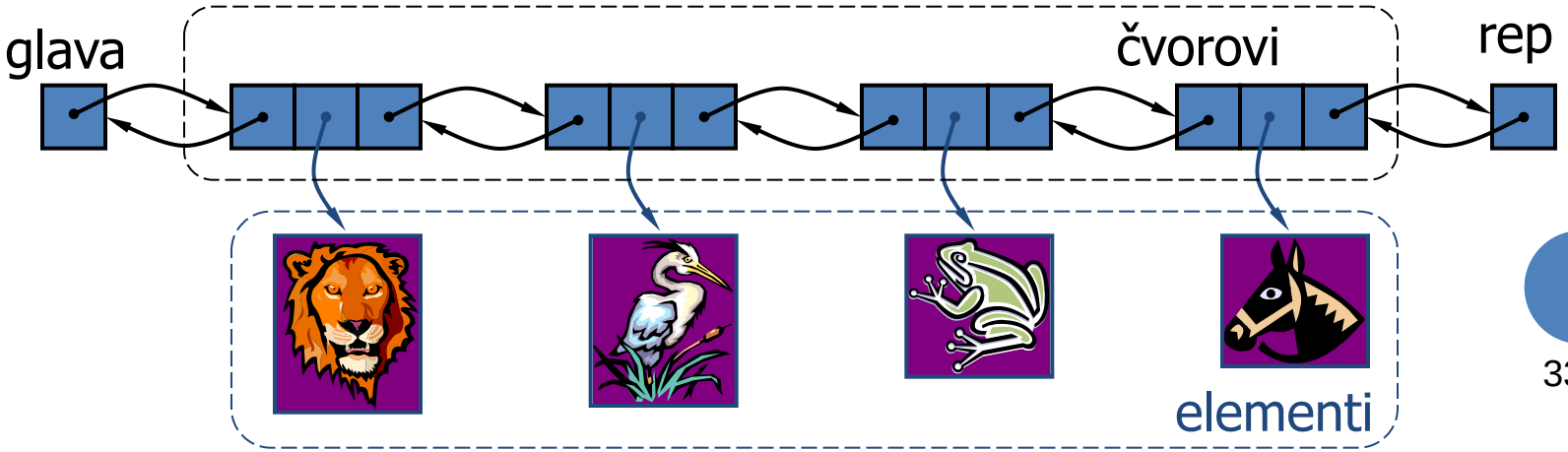
Lančane liste sa zaglavljem

- Operacije za samostalni rad

Dvostruko spregnute lančane liste (Doubly linked list)

- Liste kojima se možemo kretati u dva smera – od prvog ka posldenjem čvoru ili od poslednjeg ka prvom čvoru
- Svaki čvor liste sadrži tri polja:
  - ***info*** – pamti element liste ili adresu elementa liste
  - ***dlink*** – pamti adresu sledećeg čvora
  - ***llink*** – pamti adresu prethodnog čvora
- Postoje dva specijalna čvora
  - ***glava*** i ***rep*** liste





Dvostruko spregnute lančane liste

- Mogu biti:
  - Necirkularne
    - Bez zaglavlja
    - Sa zaglavljem
  - Cirkularne
    - Bez zaglavlja
    - Sa zaglavljem
- Mogu se implementirati:
  - Statički
  - Dinamički

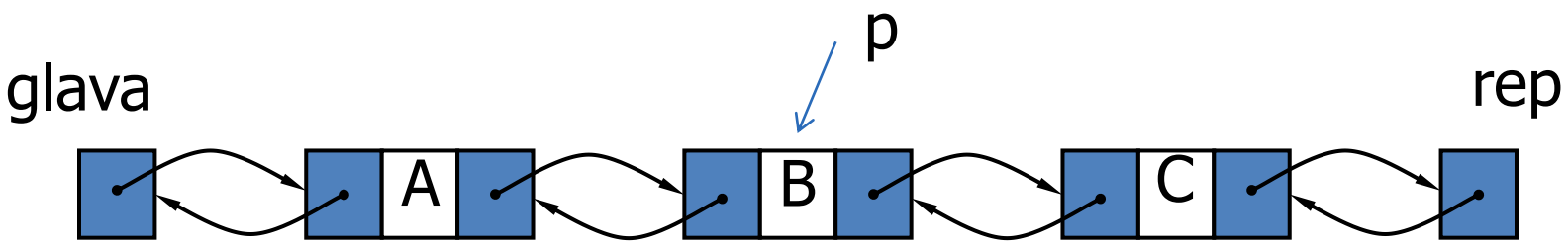
Operacije

- **Obilazak**
  - Koristi se isti algoritam kao kod jednosmernih listi
  - Lista se može obilaziti od glave ili od repa
  - **Dvostruko ulančavanje nema prednosti**
- **Traženje**
  - Koristi se isti algoritam kao kod jednosmernih listi
  - Lista se može pretraživati od glave ili od repa, zavisno od toga gde se očekuje traženi podatak
  - **Dvostruko ulančavanje nema prednosti**

