



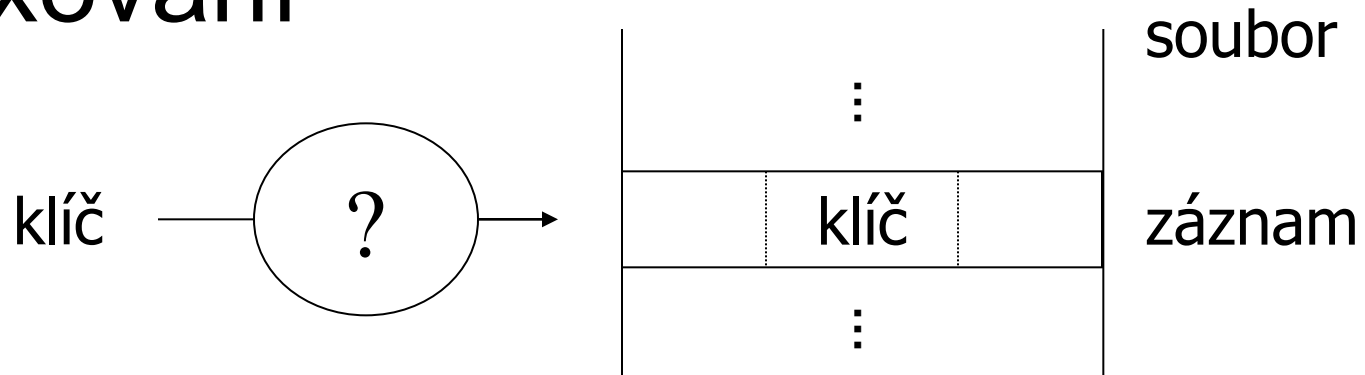
PA152: Efektivní využívání DB
4. Indexování

Vlastislav Dohnal

Poděkování

- Zdrojem materiálů tohoto předmětu jsou:
 - Přednášky CS245, CS345, CS345
 - Hector Garcia-Molina, Jeffrey D. Ullman, Jennifer Widom
 - Stanford University, California

Indexování



- Důvod: rychlejší přístup k záznamům
 - než sekvenční průchod souborů
- Varianty:
 - Konvenční indexy
 - B-stromy
 - Hašování

Základní pojmy

- Sekvenční soubor
 - Index-sekvenční soubor
- Vyhledávací klíč
 - Primární klíč
- Index
 - Primární index
 - Sekundární index

 - Hustý index
 - Řídký index

 - Víceúrovňový index

Soubor

Sekvenční soubor

10	
20	

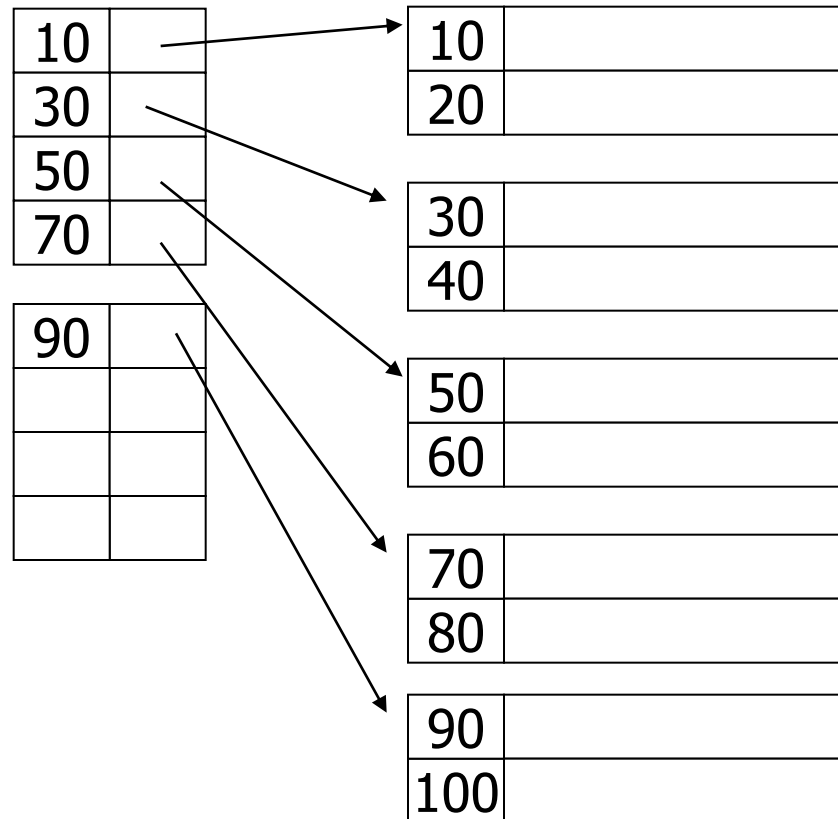
30	
40	

50	
60	

70	
80	

90	
100	

Index-sekvenční soubor

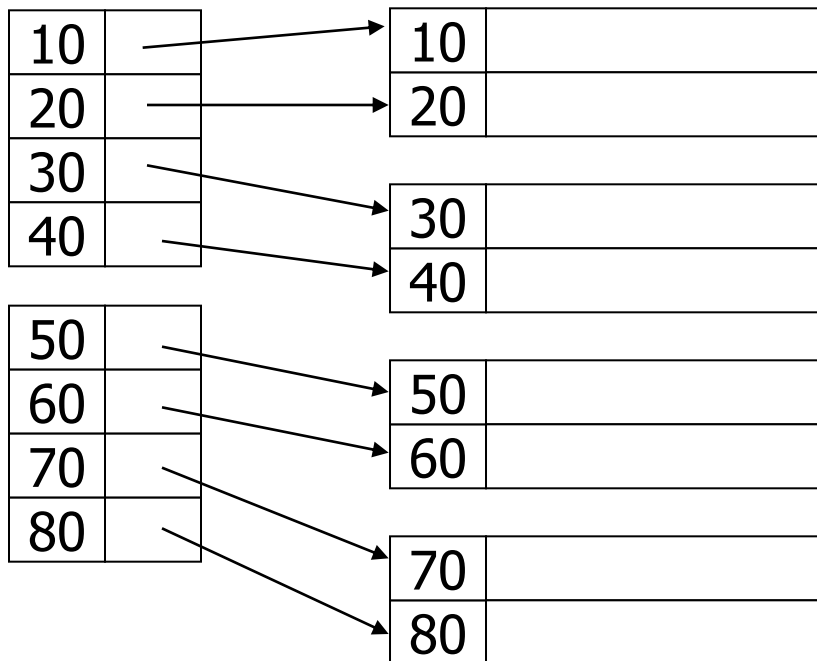


Index

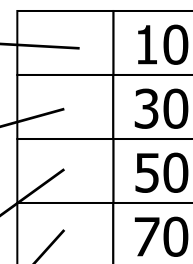
■ Položka indexu:

- klíč, odkaz na záznam/blok

Hustý index

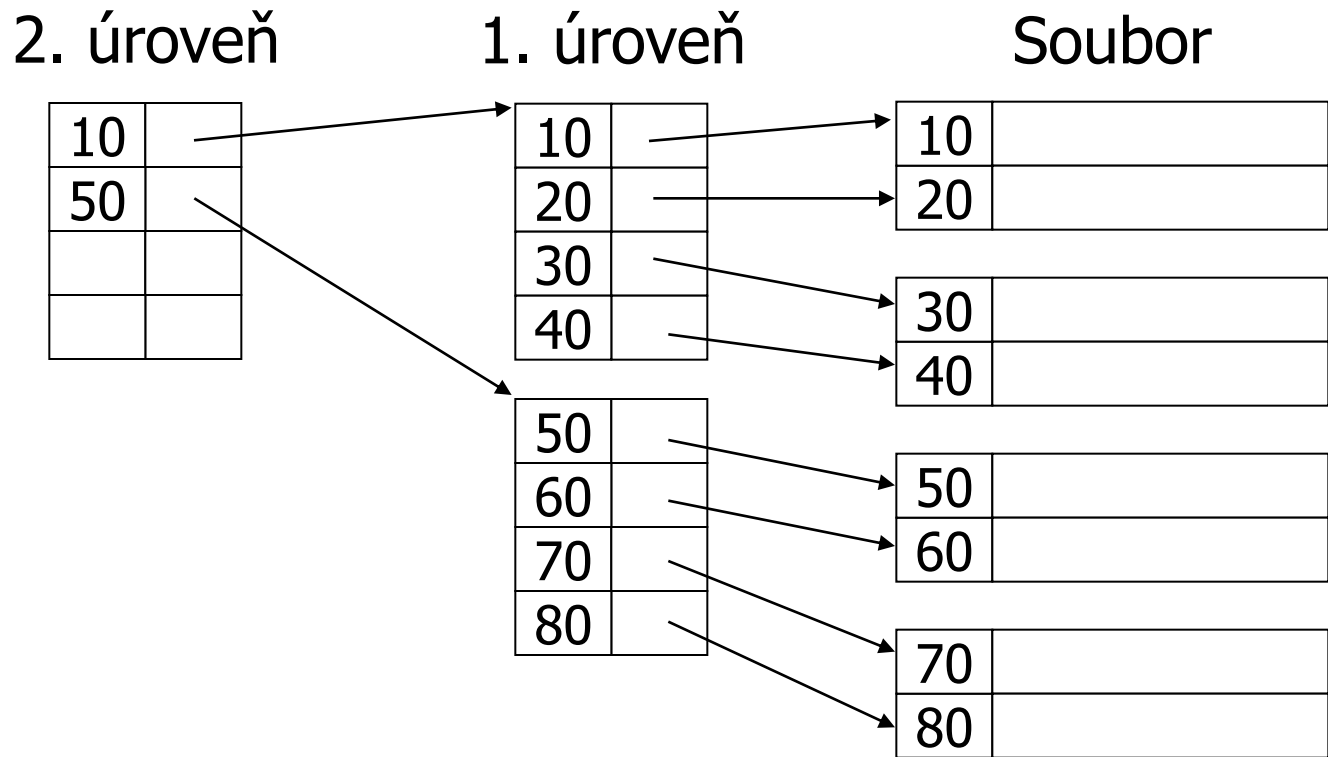


Řídký index



Index (2)

■ Víceúrovňový index



- Lze mít indexy vyšších úrovní husté?

Index (3)

■ Ukazatele v indexech

□ Ukazatel na záznam

- Adresa bloku + offset záznamu

□ Ukazatel na blok

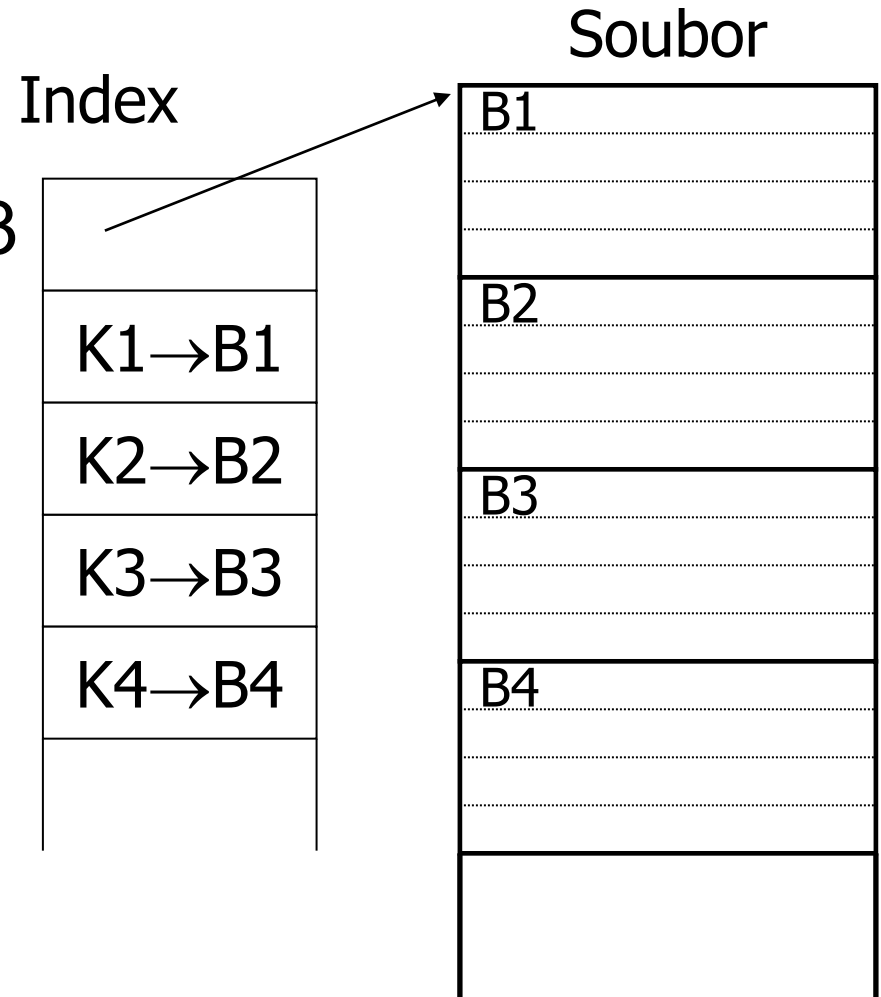
- Adresa bloku
- Obvykle kratší

□ Soubor je spojitý a uspořádaný

- Ukazatele na bloky se nemusí ukládat
 - tzv. implicitní odkazy
 - „Lze je spočítat“

Výpočet ukazatele na blok

- Blok o velikosti 1KB
- Hledáme K3
 - → přístup do bloku B3
 - Offset v souboru:
 - $(3-1) \cdot 1024 = 2048$



Duplikátní klíče

■ Vytvoření indexu

hustý index?

řídký index?

