



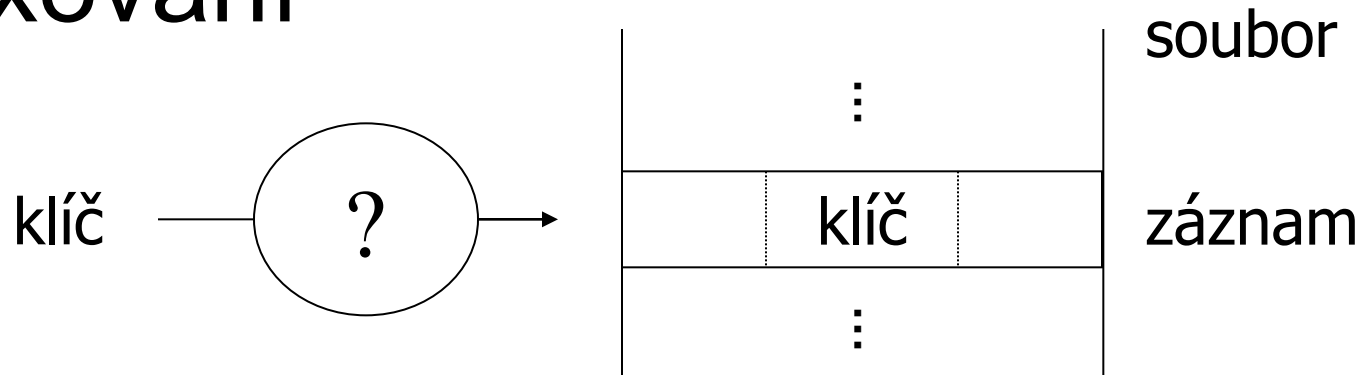
PA152: Efektivní využívání DB
4. Indexování

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	

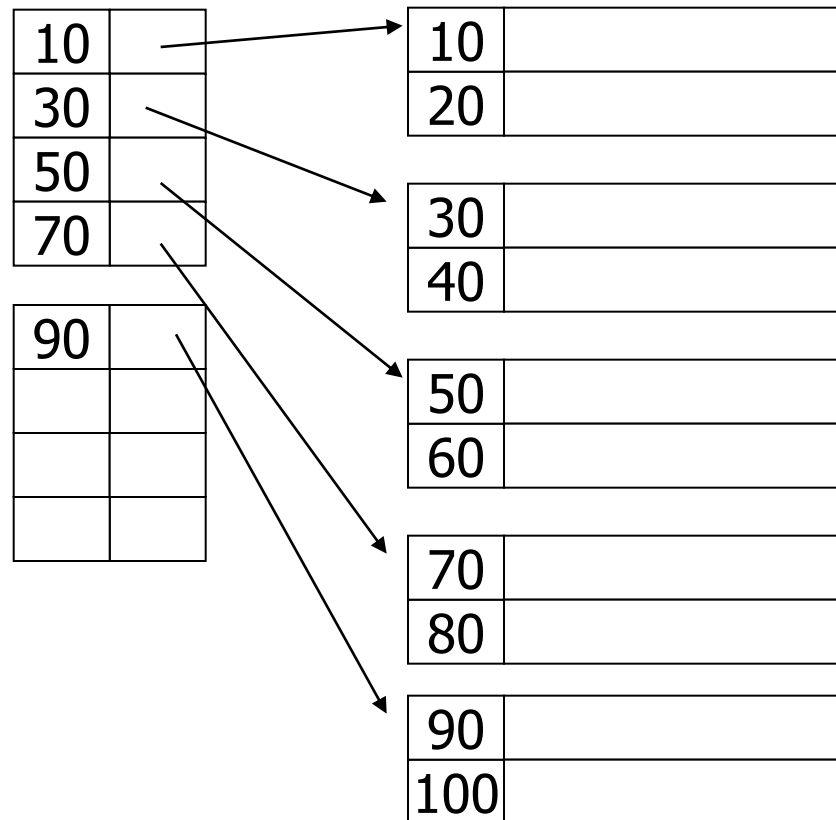
30	
40	

50	
60	

70	
80	

90	
100	

Index-sekvenční soubor

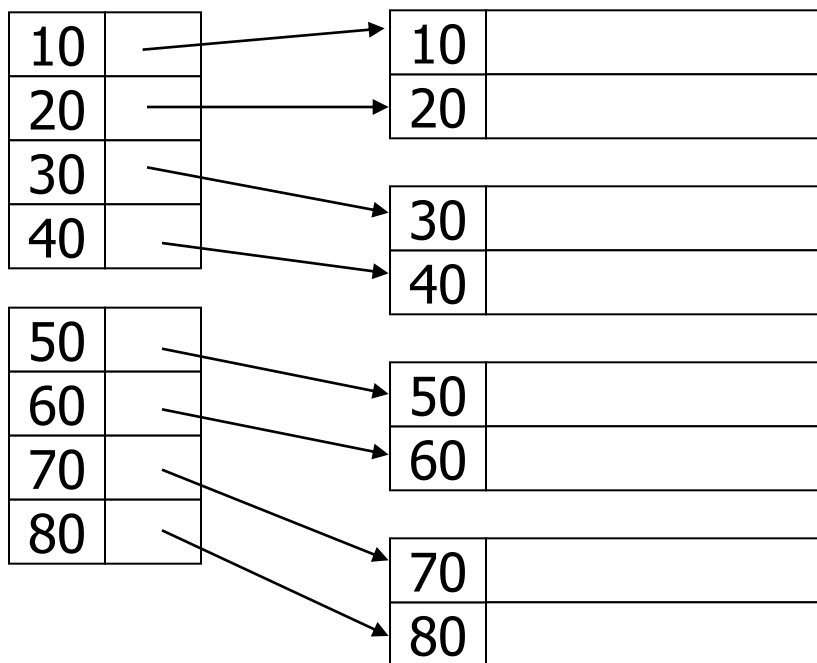


Index

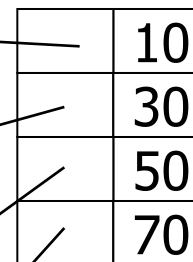
■ Položka indexu:

