

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



Predmet: Osnove podatkovnih baz

Modul:
Organizacija datotek in indeksi

Gradivo:
v.2015



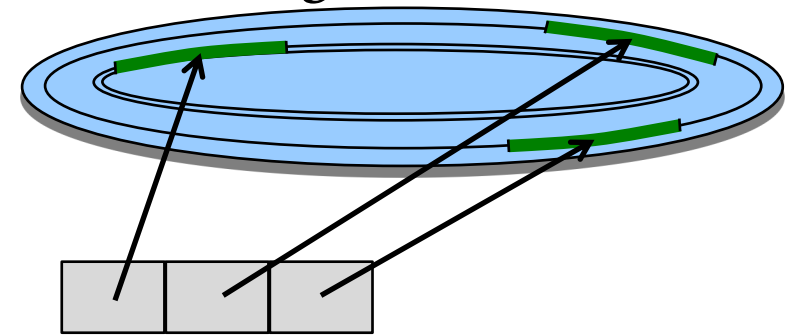
Vsebina

- Datoteke, zapisi in polja
- Datotečne organizacije
 - Neurejene datoteke
 - Urejene datoteke
 - Razpršene datoteke
- Indeksi
- Drevesno indeksiranje
 - ISAM
 - B+drevo
- Bitni in stičn indeksi
- Gruče



Osnovni koncepti...

- Podatkovna baza je na sekundarnem pomnilniku organizirana v eno ali več **datotek** (*file*)



- Vsaka datoteka zajema enega ali več **zapisov** (*record*).
- Zapis sestavljajo **polja** (*field*).
- Zapisi običajno označujejo entitete, polja pa njihove attribute.

Osnovni koncepti...

- Uporabnik zahteva zapis A10 od SUPB:
 - SUPB naredi preslikavo **logičnega** zapisa v **fizični**;
 - Poišče fizični zapis in ga prepíše v primarni pomnilnik oziroma v medpomnilnik;

Logični pogled

Tabela

Šifra	Naziv	Zaloga
A10	Telovadni copati Nike	10
A12	Trenerka Bali	4
BC80	Moška jakna QuickSilver	1
X12	Ženska jakna QuickSilver	0

entiteta/zapis

Fizični pogled
datoteka





Osnovni koncepti...

- Fizični in logični zapis: ne velja vedno 1:1
 - Fizični zapis enota prenosa med diskom in primarnim pomnilnikom. Lahko zajema več logičnih zapisov.
 - Večji logični zapis lahko zapisan čez več fizičnih zapisov.
- Fizični zapis ustreza konceptu **strani**.



Osnovni koncepti

ARTIKEL

Šifra	Naziv	Zaloga	Stran
A10	Telovadni copati Nike	10	1
A12	Trenerka Bali	4	
BC80	Moška jakna QuickSilver	1	2
X12	Ženska jakna QuickSilver	0	

Datotečna organizacija...

- Fizična urejenost podatkov v zapise in strani na sekundarnem pomnilniku → **datotečna organizacija**.
- Osnovne vrste datotečnih organizacij:
 - **Kopica** ali **neurejena datoteka**: zapisi so na disku shranjeni v nedefiniranem vrstnem redu.
 - **Zaporedno urejena datoteka**: zapisi so urejeni po vrednosti določenega polja.
 - **Razpršena datoteka**: zapisi so razpršeni z uporabo hash funkcije.



Datotečna organizacija...

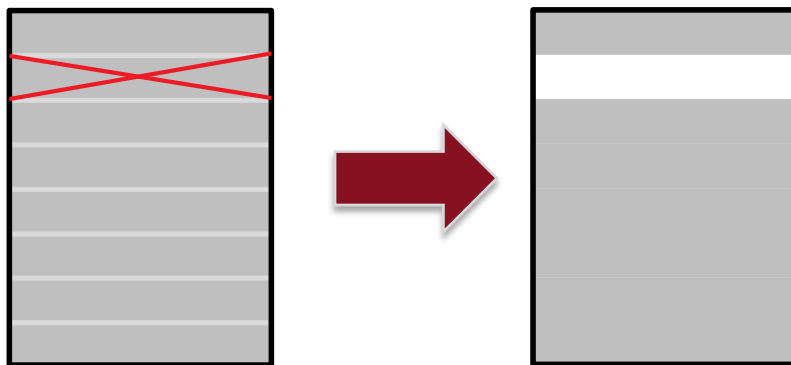
- Za delo z zapisi v datotekah obstajajo različne **tehnike ali metode dostopa** (*access methods*):
 - določajo korake, ki jih je potrebno izvesti za shranjevanje ali iskanje nekega zapisa v datoteki.
 - odvisne od datotečne organizacije.

Neurejene datoteke...

- Imenujemo tudi **kopica** (*heap*).
- Najenostavnejša datotečna organizacija:
 - Zapisi shranjeni v vrstnem redu, kot so bili dodani
 - Nov zapis dodan na zadnjo stran datoteke
 - Če ni dovolj prostora, se doda nova stran
- Dobra lastnost:
 - Zelo učinkovito dodajanje zapisov - ni potrebno računati, na katero stran bomo zapis vstavili.
- Uporabljamo za **masovni vnos**.

Neurejene datoteke

- Slabosti:
 - **Neučinkovitost iskanja:** linearno iskanje (zapisi so neurejeni)
 - **Neizkoriščenost prostora:** brisani zapisi puščajo prazen prostor na straneh... neurejene datoteke potrebno občasno reorganizirati!



Urejene datoteke...

- Zapisi v datotekah urejeni po enem ali več poljih → **urejena** ali **zaporedna datoteka**.
- Možno **binarno iskanje**.
- Primer:
 - Poišči artikel s šifro 14

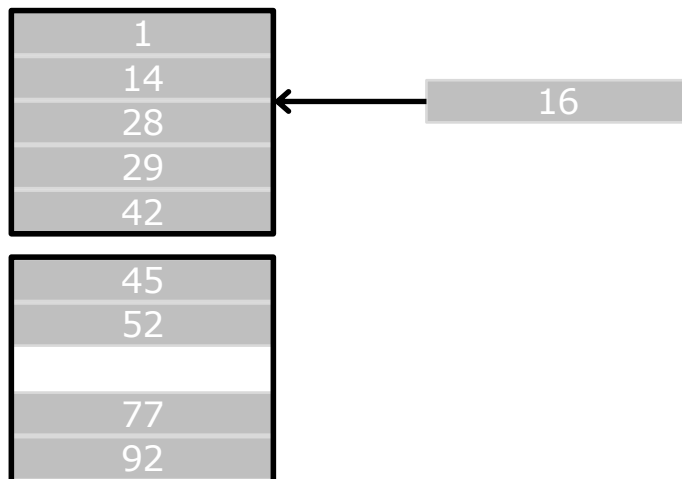
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	12	14	18	23	34	35	65	72	78	89	90	99





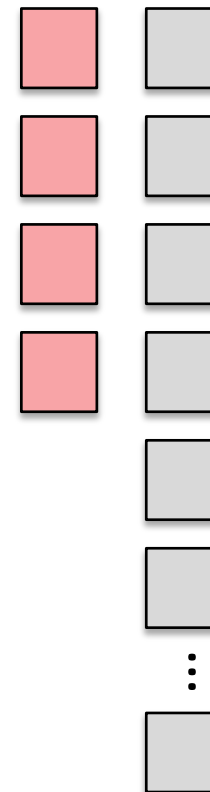
Urejene datoteke...

- Prednosti:
 - Učinkovitost iskanja
- Problem
 - Dodajanje in brisanje zapisov → potrebno vzdrževati **vrstni red**
 - Kaj če na strani ni dovolj prostora?



Urejene datoteke

- Dodajanje zapisa na začetek velike datoteke posebej problematično.
- Možna rešitev: uporaba **dodatne neurejene datoteke** (*overflow file*):
 - Nov zapis dodan v neurejeno datoteko
 - Neurejena datoteka se periodično prepiše v urejeno
 - Pri iskanju zapisa se najprej pogleda urejena datoteka. Če zapisa ne najdemo, se linearno pregleda še neurejena.



Razpršene ali hash datoteke...

- Zapisi razpršeni v skladu s **hash funkcijo**.
- Hash funkcija za vsak zapis izračuna naslov strani (naslov bloka na disku), kamor zapis sodi glede na vrednost določenega polja (**hash polje**).

$f_{\text{hash}}(P) \rightarrow$ **naslov strani**;

P: vrednost hash polja.

- Iskanje zapisa na strani se izvede v primarnem pomnilniku. Za večino zapisov moramo prebrati le eno stran.

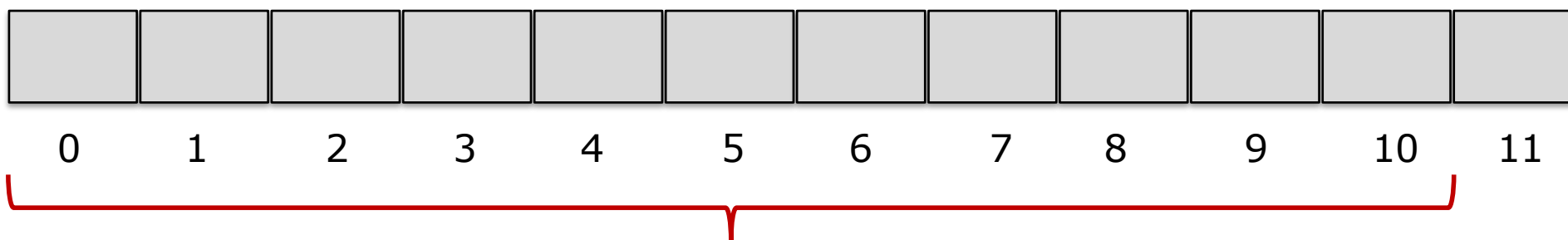


Razpršene ali hash datoteke...

- Operacije za hash funkcijo mora zagotavljati **enakomerno porazdeljenost zapisov** po datoteki.
- Tipična hash funkcija: **ostanek pri deljenju (MOD)** z določenim številom (n)

Primer hash funkcije

- MOD 11



naslovni prostor

Razpršene ali hash datoteke...

- Slabosti razpršenih datotek:
 - Zaloga vrednosti hash polja navadno večja od števila naslovov, ki jih lahko vrne hash funkcija.
 - Vsak naslov ustreza določeni strani (*bucket*), ki ima mesta za več zapisov.
 - Linerano iskanje zapisov po strani: znotraj strani zapisi urejeni po vrsti, kot so bili vstavljeni.
 - Ko hash funkcija za nek zapis vrne naslov strani, ki je polna, pride do **kolizije**.

Razpršene ali hash datoteke...

- Tehnike za reševanje kolizije:
 - Odprto naslavljanje (*open addressing*)
 - Nepovezane dodatne strani (*unchained overflow*)
 - Povezane dodatne strani (*chained overflow*)
 - Večkratno razprševanje (*multiple hashing*)

Odprto naslavljanje...

- **Pravila:**
 - **Zapisovanje:** kolizija → poiščemo prvo stran, ki ima še kakšno prosto mesto. Ko pridemo do zadnje strani, gremo na začetek.
 - **Iskanje:** enako kot pri zapisovanju. Če naletimo na prazno mesto preden na iskani zapis → zapisa ni v datoteki.



Primer odprtega naslavljanja

- Hash operacija: MOD 3
- Dodajamo zapis SL 41

?

Stanje prej	Stran
SA 9	0
SG 37	1
SG 5 SG 14	2

Stanje potem	Stran
	0
	1
	2

Nepovezane dodatne strani

- Vzdržujemo seznam dodatnih strani

Primer

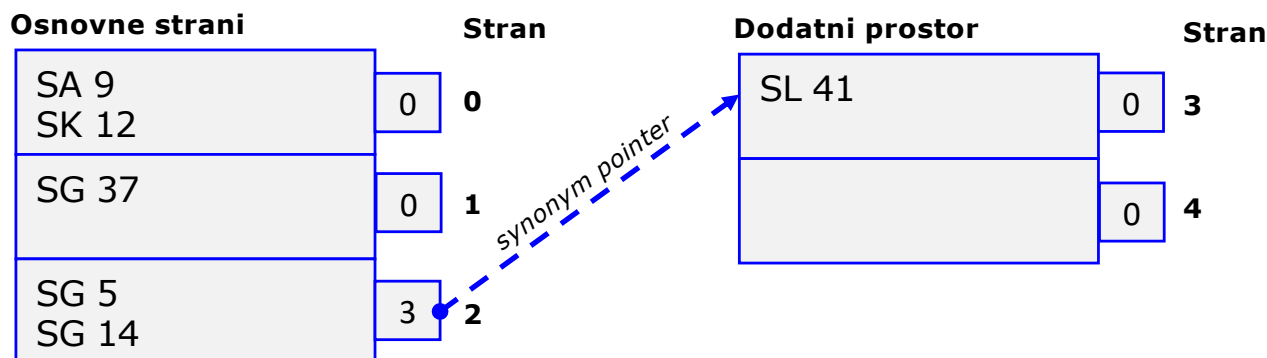
Osnovne strani	Stran
SA 9	0
SG 37	1
SG 5 SG 14	2

Dodatni prostor	Stran
SL 41	3
	4

Povezane dodatne strani

- Dodatne strani povezane z osnovnimi
- Vsaka stran ima dodatno polje, ki pove, ali je prišlo pri tej strani do kolizije ali ne. V polju je naslov dodatnega polja, kamor so razvrščeni zapisi, pri katerih pride do kolizije. Vrednost 0 pomeni, da kolizije ni bilo.

Primer



Večkratno razprševanje

- V primeru kolizije uporaba dodatne hash funkcije (vrača drugačen naslov).
- Dodatna hash funkcija navadno razvršča v dodati prostor.

Primer:

- $H_1: \text{MOD } 3, H_2: 3 + \text{MOD } 5$; dodajamo SL 11

Osnovne strani	Stran	Dodatni prostor	Stran
SA 9	0		3
SG 37	1	SL 41	4
SG 5 SG 14	2		

Razpršene ali hash datoteke...

- Razprševanje v splošnem
 - Prinaša dobre rezultate pri iskanju (ob uporabi ene izmed tehnik reševanja kolizij).
 - Spreminjanje zapisov enostavno, razen v primerih, ko spremenimo hash polje.

Dinamične razpršene datoteke...

- Obravnavane hash tehnike **statične**: ko zapisu določimo naslov, se ta ne spremeni, če se ne spremeni vrednost hash polja.
- **Problem**: datoteka postane premajhna → vzamemo večjo, določimo novo hash funkcijo, vse zapise ponovno razpršimo.
- **Alternativa**: uporaba dinamičnih razpršenih datotek: velikost datoteke spreminjamo po potrebi.
- Več tehnik realizacije dinamičnih razpršenih datotek.

