Baze podataka

Predavanja

9. Fizička organizacija podataka

Travanj, 2021.

UVOD - Fizička organizacija

- Pojam fizičke organizacije podataka odnosi se na:
  - strukture podataka primijenjene pri pohrani podataka u sekundarnoj memoriji
  - metode pristupa (*access methods*): postupci koji se primjenjuju pri obavljanju operacija nad podacima
- Fizička organizacija podataka ne utječe na rezultate operacija s podacima, ali ima vrlo veliki utjecaj na učinkovitost sustava za upravljanje bazama podataka
  - važna zadaća sustava za upravljanje bazama podataka: obavljati operacije nad velikim količinama podataka **na učinkovit način**
- SUBP skriva od korisnika detalje fizičke organizacije podataka jer za većinu korisnika sustava nisu značajni

Pohrana baze podataka u sekundarnoj memoriji

- Glavna memorija (radni spremnik, *main memory*)
  - velike brzina pristupa podacima (10-100 ns), relativno skupa, kapacitet ~ GB
  - neprikladna za pohranu baze podataka jer:
    - ima kapacitet nedovoljan za pohranu baze podataka (previsoka cijena za pohranu velikih količina podataka)
    - nepostojana (*volatile*) memorija: sadržaj memorije se gubi pri gubitku napajanja ili pri pogrešci sustava

Pohrana baze podataka u sekundarnoj memoriji

- karakteristike medija za pohranu podataka uvjetuju da se većina današnjih baza podataka pohranjuje u **sekundarnoj memoriji** (uobičajeno: magnetski diskovi)
- podaci se između sekundarne i primarne memorije prenose u blokovima (tipično 512 B, 1 kB, 2kB, 4kB)

⇒ **dominiraju troškovi U/I (ulazno/izlaznih) operacija:** vrijeme potrebno za obavljanje U/I operacije radi prijenosa bloka podataka između sekundarne i primarne memorije znatno je veće od vremena koje će biti utrošeno za obavljanje operacija nad podacima u primarnoj memoriji

Važniji ciljevi fizičke organizacije

- minimizirati broj U/I operacija pri pohrani i dohvatu podataka, minimizirati utrošak prostora za pohranu
  - u koji fizički blok pohraniti logički zapis odnosno n-torku
  - koje je dodatne informacije potrebno pohraniti da bi se omogućio učinkovit pristup podacima
- omogućiti različite metode pristupa koje se koriste za pronalaženje fizičke pozicije zapisa (ili fizičke pozicije bloka u kojem se taj zapis nalazi) na temelju vrijednosti ključa pretrage
  - ključ pretrage (*search key*) ne mora nužno biti primarni ili alternativni ključ. Ključ pretrage može biti bilo koji atribut ili skup atributa relacije ("sekundarni ključ").
  - primjenjivost pojedinih metoda pristupa podacima ovisi o primijenjenim strukturama podataka

Strukture podataka i metode pristupa podacima

- Primjena različitih struktura podataka omogućava različite metode pristupa podacima
- Ne postoji "najbolja" metoda fizičke organizacije, ali dvije se u današnjim sustavima za upravljanje bazama podataka koriste najčešće

  - **Neporedana (*heap*) datoteka**
  - Poredana datoteka (*sorted file*)
  - Raspršena datoteka (*hash file*)
  - Indeksno-slijedna organizacija (*index-sequential file*)
  - **B-stablo (*B-tree*)**

Neporedana (*heap*) datoteka

- zapis se upisuje na bilo koje slobodno mjesto u datoteci
- pristup podacima (dohvat podatka sa zadanom vrijednošću ključa pretrage) moguć je isključivo linearnim pretraživanjem

- koristi se za relacije s malim brojem n-torki ili u relacijama čiji se podaci uvijek obrađuju slijedno

Neporedana (*heap*) datoteka

- Dohvat zapisa prema ključu pretrage
  - prema primarnom ili alternativnom ključu
    - u prosjeku je potrebno obaviti n/2 U/I operacija (n predstavlja broj fizičkih blokova u kojima su pohranjeni logički zapisi odnosno n-torke)
    - još gore: u slučaju kada traženi zapis ne postoji, sustav će morati obaviti n U/I operacija
  - prema ostalim ključevima pretrage ili prema zadanim granicama intervala
    - potrebno je obaviti prijenos n fizičkih blokova

B-Stabla

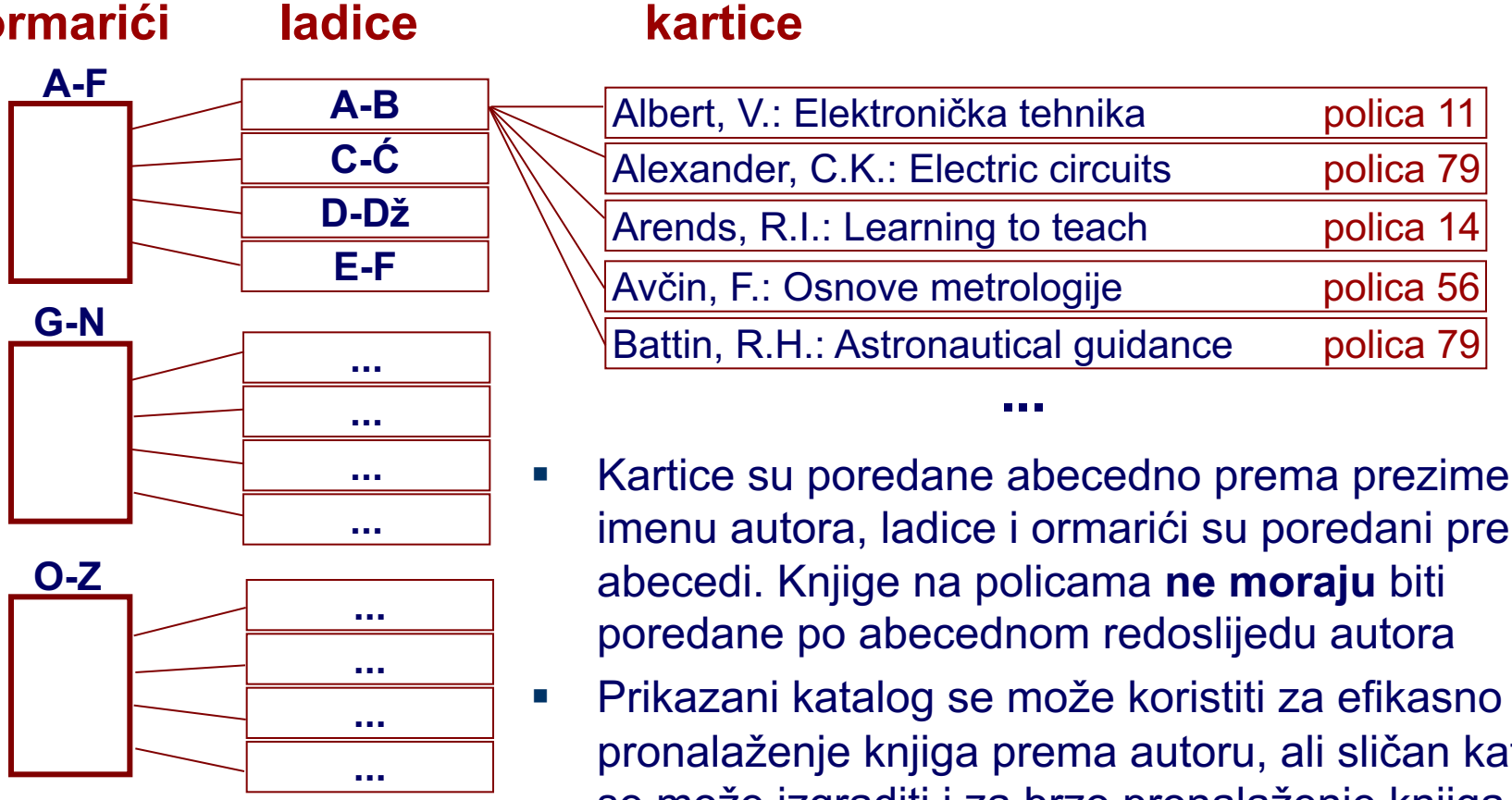
Literatura:

1. **Silberschatz, Korth, Sudarshan:** Database System Concepts
2 .**Garcia-Molina, Ullman, Widom:** Database Systems -The Complete Book

Ovdje će biti opisana varijanta B-stabla koja se naziva **B^+- stablo**. Opisi ostalih varijanti B-stabala (B*-stablo, B-stablo, ...) mogu se pronaći u literaturi.