- **Generičke:**
  - size(), isEmpty()
- **Upiti:**
  - isFirst(p), isLast(p)
- **Pristup:**
  - first(), last()
  - before(p), after(p)
- **Ažuriranje:**
  - replaceElement(p,e)
  - swapElements(p,q)
  - insertBefore(p,e)
  - insertAfter(p,e)
  - insertFirst(e)
  - insertLast(e)
  - remove(p)

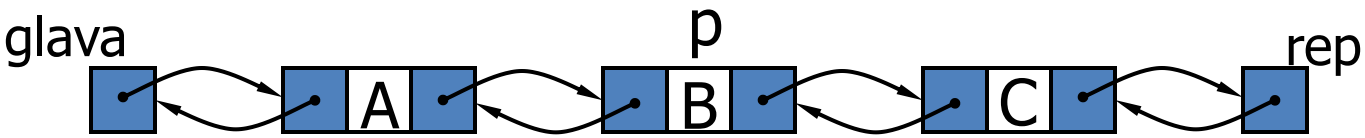
Operacije

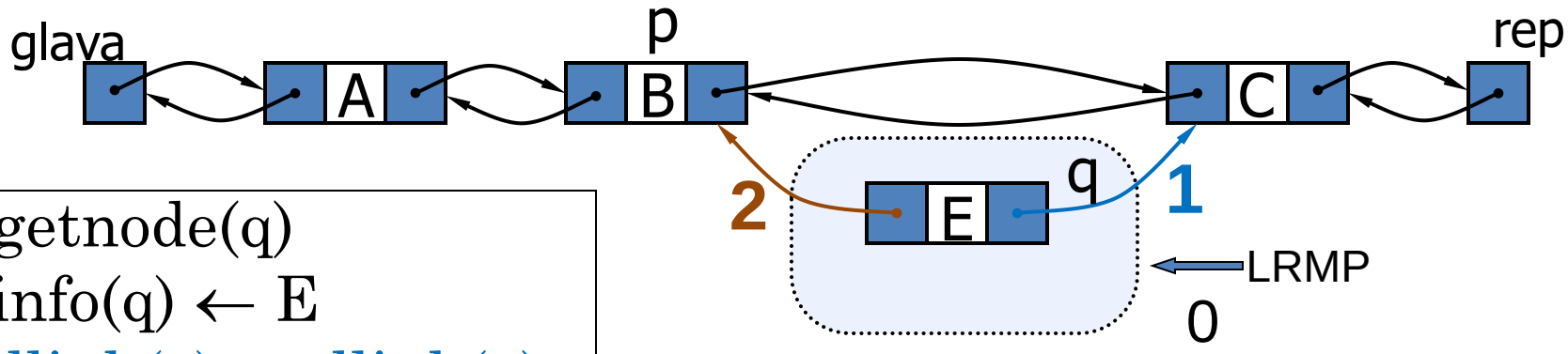
- **Umetanje**
  - Dvostruko ulančavanje **može da** ima prednosti,
  - nije potrebna pozicija prethodnog čvora
- **Brisanje**
  - Dvostruko ulančavanje **ima prednosti,**
  - nije potrebna pozicija prethodnog čvora



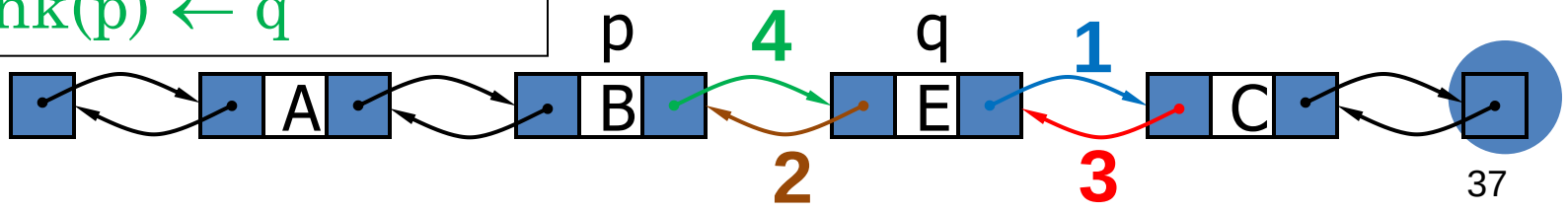
UMETANJE (INSERTION)