Soubor

10	
10	

10	
20	

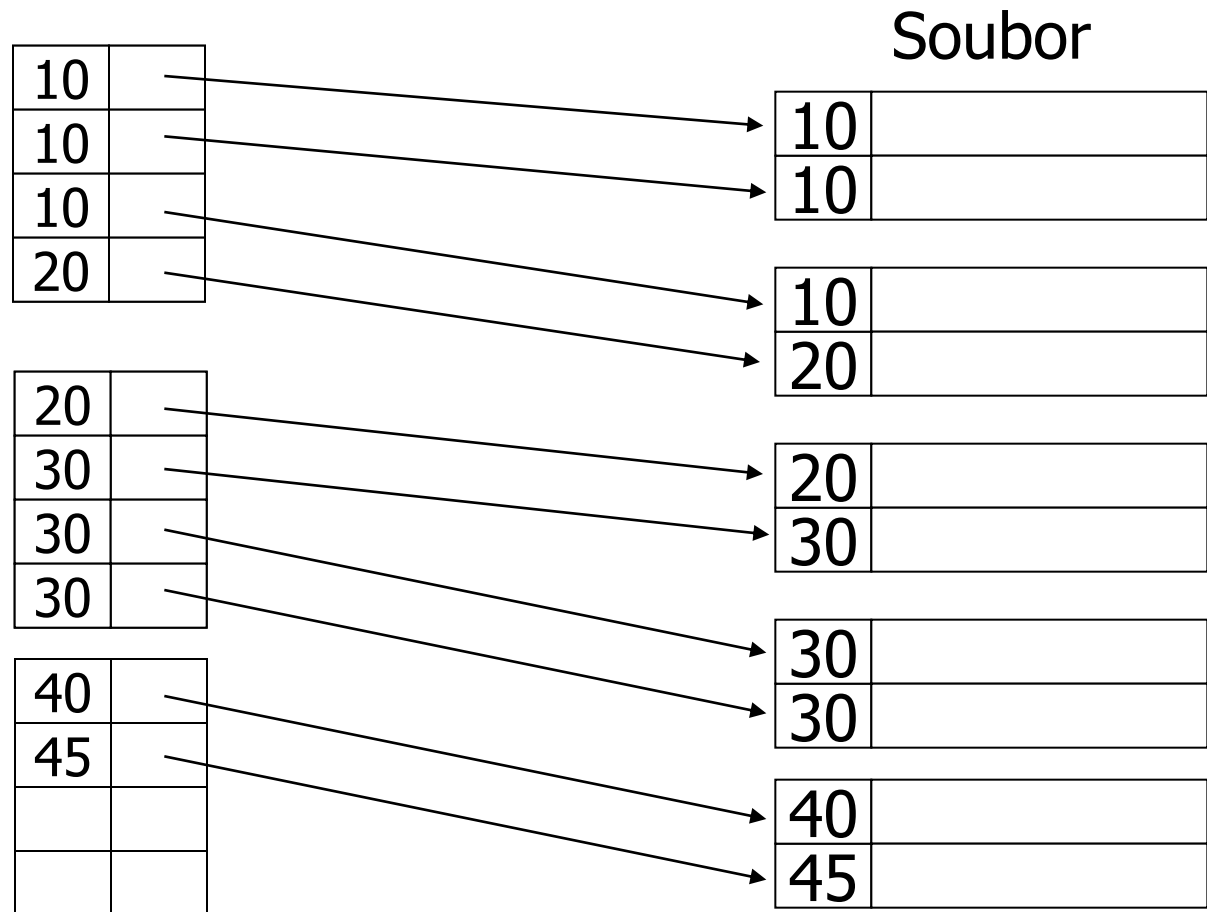
20	
30	

30	
30	

40	
45	

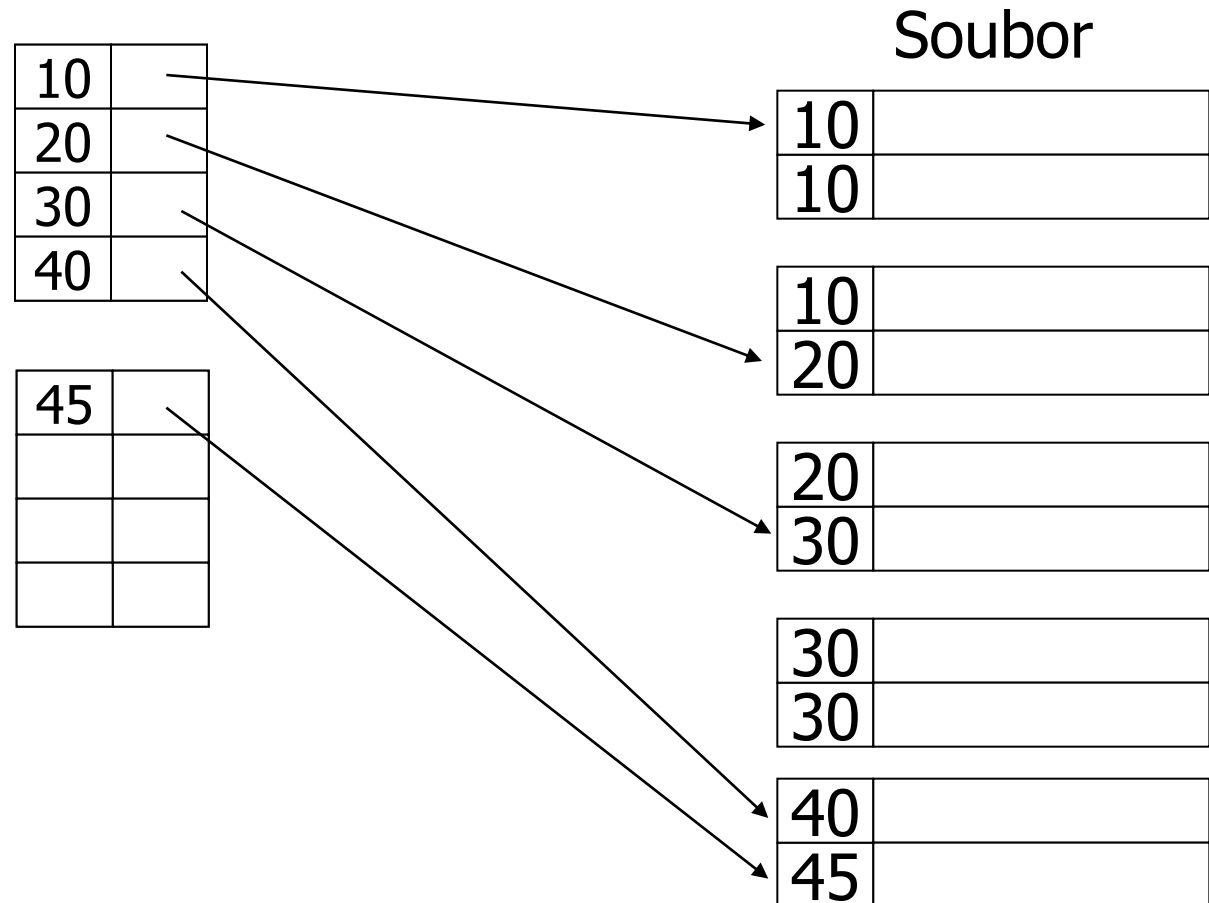
Duplikátní klíče: hustý index

■ Duplicity v indexu



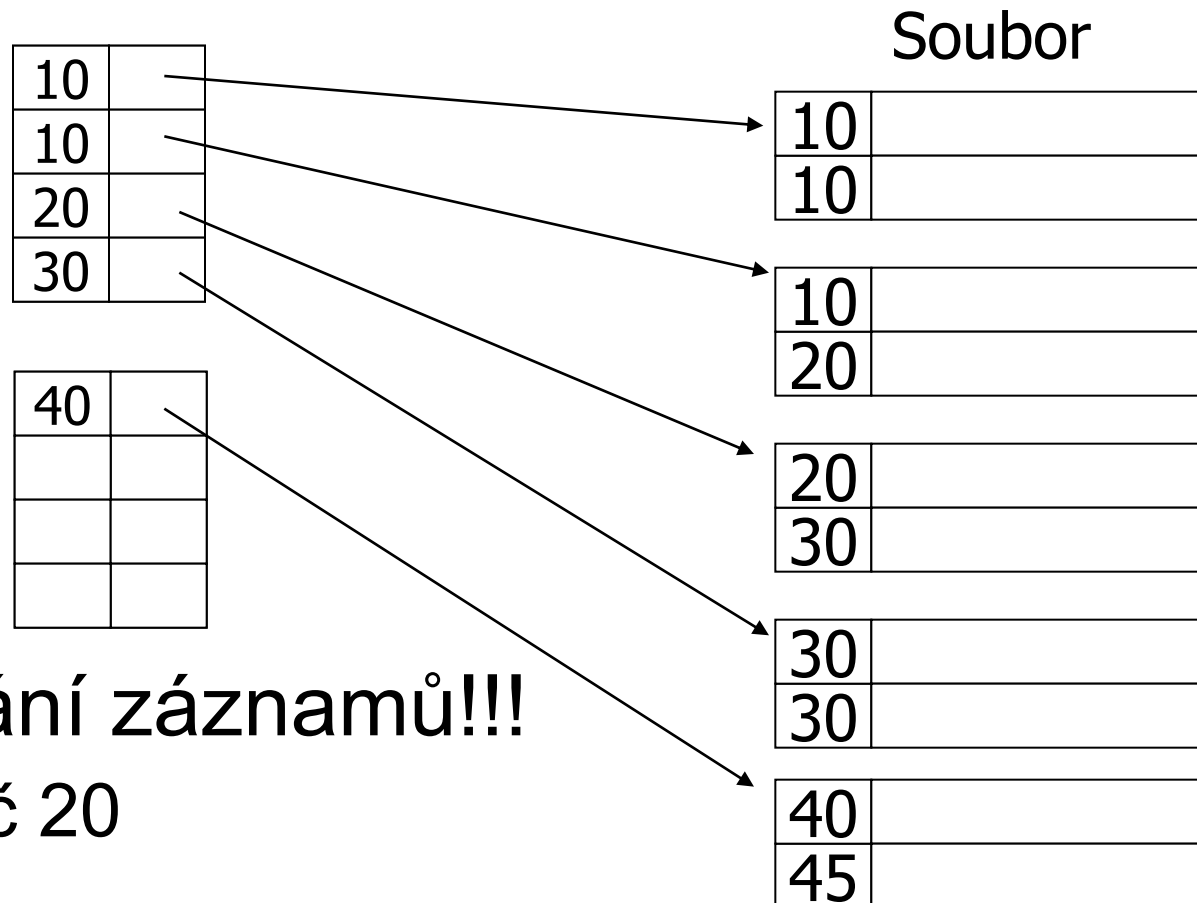
Duplikátní klíče: hustý index (2)

- Klíče v indexu jsou unikátní



Duplikátní klíče: řídký index

- Odkazy na bloky

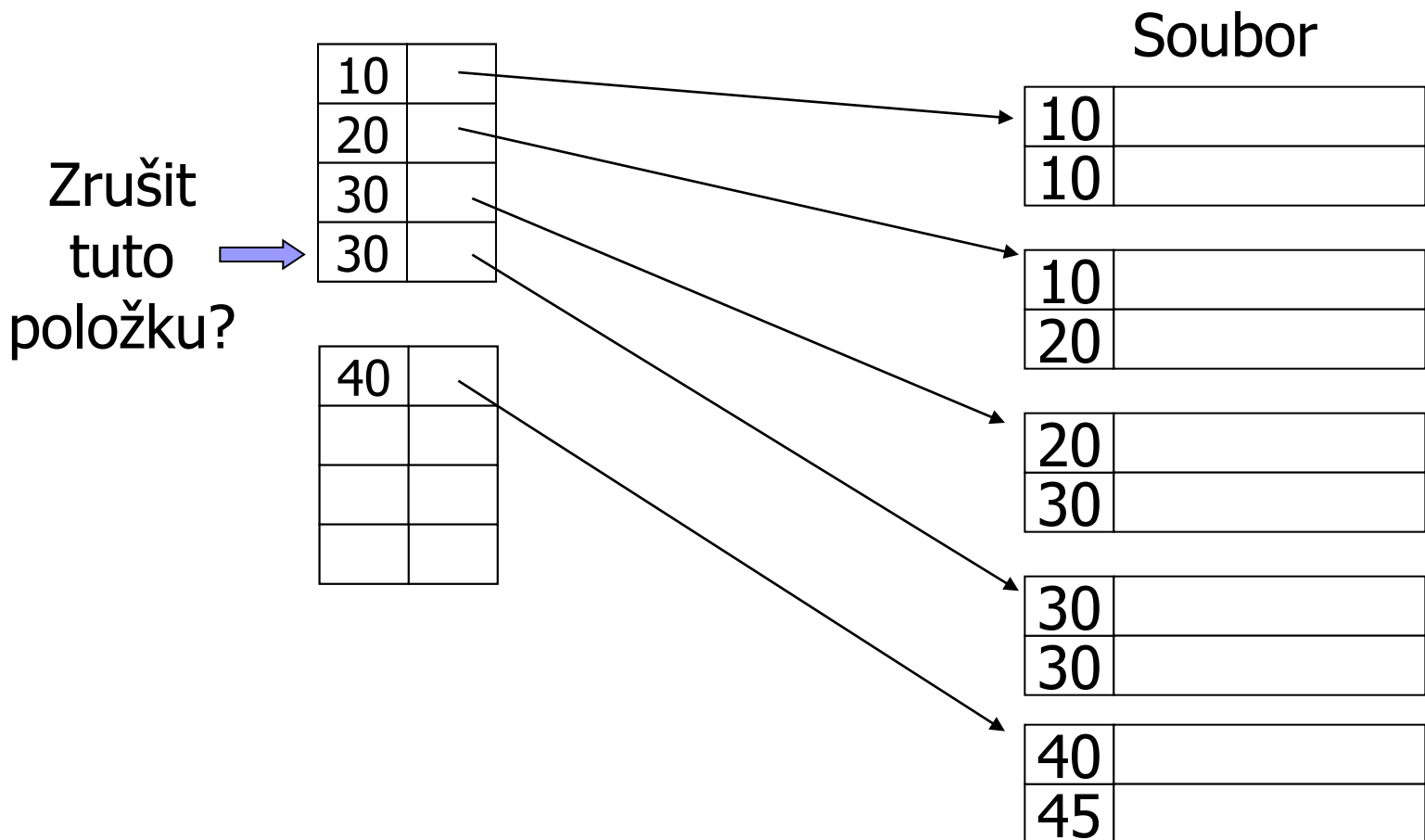


- Vyhledávání záznamů!!!

- Např. klíč 20

Duplikátní klíče: řídký index (2)