- klíč, odkaz na záznam/blok

Hustý index

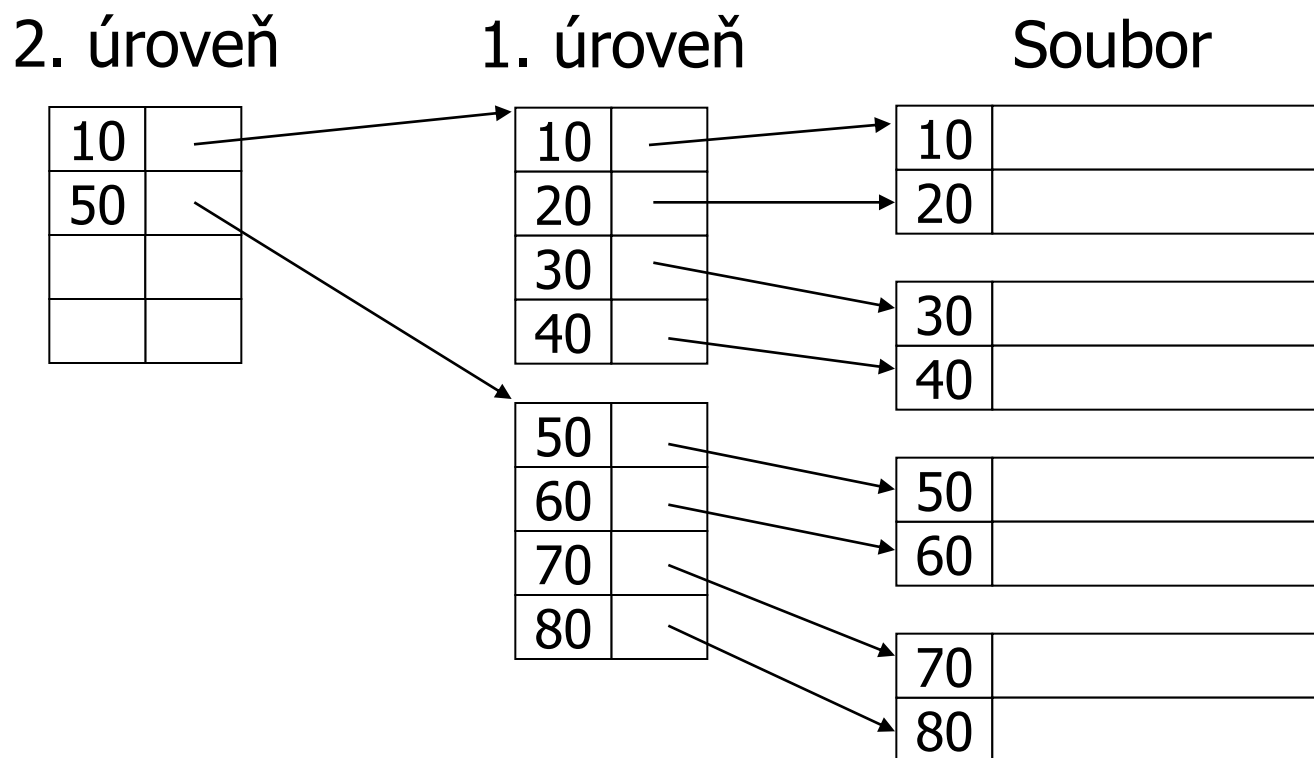


Řídký index



Index

■ Víceúrovňový index



- Lze mít indexy vyšších úrovní husté?

Index a ukazatele

■ 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“

Implicitní ukazatele na blok

- Blok o velikosti 4KB

- Hledáme K3

- Prohledání indexu

- K3 je ve třetí položce

- třetí blok (B3)

- Offset v souboru

- $(3-1) \cdot 4096 = 8192$

Index

K1 → B1
K2 → B2
K3 → B3
K4 → B4

Soubor

B1
B2
B3
B4

Duplikátní klíče

■ Vytvoření indexu

hustý index?

řídký index?