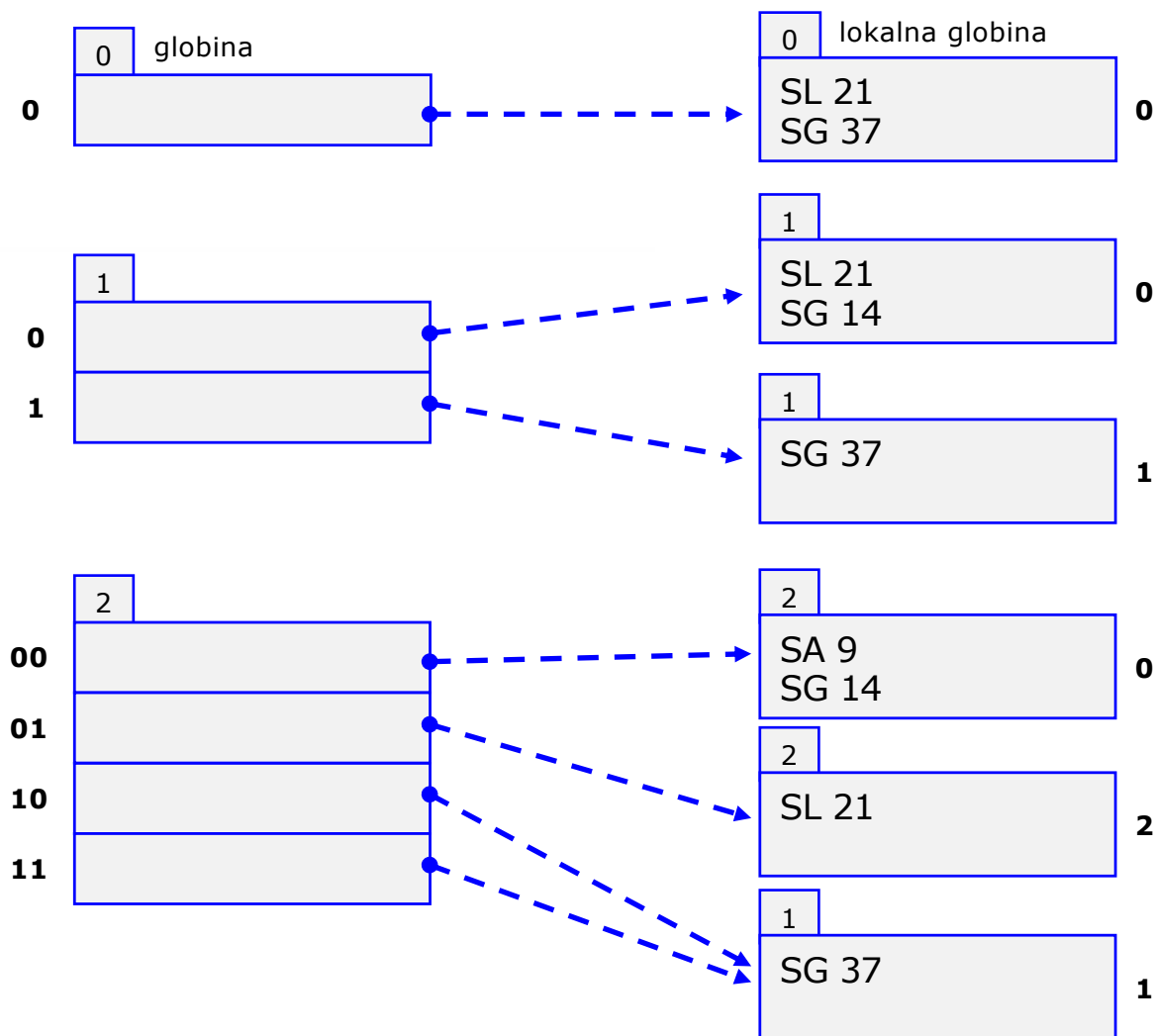
Razširljivo razprševanje (*extendible hashing*)

- Pravila:
 - Strani kreiramo po potrebi. V začetku gredo zapisi v prvo stran.
 - Ko stran polna, razdelimo glede na prvih i bitov, kjer velja $0 \leq i < b$ (b označuje dolžino ključa v bitih).
 - Izbranih i bitov določa naslov oziroma **offset** v naslovni tabeli strani (*BAT - Bucket Address Table*). Vrednost i se spreminja z velikostjo datoteke.
 - V glavi imenika je zapisana trenutna vrednost i (**globina**) skupaj z 2^i kazalci.
 - Vsaka stran ima tudi **lokalno globino**, ki pove, pri katerem i dobimo naslov te strani.

21 = 010101
 37 = 100101
 14 = 001110
 09 = 001001

Primer razširljivega razprševanja

Imenik



Izgled dinamično razpršene datoteke po vpisu zapisov SL 21 in SL 37.

Izgled dinamično razpršene datoteke po vpisu zapisa SG 14

Izgled dinamično razpršene datoteke po vpisu zapisa SA 9.

Razpršene ali hash datoteke

- **Razprševanje** v splošnem
 - Prinaša dobre rezultate pri iskanju (ob uporabi ene izmed tehnik reševanja kolizij).
 - Spreminjanje zapisov enostavno, razen v primerih, ko spremenimo hash polje.
- **Omejitve:**
 - Učinkovitost razpršenih datotek za iskanje odvisna od hash polja. Uporaba razpršenih datotek ni primerna za:
 - Iskanje po vzorcu
 - Iskanje po nizu vrednosti
 - Iskanje po polju, ki ni hash polje

Ponovitev

- Kakšne datotečne organizacije poznamo?
- Zakaj je datotečna organizacija pomembna?
- V kakšnih primerih bi uporabili:
 - Urejeno datoteko
 - Neurejeno datoteko
 - Razpršeno datoteko
- Datoteka ima n strani. Koliko I/O operacij je potrebnih pri iskanju, če je datoteka:
 - urejena
 - neurejena
 - razpršena

Indeksi in indeksiranje...

- **Indeks** je podatkovna struktura, ki SUPB-ju omogoča hitrejšo lociranje zapisov v datoteki.
- Analogija z indeksom knjige

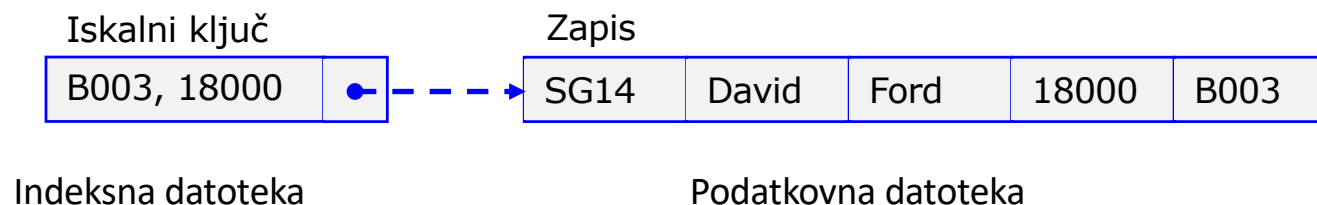
Index	
A	
accordion, layouts	
about 128	
movie form, adding 131	
nesting, in tab 128, 129	
toolbar, adding 129-131	
adapters, Ext	
about 18	
using 18, 20	
Adobe AIR 285	
Adobe Integrated Run time. <i>See</i> Adobe AIR	
AJAX 12	
Asynchronous JavaScript and XML.	
<i>See</i> AJAX	
B	
built-in features, Ext	
	lookup data stores, creating 83
	two columns, combining 84
	classes 254
	ComboBox, form
	about 47
	database-driven 47-50
	component config 59
	config object
	about 28, 29
	new way 28, 29
	old way 28
	tips 26, 29
	content, loading on menu item click 68, 69
	custom class, creating 256-259
	custom component, creating 264-266
	custom events, creating 262-264
	D

Primer indeksa

Indeks	Podatkovna datoteka				
Priimek	Ime	Priimek	Spol	...	Starost
Bolčina	Mateja	Bolčina	Ž		27
Bregar	Teja	Bregar	Ž		66
Bric	Miha	Bric	M		43
Colja	Dejan	Bric	M		29
Kavčič	Milka	Colja	Ž		32
Markovič	Gregor	Kavčič	M		62
Robnik	Iztok	Kavčič	M		55
...	Nina	Kavčič	Ž		33
	Tadej	Markovič	M		45
	Breda	Robnik	Ž		37
	...				

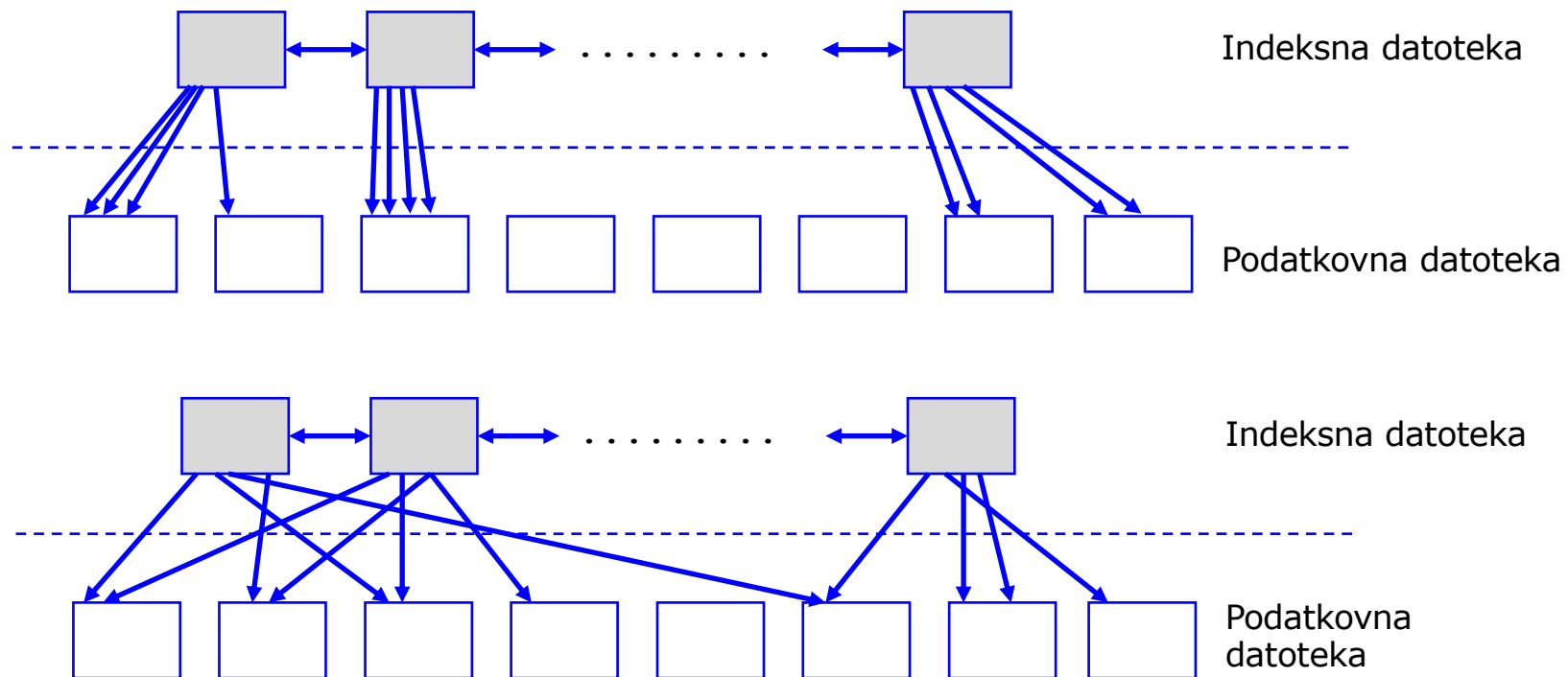
Indeksi in indeksiranje...

- Terminologija:
 - **Podatkovna datoteka**: datoteka s podatki (imenujemo tudi osnovna datoteka)
 - **Indeksna datoteka**: datoteka z indeksom. Indeks sestavlja iskalni ključ ter kazalec na zapis v podatkovni datoteki.
 - **Iskalni ključ**: sestavljen iz vrednosti polj, po katerih je datoteka indeksirana. Imenujemo tudi indeksno polje.



Indeks gruče (*clustered index*)

- Indeks po polju, po katerih je urejena podatkovna datoteka.



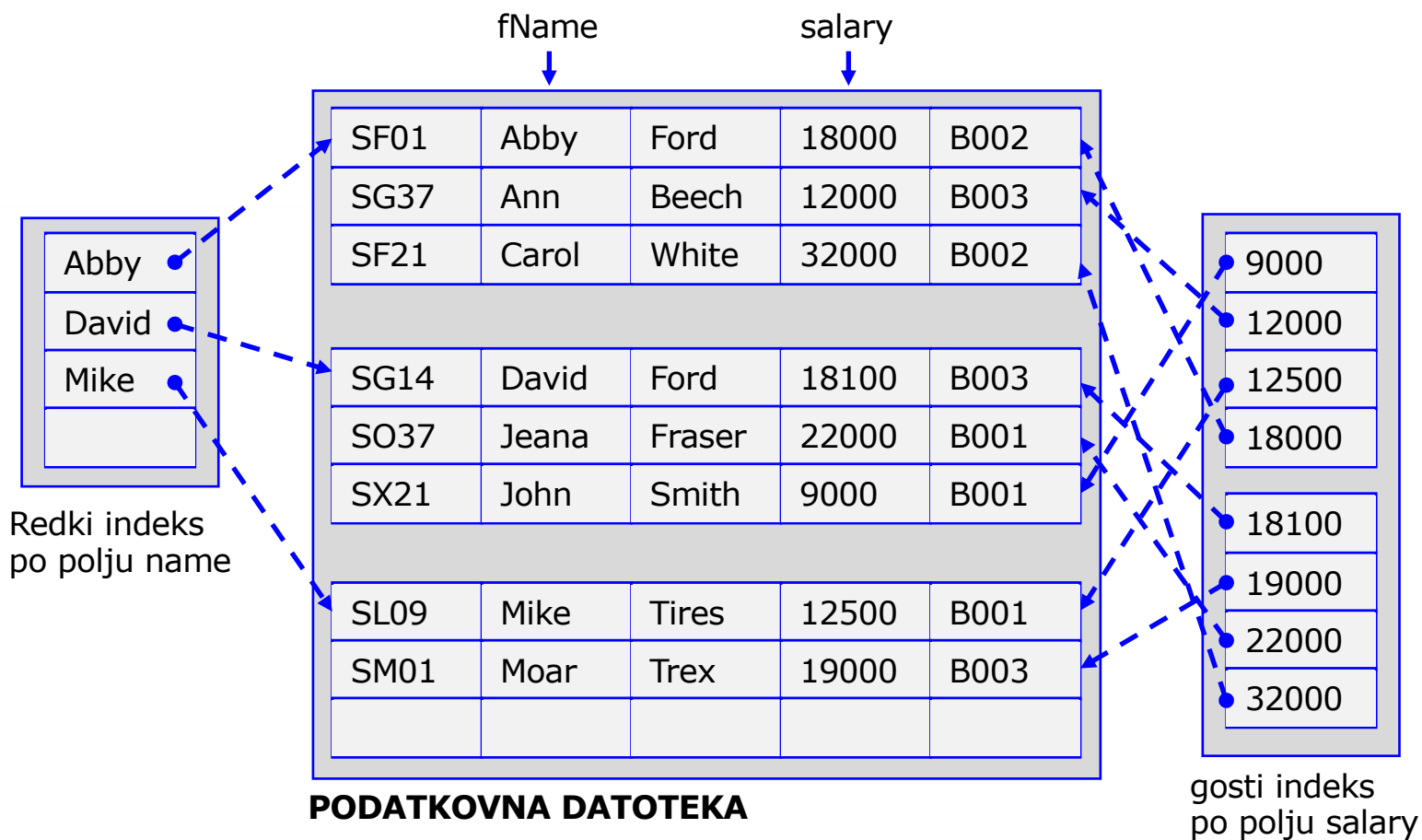
Primerni in sekundarni indeksi

- **Primarni indeks** (*Primary index*): indeks po poljih, ki vsebujejo primarni ključ. Vsak iskalni ključ kaže natanko na en zapis v podatkovni datoteki. Datoteka je po ključu urejena.
- **Sekundarni indeks** (*Secondary key*): vsak indeks, ki ne temelji na poljih, ki bi vsebovala primarni ključ.
- Vsaka datoteka ima lahko:
 - primarni indeks ali indeks gruče ter
 - več sekundarnih indeksov!