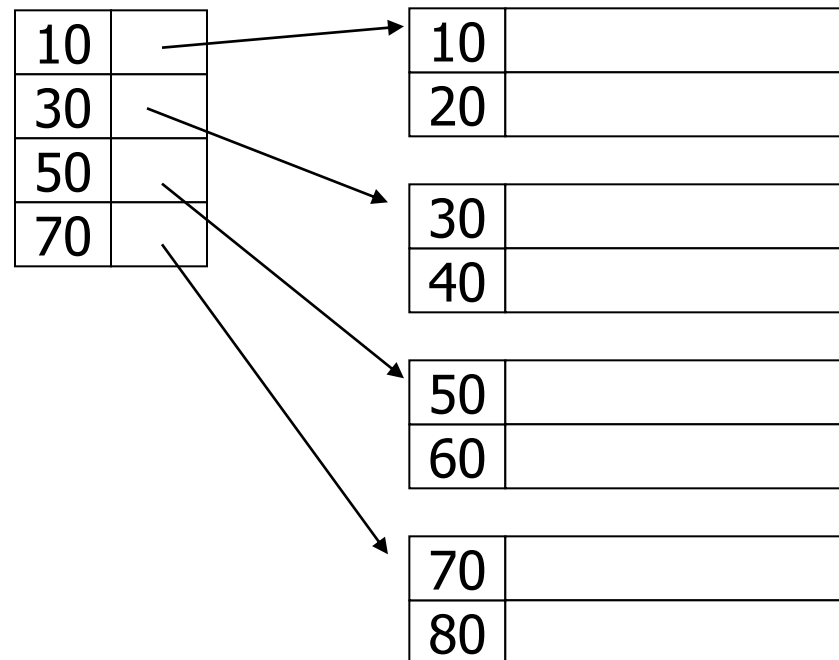
- V indexu je vždy nový klíč



Mazání v indexech

- Řídký index

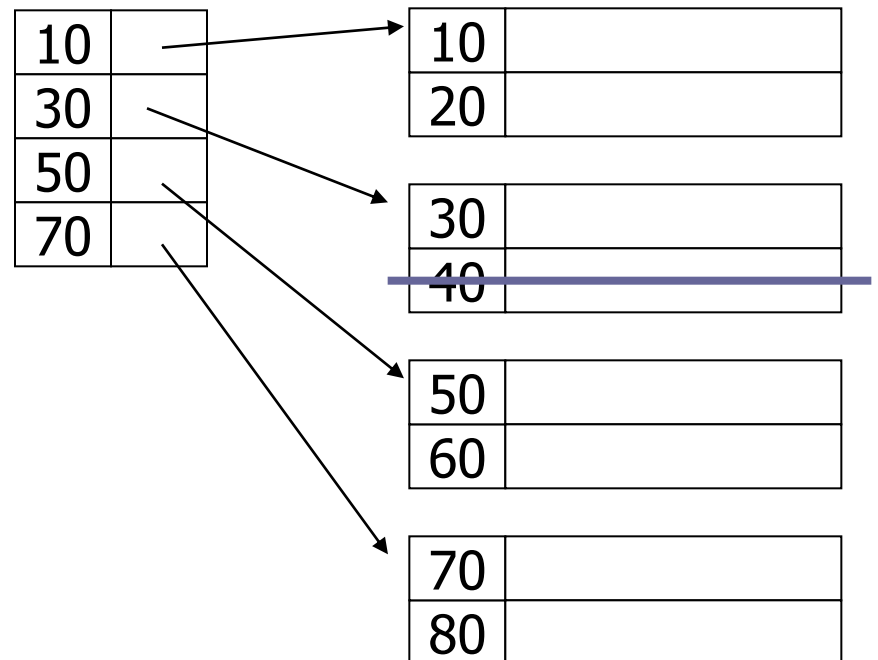
- Smazání záznamu s klíčem 40



Mazání v indexech: výsledek

■ Řídký index

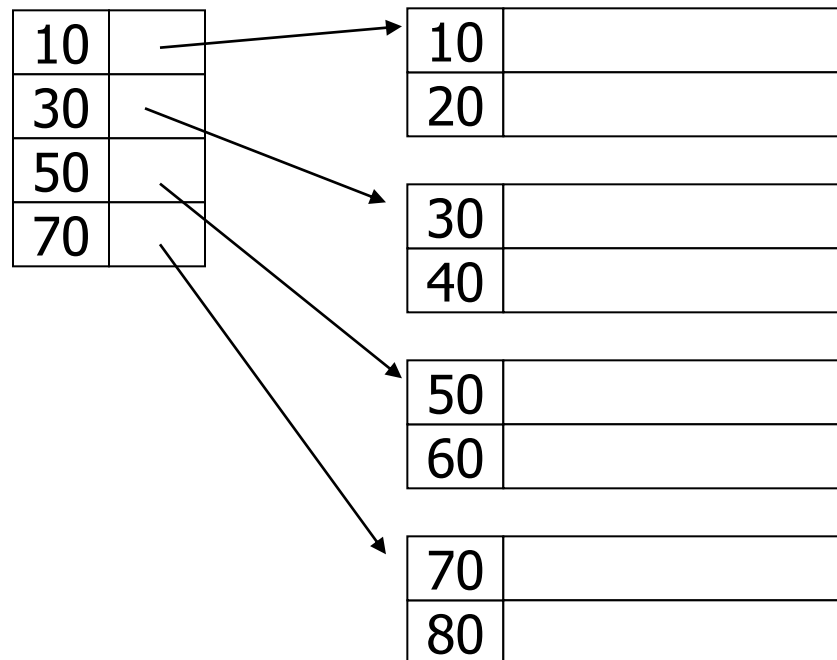
- Po smazání záznamu s klíčem 40



Mazání v indexech

- Řídký index

- Smazání záznamu s klíčem 30

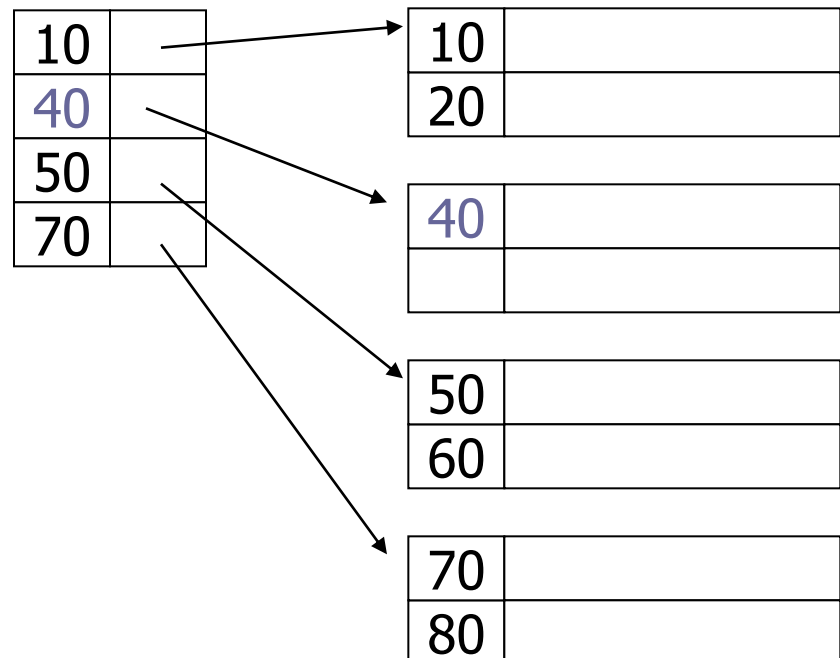


Mazání v indexech: výsledek

■ Řídký index

□ Po smazání záznamu s klíčem 30

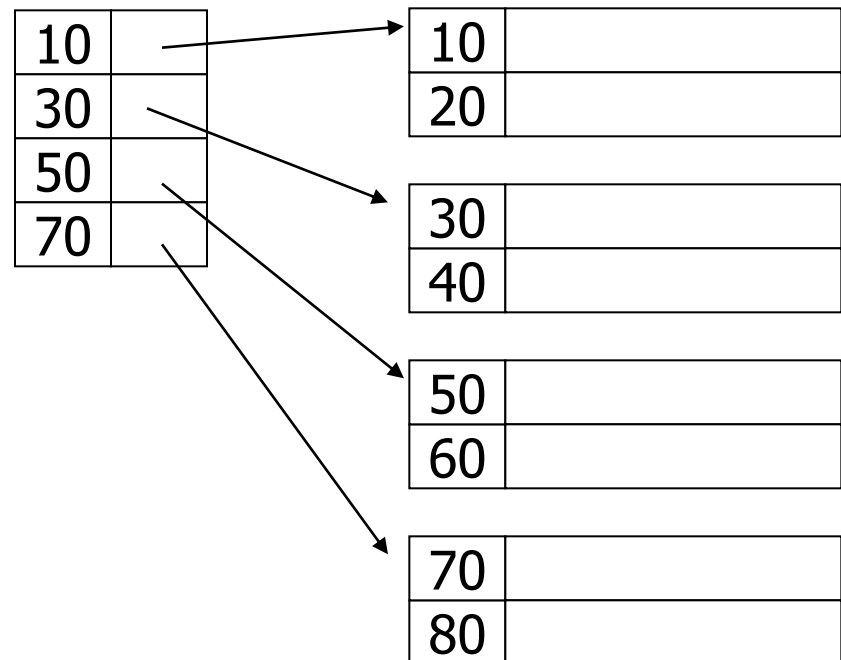
■ Aktualizace indexu



Mazání v indexech

- Řídký index

- Smazání záznamů s 30 a 40

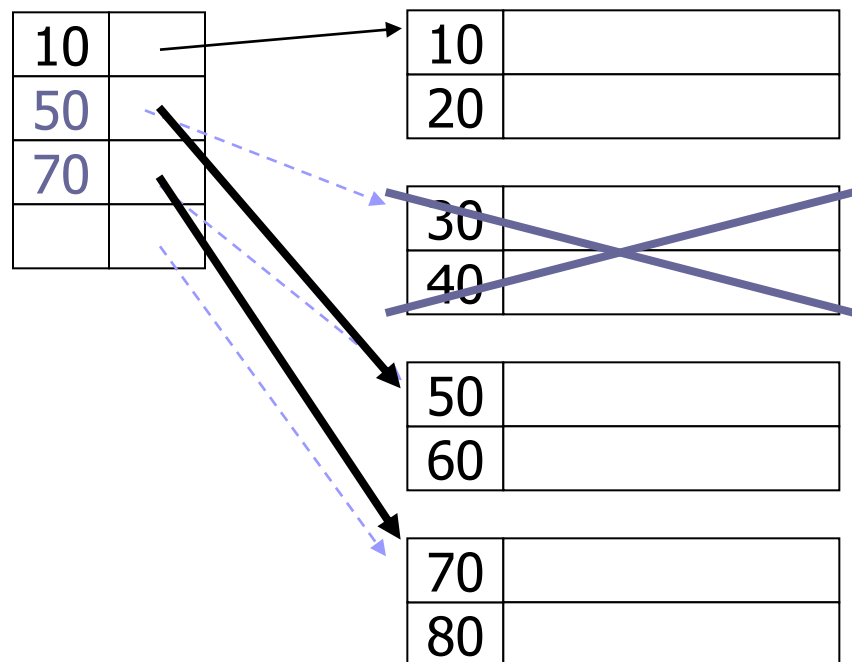


Mazání v indexech: výsledek

■ Řídký index

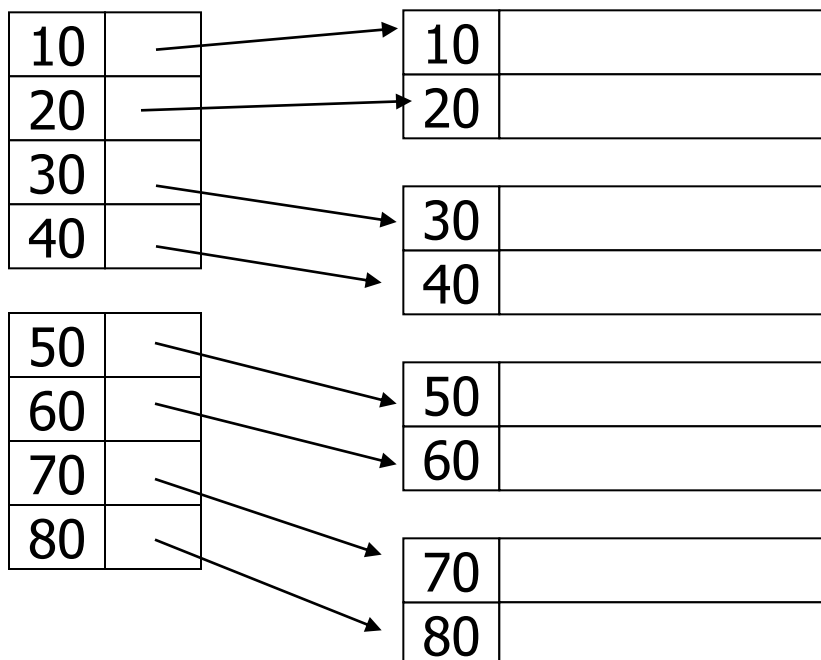
□ Po smazání záznamů s 30 a 40

■ Aktualizace indexu



Mazání v indexech

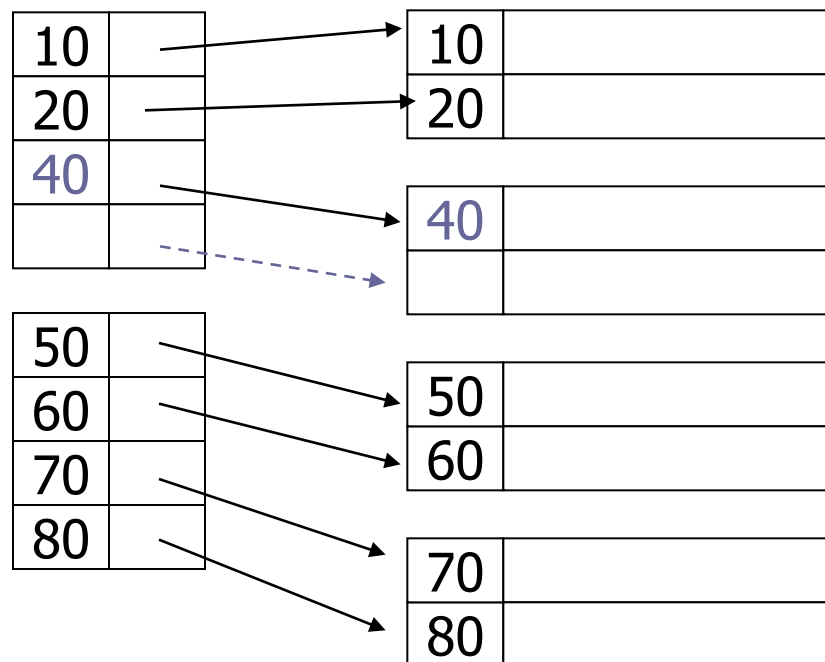
- Hustý index – vždy aktualizace indexu
 - Smazání záznamu s klíčem 30