Soubor

10	
10	

10	
20	

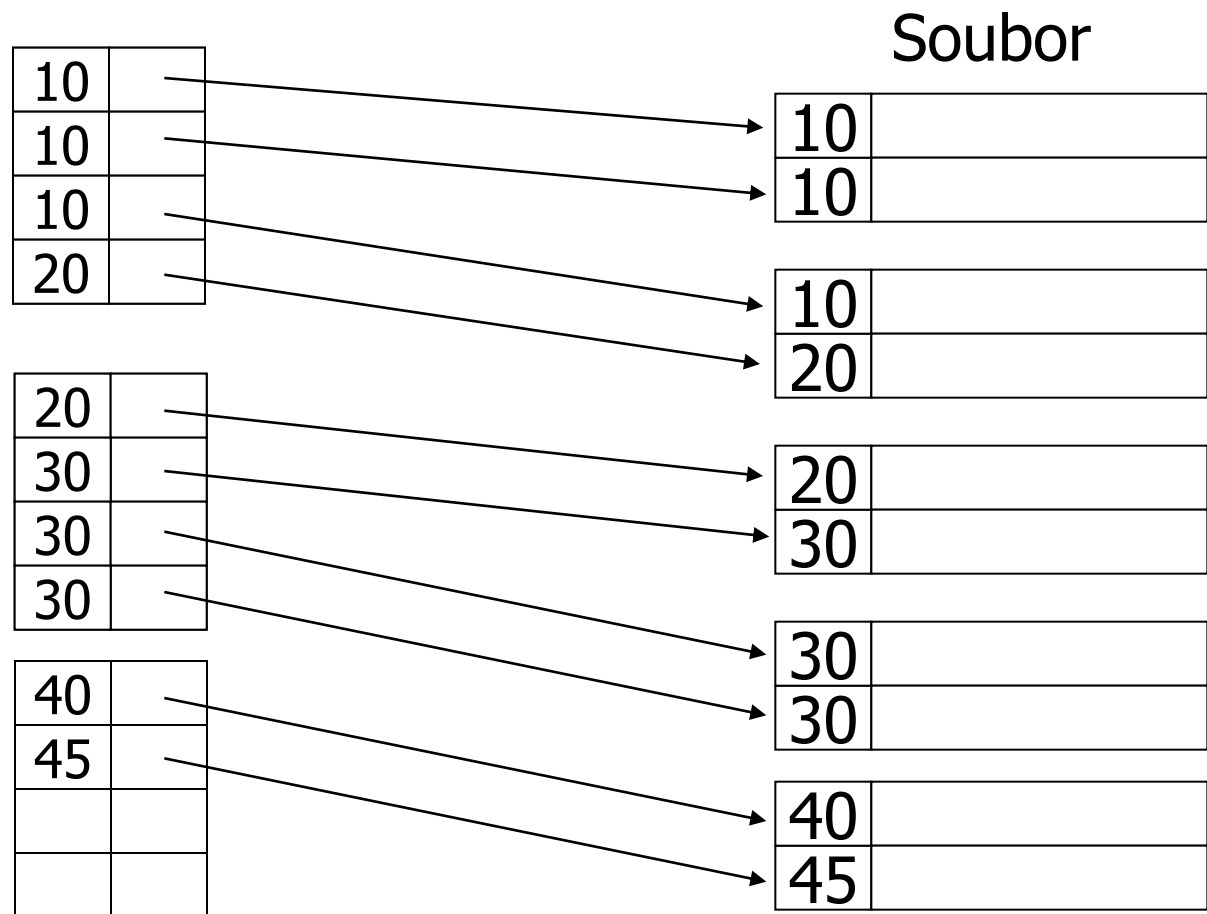
20	
30	

30	
30	

40	
45	

Duplikátní klíče: hustý index

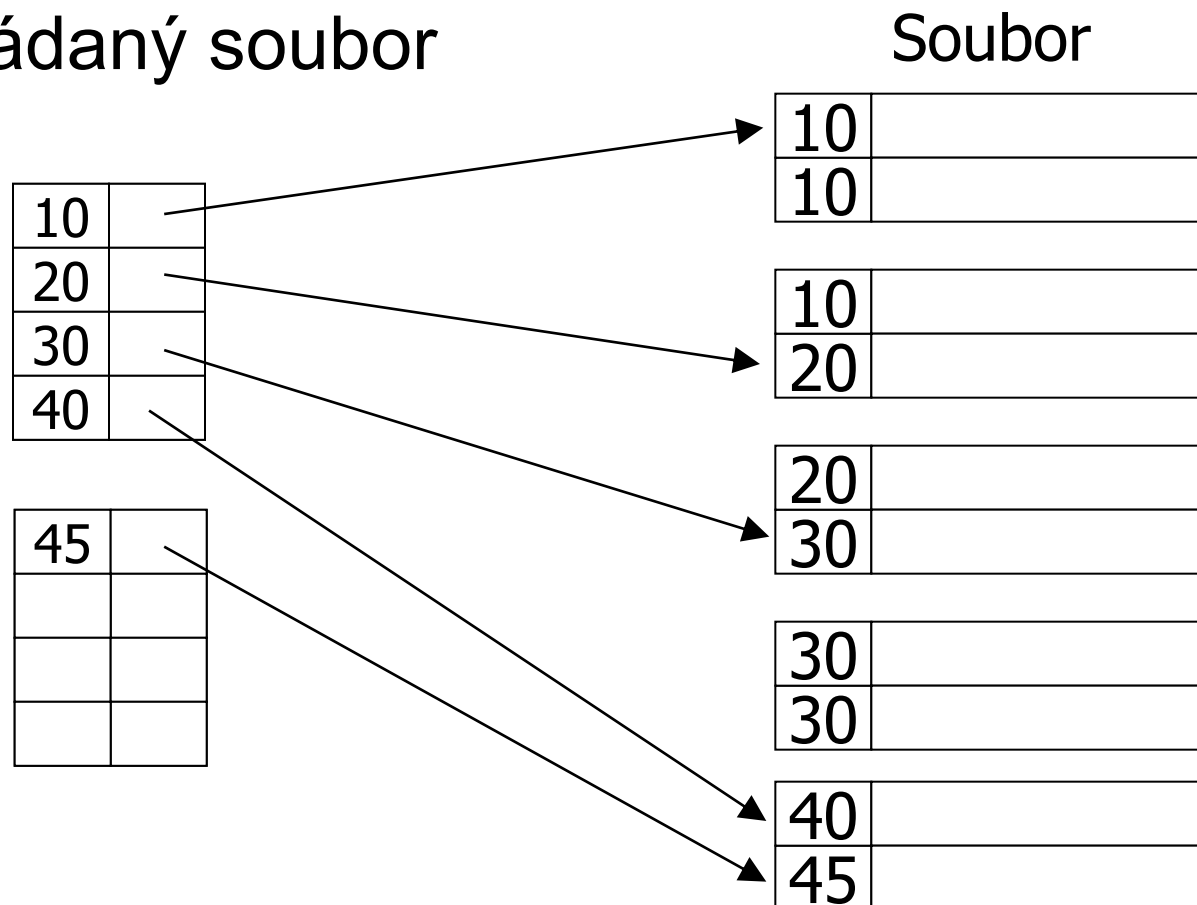
■ Duplicity v indexu



Duplikátní klíče: hustý index

- Klíče v indexu jsou unikátní