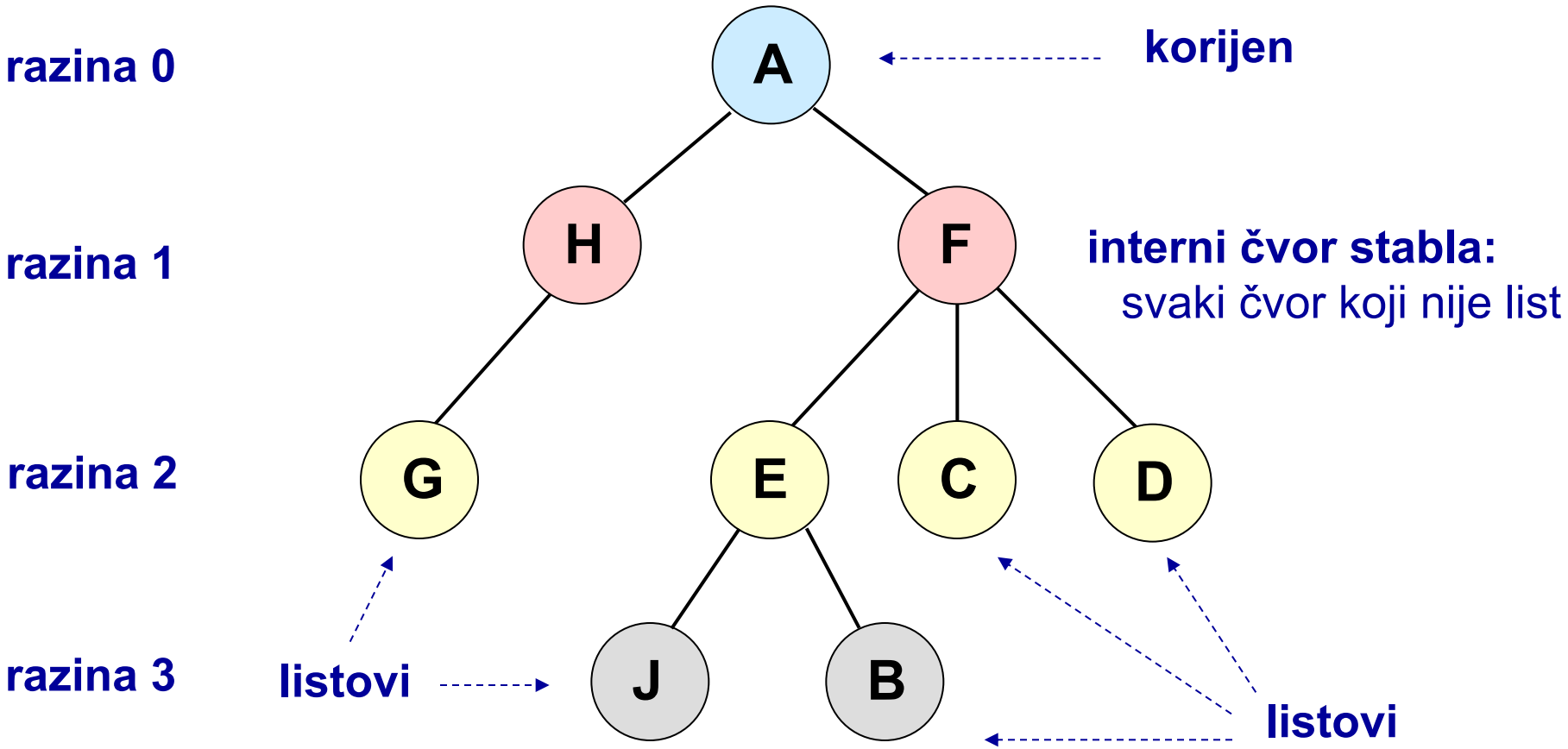
B-stabla

- Ideja se temelji na izgradnji indeksnog kazala na više razina: slično kao kod kataloga u papirnatom obliku u knjižnicima (danas se rijetko koriste)



- Kartice su poredane abecedno prema prezimenu i imenu autora, ladice i ormarići su poredani prema abecedi. Knjige na policama **ne moraju** biti poredane po abecednom redoslijedu autora
- Prikazani katalog se može koristiti za efikasno pronalaženje knjiga prema autoru, ali sličan katalog se može izgraditi i za brzo pronalaženje knjiga prema naslovu ili prema nekim drugim pojmovima.

Stablo kao struktura podataka

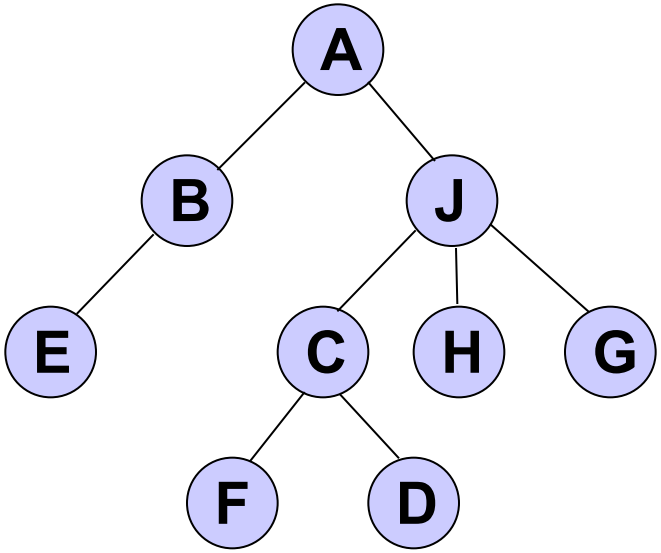


- **razina čvora (*level*):** duljina puta od korijena do čvora
- **dubina stabla (*depth*):** najveća duljina puta od korijena do lista
- **red stabla (*order*):** najveći broj djece koje čvor može imati

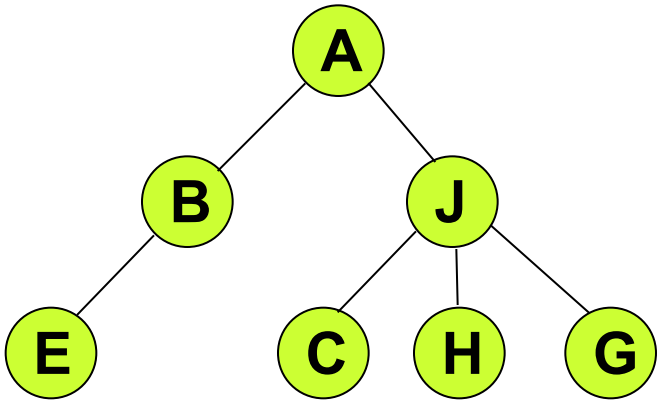
Stablo kao struktura podataka

Stablo je **balansirano (*balanced*)** ukoliko je duljina puta od korijena do lista jednaka za svaki list u stablu