Mazání v indexech: výsledek

■ Hustý index

- Po smazání záznamu s klíčem 30

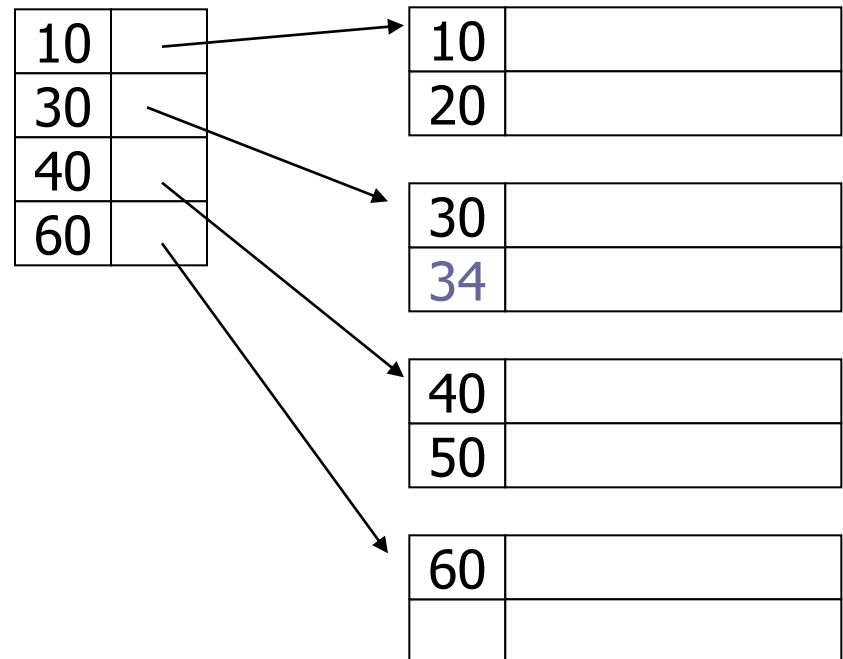


Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 34

- Volné místo
→ bez reorganizace

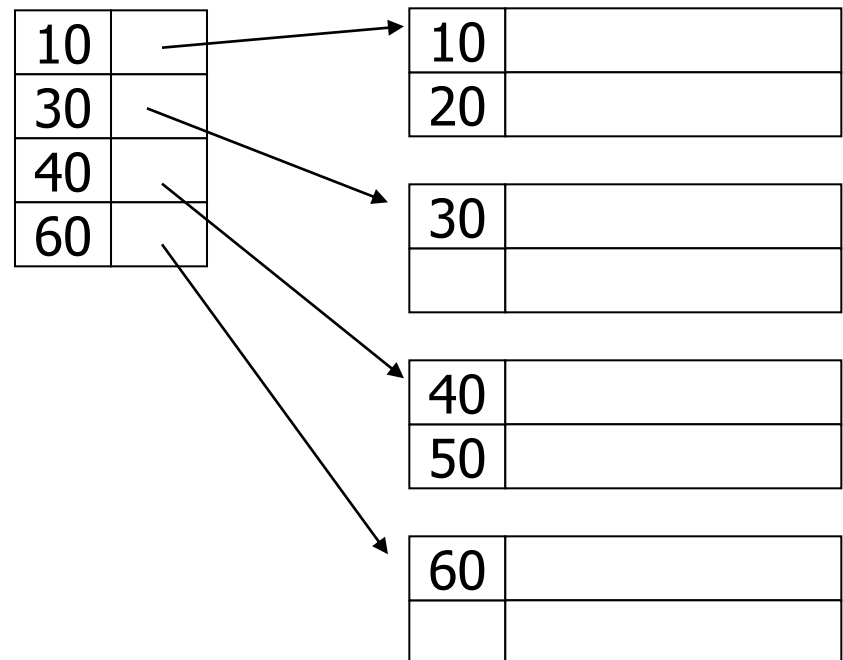


Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 15

- Volné místo není
→ reorganizace

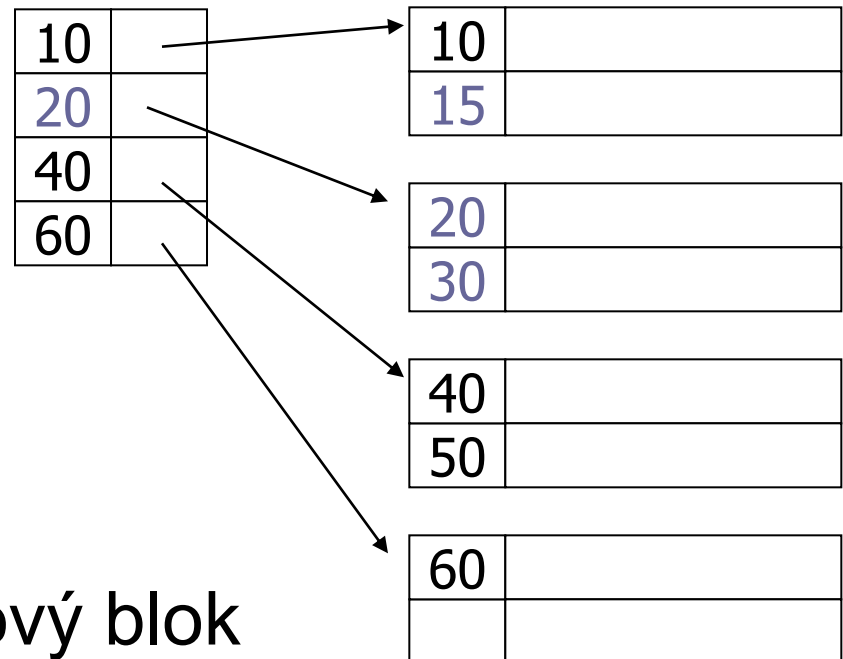


Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 15

- Volné místo není
→ reorganizace
- Řešení pomocí
přesunu do
sousedního bloku

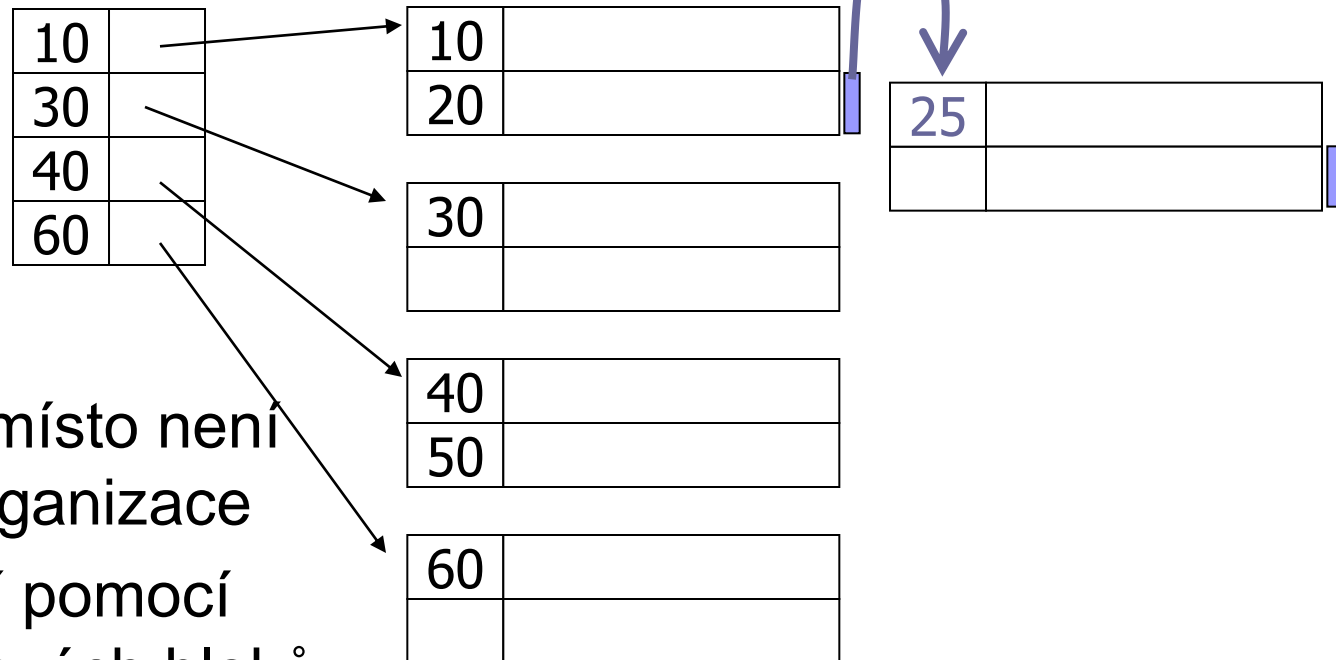


□ Alternativa: vytvoř nový blok

Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 25



- Volné místo není
→ reorganizace
- Řešení pomocí
přetokových bloků
- Reorganizace je provedena později

Vkládání v indexech

■ Hustý index

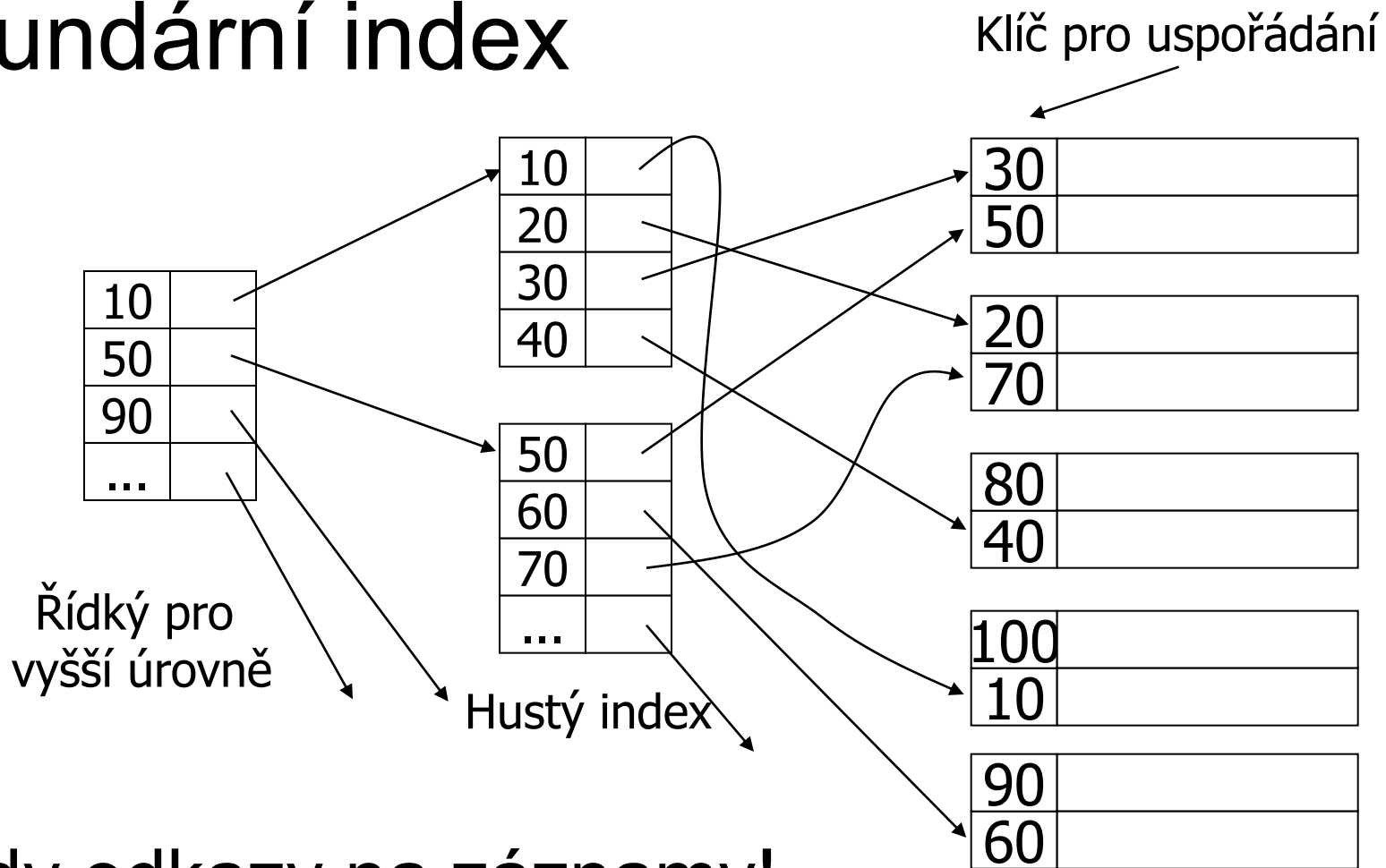
□ Vložení záznamu

- Vždy i do indexu
- V souboru stejné problémy jako u řídkého indexu

Sekundární index

- Soubor je uspořádaný podle jiného klíče
- Vybudovaný na jiném než „primárním“ klíči
- Volba typu:
 - Hustý nebo řídký?

Sekundární index



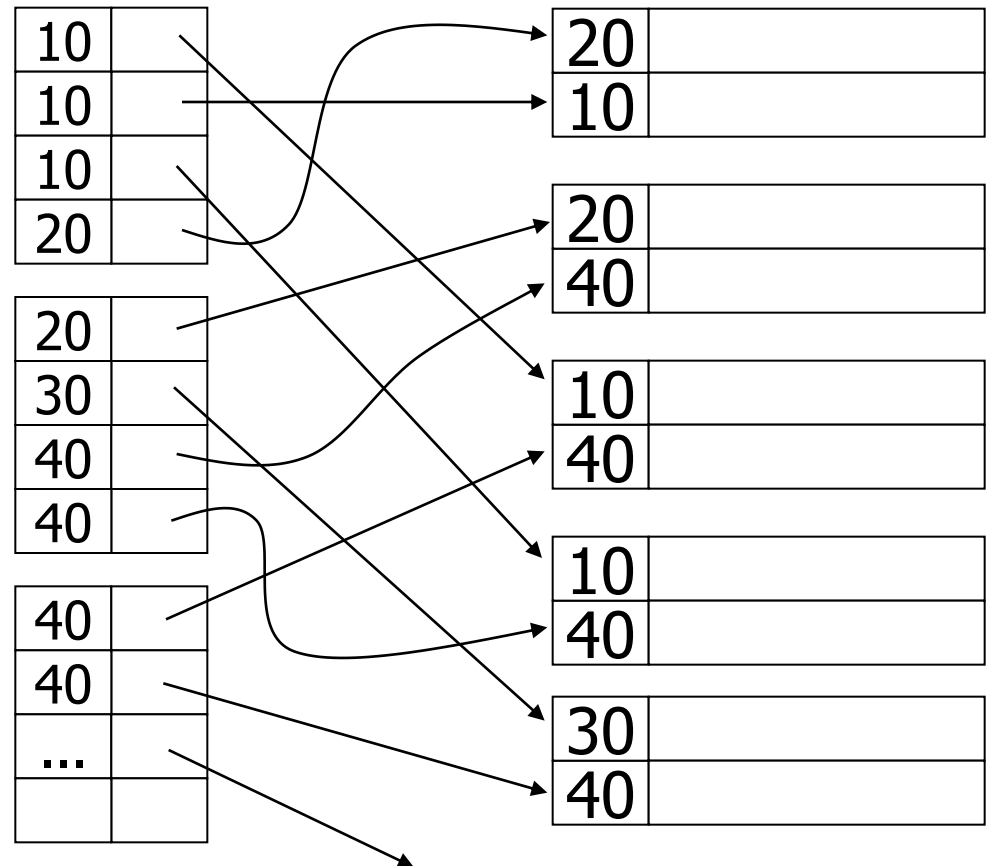
- Vždy odkazy na záznamy!