- → uspořádaný soubor



Duplikátní klíče: řídký index

■ Odkazy na bloky

- Neřeší duplicitní klíče v indexu



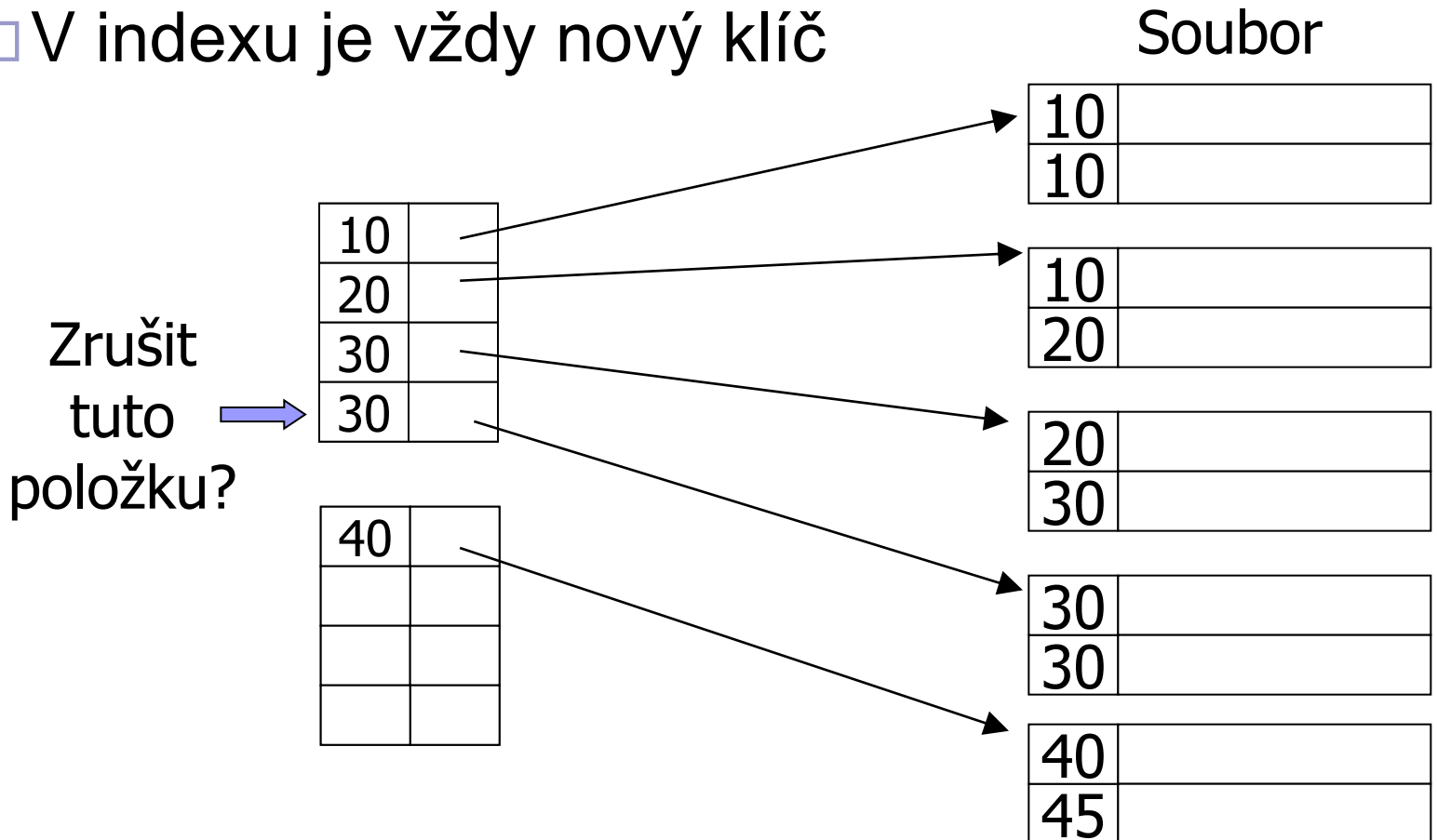
■ Vyhledávání záznamů!!!

- Např. klíč 20

Duplikátní klíče: řídký index

- Odkaz na blok, ale:

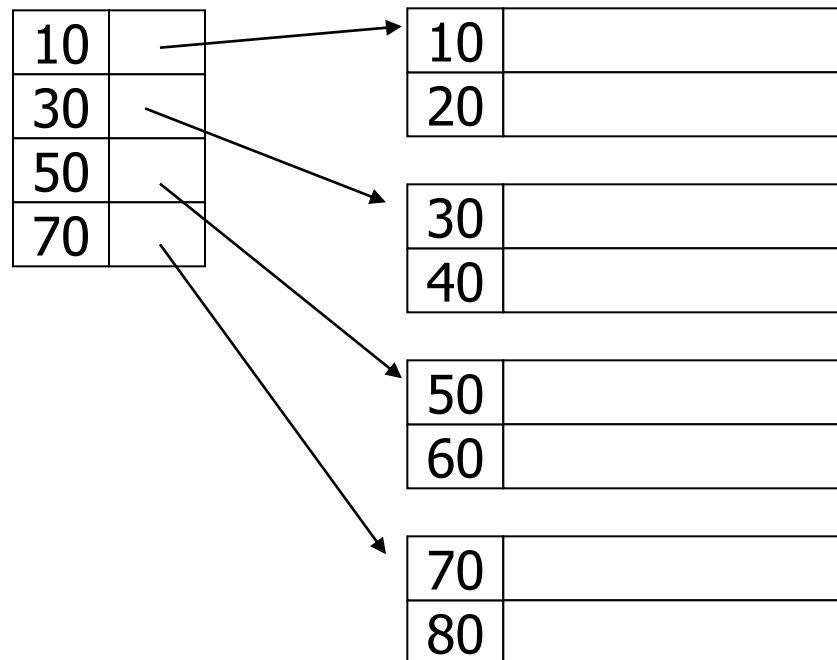
- V indexu je vždy nový klíč



Mazání v indexech

- Řídký index

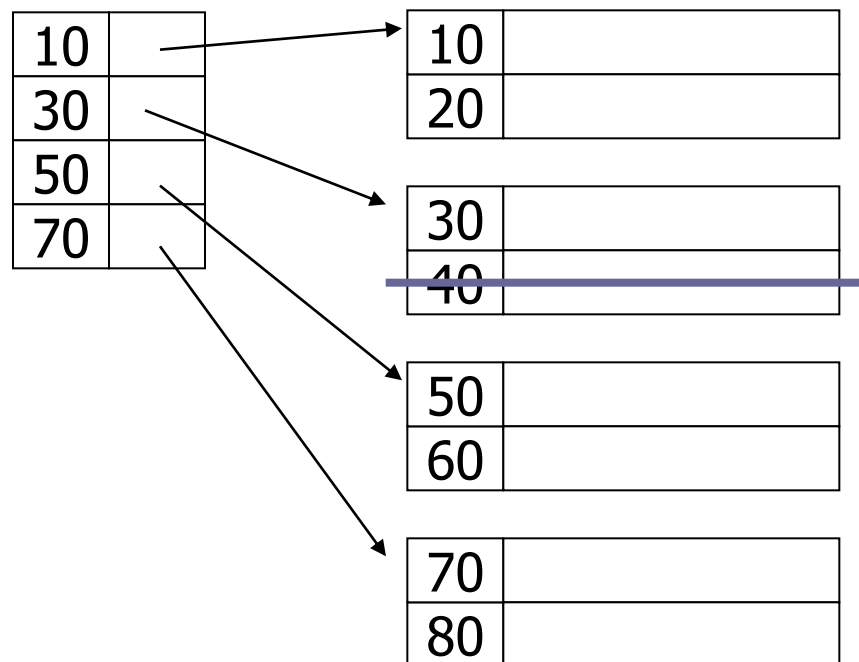
- Smazání záznamu s klíčem 40



Mazání v indexech: výsledek

■ Řídký index

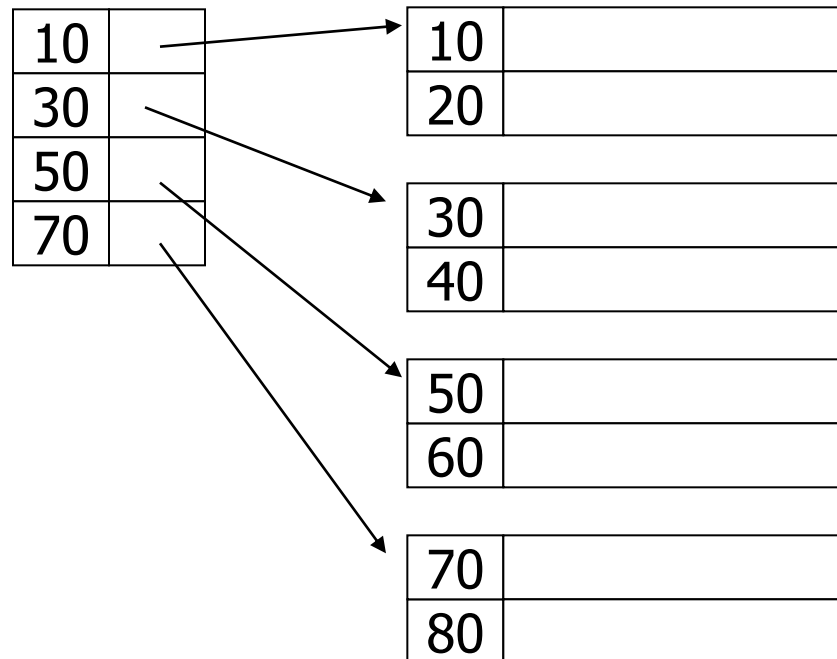
- Po smazání záznamu s klíčem 40



Mazání v indexech

- Řídký index

- Smazání záznamu s klíčem 30