Redki in gosti indeks

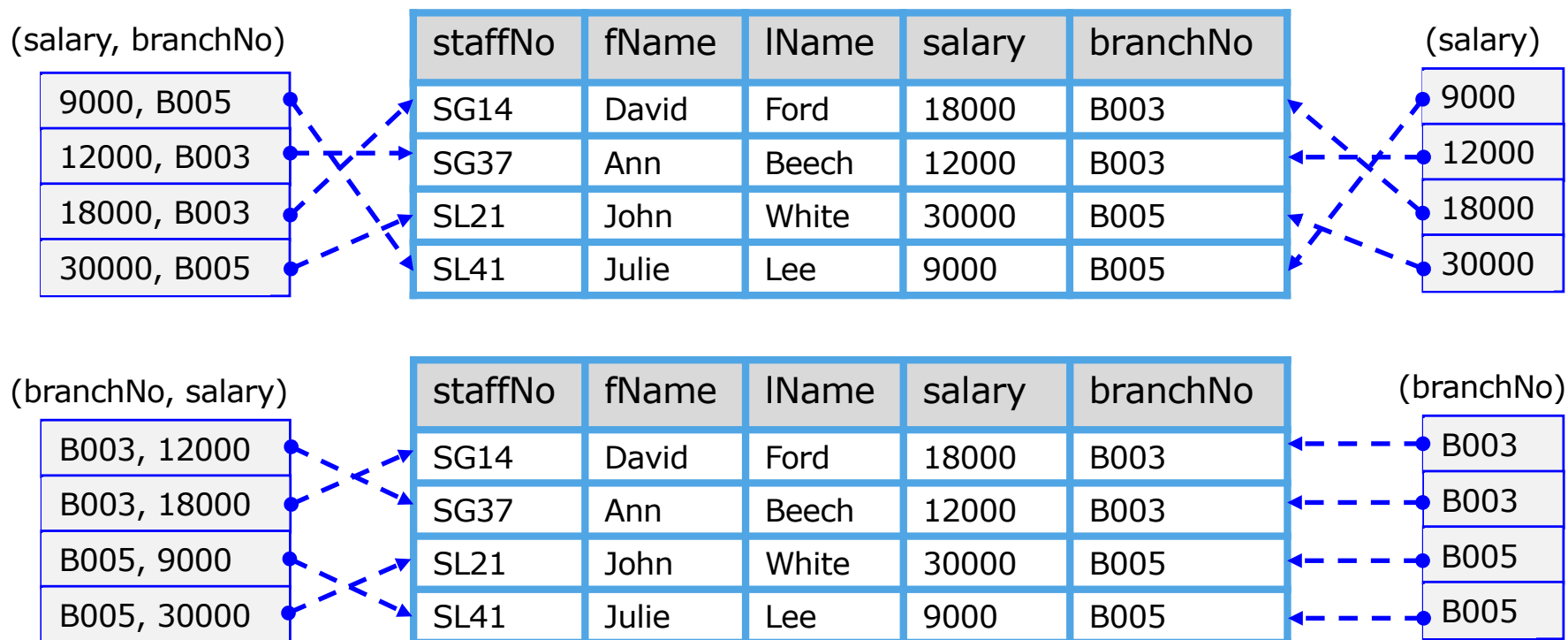
- **Redki indeks** (*sparse index*): indeksna datoteka vsebuje kazalce, ki kažejo le na določene zapise v podatkovni datoteki. Navadno vsebuje po en zapis za vsako stran v podatkovni datoteki;
- **Gosti indeks** (*dense index*): indeksna datoteka vsebuje kazalce na vse zapise v podatkovni datoteki.

Primer redkega in gostega indeksa



Sestavljen indeks

- Indeksi s sestavljenim iskalnim ključem (*composite key*):
 - Indeksi po več kot enem polju
 - Uporabljamo za kombinacije polj, po katerih pogosto iščemo



Vaja

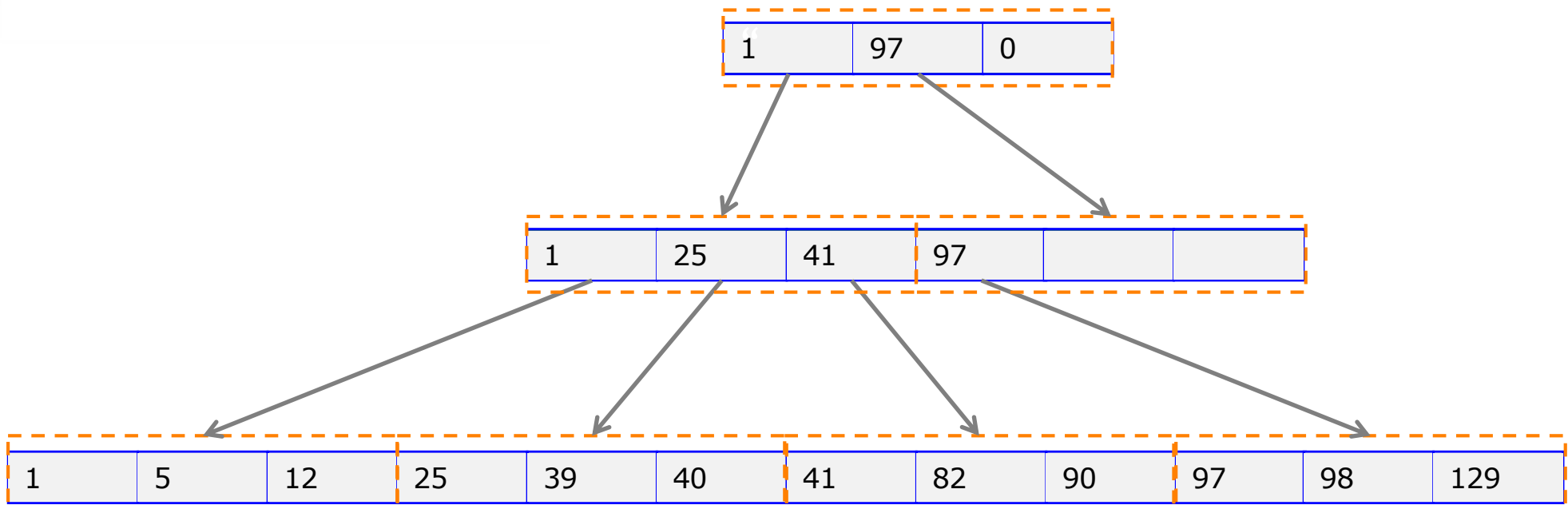
- Imamo tabelo finančnih transakcij z 50 milioni zapisov. Vsak zapis ima naslednje attribute:
 - ID transakcije, datum, znesek, tip transakcije, plačnik, prejemnik, valuta
- Transakcije bomo predvidoma iskali po:
 - Datumu – npr. vse transakcije iz določenega dne ali obdobja,
 - Plačniku – npr. vse transakcije določenega plačnika,
 - Plačniku in prejemniku – npr. vse transakcije določenega plačnika, agregirano po prejemniku.
- Kakšno datotečno organizacijo in indekse bi uporabili?

Drevesno indeksiranje...

- Primer:
 - Imamo datoteko oseb, urejeno po polju starost.
 - Če želimo najti vse osebe starejše od 30 let, moramo najprej najti prvo (s pomočjo binarnega iskanja), ki je starejša od 30 in od te naprej prebrati preostale zapise datoteke.
- Možnost za pohitritev iskanja:
 - Izdelamo dodatno datoteko, s po enim zapisom za vsako stran v podatkovni datoteki in jo uredili po polju starost.
 - Vsak zapis v dodatni datoteki vsebuje par `<ključ prvega zapisa na strani, kazalec na zapis>`



Primer drevesnega indeksa





Drevesno indeksiranje...

- Drevesno indeksiranje učinkovito pri:
 - intervalnem iskanju ter
 - dodajanju in brisanju (za razliko od urejenih datotek).
- Iskanje po enakosti boljše pri hash indeksiranju.
- Dve tipični indeksni strukturi, ki temeljita na drevesni organizaciji:
 - **ISAM** (*Indexed Sequential Access Method*):
 - **B+** drevesna struktura

Drevesno indeksiranje...

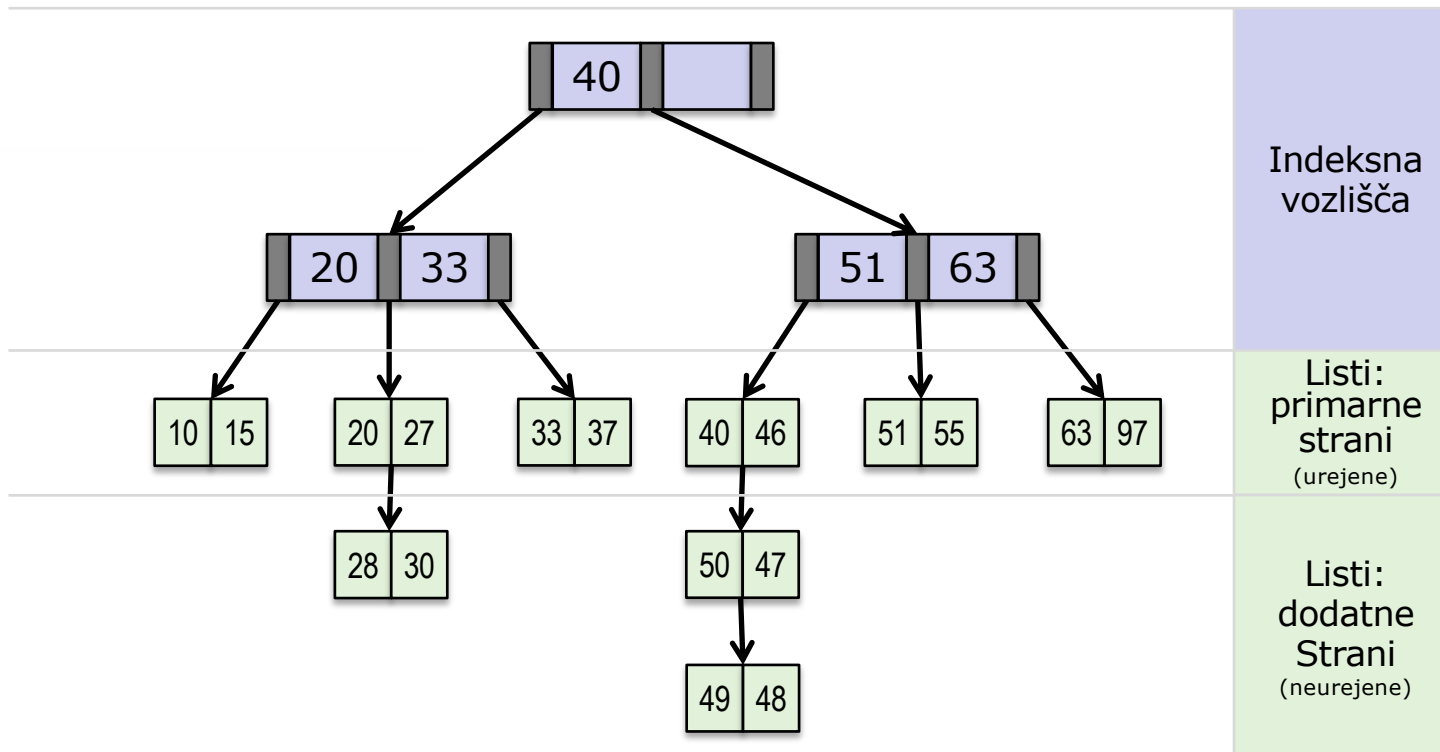
- ISAM:
 - statičen indeks,
 - učinkovit v primerih, ko se podatkovna datoteka ne spreminja pogosto,
 - ni učinkovit pri datotekah, ki se hitro povečujejo ali krčijo.
- B+ drevo:
 - dinamična struktura; se zelo dobro prilagaja spremembam v podatkovni datoteki,
 - najbolj uporabljana vrsta indeksa; omogoča hitro iskanje zapisov, intervalno iskanje in se učinkovito prilagaja spremembam v podatkovni datoteki.

ISAM...

- ISAM statična struktura (izjema dodatne strani)
- Gradnja ISAM indeksa:
 - Ko se indeksna datoteka kreira, so vse strani v listih urejene zaporedno in po iskalnem ključu.
 - Vstavljanje novih podatkov lahko zahteva kreiranje dodatnih strani (če je stran, kamor podatek sodi, polna).
- Podprte operacije: operacije iskanje, brisanje in vstavljanje.