stablo nije balansirano

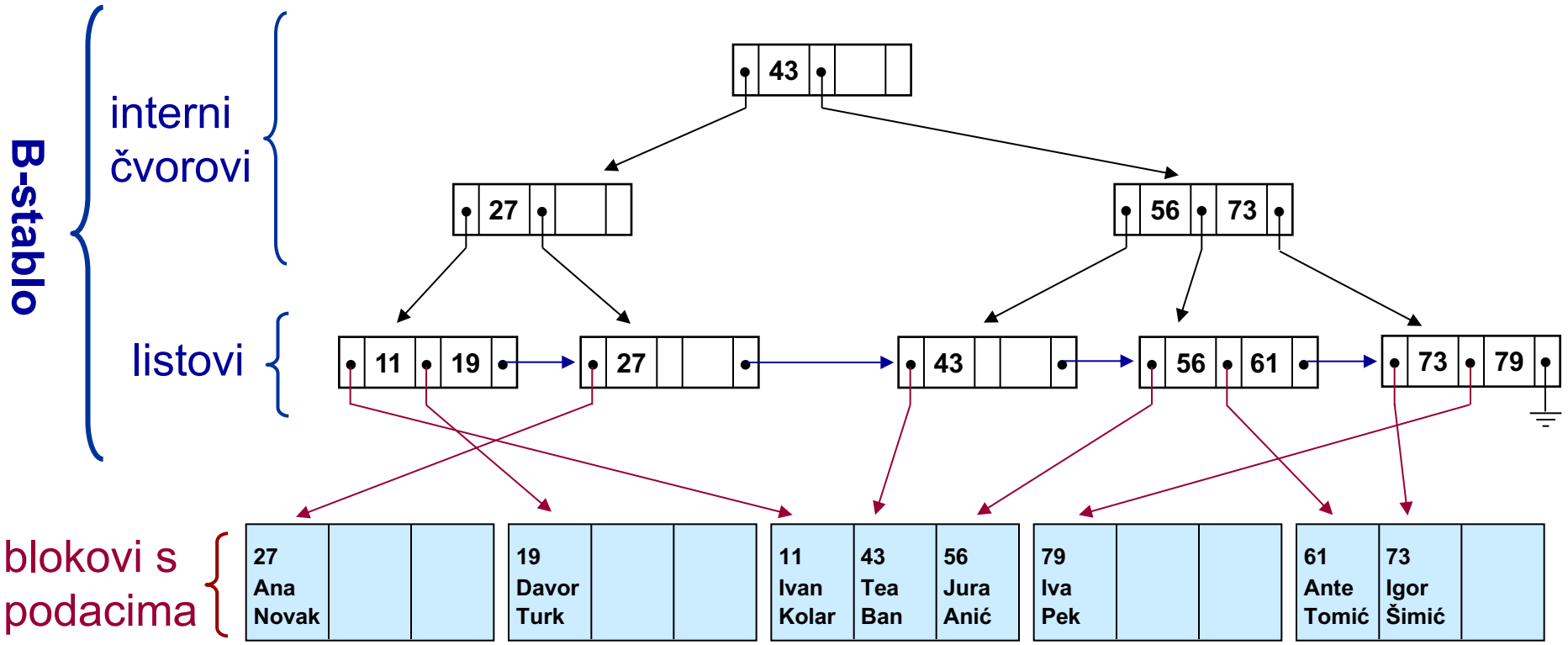


stablo je balansirano



Oznaka **B** u B-stablo znači **"balansirano"!**

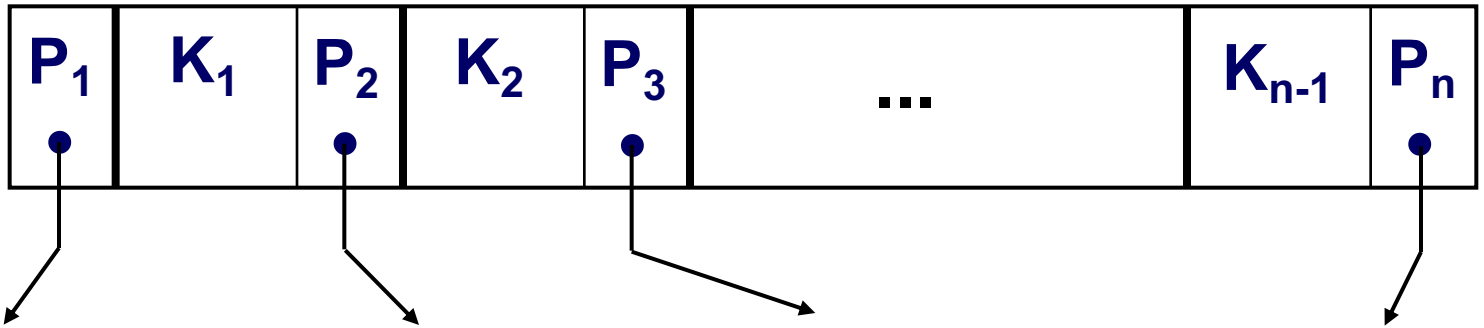
Struktura B$^+$-stabla



- Shema: mbr, ime, prezime; B$^+$-stablo je izgrađeno za atribut mbr
- Moguće metode pristupa podacima (za bilo koji ključ pretrage):
  - linearnim pretraživanjem (kao kod neporedane datoteke)
  - ako je ključ pretrage mbr, može se koristiti B-stablo

Struktura internog čvora B$^+$-stabla

- U B$^+$-stablu reda **n**, interni čvor sadrži:
  - najviše **n** kazaljki
  - najmanje $\lceil \mathbf{n/2} \rceil$ kazaljki $\rightarrow$ $\lceil \mathbf{a} \rceil$ je najmanji cijeli broj $\geq \mathbf{a}$
    - ovo ograničenje ne vrijedi za korijen (najmanji broj kazaljki je 2)
  - uz **p** kazaljki u čvoru, broj pripadnih vrijednosti K_i u čvoru je **p-1**
    - K_i je vrijednost ključa



podstablo s vrijednostima ključa k **$< K_1$**

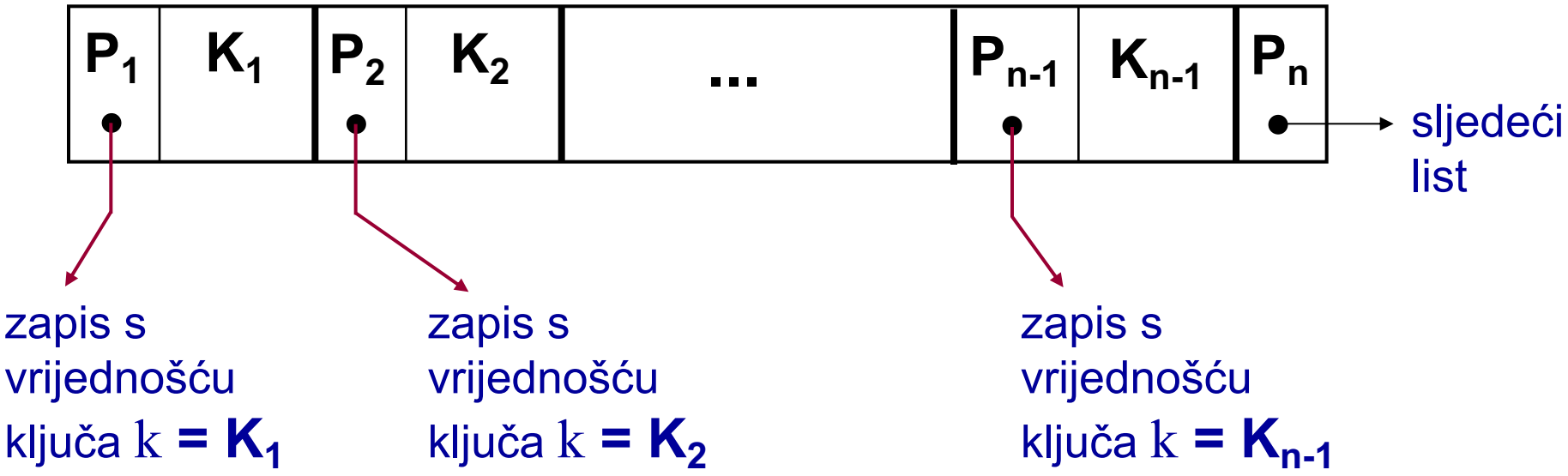
podstablo s vrijednostima ključa k **$K_1 \leq k < K_2$**