Duplikátní klíče: sekundární index

■ Replikace v indexu

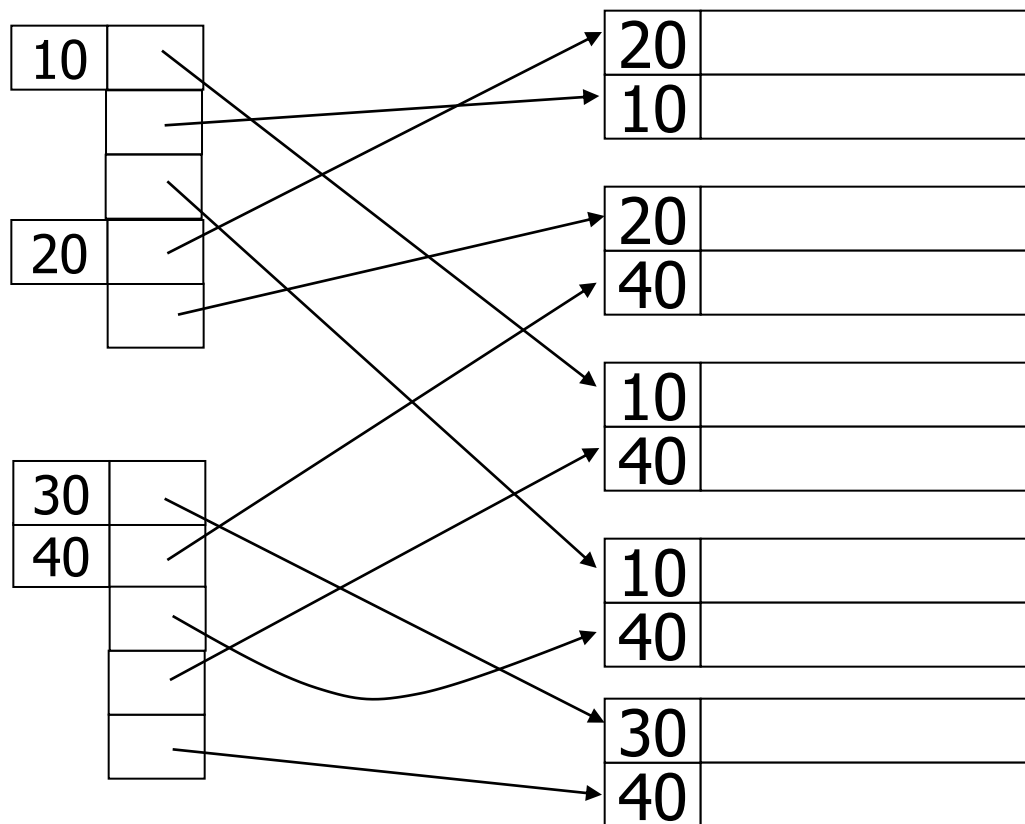
□ Zvýšení

- Přístupového času (access time)
- Diskových nároků



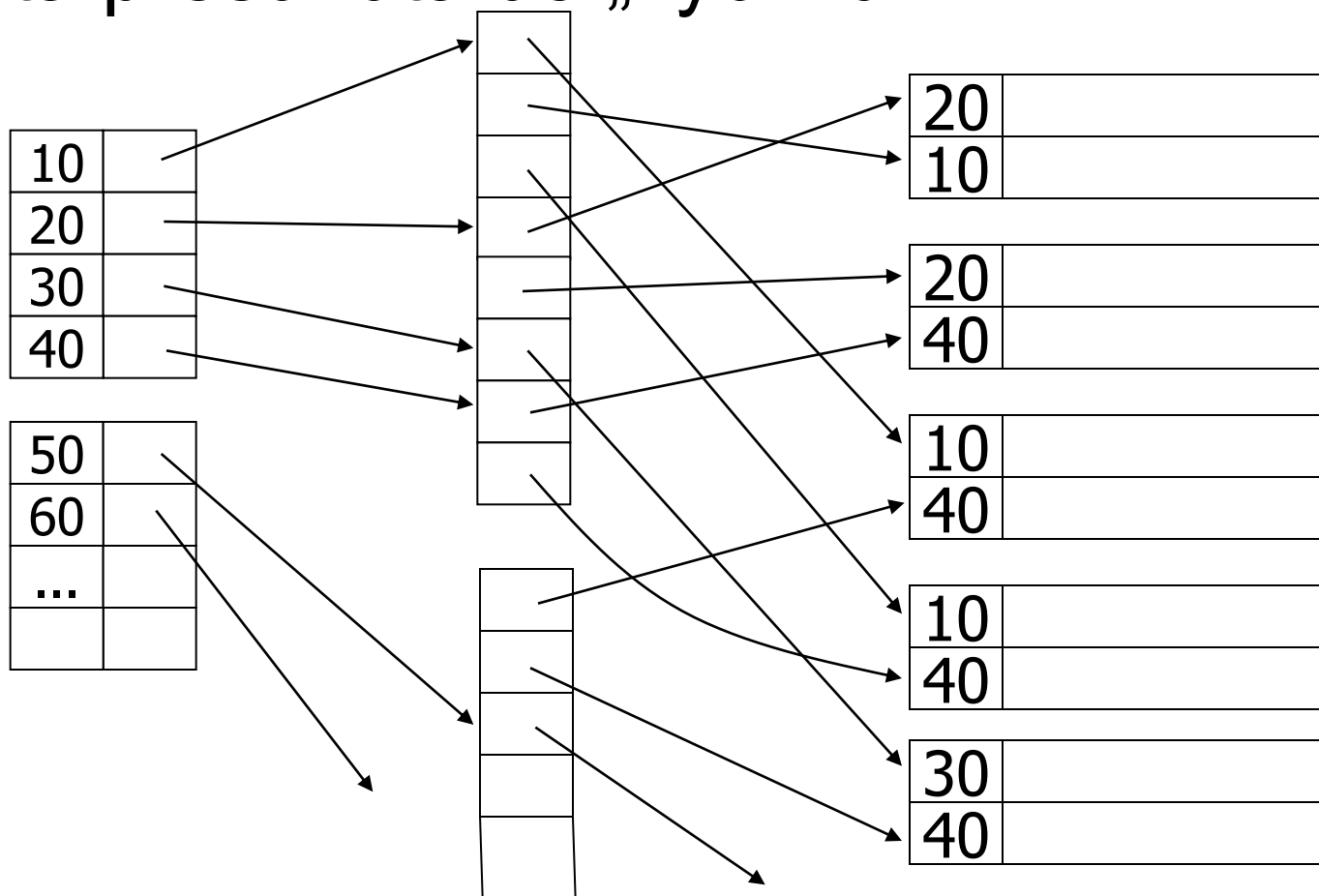
Duplikátní klíče: sekundární index 2

- Indexová položka má seznam ukazatelů
 - Problém variabilní délky položky



Duplikátní klíče: sekundární index 3

- Variabilita přesunuta do „kyblíků“



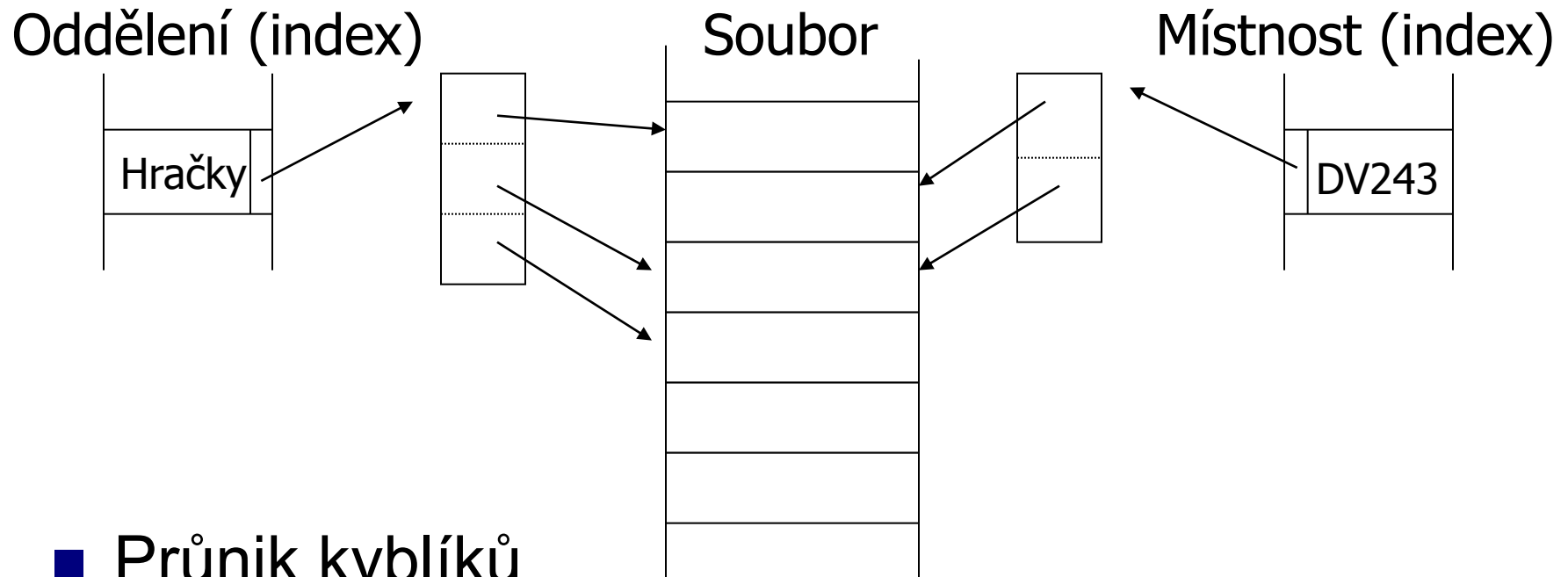
buckets

Duplikátní klíče: sekundární index 4

- Vhodnost nepřímého odkazu na záznam
 - Tj. „kyblíků“
- Příklad:
 - Relace
 - zaměstnanec(jméno, oddělení, místnost)
 - Indexy:
 - Jméno – primární
 - Oddělení – sekundární
 - Místnost – sekundární

Duplikátní klíče: sekundární index 5

- Dotaz: zaměstnanci hraček v místnosti DV243



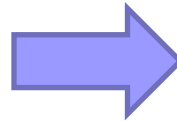
- Průnik kyblíků

- Máme seznam ukazatelů na správné zaměstnance
- Technika používaná v *information retrieval*

Příklad: Information Retrieval

- Textové dokumenty rozděleny na slova:

Term	docID
ambitious	2
be	2
brutus	1
brutus	2
capitol	1
caesar	1
caesar	2



Term	Posting list
ambitious	2
be	2
brutus	1, 2
capitol	1
caesar	1, 2

- Najdi dokumenty obsahující *Brutus* i *Caesar*
 - Načti *posting lists* pro Brutus a Caesar
 - Vytvoř jejich průnik

Konvenční indexy: shrnutí

- Základní dělení
 - Řídké vs. Husté
- Vkládání / mazání
 - Duplikátní klíče
 - Sekundární indexy
- Výhody
 - Jednoduché
 - Index je sekvenční soubor → vhodné pro „full scan“
- Nevýhody
 - Aktualizace drahé
 - Ztráta „sekvenčnosti“ a vyváženosti
 - kvůli přetokovým oblastem

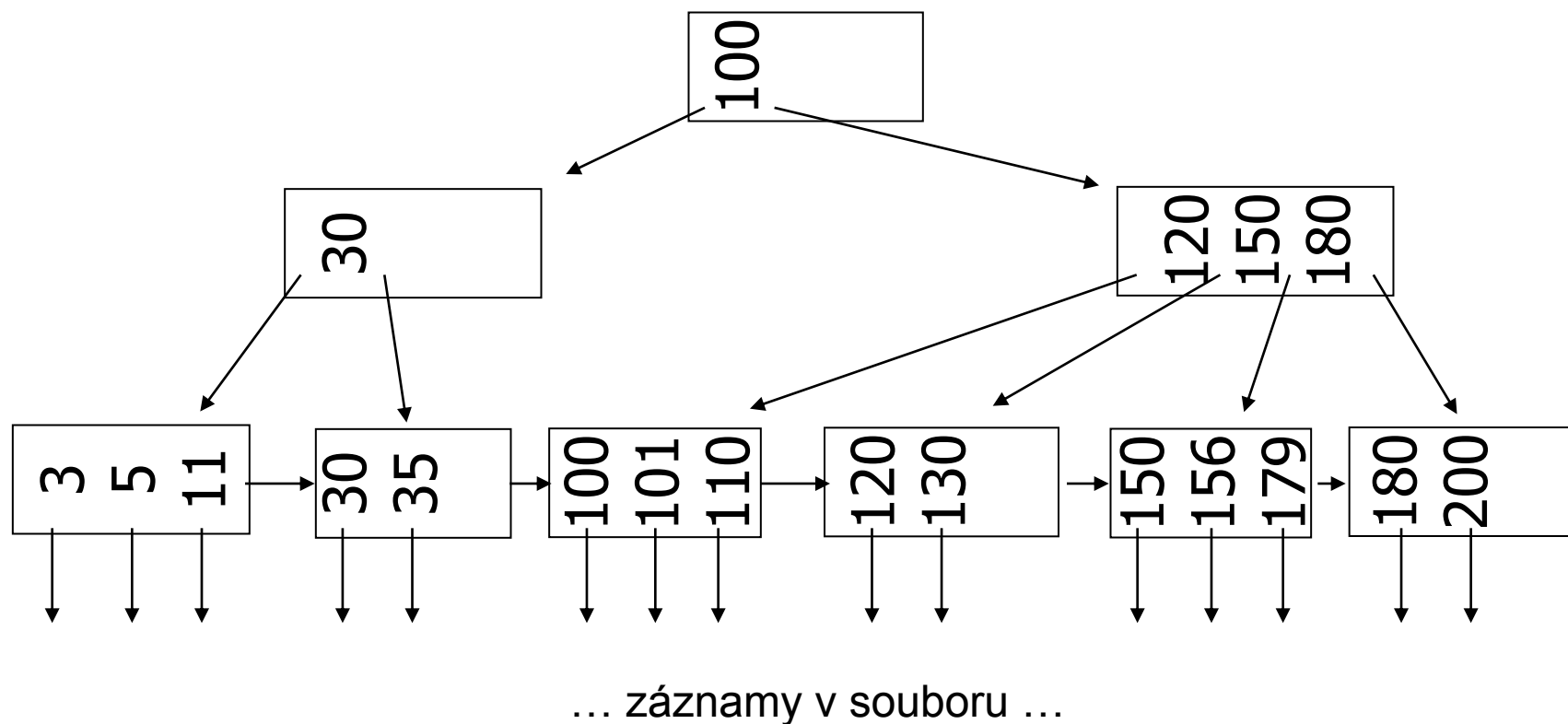
B-stromy

- Jiný typ indexu
 - Sekvenční uspořádání není nutné
 - Garance I/O pro přístup (vyváženost)
- Více variant
 - B-strom, B⁺-strom, B^{*}-strom, ...
 - Obvykle se při vylovení „*B-strom*“ myslí „*B⁺-strom*“!
- Původ
 - Rudolf Bayer and Ed McCreight invented the B-tree while working at Boeing Research Labs in 1971 (Bayer & McCreight 1972)
 - They did not explain what, if anything, the B stands for.
 - Douglas Comer explains:
 - The origin of "B-tree" has never been explained by the authors. As we shall see, "balanced," "broad," or "bushy" might apply. Others suggest that the "B" stands for Boeing. Because of his contributions, however, it seems appropriate to think of B-trees as "Bayer"-trees.