Primer ISAM drevesa

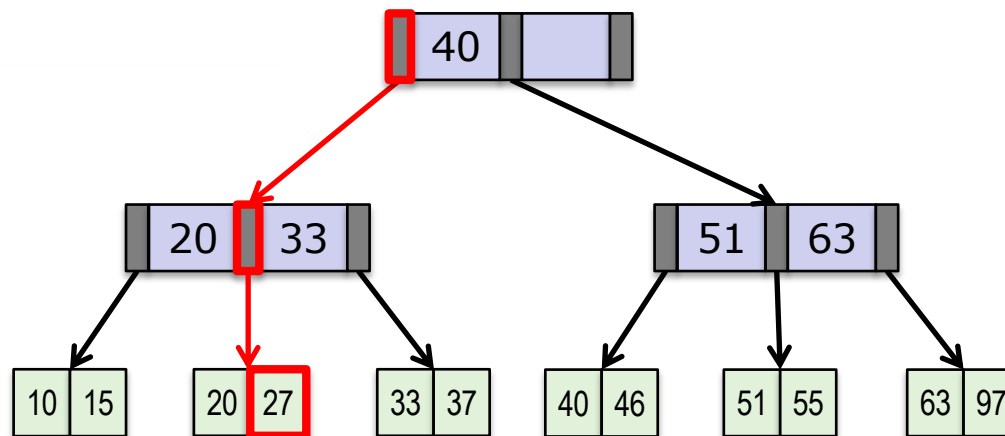


Iskanje po ISAM indeksu

- Postopek:
 - Začnemo v korenu
 - Če iskana vrednost manjša ali enaka ključu korena, sledimo levemu kazalcu, sicer desnemu.
 - Ponavljamo, dokler ne pridemo do listov drevesa. Če iskanega podatka ni v listu, iščemo v dodatnih straneh.

Primer iskanja po ISAM drevesu

- Iščemo element 27

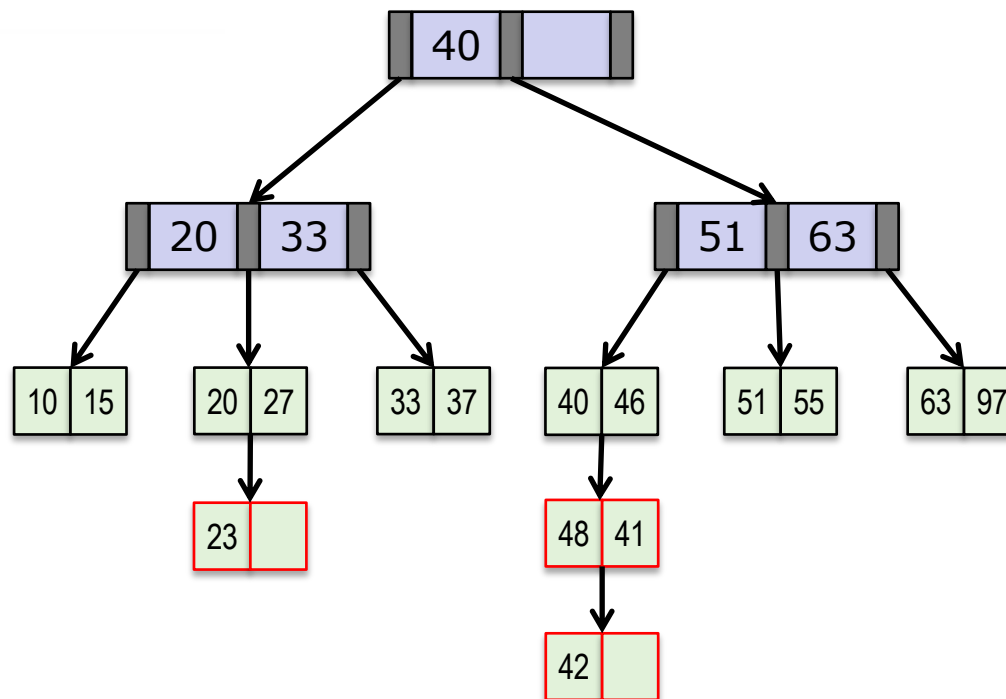


Dodajanje v ISAM indeks

- Postopek:
 - Stran v listih, kamor zapis sodi, poiščemo enako kot pri iskanju
 - Če je prosto mesto v **primarnem listu**, moramo element dodati na ustrezno mesto (primarni listi so urejeni)
 - Če v primarnih listih ni prostora, dodamo element na prvo prosto mesto v **dodatnih listih**. Po potrebi dodamo nov list v seznam dodatnih listov.

Primer dodajanja v ISAM drevo

- Dodajamo elemente 23, 48, 41, 42



Brisanje iz ISAM indeksa

- Postopek:
 - Zapis, ki ga brišemo, poiščemo enako kot pri iskanju
 - Če je zapis na dodatni strani in gre za zadnji zapis na strani, stran zbrišemo.
 - Če je zapis na primarni strani in gre za zadnji zapis na strani, pustimo stran prazno. Služi kot mesto za kasnejšo rabo.
 - Lahko se zgodi, da se iskalni ključ, ki nastopa v indeksnem delu, ne pojavi v listih.

Stroški iskanja v ISAM strukturi

- Primer izračuna stroškov iskanja zapisa v ISAM strukturi:
 - Število I/O operacij = $\log_F N$, kjer je N število primarnih strani listov, F število otrok vsake indeksne strani.
 - Število I/O operacij pri binarnem iskanju po urejeni datoteki je $\log_2 N$. Pri iskanju po eno-nivojskem indeksu: $\log_2(N/F)$
 - Primer: datoteka z 1.000.000 zapisi, 10 zapisov na stran v listih in 100 zapisov v indeksnih straneh
 - Strošek branja cele datoteke: 100.000
 - Strošek binarnega iskanja po urejeni datoteki: 17
 - Strošek binarnega iskanja po eno-nivojskem indeksu: 10
 - Strošek binarnega iskanja po ISAM strukturi: 3 (brez dodatnih strani)

Omejitve ISAM indeksne strukture

- Problem ISAM strukture se pokaže, ko naraste število dodatnih strani
 - Podatki v dodatnih straneh so načeloma lahko urejene, običajno pa niso (zaradi učinkovitosti dodajanja zapisov)
 - Problem omilimo tako, da v začetku, ko izgradimo indeks, pustimo nekaj praznega prostora v straneh listov.

Kje smo?

- Datoteke, zapisi in polja
- Datotečne organizacije
 - Neurejene datoteke
 - Urejene datoteke
 - Razpršene datoteke
- Indeksi
- Drevesno indeksiranje
 - ISAM
 - B+drevo
- Bitni in stični indeksi
- Gruče

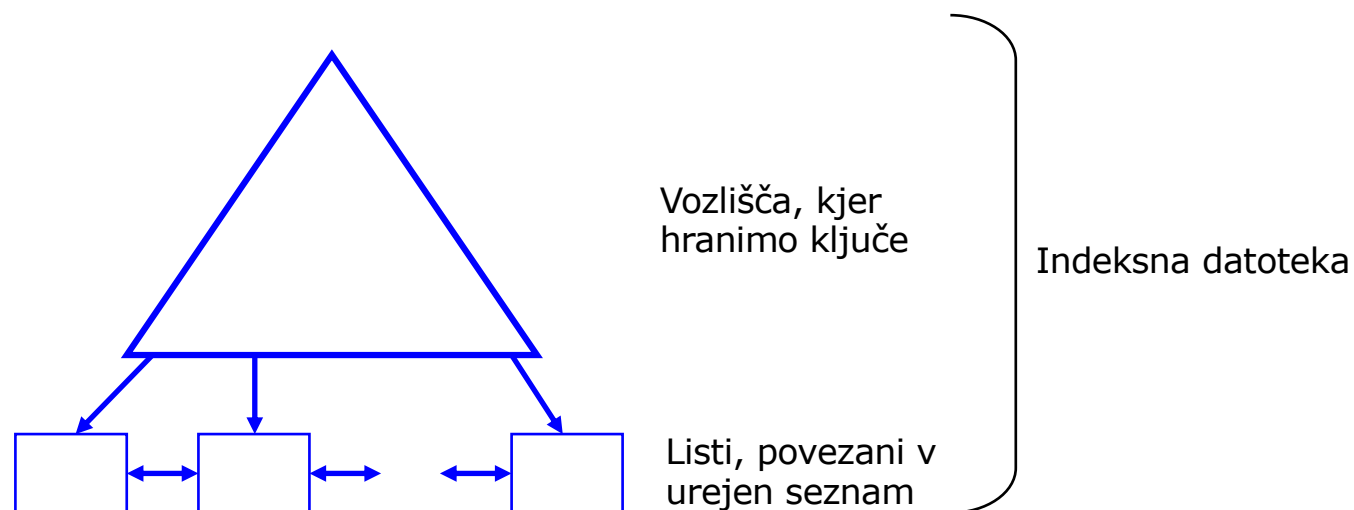


B+ drevesa...

- B+ indeks je **dinamičen** → njegova struktura se dinamično prilagaja spremembam v podatkovni datoteki.
- Odpravlja težave ISAM indeksa, npr. s povečevanjem števila dodatnih strani pada učinkovitost...
- B+ je **uravnoteženo drevo**, katerega vozlišča usmerjajo iskanje, listi pa vsebujejo podatke (ključe).

B+ drevesa

- Zaradi dinamične narave B+ drevesa, strani v listih ni možno alocirati zaporedno. Uporabimo **kazalce**.
- Liste B+ drevesa uredimo z **dvosmernim seznamom**.

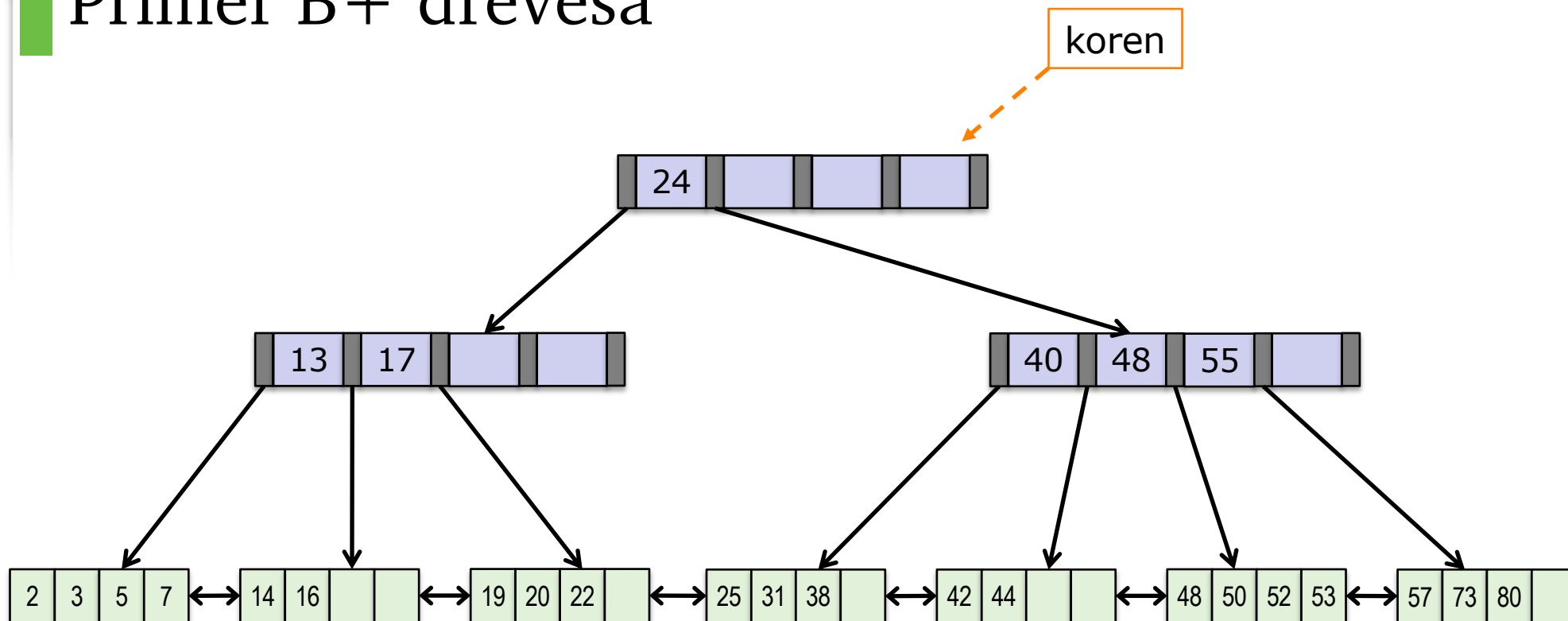




Lastnosti B+ dreves

- Operacije dodajanja in brisanja ohranjajo drevo uravnoreženo;
- Vozlišča (razen korena) so vsaj **50% zasedena**, če uporabimo ustrezen algoritem brisanja;
- Iskanje določene vrednosti zahteva le pot od korena do ustreznega lista.
- Poti do vseh vozlišč so zaradi uravnoreženosti enake in določajo **višino drevesa**.
- Zaradi velikega razvejanja (**parameter F**) je višina običajnih B+ dreves majhna (redko več kot 3 ali 4).

Primer B+ drevesa



d je parameter B+ drevesa imenovan **red drevesa**;

$2*d$ predstavlja **kapaciteto vozlišča**. Edina izjema je korensko vozlišče, za katerega velja $1 \leq m \leq 2d$.

Vsako vozlišče B+ drevesa vsebuje m vpisov, pri čemer velja $d \leq m \leq 2*d$.

Prednosti B+ dreves

- Uporaba B+ dreves se splača v primerih, ko se podatki velikokrat spreminjajo, obenem pa potrebujemo zaporedno iskanje.
- Prednosti pred uporabo **urejenih datotek**:
 - Za ceno dodatnega prostora, ki ga porabimo z indeksno datoteko, pridobimo vse prednosti urejene datoteke, obenem pa ne izgubimo na učinkovitosti dodajanja in brisanja.
- Prednosti pred uporabo **ISAM**-a:
 - Zaradi dodajanja ni potrebno ustvarjati dodatnih oziroma presežnih strani.