Operacija ***insertAfter(p,E)***, koja vraća poziciju **q**



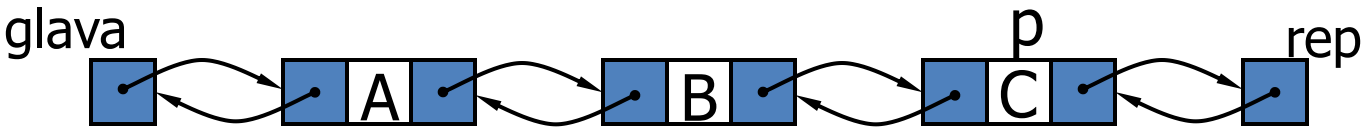


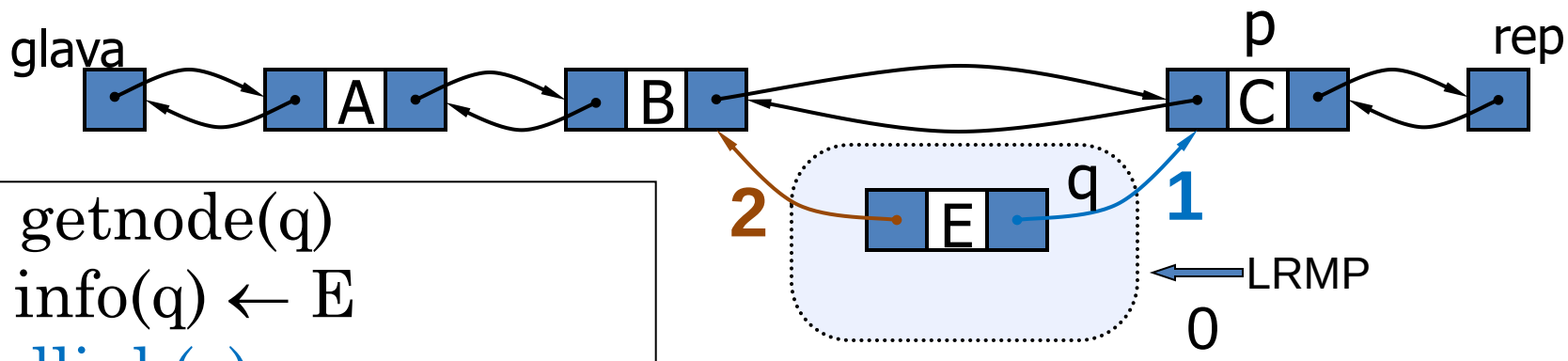
0. getnode(q)
   info(q) ← E
1. dlink(q) ← dlink(p)
2. llink(q) ← p
3. llink(dlink(p)) ← q
4. dlink(p) ← q



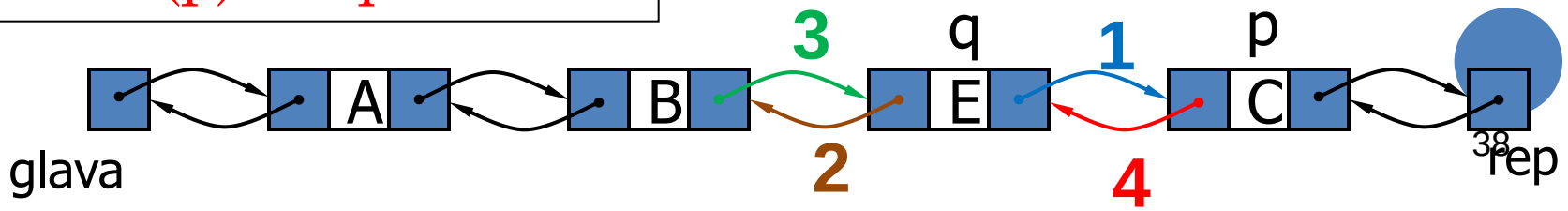
UMETANJE (INSERTION) (2)