* Source: Wikipedia

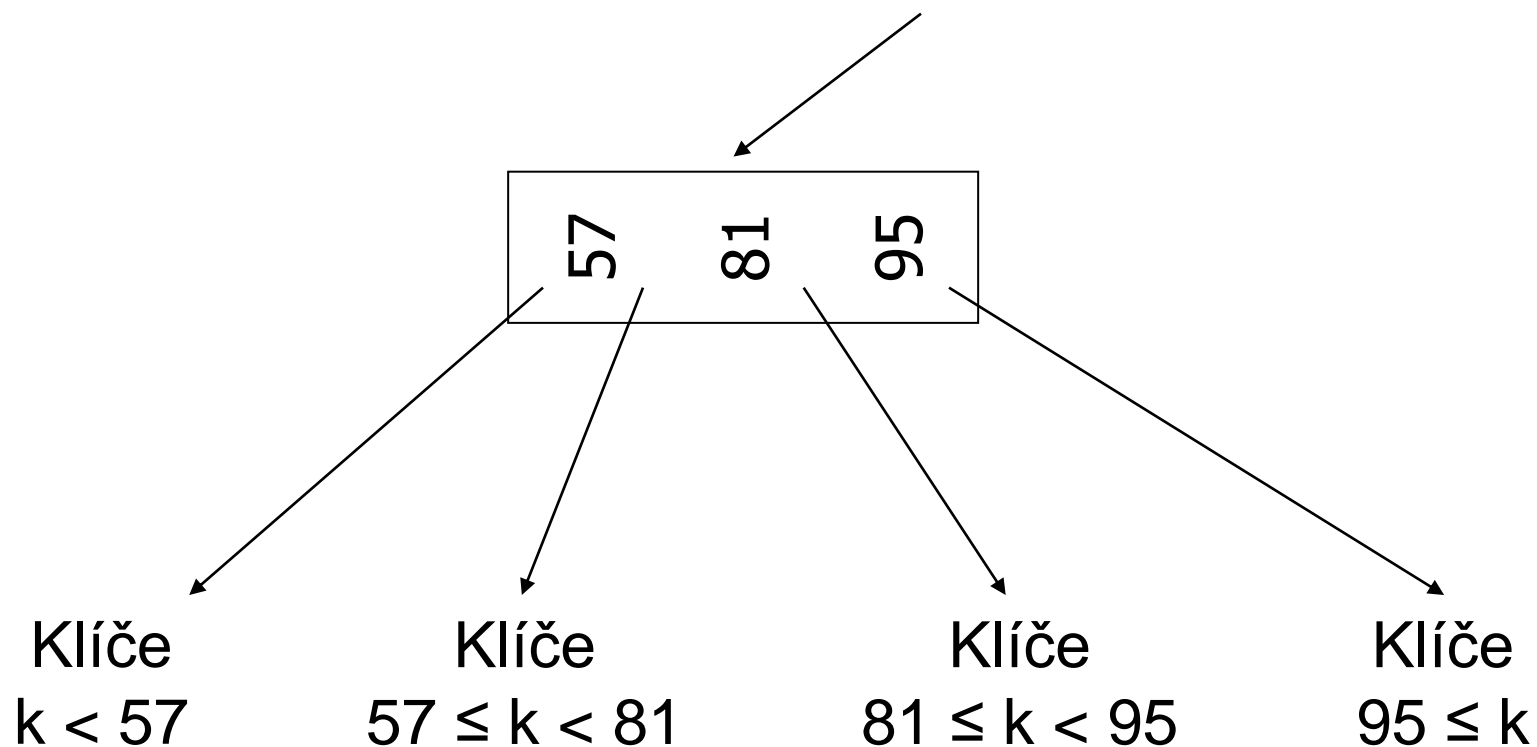
B⁺-strom

■ Příklad $n=4$



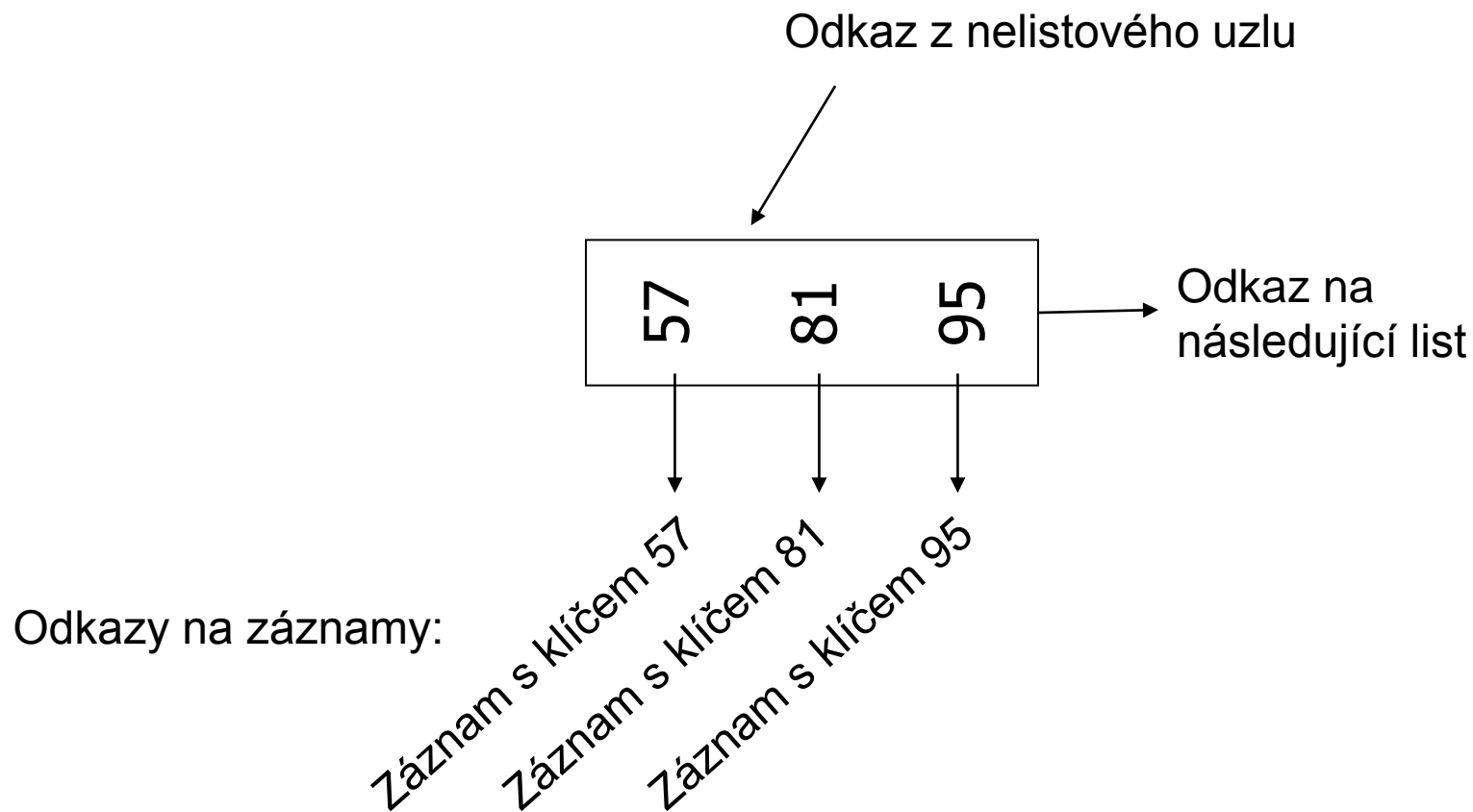
B⁺-strom

- Vnitřní uzel pro $n=4$



B⁺-strom

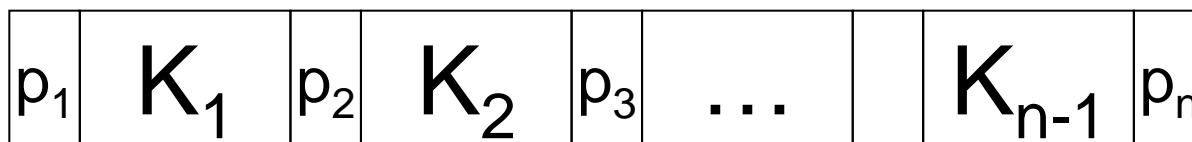
■ Listový uzel pro $n=4$



B⁺-strom

- Parametr n (arita stromu) ovlivňuje:

- Tvar uzlu:



- Minimální naplnění

- Listový uzel

- Vždy na stejné úrovni
 - p_i odkazuje na záznam s klíčem K_i (data)
 - p_n odkazuje na další list (zřetězení listů)

- Nelistový uzel

- p_i odkazuje na uzel, kde jsou klíče K : $K_{i-1} \leq K < K_i$

B⁺-strom

■ Podmínky naplnění

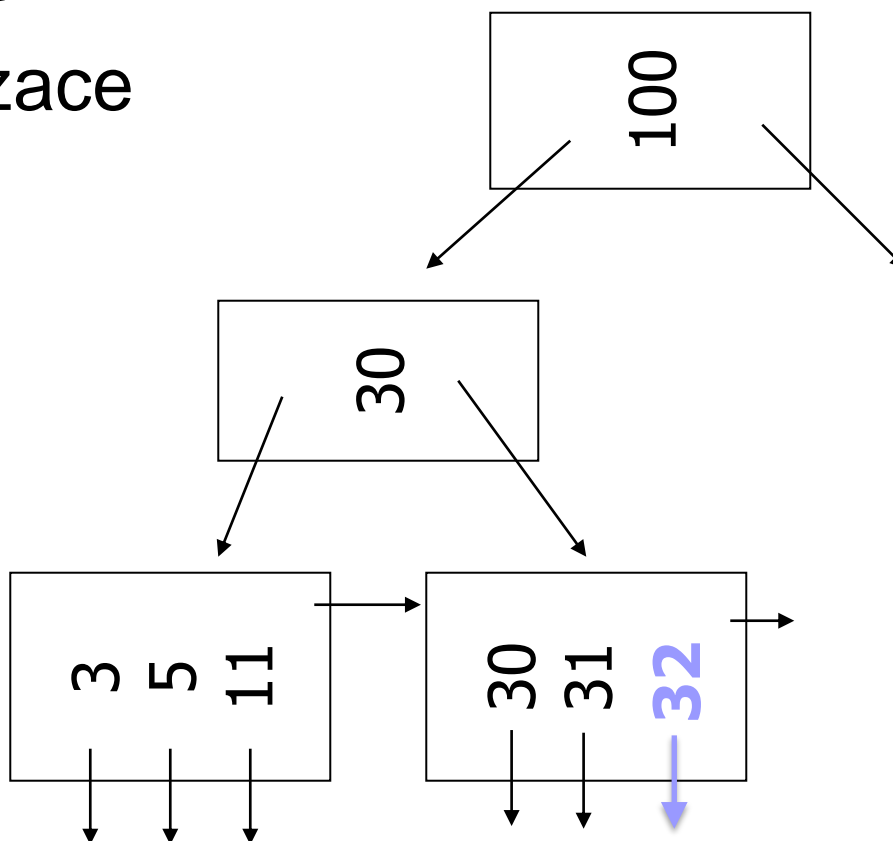
	Max ukazatelů	Min ukazatelů	Max klíčů	Min klíčů
Vnitřní uzel (ne kořen)	n (potomků)	$\lceil n/2 \rceil$ (potomků)	n-1	$\lceil n/2 \rceil - 1$
Vnitřní uzel (kořen)	n (potomků)	2 (potomků)	n-1	1
List (ne kořen)	n-1 (záznamů)	$\lceil (n-1)/2 \rceil$ (záznamů)	n-1 (záznamů)	$\lceil (n-1)/2 \rceil$ (záznamů)
List (kořen)	n-1 (záznamů)	0 (záznamů)	n-1 (záznamů)	0 (záznamů)

B⁺-strom: vkládání

- Růst od listu ke kořenu
- Nalézt listový uzel a vložit klíč
 - Včetně odkazu na záznam
 - Popř. aktualizovat rodiče
- Případy:
 - a) Bez reorganizace (snadné)
 - V listu je volné místo
 - b) Štěpení listu
 - c) Štěpení vnitřního uzlu
 - d) Nový kořen