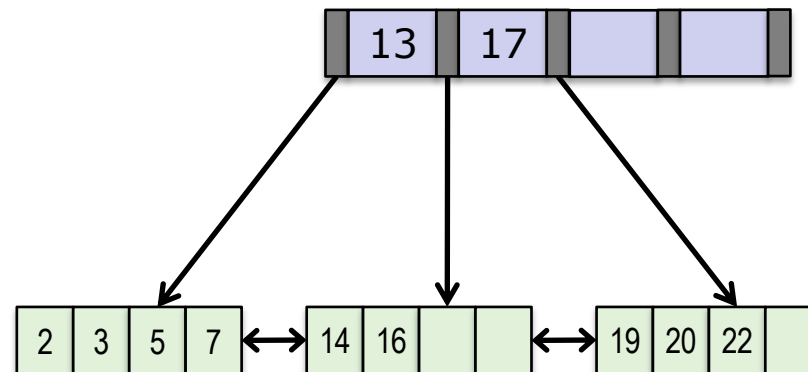
Operacije z B+ drevesi

- Iskanje - **enostavno**

- Dodajanje

- Bisanje

- **kompleksno**, potrebno zagotavljati uravnoveženost drevesa



Postopek: iščemo element k

1. Premakni se v koren

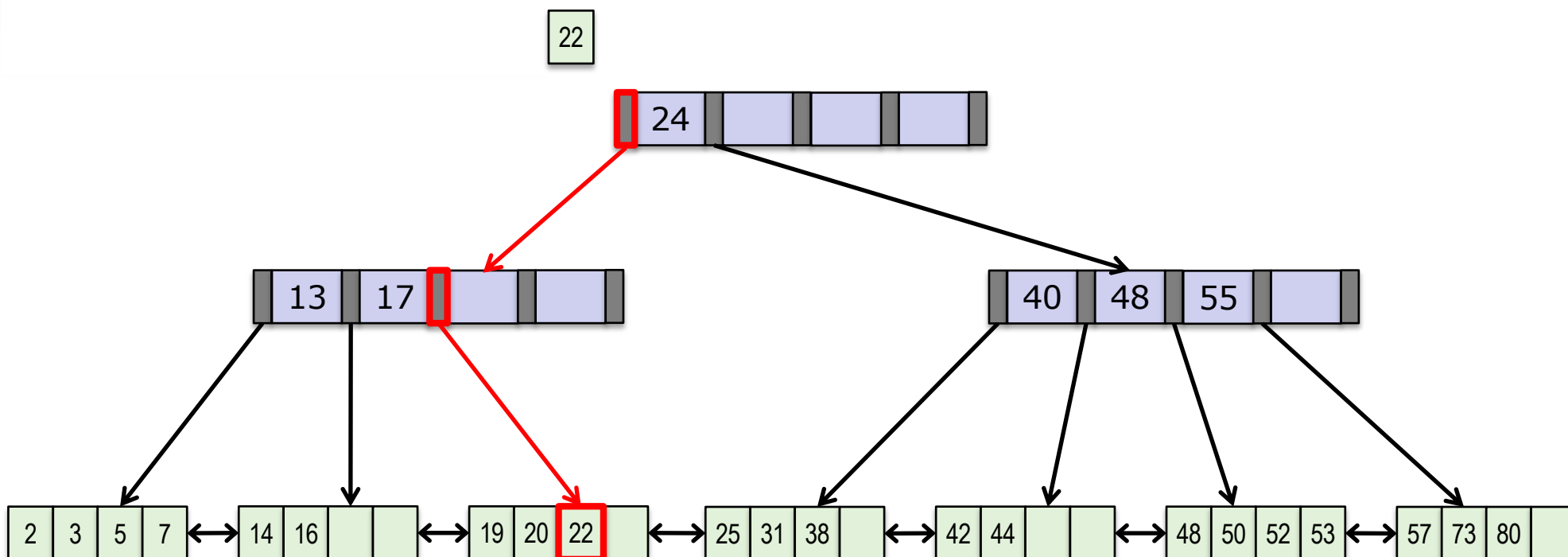
2. Poišči ustrezen kazalec k_i

3. Premakni se na naslednje vozlišče prek kazalca k_i

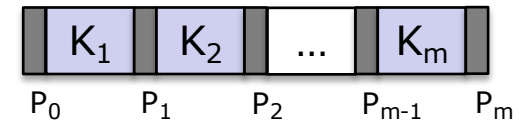
4. Vrni se na korak 2

Iskanje v B+ drevesu

- Poišči element: 22



Algoritem za iskanje v B+ drevesu

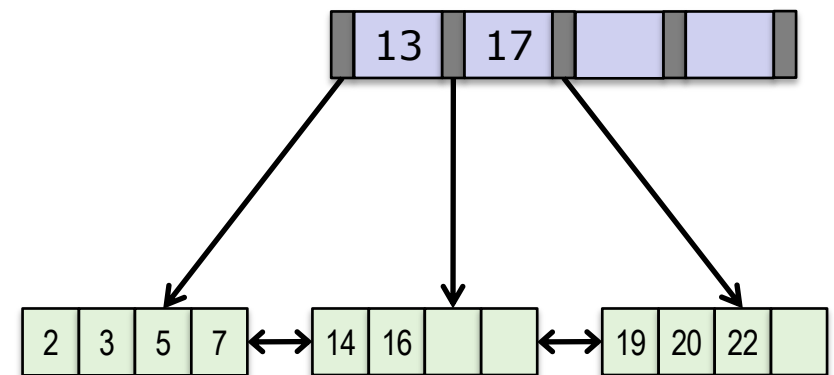


//v drevesu s korenom *root* poišči vozlišče z vrednostjo *K*

```
function find (search key value K): return nodepointer
  return tree_search(root, K);
end;
```

//v drevesu poišči vozlišče z vrednostjo *K*. Začni pri vozlišču, na katerega kaže nodepointer.

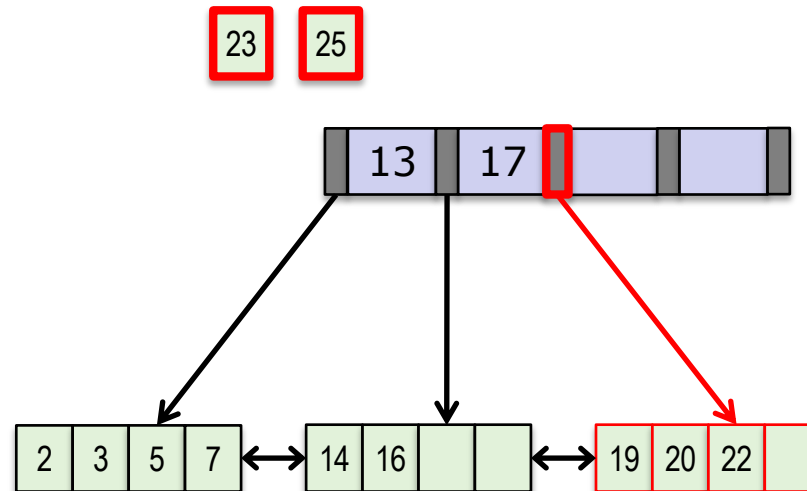
```
function tree_search (nodepointer, search key value K) return nodepointer
  if *nodepointer is a leaf, return nodepointer
  else
    if  $K < K_1$  then return tree_search( $P_0$ , K)
    else
      if  $K > K_m$  then return tree_search( $P_m$ , K)
      find i such that  $K_i \leq K < K_{i+1}$ ;
      return tree_search( $P_i$ , K)
  end;
```



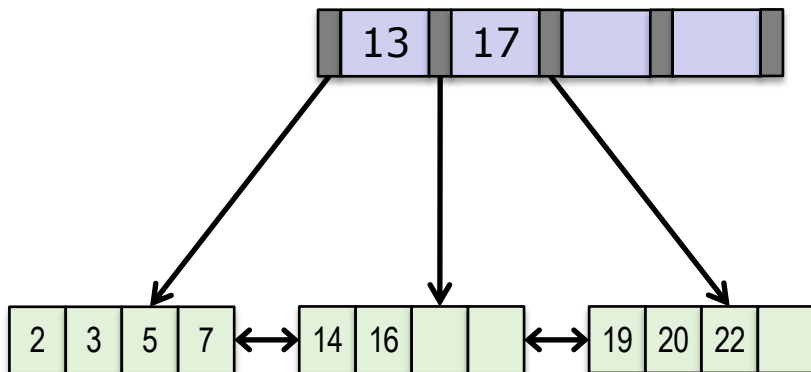
Dodajanje elementov v B+ drevo

- Dodajanje elementov zahteva **razdelitev** vozlišča, če je to že polno.

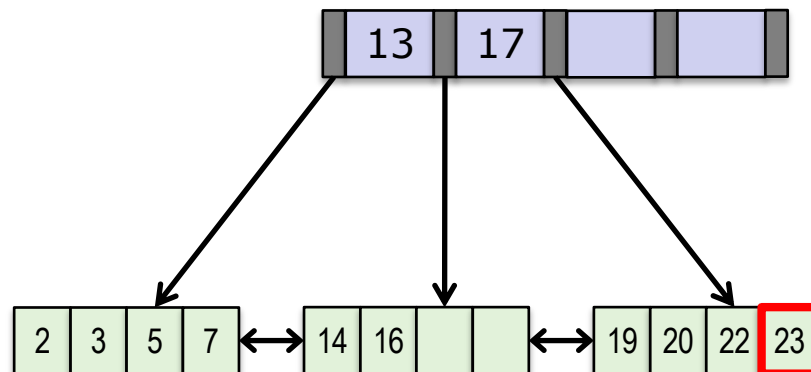
Primer: dodajamo elementa 23 in 25



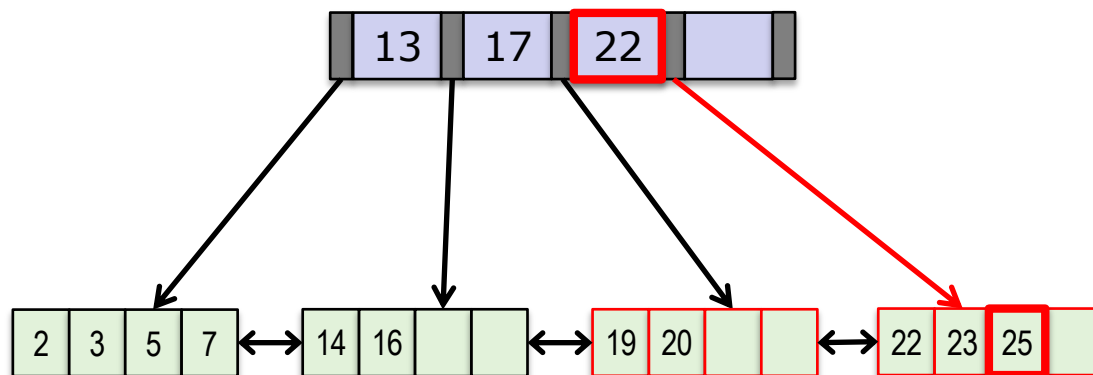
Korak 1: začetno drevo



Korak 2: po dodajanju elementa 23



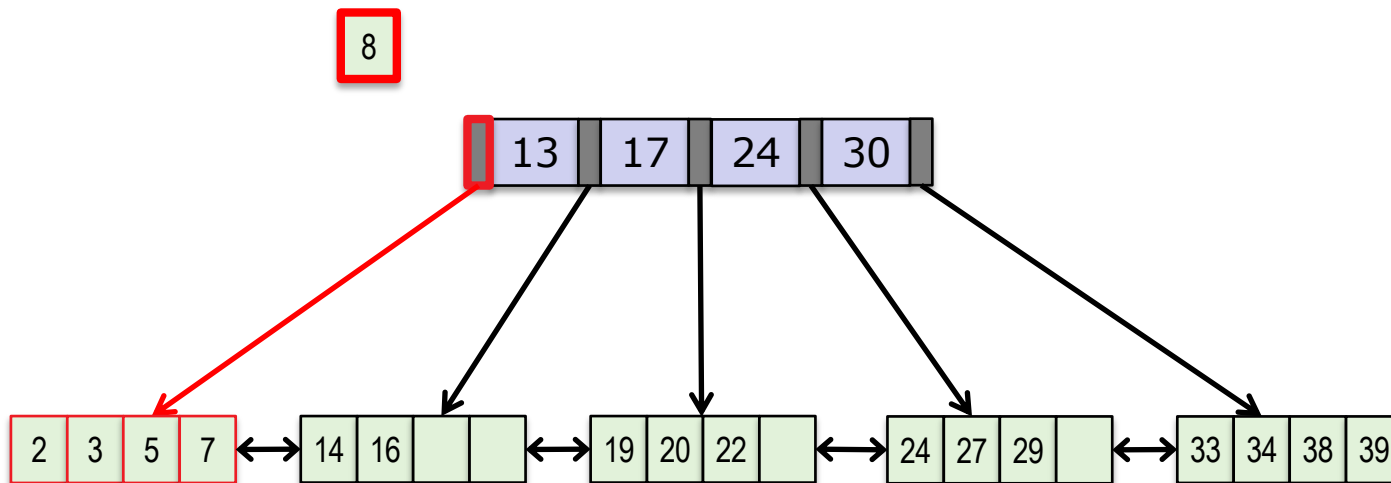
Korak 3: končno drevo – po dodajanju elementa 25