podstablo s vrijednostima ključa k **$K_2 \leq k < K_3$**

podstablo s vrijednostima ključa k **$\geq K_{n-1}$**

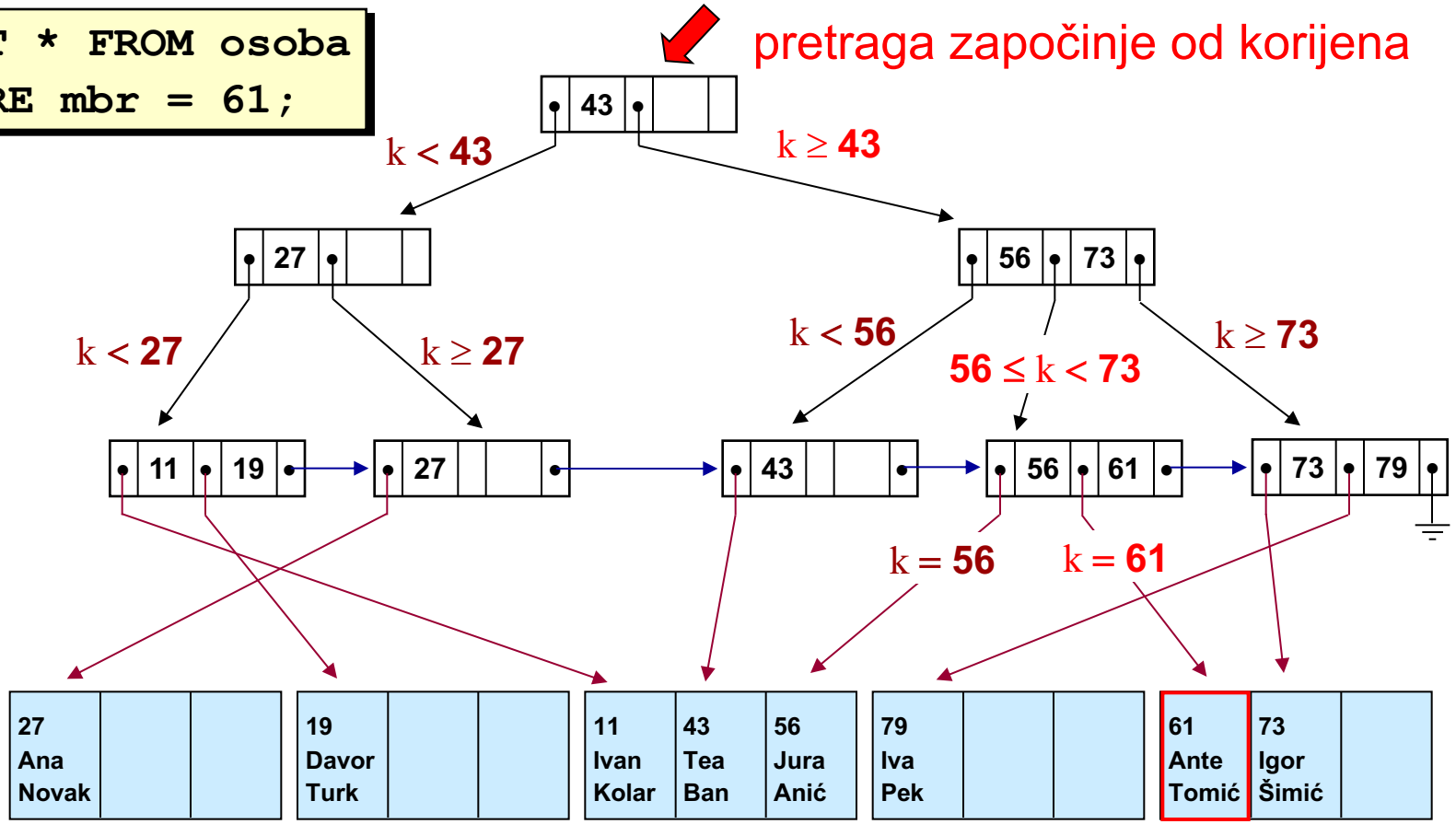
Struktura lista B$^+$-stabla

- U B$^+$-stablu reda **n**, list sadrži:
  - najviše **n-1** vrijednosti K_i i pripadnih kazaljki na zapise
  - najmanje $\lceil$**(n-1)/2**$\rceil$ vrijednosti K_i i pripadnih kazaljki na zapise
  - svi listovi sadrže kazaljku na sljedeći list
    - omogućava upite tipa od-do (prema zadanim granicama intervala)



Algoritam za pronalaženje zapisa putem B$^+$-stabla

```
SELECT * FROM osoba
  WHERE mbr = 61;
```



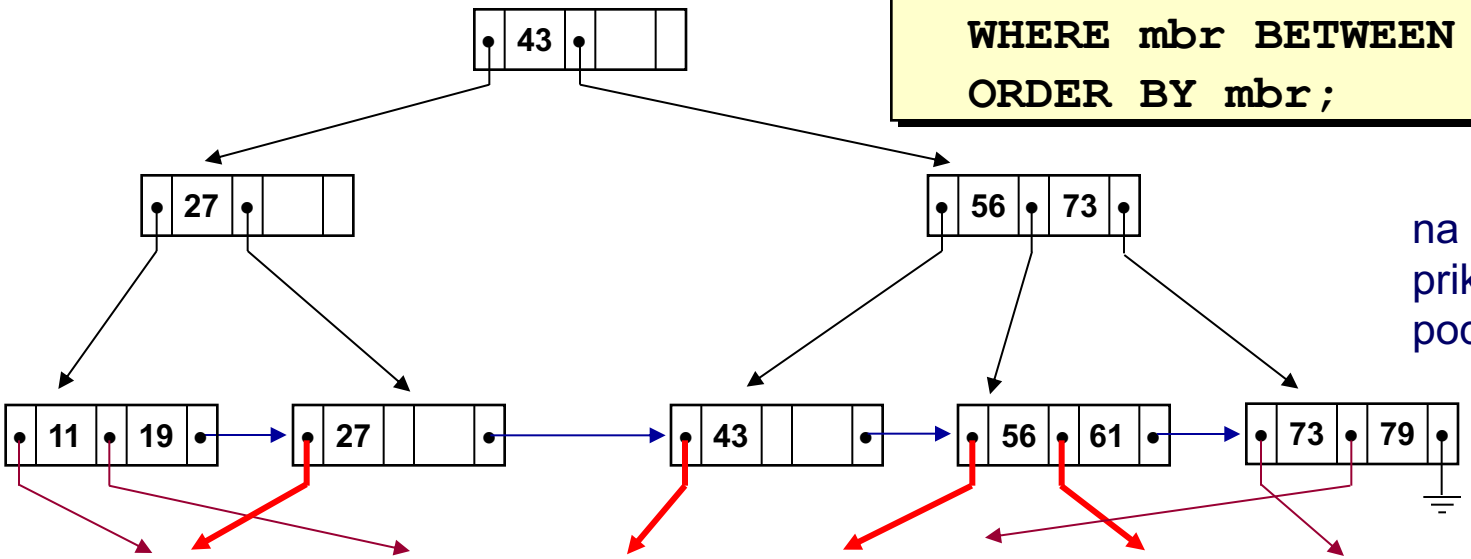
- slijediti odgovarajuću kazaljku do sljedeće razine
- postupak se ponavlja dok se ne dođe do lista u kojem će se naći kazaljka na zapis u bloku s podacima

Algoritam za pronalaženje zapisa putem B^+-stabla

- algoritam za traženje zapisa s ključem vrijednosti **k** je rekurzivan
  - cilj je u svakom koraku rekurzije (pretraga i-te razine) pronaći čvor na nižoj, (i+1)-voj razini, koji će voditi prema listu u kojem se nalazi ključ čija je vrijednost **k**
- traženje zapisa započinje od korijena (0-te razine)
- u čvoru i-te razine potrebno je pronaći najveću vrijednost ključa koja je manja ili jednaka traženoj vrijednosti **k**
  - za prvu kazaljku internog čvora nije navedena vrijednost ključa, pa ona "pokriva" sve vrijednosti ključeva manje od prve vrijednosti ključa (K_1) navedene u čvoru
- nakon pronalaženja odgovarajuće vrijednosti ključa, slijedi se pripadna kazaljka i time se obavlja pozicioniranje na (i+1)-vu razinu
- postupak se ponavlja rekurzivno sve dok se ne dođe do lista. U njemu se mora nalaziti, ukoliko postoji, ključ čija je vrijednost **k**, te pripadna kazaljka prema traženom zapisu (n-torki)

Dohvat podataka iz intervala, sortiranje

```
SELECT * FROM osoba
  WHERE mbr BETWEEN 27 AND 61
  ORDER BY mbr;
```



na ovoj slici nisu prikazani blokovi s podacima

- u listu pronaći kazaljku na zapis s ključem **27**
- redom dohvaćati kazaljke i pripadne zapise dok se ne dođe do kazaljke na zapis s ključem **61**
  - taj postupak omogućavaju kazaljke među listovima
- dobiveni su svi traženi zapisi, pri tome su poredani prema mbr
- Ako se obavlja SELECT * ... ORDER BY mbr **DESC**
  - pronađene zapise jednostavno ispisati obrnutim redoslijedom