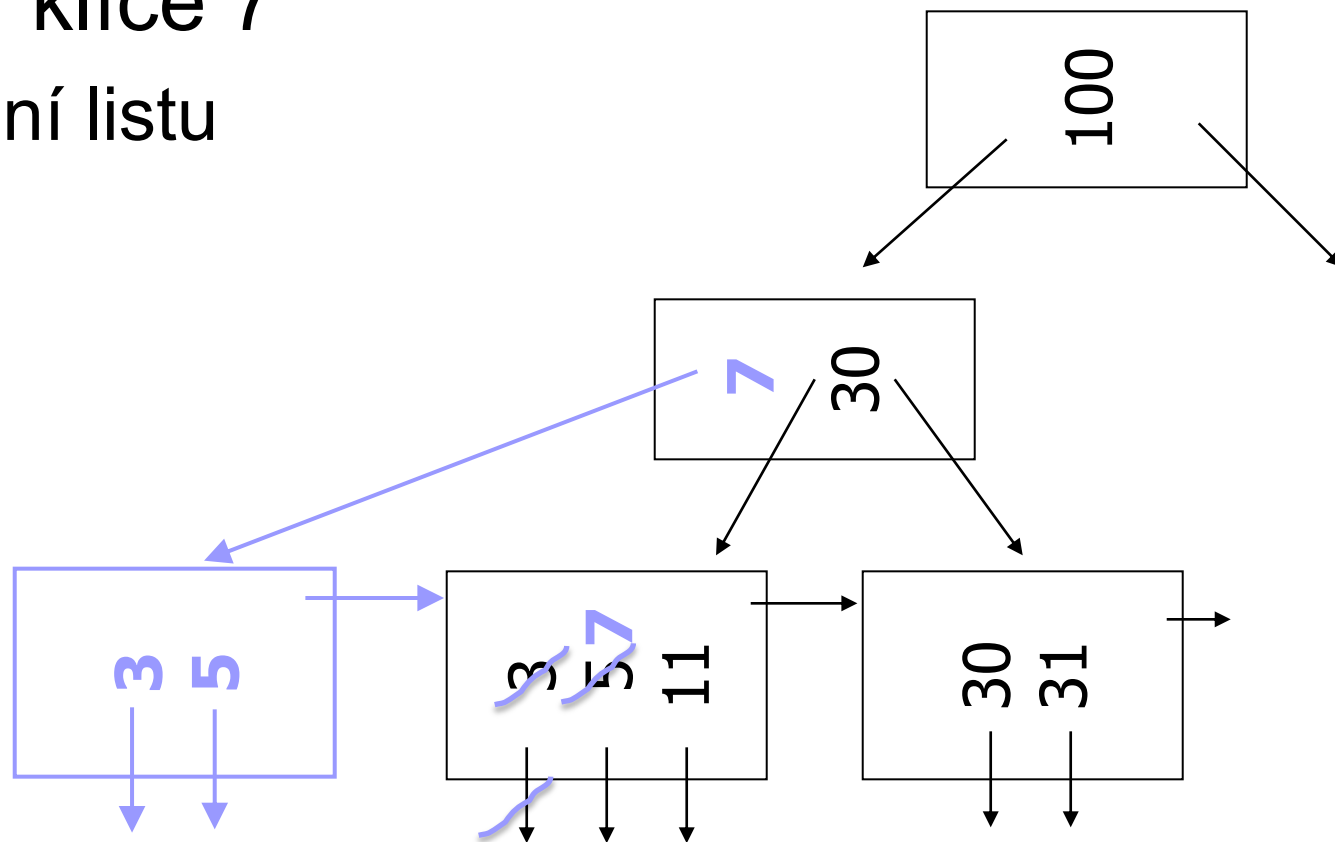
B⁺-strom: $n=4$

- Vložení klíče 32
 - Bez reorganizace



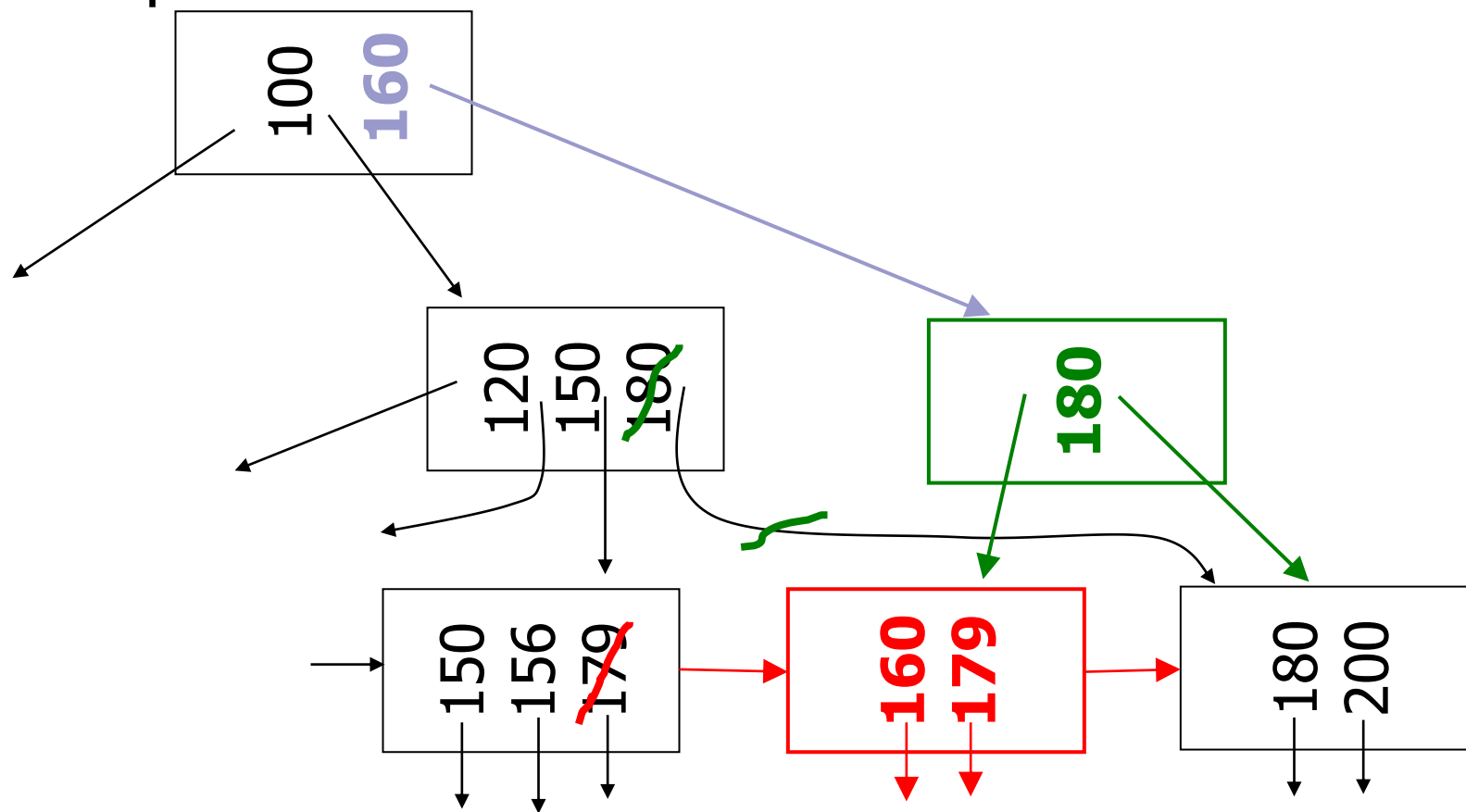
B⁺-strom: $n=4$

- Vložení klíče 7
 - Štěpení listu



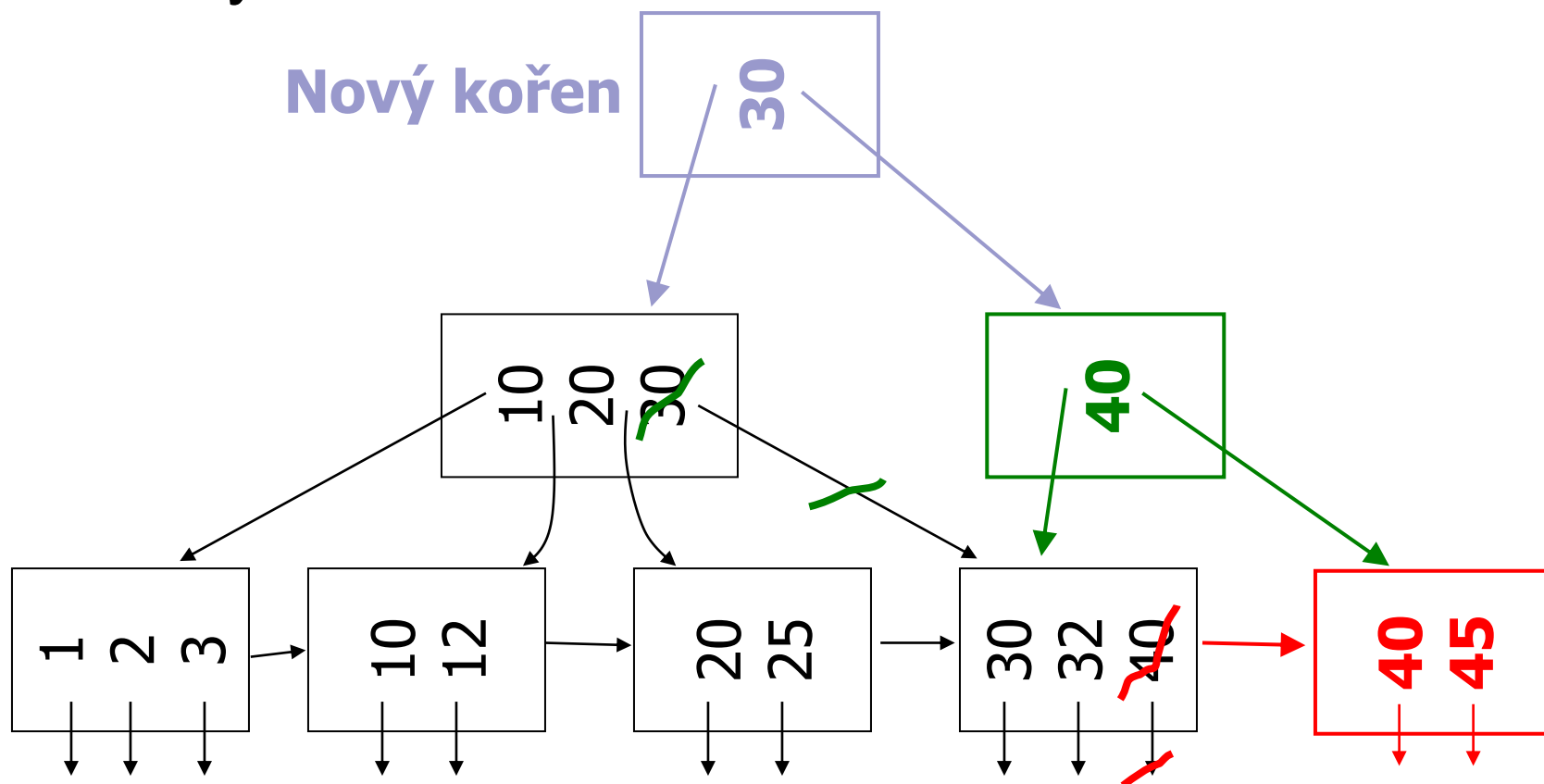
B⁺-strom: $n=4$

- Vložení klíče 160
 - Štěpení vnitřního uzlu



B⁺-strom: $n=4$

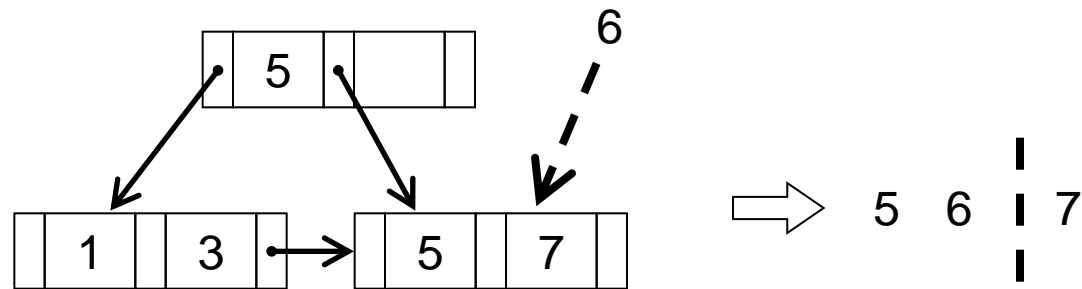
- Vložení klíče 45
 - Nový kořen



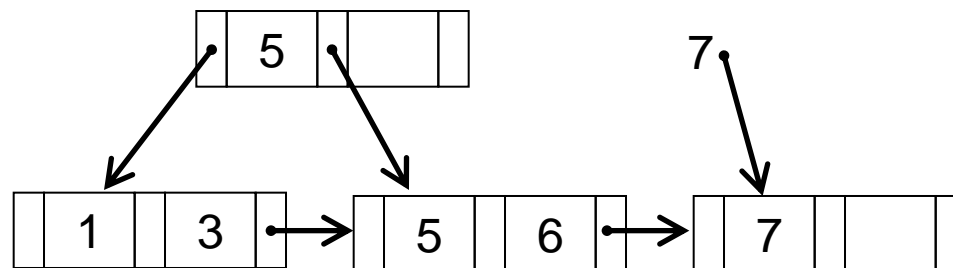
B⁺-strom: štěpení listu

$n=3$, vkládáme 6

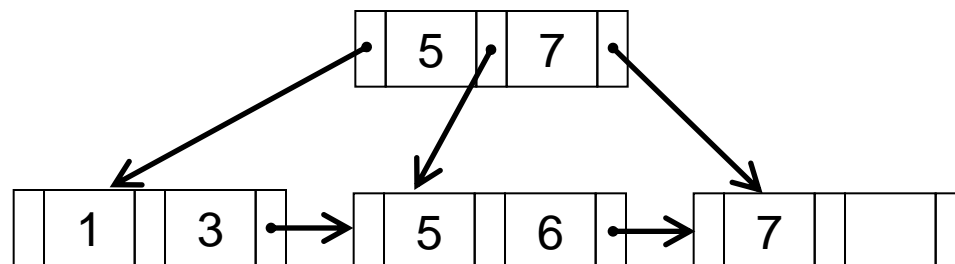
1.



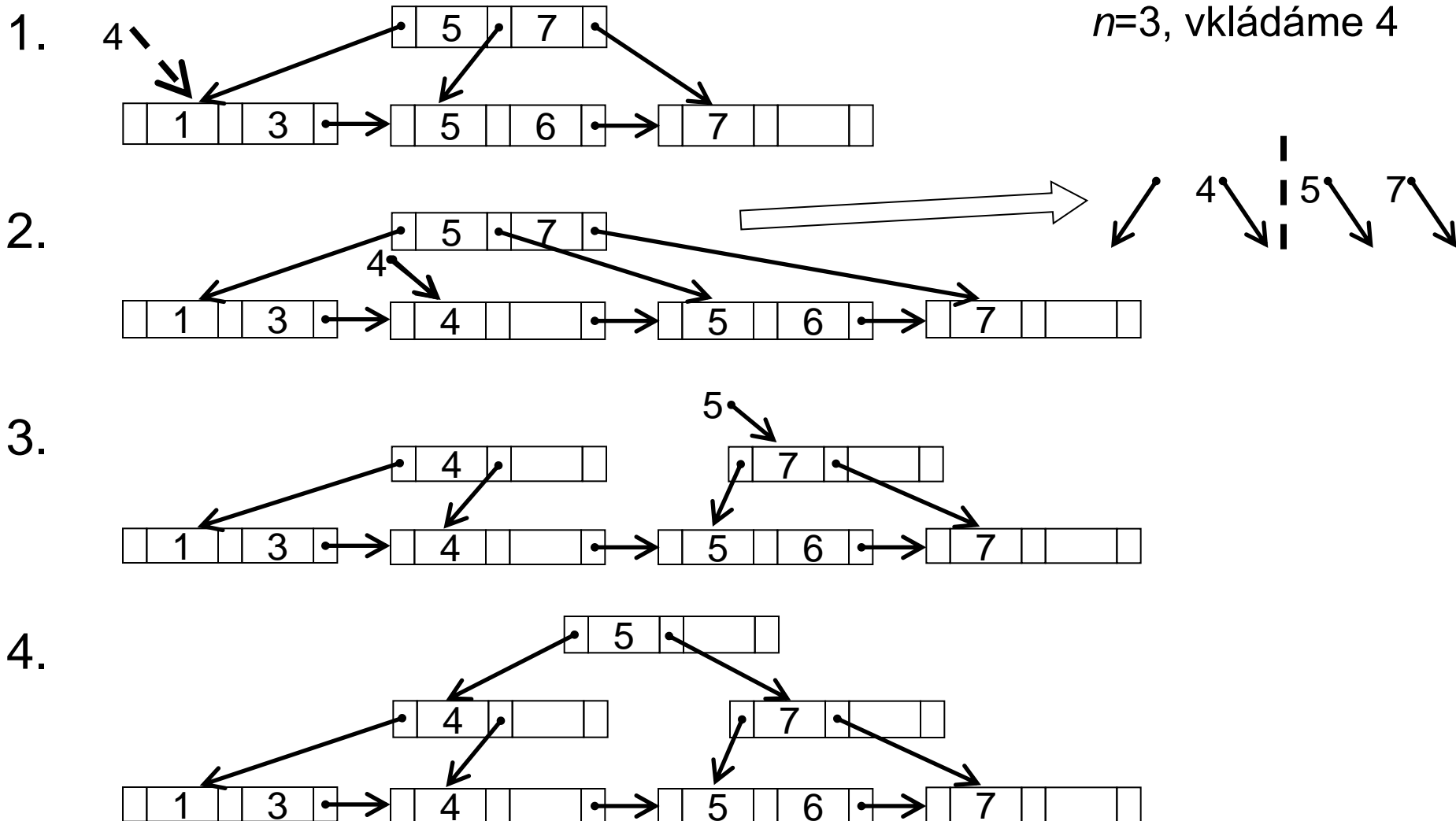
2.



3.



B⁺-strom: štěpení vnitřního uzlu



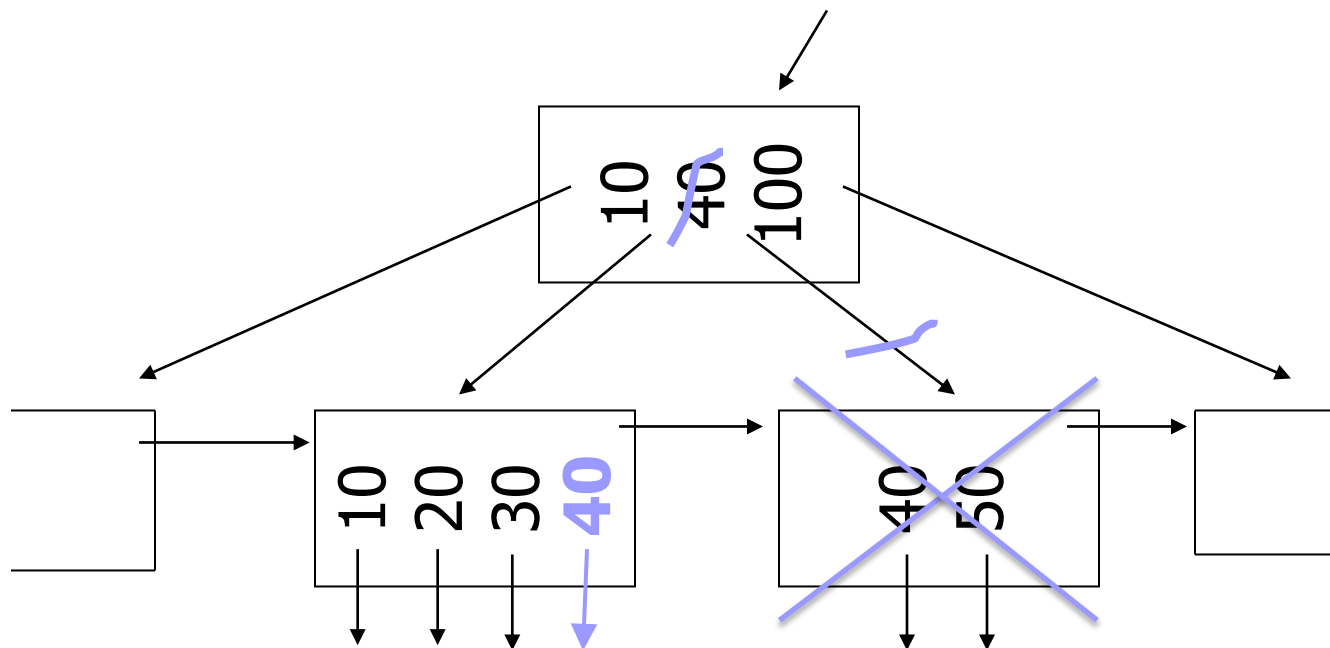
B⁺-strom: mazání

- Nalézt listový uzel a smazat klíč
 - Včetně odkazu na záznam
 - Popř. smazat list, ...
- Případy:
 - a) Bez reorganizace (list není „podplněn“)
 - b) Přesun do souseda a smaž uzel
 - c) Přesuny mezi sousedy (bez mazání uzlu)
 - d) Ad (b) a (c) pro vnitřní uzly