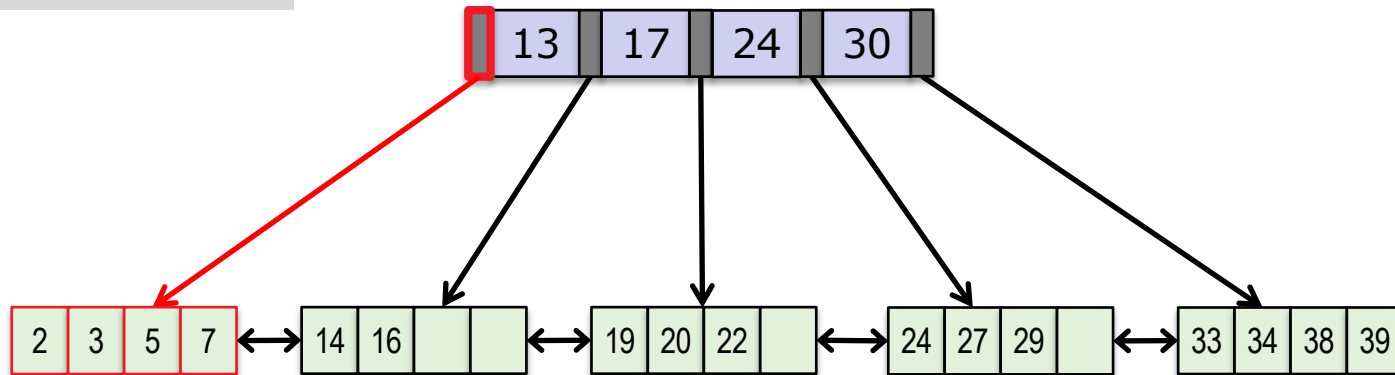


Primer: dodajanje nivoja

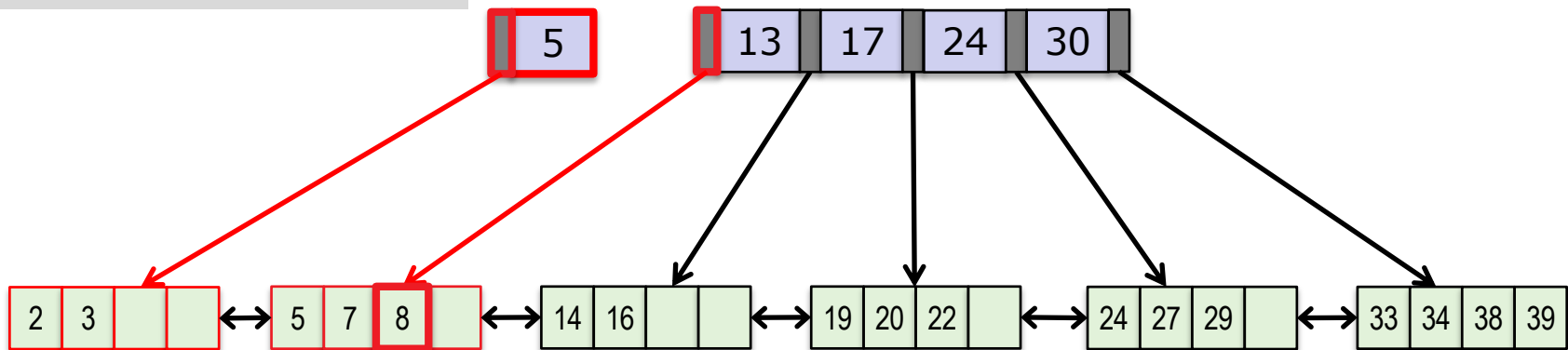
Dodajamo element: 8



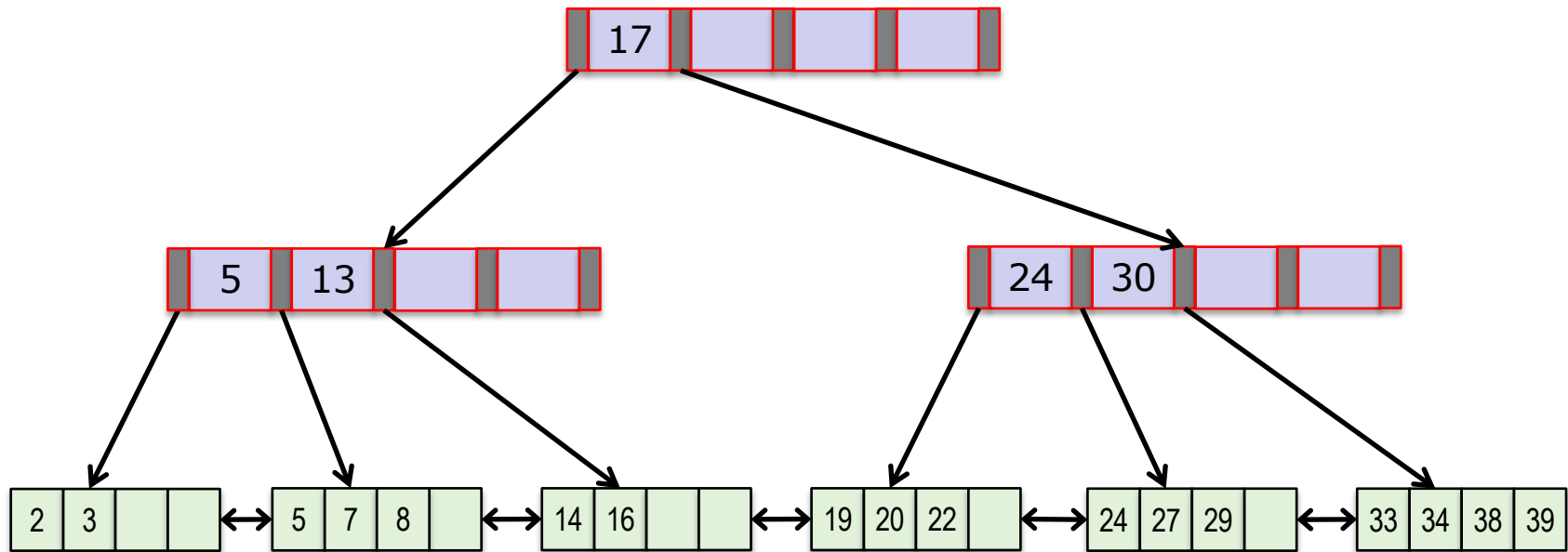
Korak 1: začetno drevo



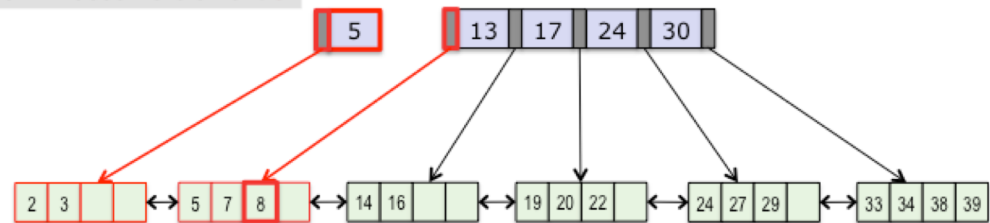
Korak 2: dodamo element 8



Korak 3: končno drevo - po delitvi indeksnega vozlišča



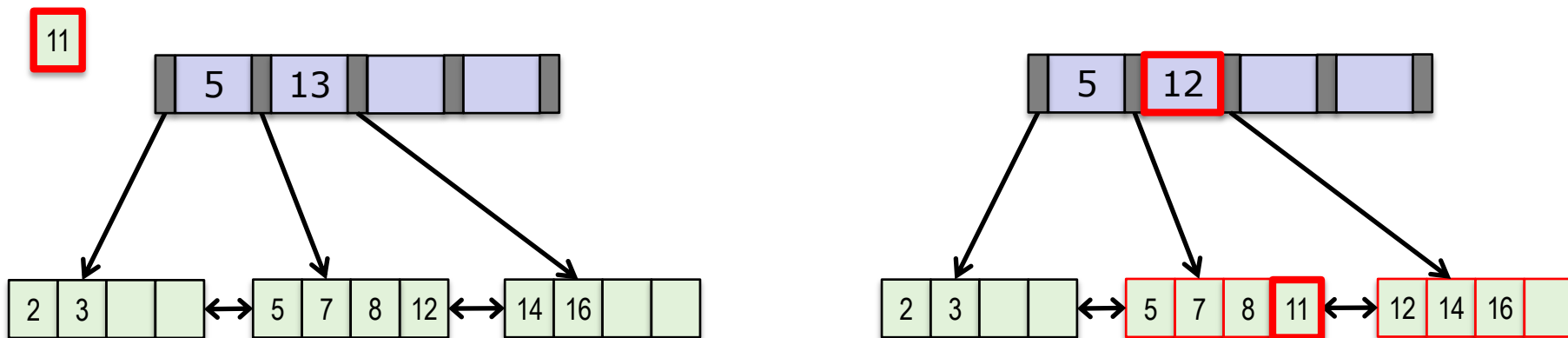
Korak 2: dodamo element 8



Dodajanje elementov v B+ drevo

- Če je vozlišče polno, lahko namesto delitve uporabimo **redistribucijo**, če je možna.

Primer: dodajamo element 11

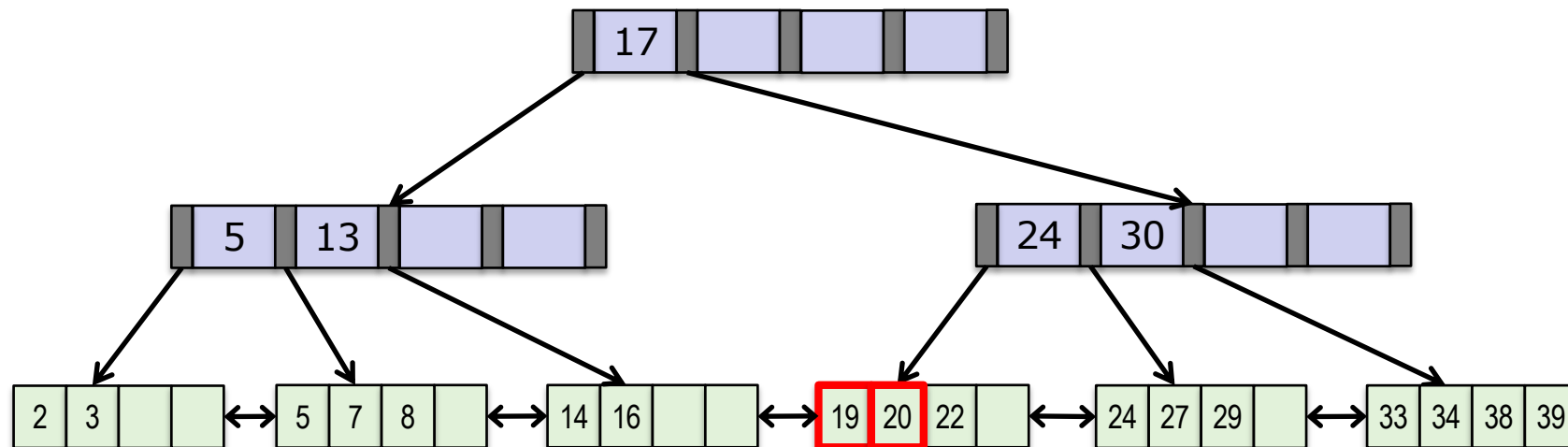


Brisanje elementov iz B+ drevesa

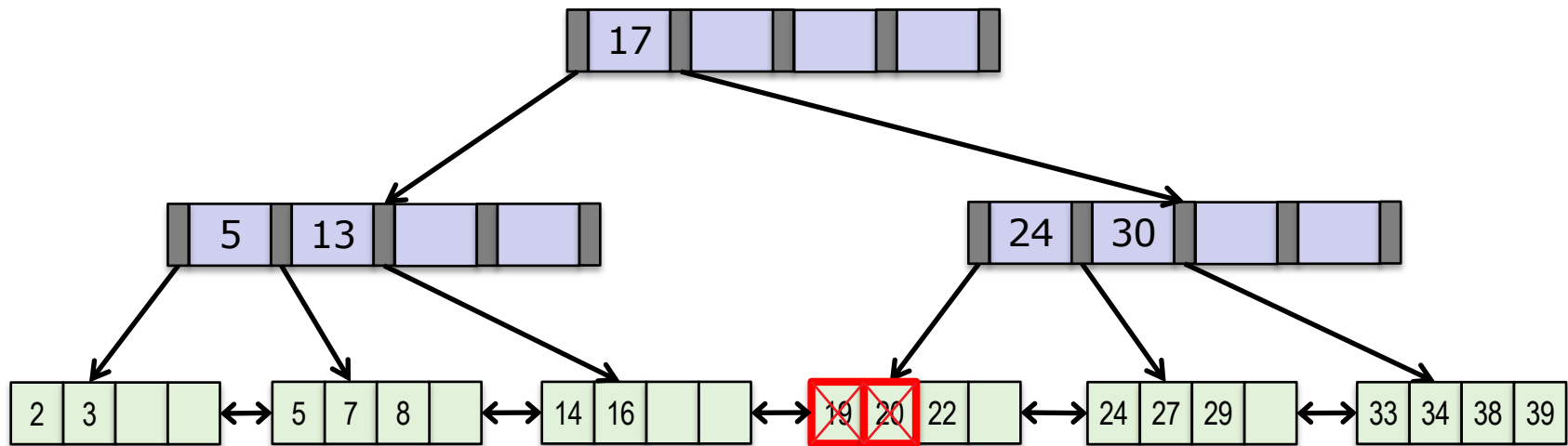
- Postopek:
 - Poiščemo zapis in ga brišemo.
 - Če se zgodi, da zasedenost lista pade pod mejo, moramo **redistribuirati** podatke s sosednjimi listi ali pa **združiti** več listov skupaj.
 - Če podatke redistribuiramo med dve vozlišči, moramo ustrezno spremeniti vsebino nad-vozlišča.
 - Če podatke združimo iz dveh vozlišč, moramo vsebino njunih nad-vozlišč spremeniti tako, da brišemo indeksno polje za drugo vozlišče.