Operacija ***insertBefore(p,E)***, koja vraća poziciju **q**



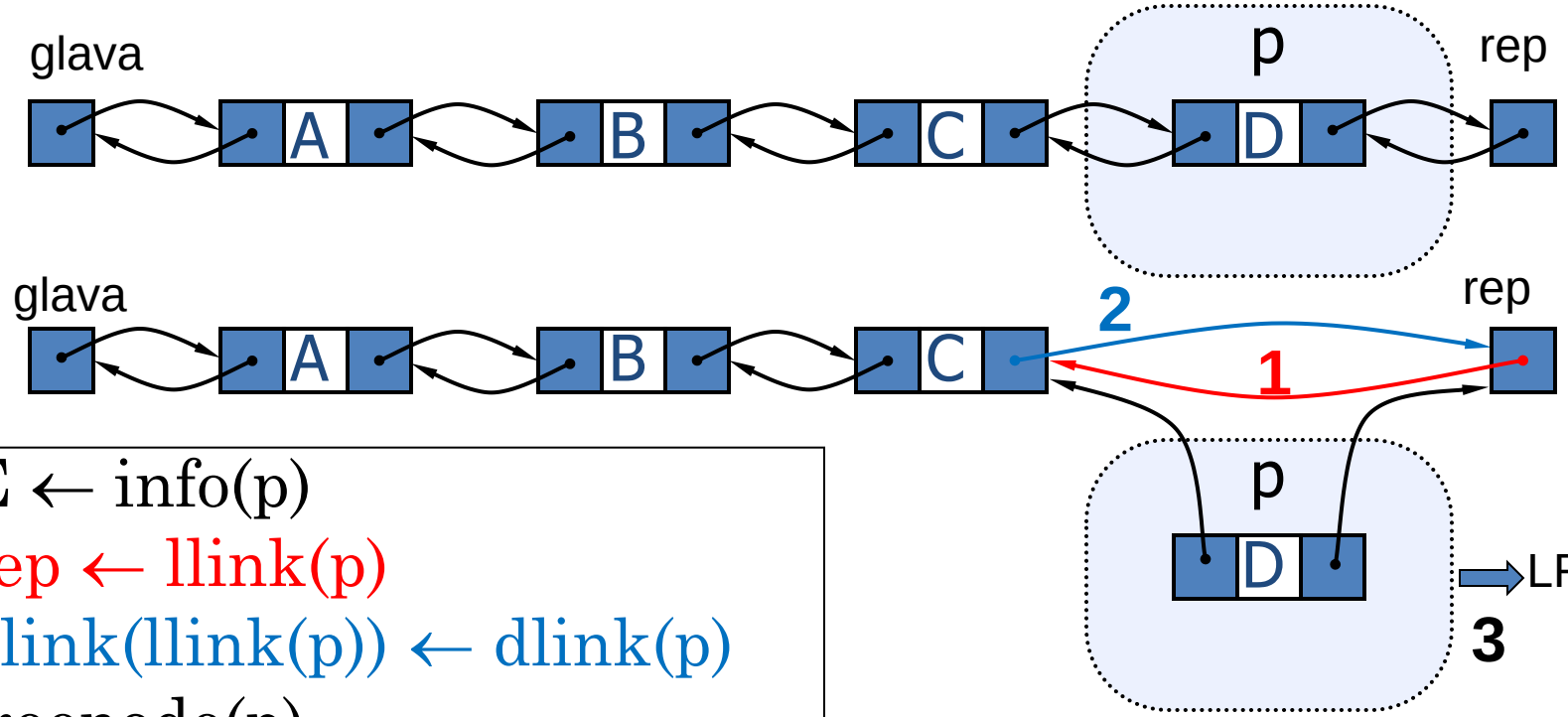


0. getnode(q)
   info(q) ← E
1. dlink(q) ← p
2. llink(q) ← llink(p)
3. dlink(llink(p)) ← q
4. llink(p) ← q

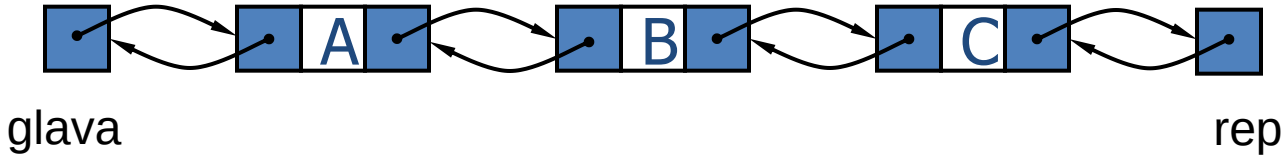


Brisanje (Deletion)