B⁺-strom: $n=5$

■ Mazání klíče 50

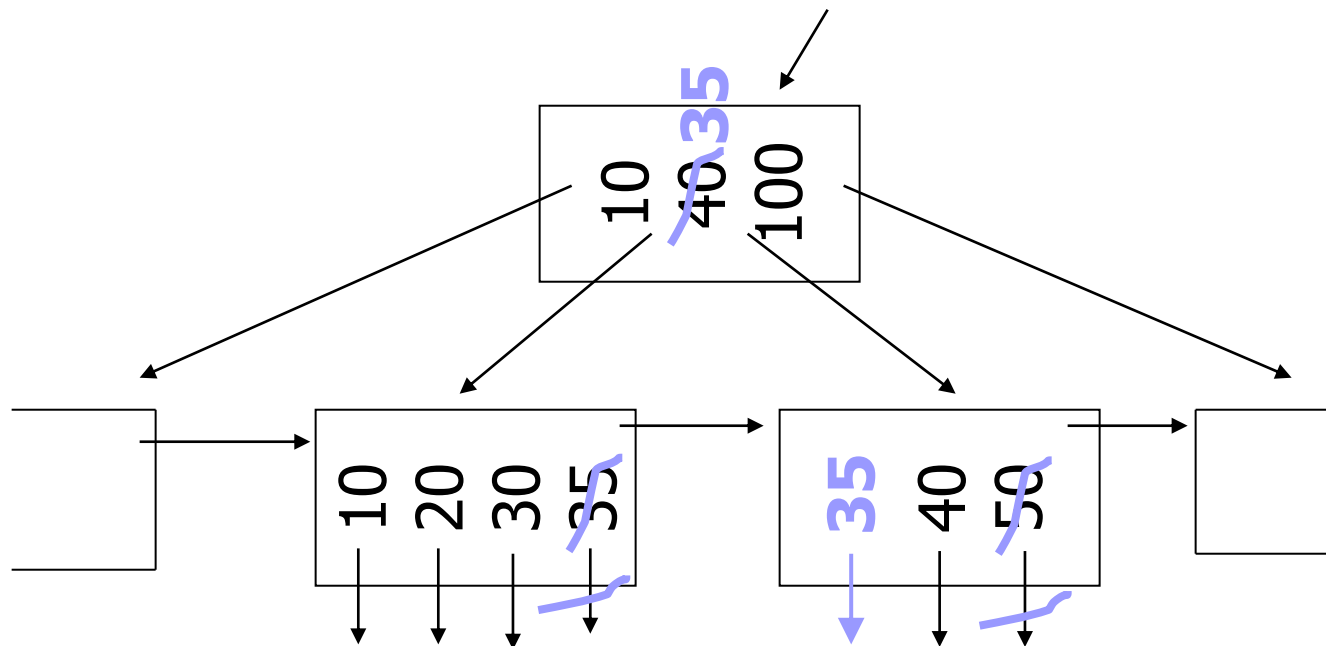
- Přesun do souseda a smaž uzel



B⁺-strom: $n=5$

■ Mazání klíče 50

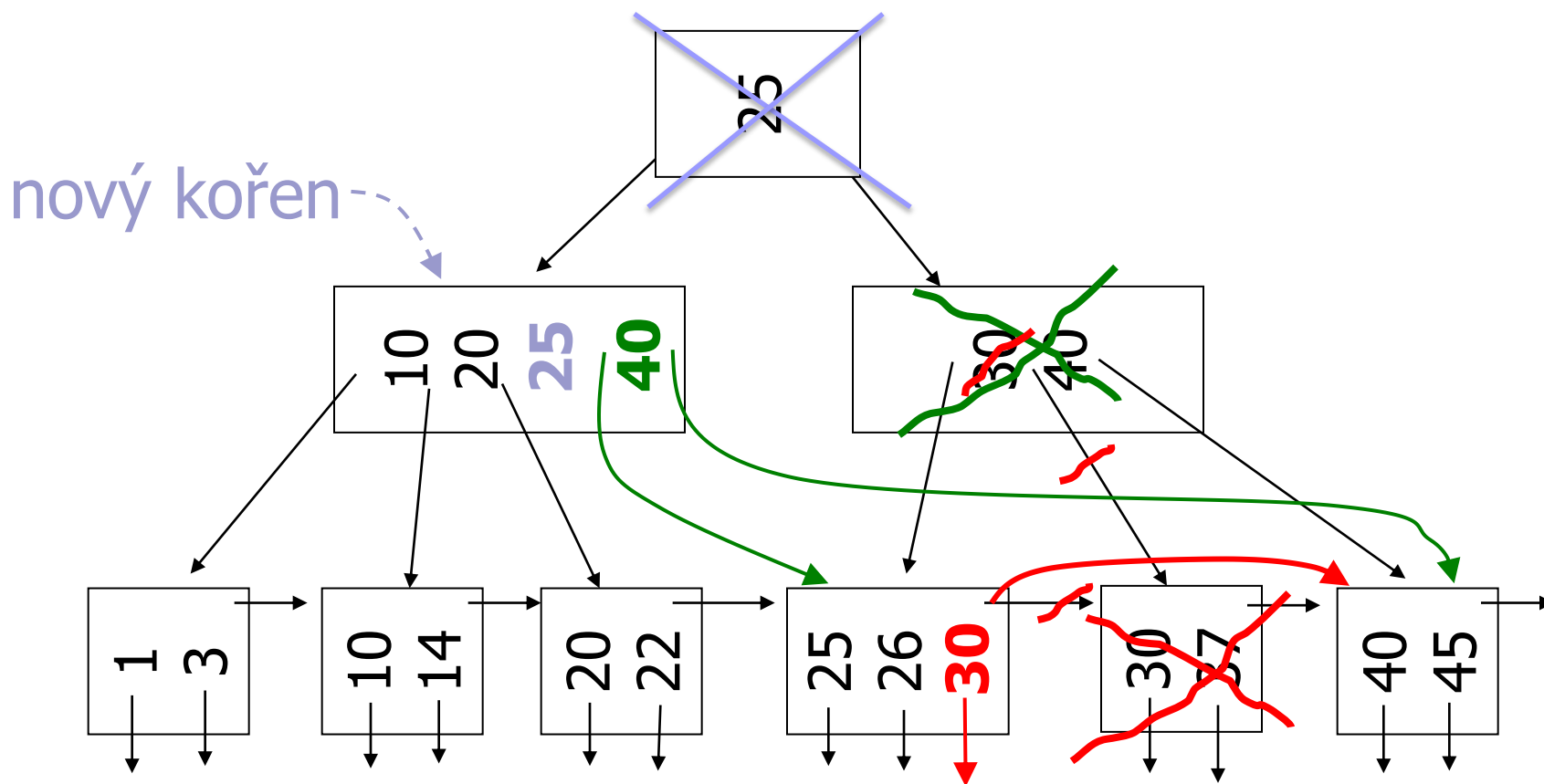
- Přesuny mezi sousedy (bez mazání uzlu)



B⁺-strom: $n=5$

■ Mazání klíče 37

- Přesuny mezi sousedy pro vnitřní uzly



B⁺-strom: mazání

■ Praxe:

- Často nejsou přesuny mezi sousedy implementovány
- Příliš složité a nemá velké efekty

B⁺-strom vs. index-sekvenční soubor

- Kapacita bloku (512 bajtů)
 - Klíč = 4 bajty, ukazatel = 4 bajty
 - Statický index – implicitní indexy, 127 klíčů
 - B⁺-strom – 63 klíčů, tj. 64 potomků
- Počet datových bloků v indexu:
 - První úroveň: statický ≤ 127 , B⁺-strom ≤ 64
 - Druhá úroveň : statický ≤ 16129 , B⁺-strom ≤ 4096
- Závěr:
 - B⁺-strom potřebuje více místa
 - B⁺-strom má složitější zamykání
 - Statický index vyžaduje reorganizace

B⁺-strom vs. index-sekvenční soubor

■ Závěr (pokračování):

□ DB neví kdy reorganizovat!

- B⁺-strom provádí pouze malé lokální reorganizace
- Statický index provádí velké reorganizace

□ Buffer manager

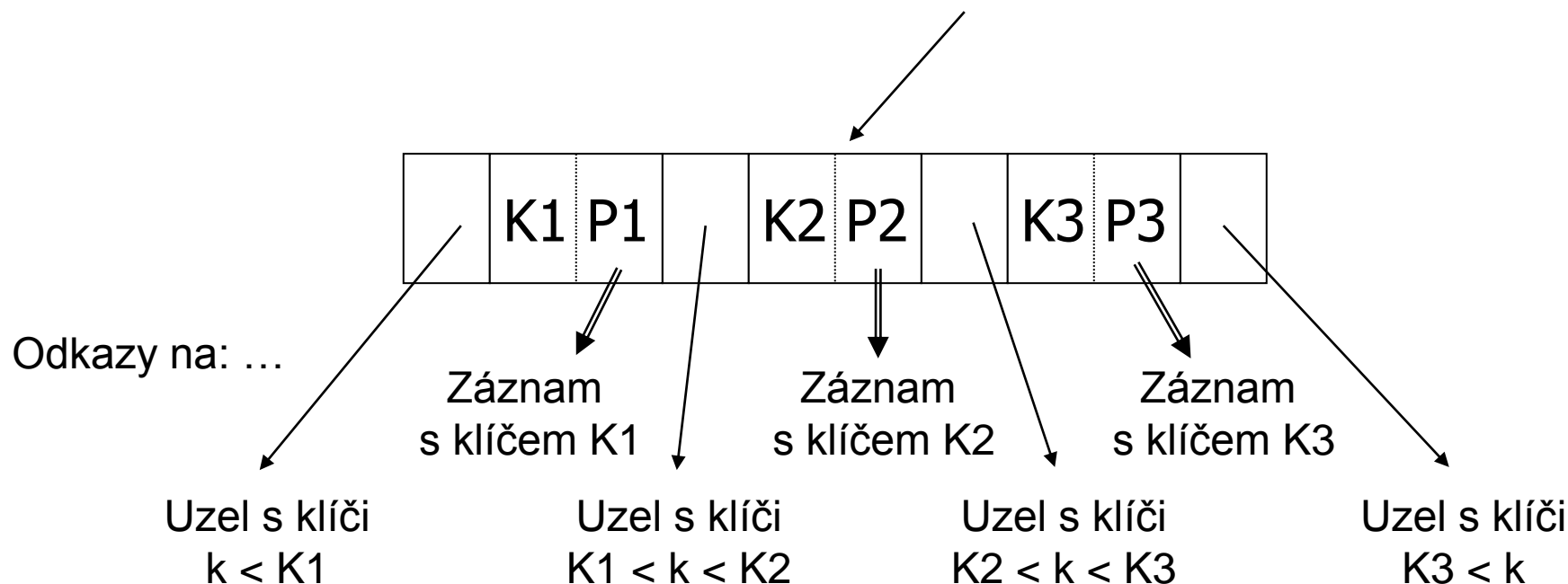
- B⁺-strom má fixní nároky (log hloubka)
- Statický index nikoli!
 - Kvůli přetokovým oblastem
- LRU není pro B⁺-strom vhodný!

■ **B⁺-strom je vhodnější organizace.**

B-strom (pozor bez +)

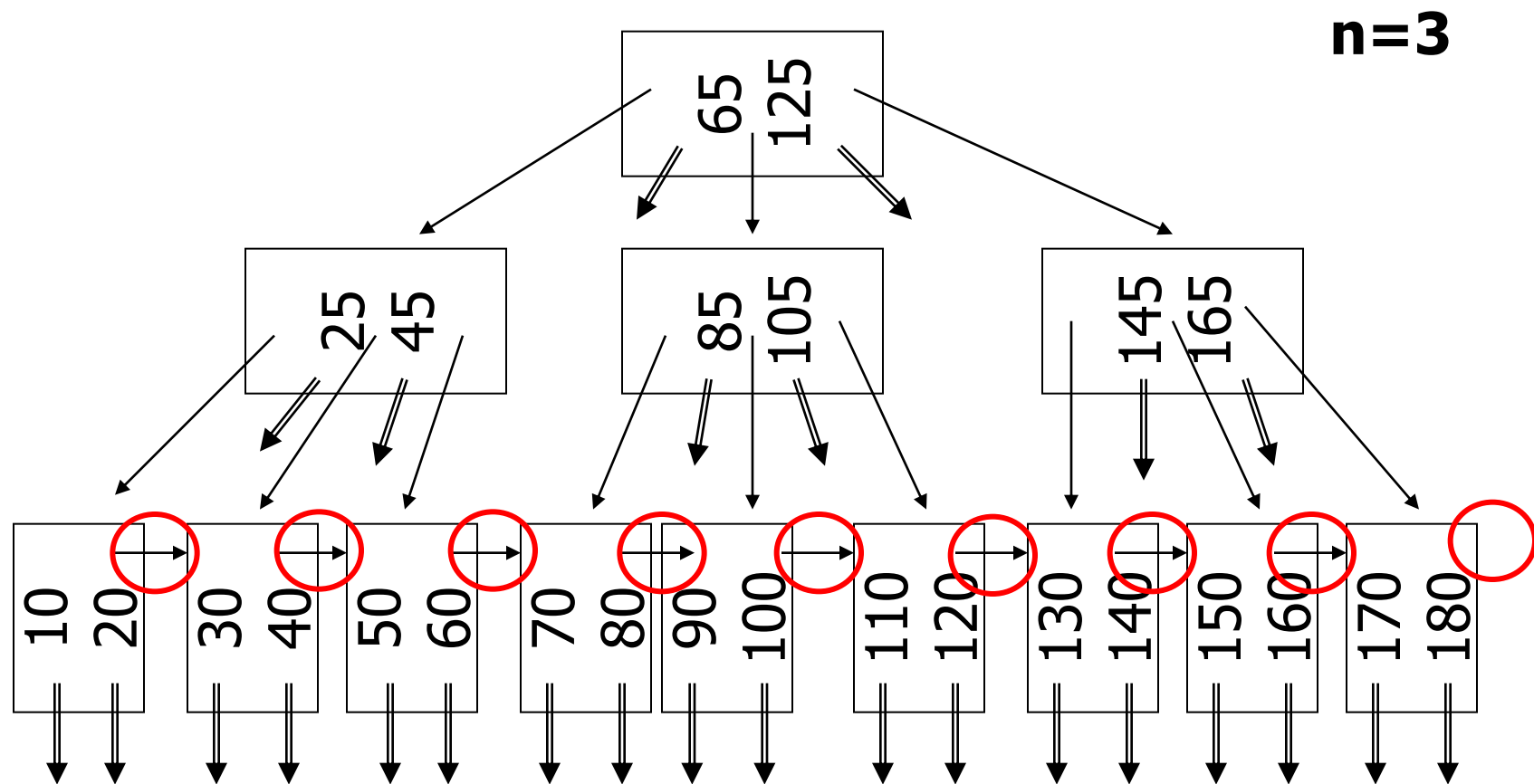
■ Neduplikovat klíče

- → odkazy na záznamy i ve vnitřních uzlech
- Podmínky pro klíče v podstromech jsou jiné



B-strom: příklad

- Zřetězení listů již nelze využít



B-strom

■ Podmínky naplnění

	Max ukazatelů	Min ukazatelů	Max klíčů (záznamů)	Min klíčů (záznamů)
Vnitřní uzel (ne kořen)	n	$\lceil n/2 \rceil$	$n-1$	$\lceil n/2 \rceil - 1$
Vnitřní uzel (kořen)	n	2	$n-1$	1
List (ne kořen)	$n-1$ (záznamů)	$\lceil (n-1)/2 \rceil$ (záznamů)	$n-1$	$\lceil (n-1)/2 \rceil$
List (kořen)	$n-1$ (záznamů)	0 (záznamů)	$n-1$	0

Porovnání B-stromu a B⁺-stromu

■ Velikosti

- Blok = 100 bajtů
- Ukazatel = 4 bajty
- Klíč = 4 bajty

■ Uvažujme vždy plný dvouúrovňový strom

- 1 kořen a pak listy
- Každý uzel v jednom bloku

Porovnání: B-strom

■ Kořen:

- 8 klíčů + 8 ukazatelů na záznam
- 9 ukazatelů na potomka
- $8 \cdot 4 + 8 \cdot 4 + 9 \cdot 4 = 100$ bajtů

■ List:

- 12 klíčů + 12 ukazatelů na záznam
- $12 \cdot 4 + 12 \cdot 4 = 96$ bajtů

■ Počet záznamů:

- $8 + 9 \cdot 12 = 116$ záznamů

Porovnání: B⁺-strom

■ Kořen:

- 12 klíčů, 13 ukazatelů na potomka
- $12 \cdot 4 + 13 \cdot 4 = 100$ bajtů

■ List:

- 12 klíčů + 12 ukazatelů na záznam
- $12 \cdot 4 + 12 \cdot 4 = 96$ bajtů

■ Počet záznamů:

- $13 \cdot 12 = 156$ záznamů

Porovnání: výsledek

■ Počet čtení z disku:

□ B-strom

■ $P_1 \text{ čtení} = 8 / 116,$

$P_2 \text{ čtení} = 108 / 116$

□ B⁺-strom

■ $P_2 \text{ čtení} = 156 / 156$

■ Ale: B-strom se 156 záznamy má 3 úrovně

□ 1.úroveň – 8 klíčů, 2.úroveň - $9 \cdot 8 = 72,$
3.úroveň – 76 klíčů

□ $P_1 \text{ čtení} = 8 / 156, P_2 \text{ čtení} = 72 / 156$

□ $P_3 \text{ čtení} = 76 / 156$

Porovnání: závěr

■ B-stromy

 Ve vyhledávání rychlejší

■ Ne vždy platí (viz předchozí příklad)

 Různé struktury vnitřního a listového uzlu

 Mazání je obtížnější na implementaci

→ B⁺-stromy jsou preferovány!

B⁺-strom

- B⁺-strom jako soubor
 - viz Organizace souborů PV062
- Duplicitní klíče
 - Odkazy na záznamy → odkazy na kyblíky (buckets)
 - Tj. bloky, kde jsou seznamy záznamů se stejnou hodnotou
- Klíče jsou variabilní délky (např. řetězce)
 - Ukládat celé → nízká arita a další potíže
 - Používá se prefix (prefix compression)