Primer: redistribucija pri brisanju

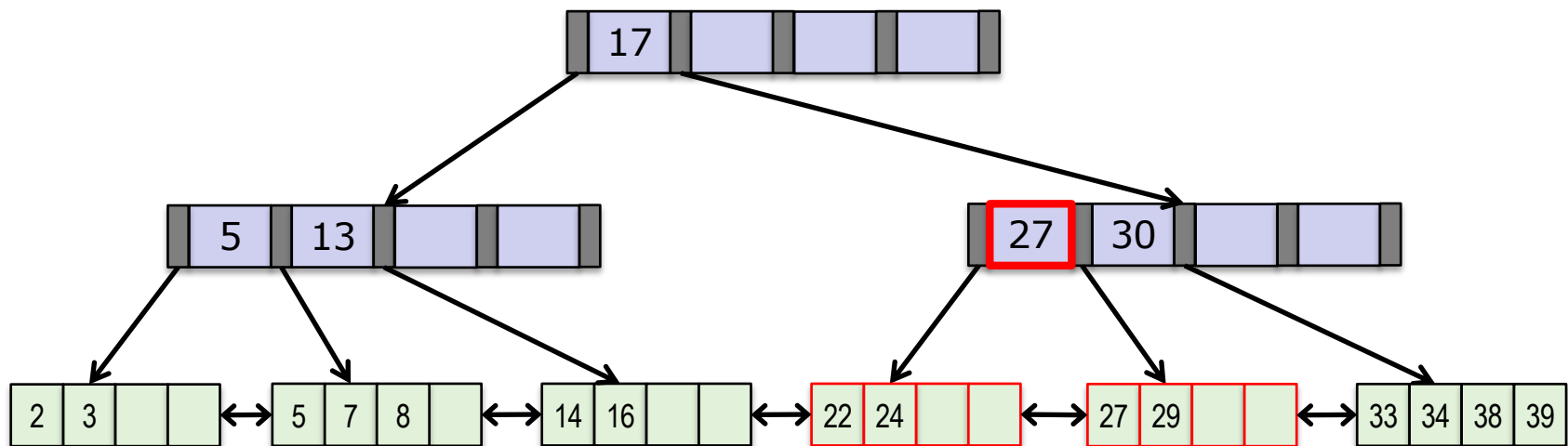
- Brišemo elementa 19 in 20



Korak 1: začetno drevo - brišemo elemente 19 in 20

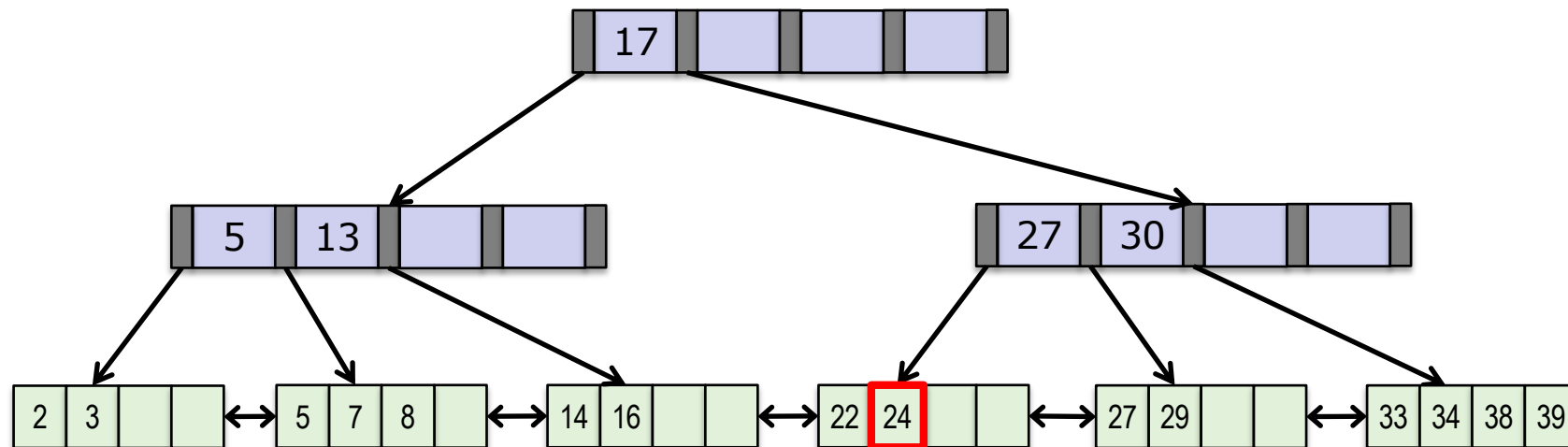


Korak 2: končno drevo – po redistribuciji

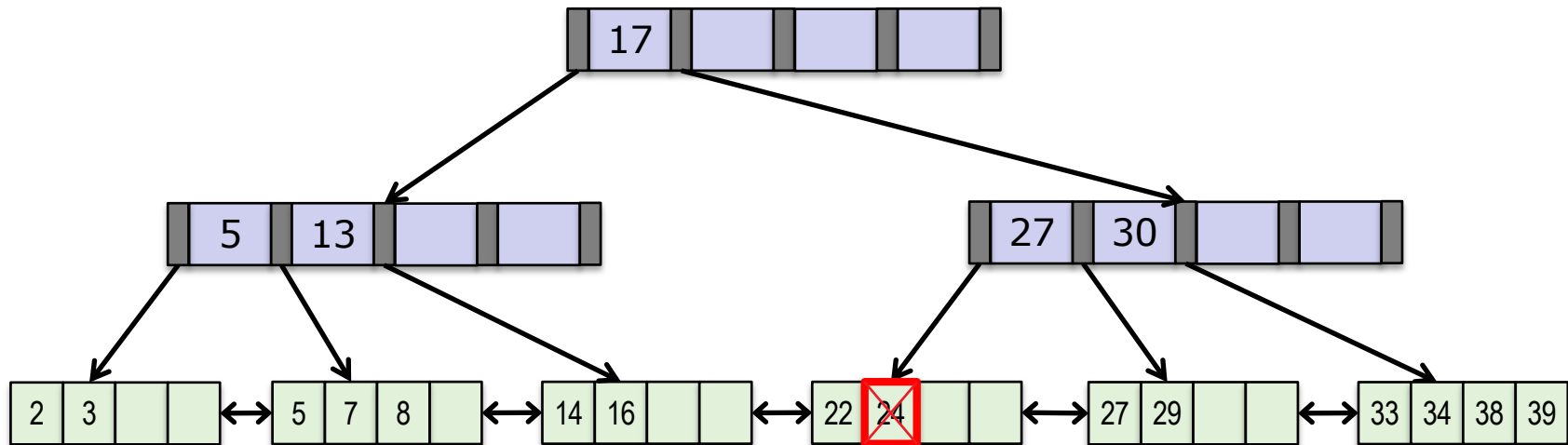


Primer: združevanje pri brisanju

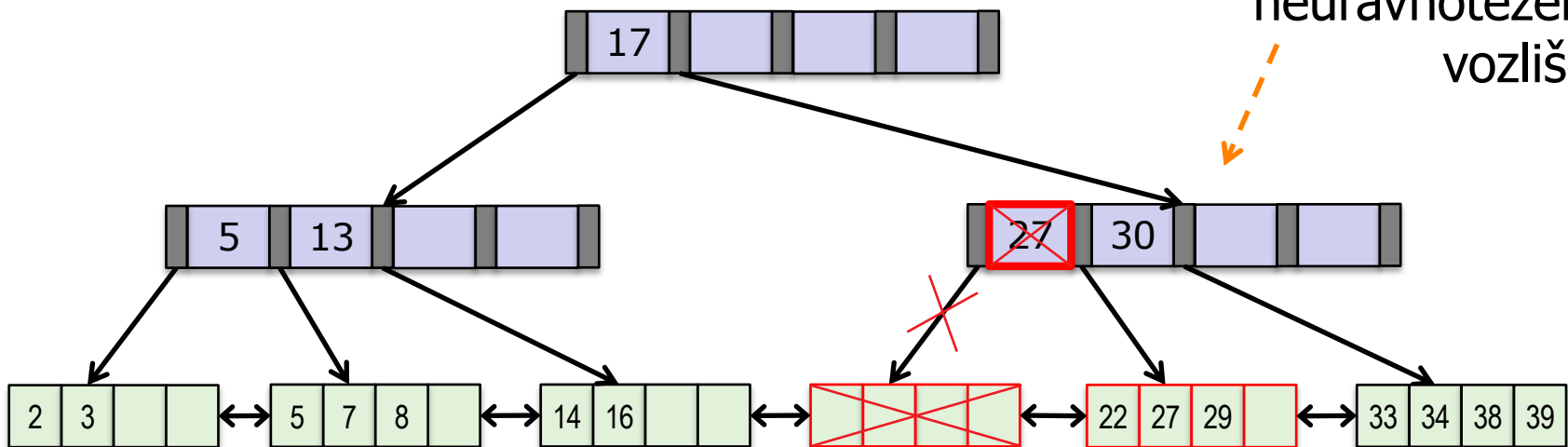
- Brišemo element 24



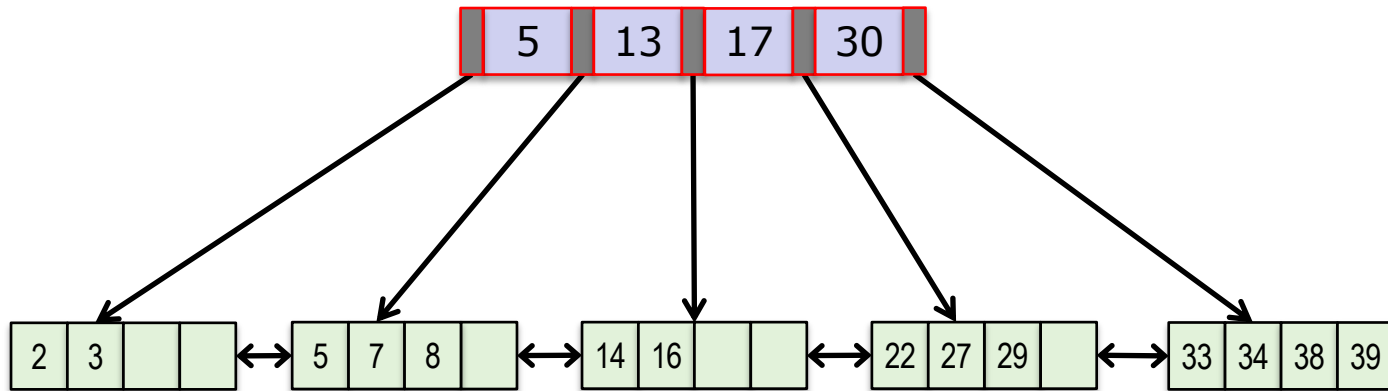
Korak 1: začetno drevo - brišemo element 24



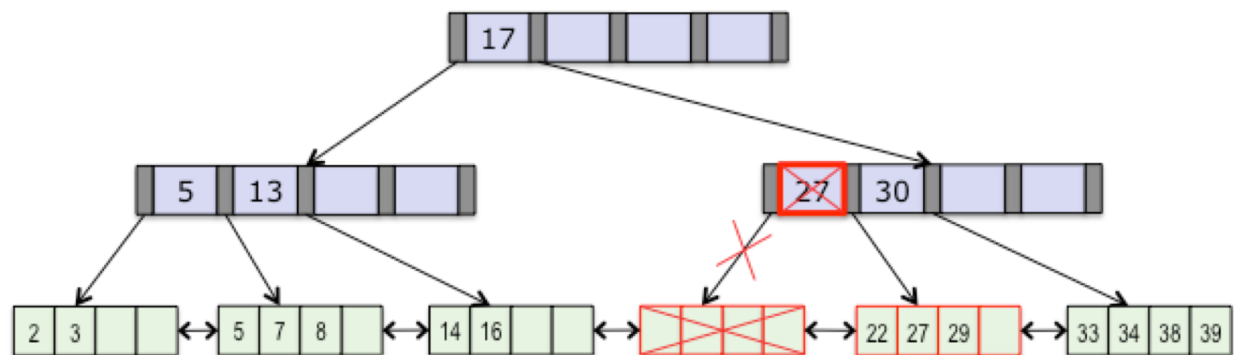
Korak 2: vmesno drevo – po brisanju in združevanju



Korak 3: končno drevo – po združitvi v indeksnem delu



Korak 2: vmesno drevo – po brisanju in združevanju

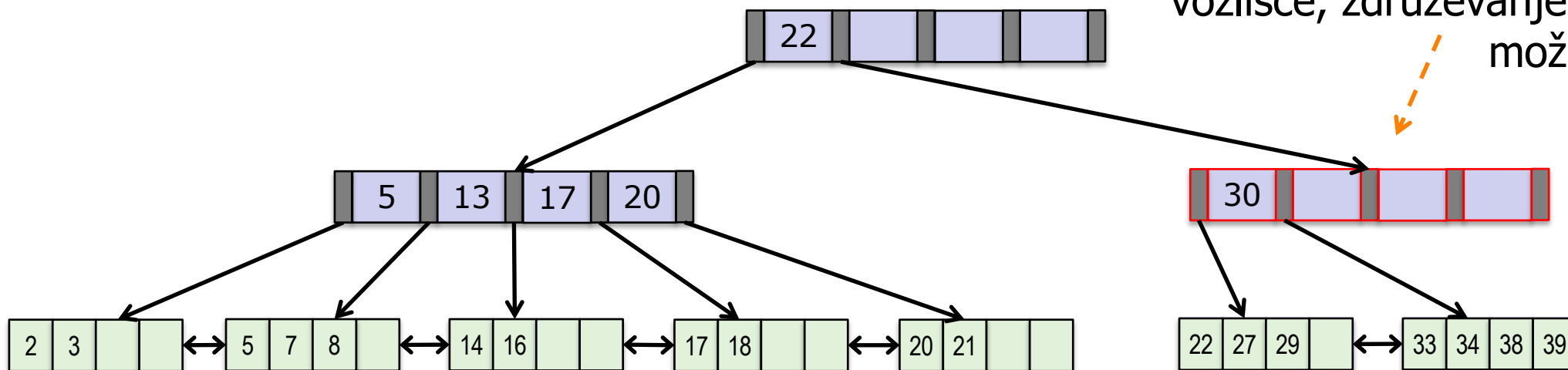


Brisanje elementov iz B+ drevesa

- Pogledali smo, kako deluje:
 - redistribucija v listih,
 - združevanje v listih in
 - združevanje v indeksnem delu
- Ostane:
 - redistribucija v indeksnem delu

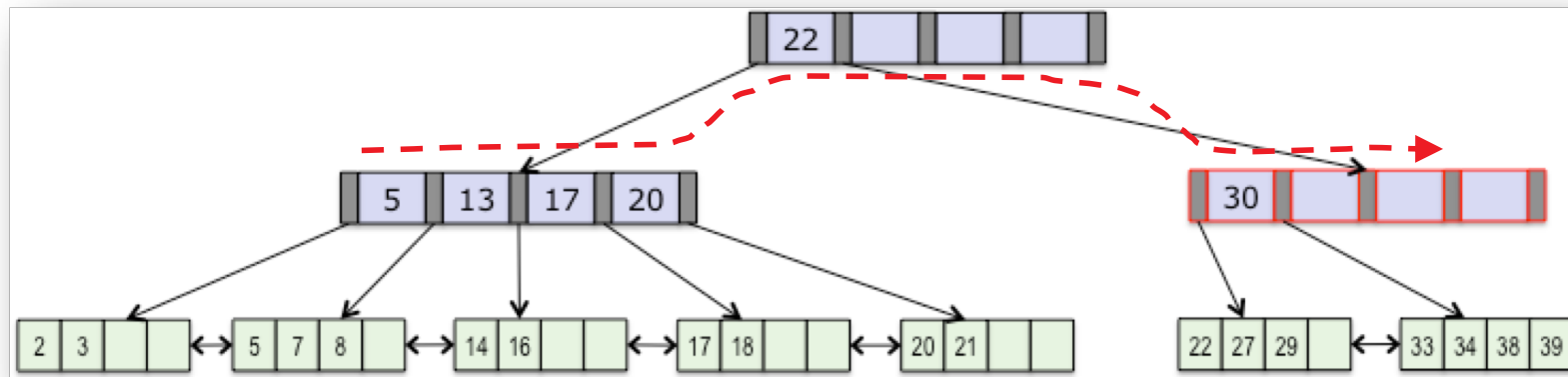
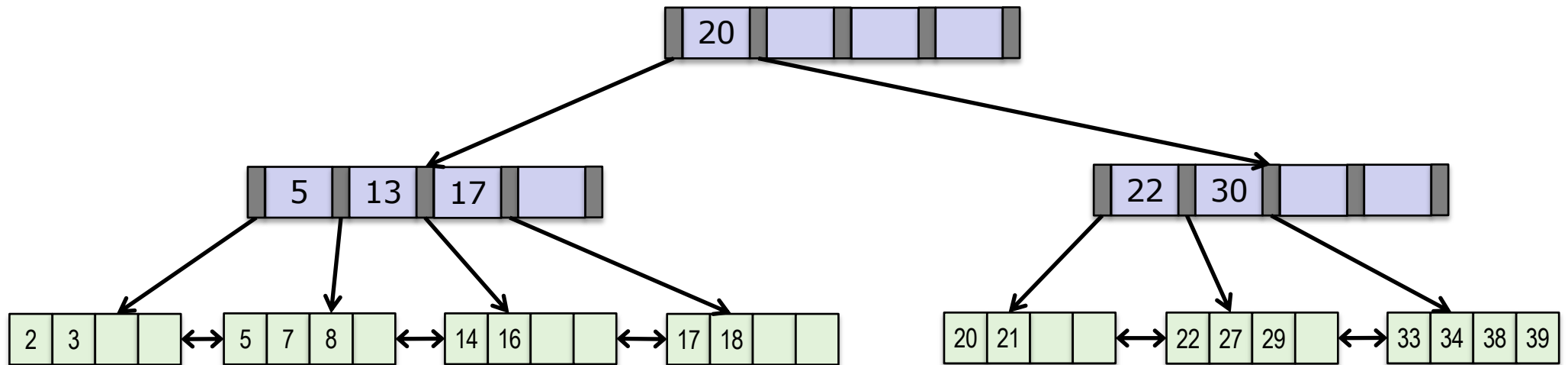
Primer: redistribucija v indeksnem delu