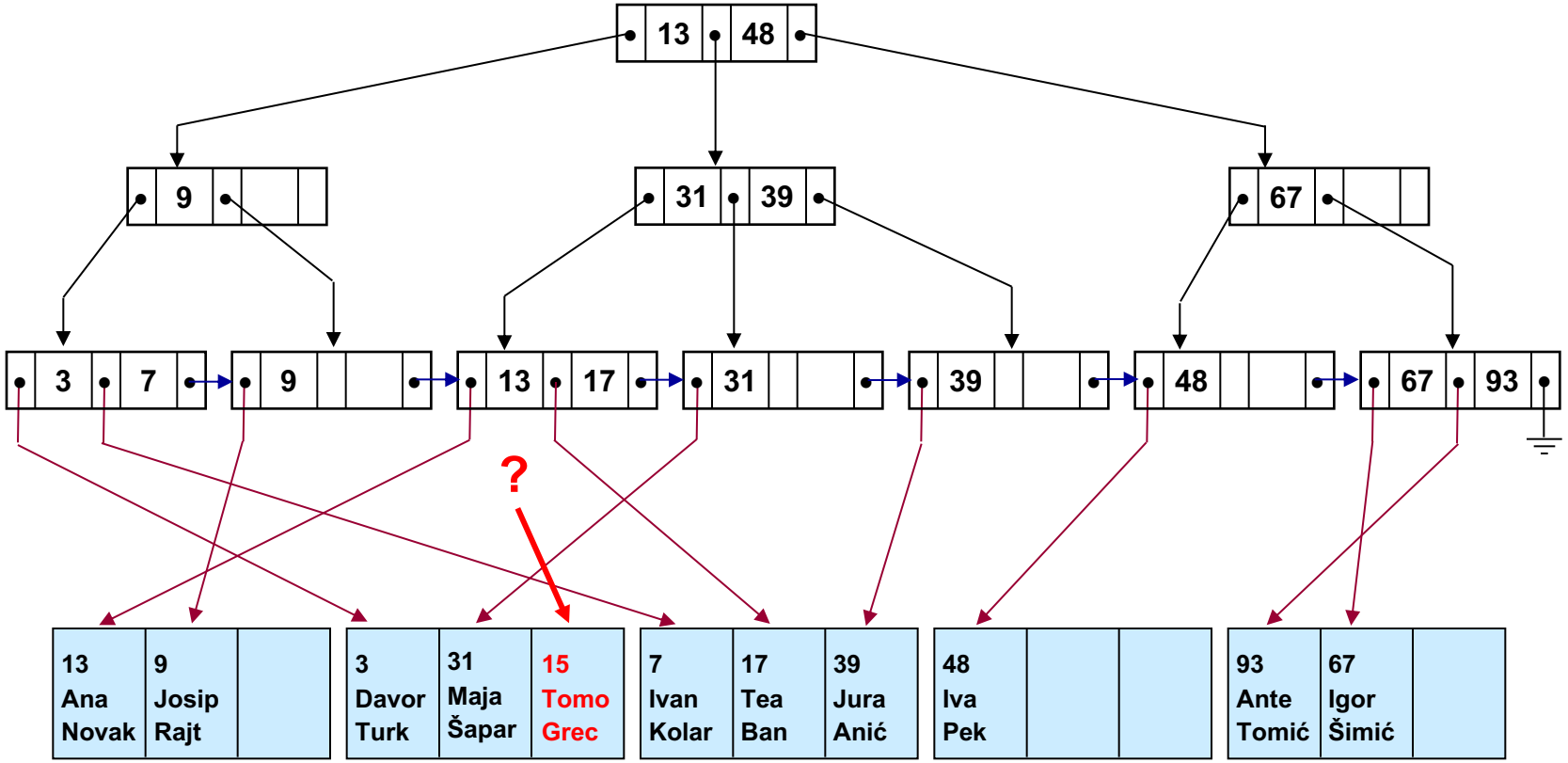
Dodavanje i brisanje zapisa

- nakon dodavanja ili brisanja zapisa u bloku s podacima, mijenja se i sadržaj B^+- stabla
  - koriste se algoritmi za dodavanje i brisanje zapisa u B^+ - stablu
  - algoritmi osiguravaju ispravnu popunjenost internih čvorova i listova B^+- stabla
  - pri tome se može dogoditi da stablo promijeni dubinu
- operacija izmjene
  - ukoliko se ne mijenjaju vrijednosti atributa za koje je izgrađeno B^+-stablo, u B^+-stablu nisu potrebne izmjene
  - ukoliko se mijenjaju vrijednosti atributa za koje je izgrađeno B^+-stablo, u B^+-stablu se obavlja algoritam za brisanje zapisa i algoritam za dodavanje zapisa
- Važno **dobro** svojstvo algoritama B-stabla: dubina stabla se automatski prilagođava broju zapisa - čvorovi stabla (osim korijena) su uvijek barem 50% popunjeni

Primjer dodavanja zapisa

- dodavanje zapisa u B$^+$-stablo:

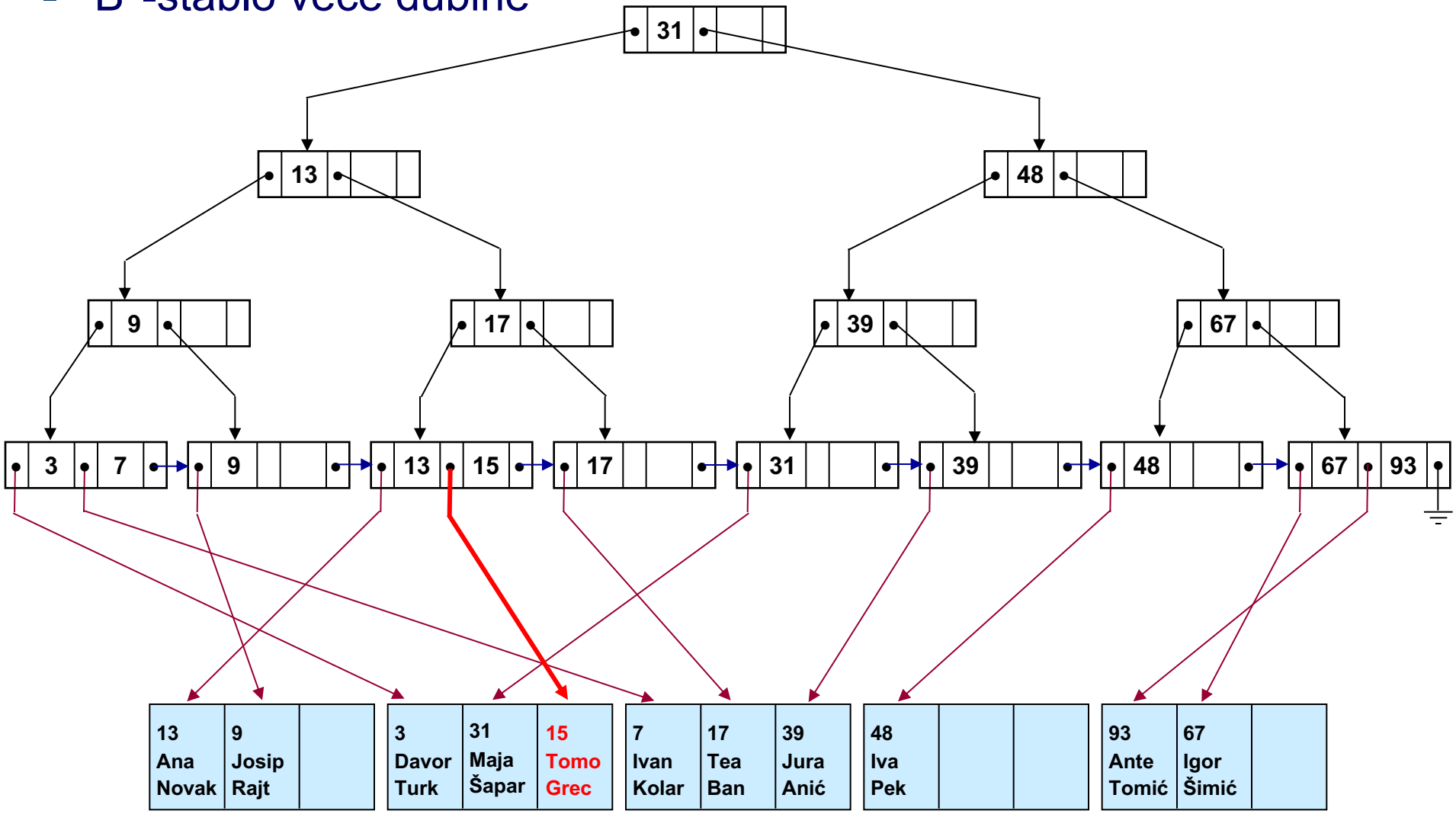
```
INSERT INTO osoba
  VALUES (15, 'Tomo', 'Grec');
```



- rezultat dodavanja zapisa u B$^+$-stablo je na sljedećoj slici:

Rezultat dodavanja zapisa

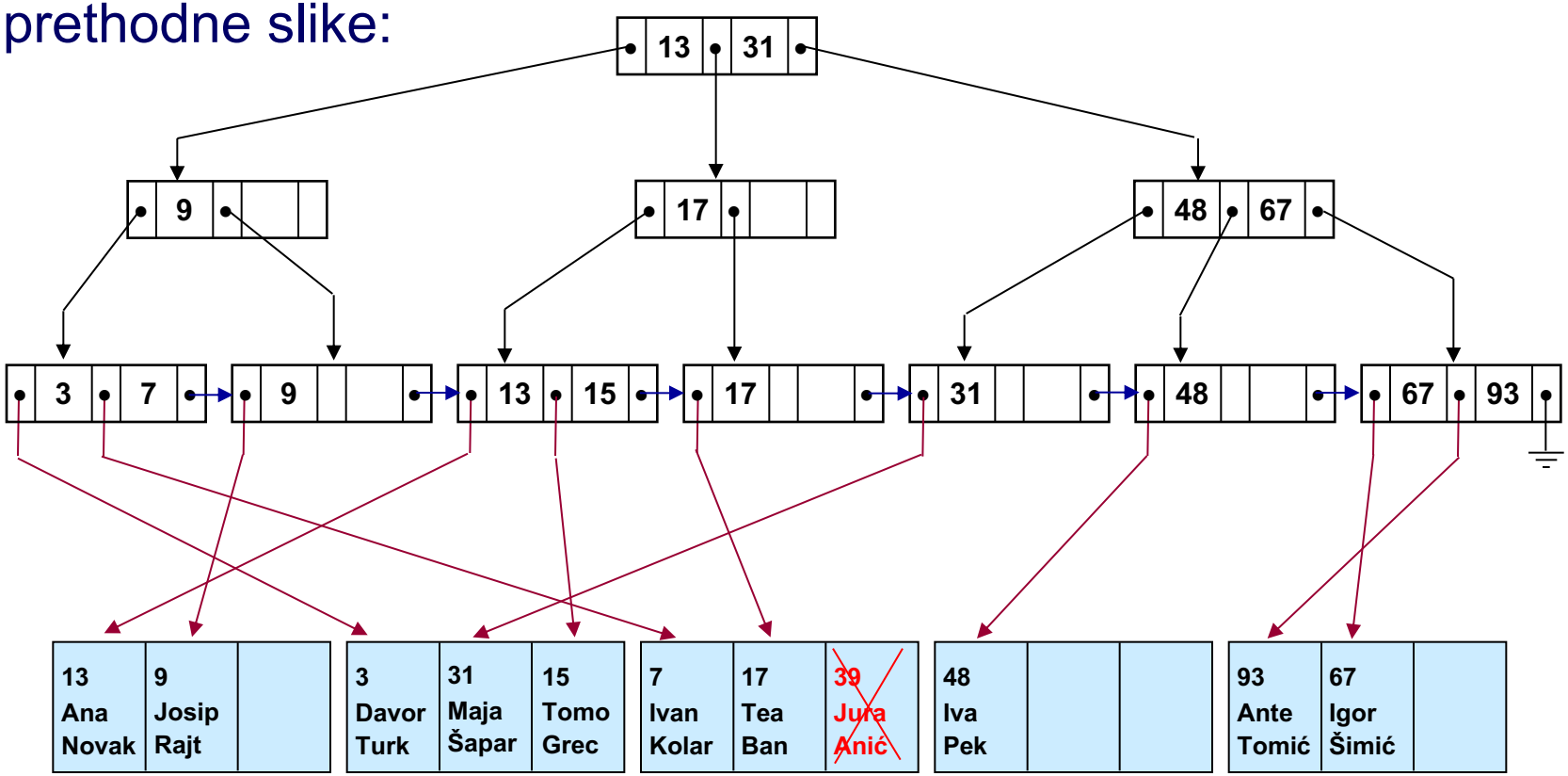
- B$^+$-stablo veće dubine



Primjer brisanja zapisa

- obavljanjem operacije nad B$^+$-stablom s prethodne slike:

```
DELETE FROM osoba WHERE mbr = 39;
```



- B$^+$-stablo manje dubine

Učinkovitost operacije pretrage u B^+-stablu

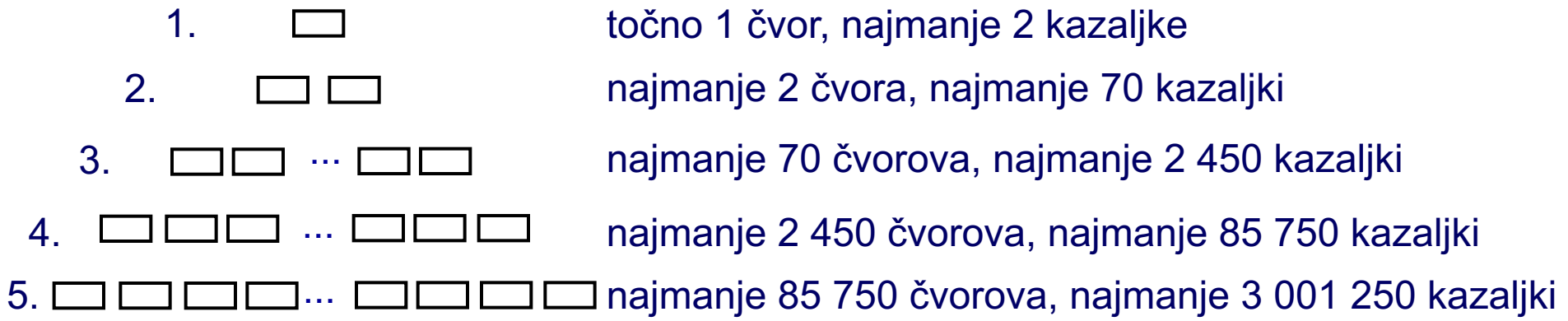
- pretpostavka: stablo reda **n** sadrži kazaljke na **m** zapisa podataka
- **n** se odabire tako da se sadržaj čvora može smjestiti u jedan fizički blok

  $\Rightarrow$ za dohvat **jednog** čvora potrebna je **jedna** U/I operacija
- broj U/I operacija u stablu pri traženju zapisa ovisi o broju razina u stablu jer se pri dohvatu zapisa mora obaviti po jedna U/I operacija za svaki čvor B-stabla na putu od korijena do lista
- B-stablo ima najveći broj razina onda kada su čvorovi najmanje popunjeni

  $\Rightarrow$ moguće je odrediti koliko će U/I operacija biti potrebno obaviti u najlošijem slučaju

Učinkovitost operacije pretrage u B$^+$-stablu

- **Primjer:** za broj n-torki **m** = 1 000 000, za red stabla **n** = 70, ukupni broj razina (uključujući i razinu korijena) u najlošijem slučaju je 4:



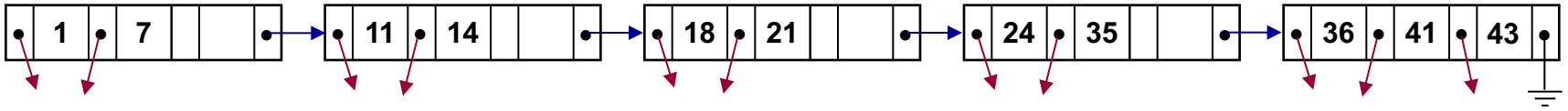
- B$^+$-stablo koje bi imalo ukupno 5 razina, moralo bi imati **najmanje** 3 001 250 kazaljki na zapise. To znači da B-stablo reda 70 čije kazaljke u listovima pokazuju na 1 000 000 n-torki može imati najviše 4 razine.

$\Rightarrow$ Za dohvat zapisa prema vrijednosti ključa potrebno je najviše 5 U/I operacija (4 U/I operacije za dohvat lista u kojem se nalazi kazaljka na zapis + 1 U/I operacija za dohvat bloka s podacima)

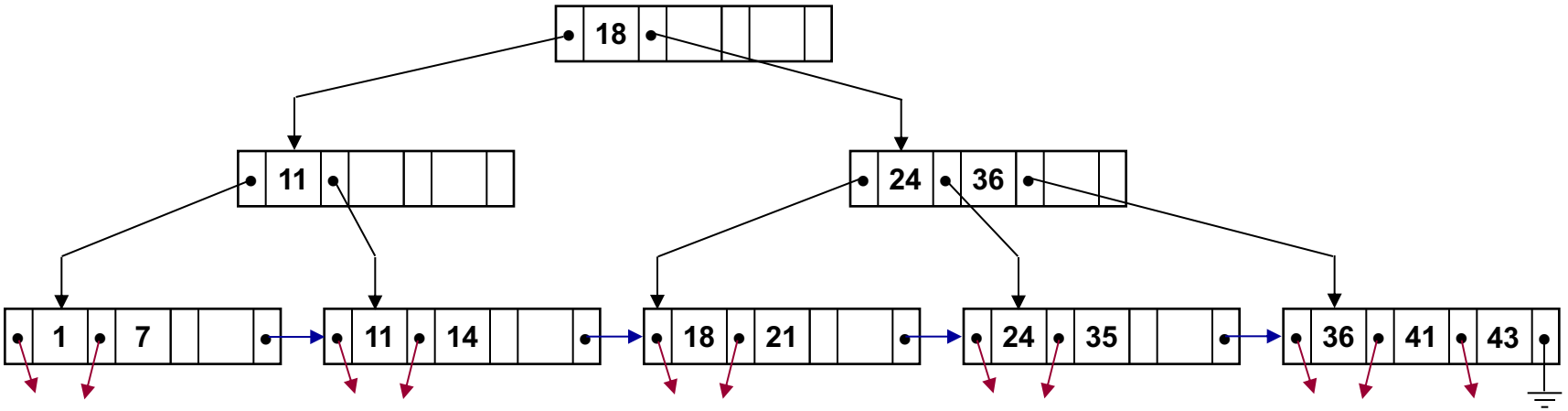
Zadatak 1.

- Relacija *stud* (*mbr*, *prez*, *ime*) sadrži n-torke sa sljedećim vrijednostima atributa *mbr* : 1, 7, 11, 14, 18, 21, 24, 35, 36, 41, 43. Nacrtati B$^+$-stablo reda **4** za atribut *mbr* tako da popunjenost stabla bude minimalna.