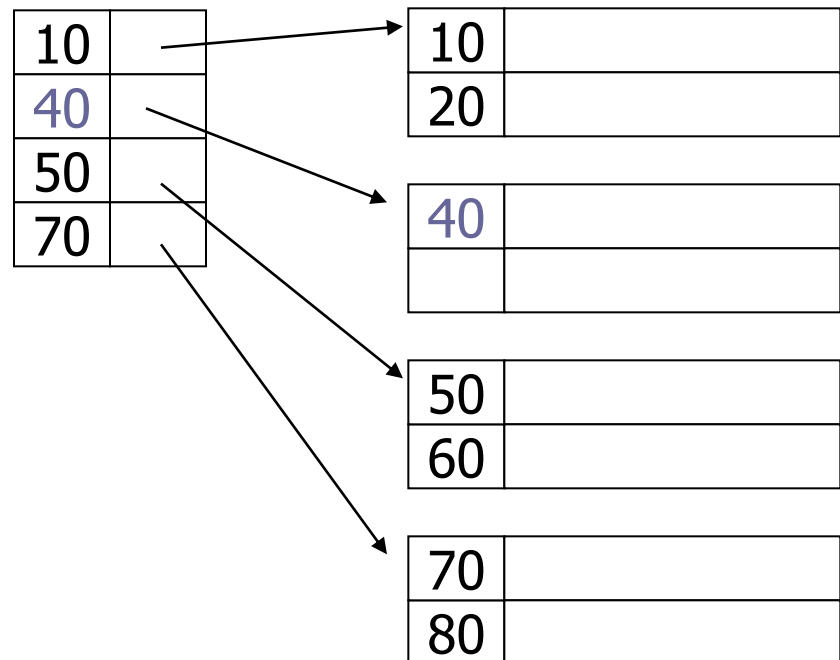


Mazání v indexech: výsledek

■ Řídký index

□ Po smazání záznamu s klíčem 30

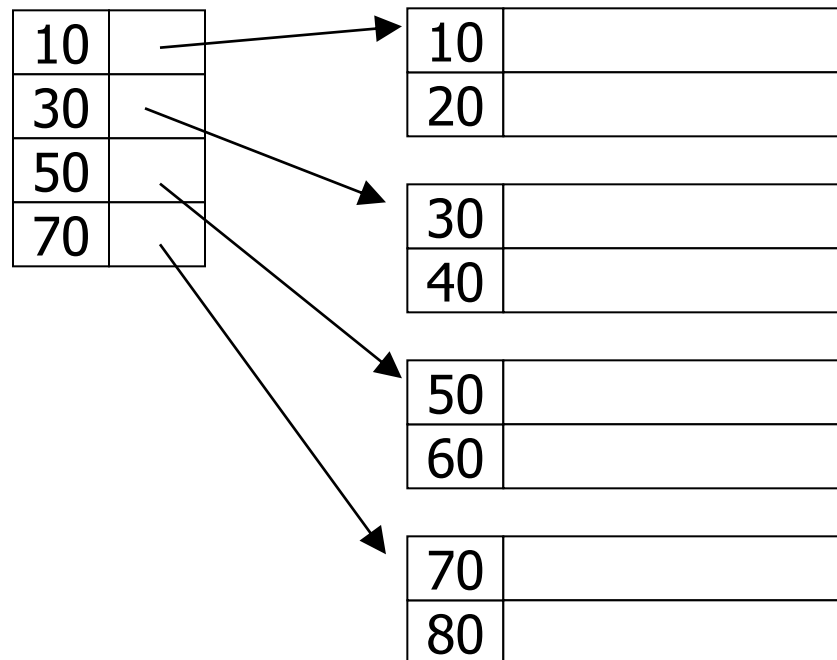
■ Aktualizace indexu



Mazání v indexech

■ Řídký index

- Smazání záznamů s 30 a 40

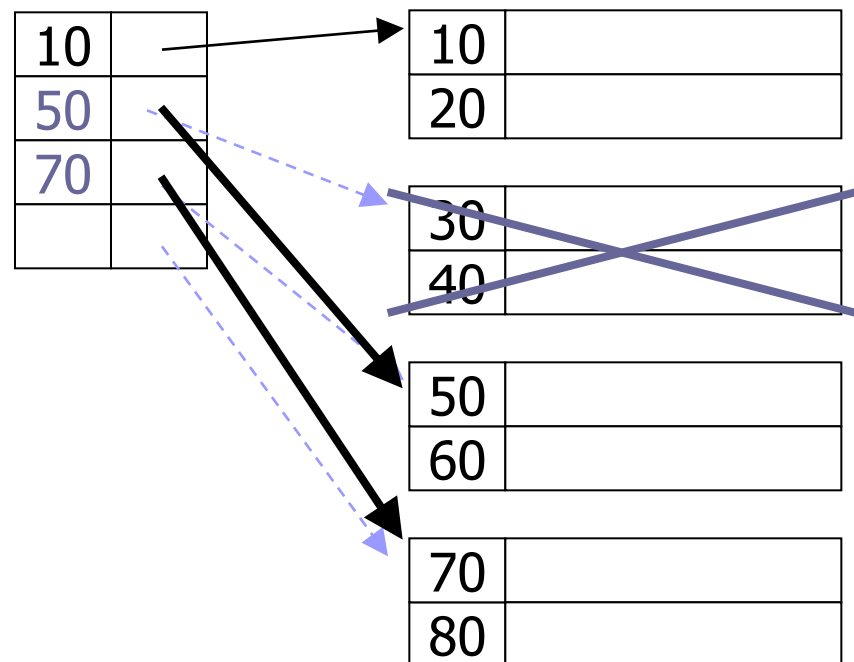


Mazání v indexech: výsledek

■ Řídký index

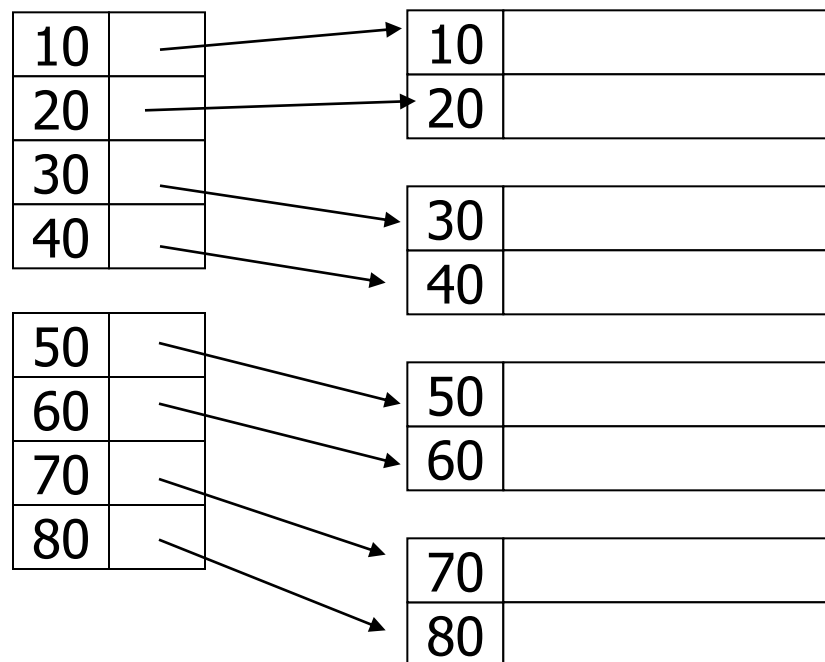