- Primer vmesnega neuravnoteženega drevesa



Problem:
neuravnoteženo
vozlišče, združevanje ni
možno

Korak **3**: končno drevo – po zamiku indeksnih elementov za eno mesto v desno



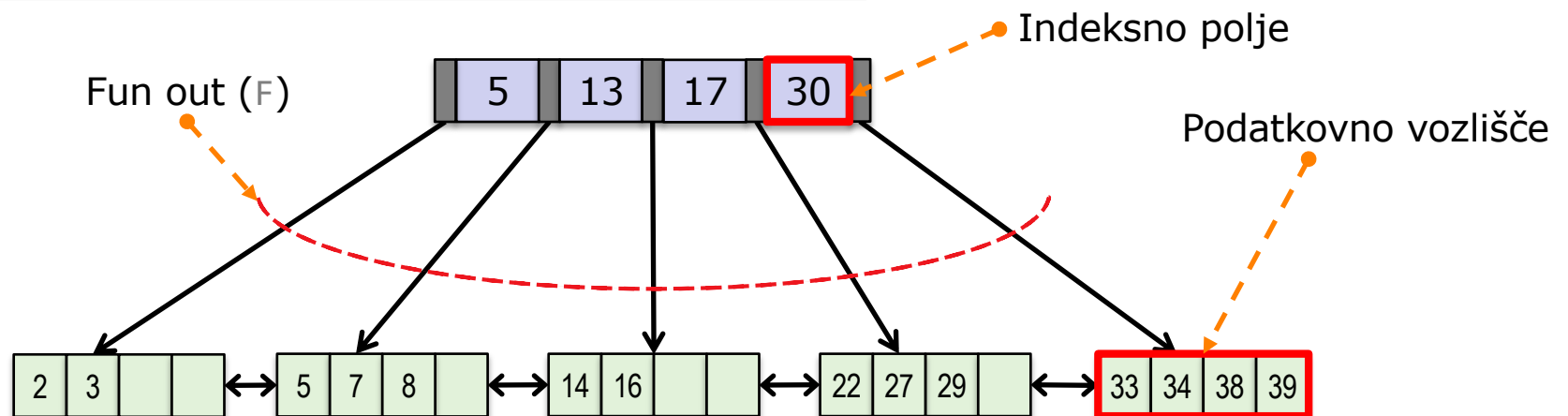
B+ drevesa, ponovitev

	List	Indeksni del
Delitev	Ključ iz lista kopiraj nivo višje	Delitveni ključ prenesi nivo višje in poveži na novo vozlišče
Združevanje	Briši ključ iz indeksnega dela	Prenesi ključ iz višjega nivoja
Redistribucija	Ključ v indeksnem delu nadomesti s ključem v listu	Ključ v indeksnem delu zamakni za eno mesto v desno

Stiskanje ključev

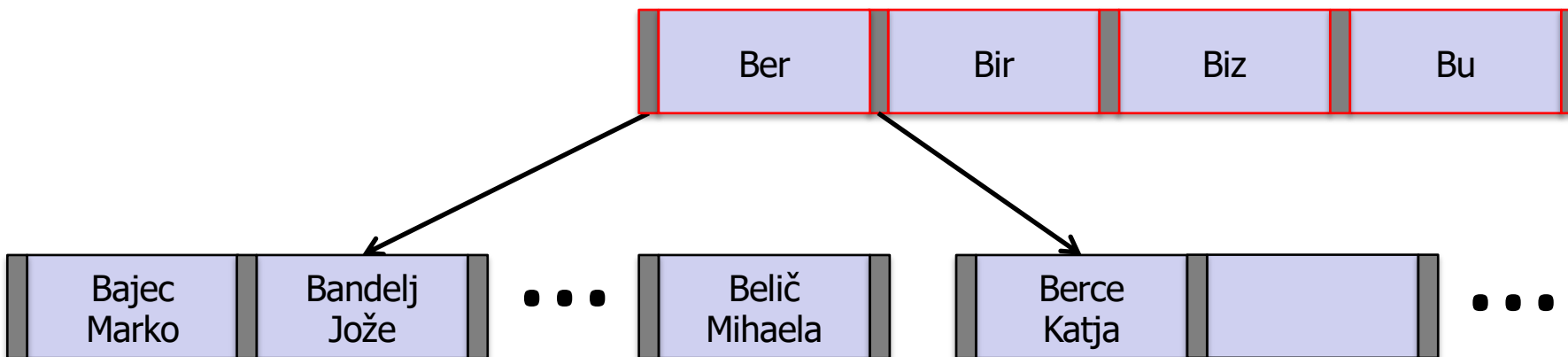
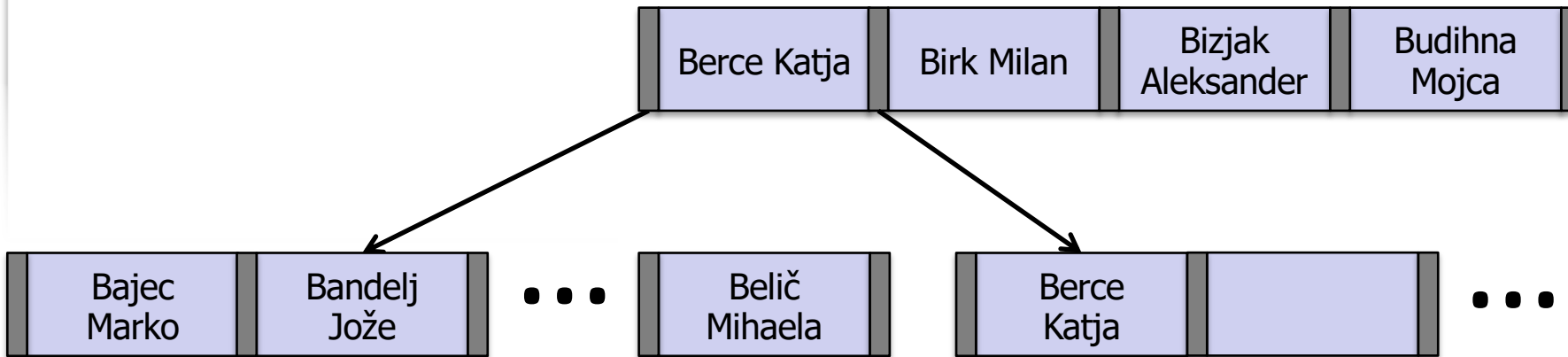
- Višina drevesa je premo sorazmerna številu podatkovnih vozlišč in obratno sorazmerna velikosti indeksnih polj (F).
- Število I/O operacij za branje podatkovnega polja = h.

$$h = \log_F(\# \text{ podatkovnih polj})$$





Primer



Bitni indeks...

staffNo	fName	lName	position	salary	branchNo
SG14	David	Ford	Manager	18000	B003
SG37	Ann	Beech	Assistant	12000	B003
SL21	John	White	Supervisor	30000	B005
SL41	Julie	Lee	Assistant	9000	B005
SF56	Tim	Becker	Manager	32000	B005

Tabela Staff

Manager	Assistent	Supervisor
1	0	0
0	1	0
0	0	1
0	1	0
1	0	0

Bitni indeks po polju position

B003	B005
1	0
1	0
0	1
0	1
0	1

Bitni indeks po polju branchNo

Bitni indeks

- Prednosti bitnega indeksa v primerjavi z B+ drevesi:
 - Kompaktnost
 - Večja učinkovitost pri iskanju po več predikatih (če za njih obstajajo bitni indeksi)

Primer:

```
SELECT staffNo, salary  
FROM Staff  
WHERE position = 'Supervisor' AND branchNo = 'B003'
```

Za rezultat pomnožimo bitna vektorja
za vrednost Supervisor in B003.

Supervisor
0
0
1
0
0

B003
1
1
0
0
0

Stični indeks...

- **Stični indeksi** (*Join index*) podobno kot bitni indeksi popularni na področju podatkovnih skladišč.
- **Koncept:**
 - Uporabljajo se za tabele, ki imajo skupna polja (npr. tuji ključi).
 - Indeks vsebuje za vsako vrednost ključa kazalec na vse tabele, ki so indeksirane z istim stičnim indeksom.
 - Način sortiranja indeksa je poljuben.

Primer stičnega indeksa

Tabela Branch

rowID	branchNo	street	city	postcode
20001	B005	22 Deer Rd	London	SW1 4EH
20002	B007	16 Argyll St	Aberdeen	AB2 3SU
20003	B003	163 Main St	Glasgow	G11 9QX
20004	B004	32 Manse Rd	Bristol	BS99 1NZ
20005

branch rowID	property rowID	city
20001	30002	London
20002	30001	Aberdeen
20003	30003	Glasgow
20003	30004	Glasgow
...

Tabela Property

rowID	propertyNo	street	city	postcode	...
30001	PA14	16 Holhead	Aberdeen	AB2 3SU	
30002	PL94	6 Argyll St	London	SW1 4EH	
30003	PG4	6 Lawrence St	Glasgow	G11 9QX	
30004	PG36	2 Manor Rd	Glasgow	G11 9QX	
30005

Koliko nepremičnin je v mestih, kjer so locirane organizacijske enote nepremičninske agencije?



Gruče...

- Nekateri SUPB nudijo združevanje relacij v **gruče** (*clustered relations*)
- Gruča označuje skupino relacij, ki so fizično shranjene skupaj, ker imajo nekatere stolpce enake in se pogosto uporabljajo skupaj.
- Gruče izboljšajo čas dostopa do podatkov na disku.
- Stolpce, ki so za relacije v gruči skupni, imenujemo **ključ gruče** (*cluster key*).

Primer gruče

Ključ gruče

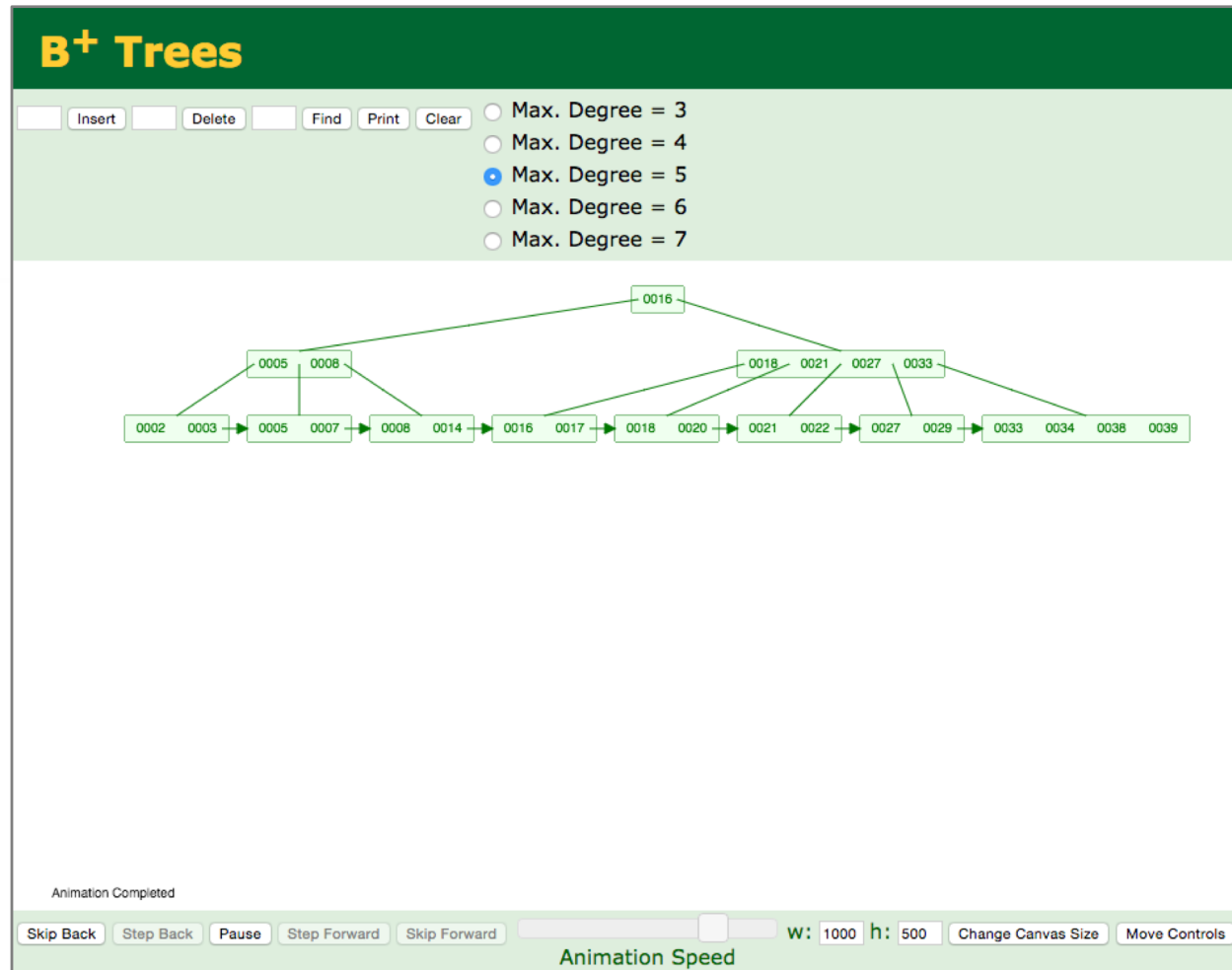
street	city	postcode	branchNo	staffNo	fName	lName	position	...
22 Deer Rd	London	SW1 4EH	B005	SL21	John	White	Manager	...
				SL41	Julie	Lee	Assistant	...
163 Main St	Glasgow	G11 9QX	B003	SG37	Ann	Beech	Assistant	...
				SG14	David	Ford	Supervisor	...
				SG5	Susan	Brand	Manager	...

Tabela Branch

Tabela Staff



Vizualizacija B+ dreves



<https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/BPlusTree.html>

Ponovitev

- Kje so shranjene tabele podatkovne baze?
- Kakšna je najmanjša enota, ki jo preberemo iz diska?
- Koliko zapisov ima ena stran (blok)?
- Kaj vpliva bolj na učinkovitost poizvedovanja, višina ali širina B+ drevesa?
- Ali imamo lahko več primarni indeksov?
- Kdaj uporabljamo bitne indekse?