Operacija *remove(p)*, gde je p = *last()*

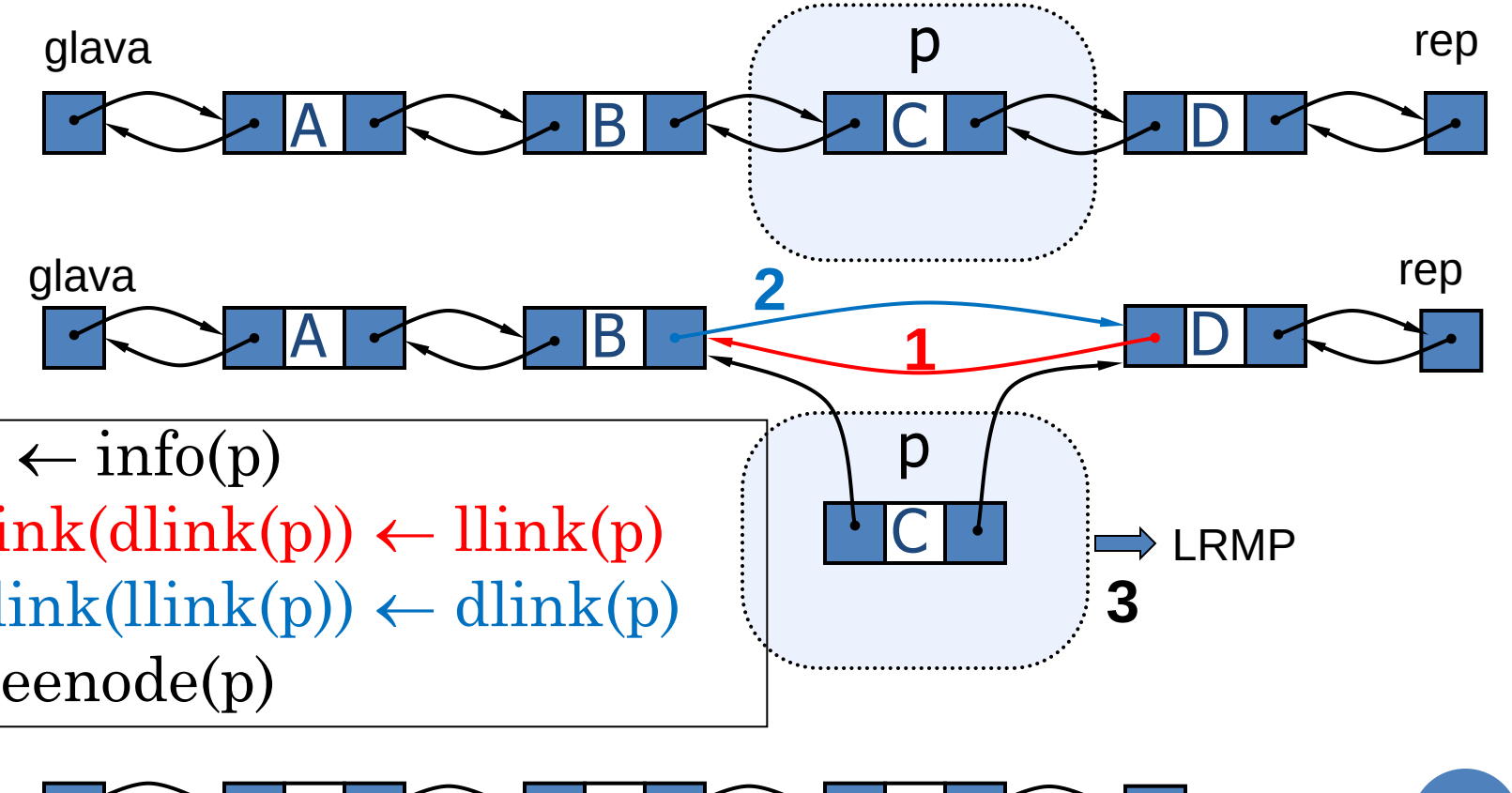


0. E ← info(p)
1. rep ← llink(p)
2. dlink(llink(p)) ← dlink(p)
3. freenode(p)



Brisanje (Deletion) (2)

Operacija *remove(p)*



Dvostruko spregnute Lančane liste

- Napisati pseudokod na osnovu zadatog redosleda koraka za operacije:
  - Umetanje
  - Brisanje
- Pseudokod za ostale operacije:
  - za samostalni rad!

- Vodite računa o graničnim slučajevima!!
  - Prazna lista,
  - Početak liste
  - Poslednji element (kraj liste)

Pitanja, ideje, komentari