- min. broj kazaljki na zapise (n-torke) u jednom listu je $\lceil (\mathbf{4} - 1) / 2 \rceil = 2$

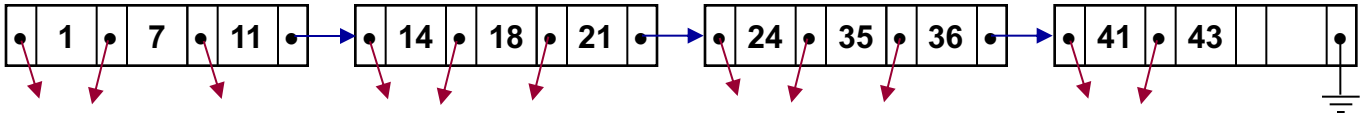


- min. broj kazaljki u jednom internom čvoru (osim korijena) je $\lceil \mathbf{4} / 2 \rceil = 2$

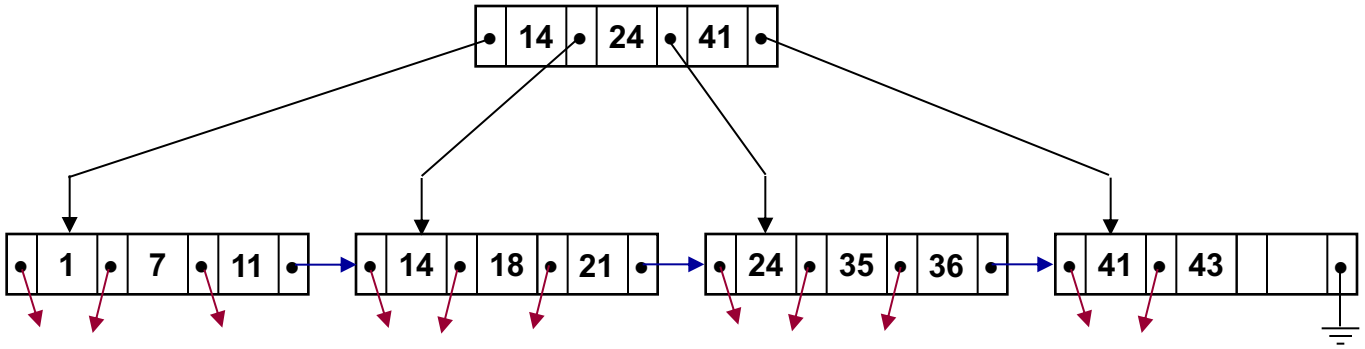


Zadatak 2.

- Relacija *stud* (*mbr*, *prez*, *ime*) sadrži n-torke sa sljedećim vrijednostima atributa *mbr* : 1, 7, 11, 14, 18, 21, 24, 35, 36, 41, 43. Nacrtati B^+-stablo reda **4** za atribut *mbr* tako da popunjenost čvorova u stablu bude maksimalna.
- maksimalni broj kazaljki na zapise (n-torke) u jednom listu je **4** - 1 = 3



- maksimalni broj kazaljki u jednom internom čvoru je **4**



Zadatak 3.

- Koliko n-torki sadrži relacija ako je nad njom izgrađeno B^+-stablo reda 101, s ukupno 5 razina, s minimalno dopuštenom popunjenošću **svih** čvorova

- min. broj kazaljki u jednom listu je $\lceil (\mathbf{101} - 1) / 2 \rceil = 50$
- min. broj kazaljki u jednom internom čvoru (osim korijena) je $\lceil \mathbf{101} / 2 \rceil = 51$
- min. broj kazaljki u korijenu je 2
- relacija sadrži $2 \bullet 51 \bullet 51 \bullet 51 \bullet 50 \approx 1.33 \bullet 10^7$ n-torki

- **ZAKLJUČAK:** ako je B-stablo reda 101, do svake n-torke u relaciji koja sadrži $\approx 1.33 \bullet 10^7$ n-torki može se pristupiti, u najlošijem slučaju, korištenjem tek 6 U/I operacija (5 U/I za dohvat lista, 1 U/I za dohvat fizičkog bloka u kojem se nalazi n-torka)

Zadatak 4.

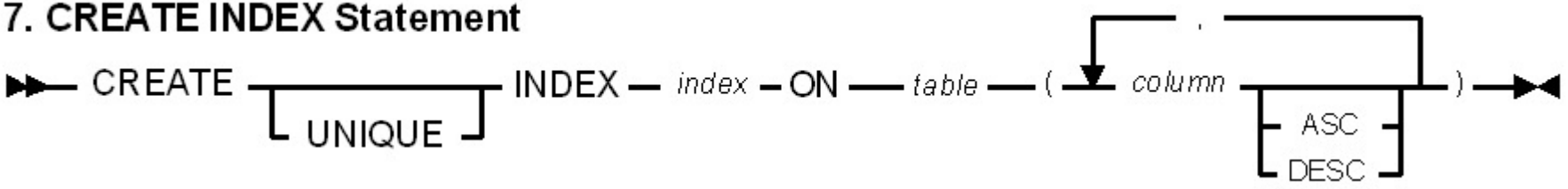
- Koliko n-torki sadrži relacija ako je nad njom izgrađeno B^+-stablo reda 101, s ukupno 5 razina, s maksimalno popunjenim **svim** čvorovima

- max. broj kazaljki u jednom listu je **101** - 1 = 100
- max. broj kazaljki u internom čvoru je **101**
- relacija sadrži $101 \cdot 101 \cdot 101 \cdot 101 \cdot 100 \approx 1.04 \cdot 10^{10}$ n-torki

- **ZAKLJUČAK:** ako je B-stablo reda 101, u najboljem slučaju, korištenjem tek 6 U/I operacija može se dohvatiti blok s n-torkom koja se nalazi u relaciji koja sadrži čak $\approx 1.04 \cdot 10^{10}$ n-torki

SQL: Indeksi

7. CREATE INDEX Statement

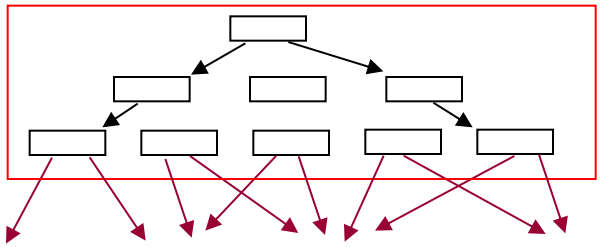


- Obavljanjem naredbe za kreiranje indeksa nad relacijom, nad blokovima s podacima relacije formira se struktura B-stabla

2

```
CREATE INDEX osoba_prez
  ON osoba (prez);
```

B-stablo za osoba.prez



1

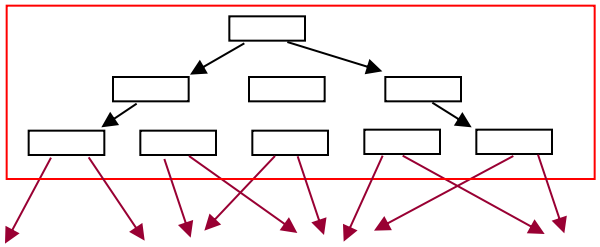
```
CREATE TABLE osoba (
  mbr   INTEGER
, ime   NCHAR(20)
, prez NCHAR(20));

INSERT INTO ...;
```

SQL: Indeksi

- Kreiranjem indeksa uz navođenje rezervirane riječi UNIQUE osigurava se jedinstvenost vrijednosti navedenog atributa

```
CREATE UNIQUE INDEX osoba_mbr
  ON osoba (mbr);
```

B-stablo za osoba.mbr



7 Ivan Kolar	17 Tea Ban	39 Jura Anić	48 Iva Pek			93 Ante Tomić	67 Igor Šimić	

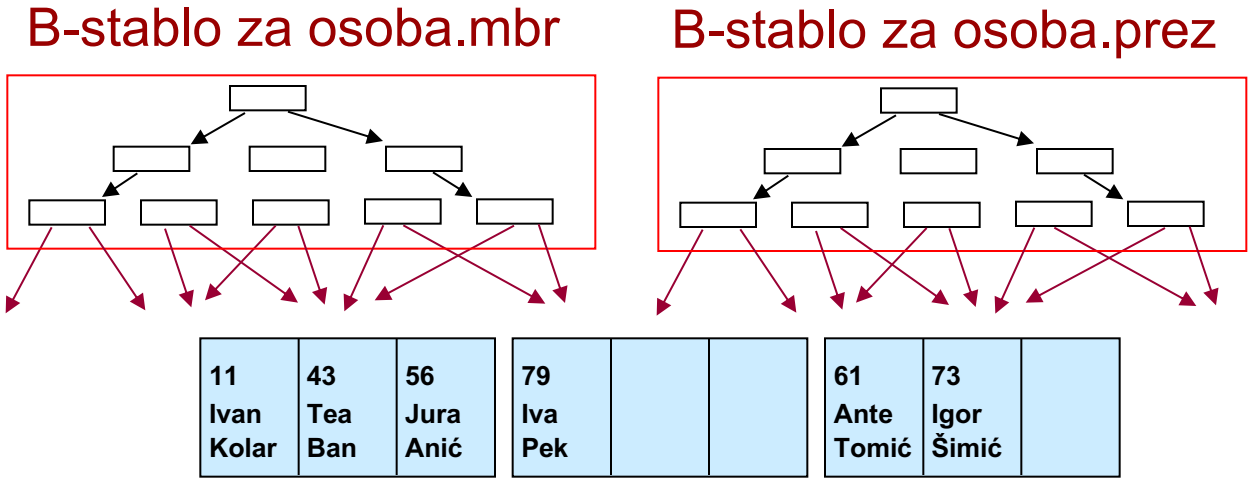
- ukoliko se indeks pokuša kreirati nad relacijom u kojoj već postoje duplikati vrijednosti atributa mbr, sustav će odbiti kreirati indeks i dojaviti pogrešku
- pokuša li se nakon kreiranja ovog indeksa unijeti n-torka s vrijednošću atributa mbr koja već postoji u nekoj n-torci, sustav će odbiti operaciju i dojaviti pogrešku