□ Po smazání záznamů s 30 a 40

■ Aktualizace indexu



Mazání v indexech

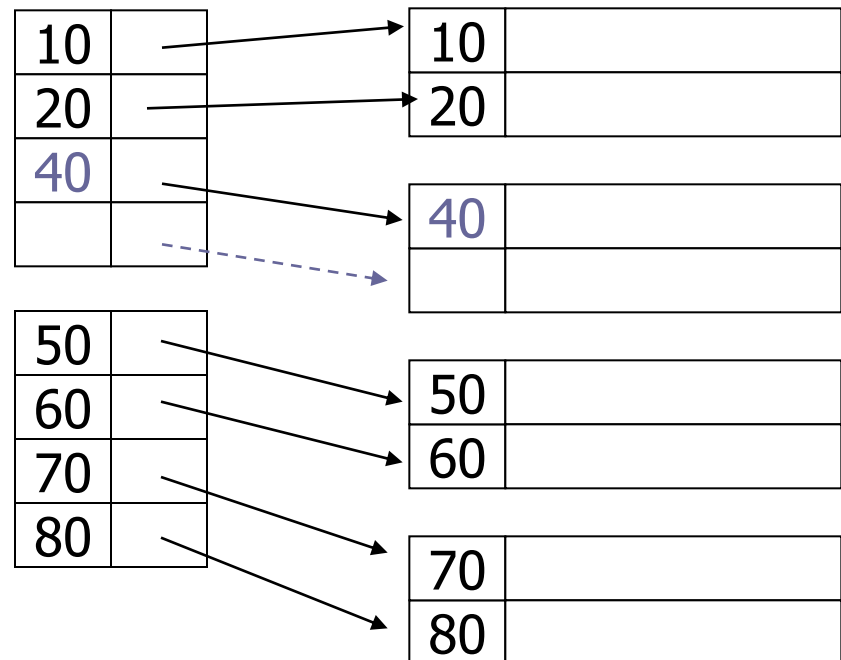
- Hustý index – vždy aktualizace indexu
 - Smazání záznamu s klíčem 30



Mazání v indexech: výsledek

■ Hustý index

- Po smazání záznamu s klíčem 30



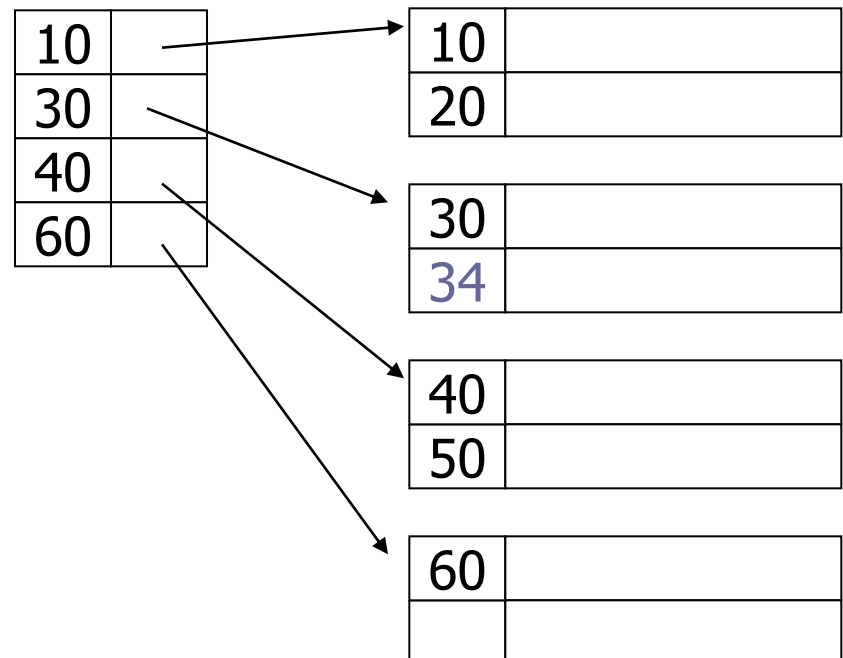
Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 34