- Uništavanje indeksa - primjer:

```
DROP INDEX osoba_mbr;
```

Više indeksa nad istom relacijom

- nad istom relacijom može se izgraditi više indeksa



- B-stabla (indeksi) prikazani u primjeru omogućuju efikasno obavljanje upita s uvjetima (=, >, >=, <, <=, BETWEEN) i efikasno sortiranje (ASC, DESC)
  - za atribut mbr
  - za atribut prez
- prema uvjetima koji sadrže atribut ime, podacima se može pristupati jedino linearnom pretragom svih blokova

Više indeksa nad istom relacijom

- Ako indeksi omogućuju efikasan pristup do n-torki, znači li to da bi indekse trebalo kreirati za svaki atribut u relaciji?

NE !!! **Zašto?**

- indeksi zauzimaju prostor
- operacija unosa ili brisanja n-torke
  - uvijek rezultira promjenama (manjim ili većim) B-stabla
  - npr. ako je nad relacijom izgrađeno 10 različitih indeksa, unosom jedne n-torke u blokove s podacima morat će se unijeti zapisi i u 10 različitih indeksa
- operacija izmjene n-torke
  - izmjena vrijednosti atributa A jedne n-torke rezultirat će brisanjem i dodavanjem zapisa u svim B-stablima za indekse u kojima se koristi atribut A

Za koje atribute treba kreirati indeks?

- za atribute koji se često koriste za postavljanje uvjeta selekcije (zašto?)
- za atribute prema kojima se obavlja spajanje relacija (zašto?)
  - primarni i alternativni ključevi relacije
  - strani ključevi
- za atribute prema kojima se često obavlja sortiranje ili grupiranje (zašto?)

Za koje atribute treba kreirati indeks?

- **Primjer:**

```
CREATE TABLE stud (
  mbr   INTEGER
, ime   NCHAR(20)
, prez NCHAR(20));
```

- Često se postavljaju upiti oblika:

```
SELECT * FROM stud
  WHERE mbr = 12345;
```

```
SELECT * FROM stud
  WHERE prez > 'Kolar'
  ORDER BY prez;
```

⇒ Kreirati indeks za mbr i indeks za prez

- Što se nakon kreiranja navedenih indeksa dešava pri obavljanju:

```
UPDATE stud SET prez = UPPER(prez)
  WHERE ime = 'Ivan';
```

- n-torke se pronalaze linearnom pretragom (loše), a zbog izmjene vrijednosti atributa *prez* mora se izmijeniti sadržaj B-stabla za indeks nad atributom *prez* (loše)

```
UPDATE stud SET ime = UPPER(ime)
  WHERE prez = 'Horvat';
```

- n-torke se pronalaze pomoću B-stabla (dobro), nad atributom *ime* nije izgrađen indeks, stoga ne postoji B-stablo čiji se sadržaj mora izmijeniti (dobro)

Za koje atribute ne treba kreirati indeks?

- ako vrijednosti atributa imaju relativno mali broj različitih vrijednosti
  - npr. atribut spolOsobe s dozvoljenim vrijednostima M, Ž
- ako relaciji predstoji velik broj upisa, izmjena ili brisanja n-torki. Preporuča se u takvim slučajevima postojeće indekse izbrisati, te ih ponovo izgraditi tek nakon obavljenih promjena nad podacima
- ako relacija sadrži relativno mali broj n-torki (sve n-torke su pohranjene u nekoliko blokova). U takvim slučajevima B-stablo ne pridonosi efikasnosti pretrage
  - npr. relacija zupanija

Složeni indeksi

```
CREATE TABLE stud (
  mbr   INTEGER
, ime   NCHAR(20)
, prez NCHAR(20));
```

```
CREATE INDEX stud_ime ON stud (ime);
CREATE INDEX stud_prez ON stud (prez);
```

- efikasno se obavljaju upiti oblika:

```
SELECT * FROM stud
  WHERE prez = 'Kolar';
```

```
SELECT * FROM stud
  WHERE ime = 'Ivan';
```

- upit oblika:

```
SELECT * FROM stud
  WHERE prez = 'Kolar'
    AND ime = 'Ivan';
```

- pomoću indeksa nad atributom prez dohvatit će se n-torke studenata čije je prezime 'Horvat', ali će se u dobivenom skupu n-torki linearnom pretragom morati pronaći oni čije je ime 'Ivan' (ili indeksom po imenu, a onda linearno po prezimenu)

Složeni indeksi

- Prethodni upit se efikasnije obavlja ako se umjesto posebnih indeksa za atribute ime i prezime, kreira složeni indeks:

```
CREATE INDEX stud_prez_ime ON stud (prez, ime);
```

  - problem: ovaj indeks se koristi za upite oblika:

```
SELECT * FROM stud
  WHERE prez = 'Kolar'
    AND ime = 'Ivan';
```

≡

```
SELECT * FROM stud
  WHERE ime = 'Ivan'
    AND prez = 'Kolar';
```

  - također i za upite oblika:

```
SELECT * FROM stud
  WHERE prez = 'Kolar';
```

  - ali se ne može koristiti za upite oblika:

```
SELECT * FROM stud
  WHERE ime = 'Ivan';
```

Složeni indeksi

- Kako upotreba složenih indeksa utječe na sortiranje:

```
CREATE INDEX stud_prez_ime1 ON stud (prez, ime);
```

- indeks osoba_prez_ime1 se efikasno koristi za sortiranje oblika:

```
SELECT * FROM stud
  ORDER BY prez, ime;
```

```
SELECT * FROM stud
  ORDER BY prez DESC, ime DESC;
```

- ali ne i za:

```
SELECT * FROM stud
  ORDER BY prez DESC, ime;
```

- ako se kreira indeks:

```
CREATE INDEX stud_prez_ime2 ON stud (prez DESC, ime);
```

- indeks osoba_prez_ime2 se efikasno koristi za sortiranje oblika:

```
SELECT * FROM stud
  ORDER BY prez DESC, ime;
```

```
SELECT * FROM stud
  ORDER BY prez, ime DESC;
```

Složeni indeksi

- Ako je nad relacijom r (ABCD) kreiran složeni indeks r_abc1

```
CREATE INDEX r_abc1 ON r (A, B, C);
```

tada sljedeće indekse nije potrebno kreirati:

```
CREATE INDEX r_abc2 ON r (A DESC, B DESC, C DESC);
CREATE INDEX r_a1 ON r (A);
CREATE INDEX r_a2 ON r (A DESC);
CREATE INDEX r_ab1 ON r (A, B);
CREATE INDEX r_ab2 ON r (A DESC, B DESC);
```

- Indekse r_abc2, r_a1, r_a2, r_ab1 i r_ab2 ne treba kreirati jer SUBP može koristiti indeks r_abc1 u svim slučajevima u kojima bi se koristili indeksi r_abc2, r_a1, r_a2, r_ab1 i r_ab2.

Zadatak 5. zadana je relacija stud (mbr ime prez pbrStan)

- Za relaciju stud kreirati najmanji mogući broj indeksa koji će omogućiti efikasno obavljanje (pomoću B^+-stabla) svih navedenih upita:

1. SELECT * FROM stud ORDER BY ime DESC, prez;
2. SELECT * FROM stud ORDER BY ime DESC, prez DESC;
3. SELECT * FROM stud ORDER BY ime, prez, pbrStan;
4. SELECT * FROM stud WHERE prez = 'Novak' AND ime = 'Ivo';
5. SELECT * FROM stud WHERE pbrStan > 51000 ORDER BY pbrStan DESC;

---

1. (ime DESC, prez)
2. (ime DESC, prez DESC)
3. (ime, prez, pbrStan) - ali sada više nije potreban indeks pod 2.
4. može se koristiti indeks pod 3.
5. (pbrStan)

Konačno rješenje - kreirati indekse za: (ime DESC, prez)
(ime, prez, pbrStan)
(pbrStan)

SQL naredbe za kreiranje indeksa napisati za vježbu!