■ Volné místo

→ bez reorganizace

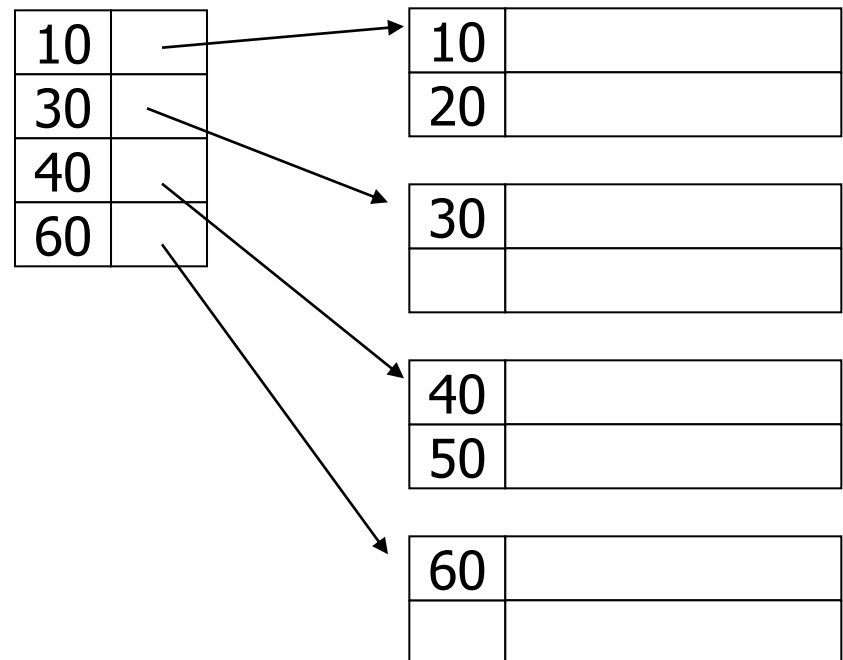


Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 15

- Volné místo není
→ reorganizace

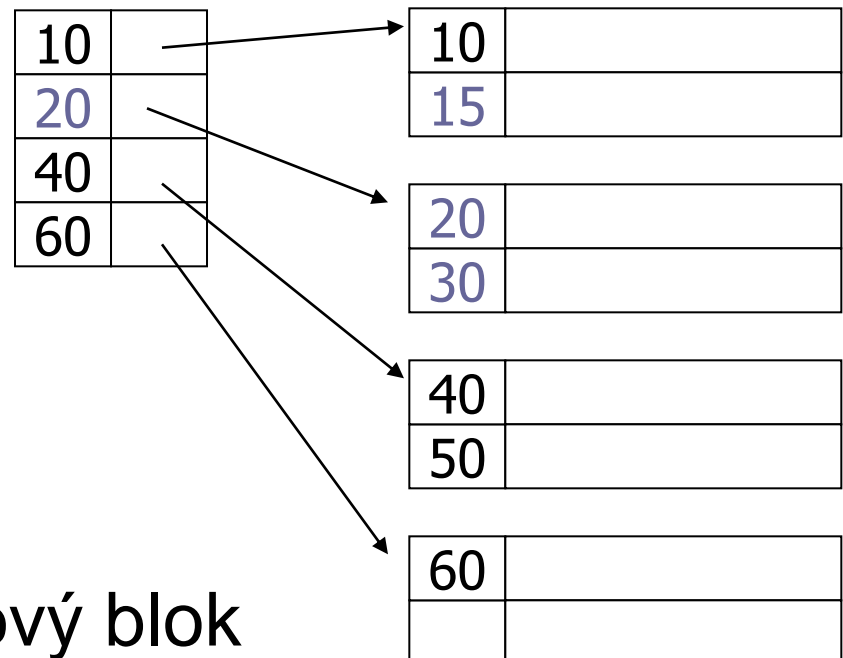


Vkládání v indexech

■ Řídký index

□ Vložení záznamu s klíčem 15

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



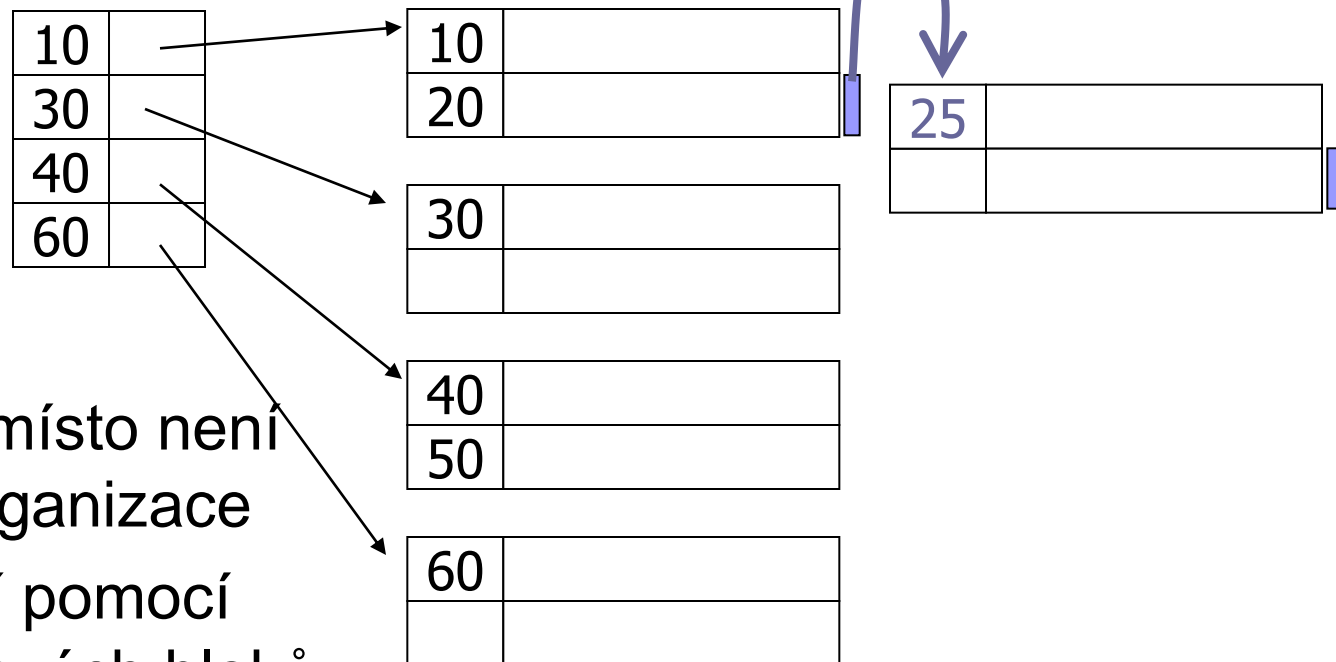
□ Alternativa: vytvoř nový blok

- Pozor na případné porušení spojitosti a
uspořádanosti bloků souboru

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

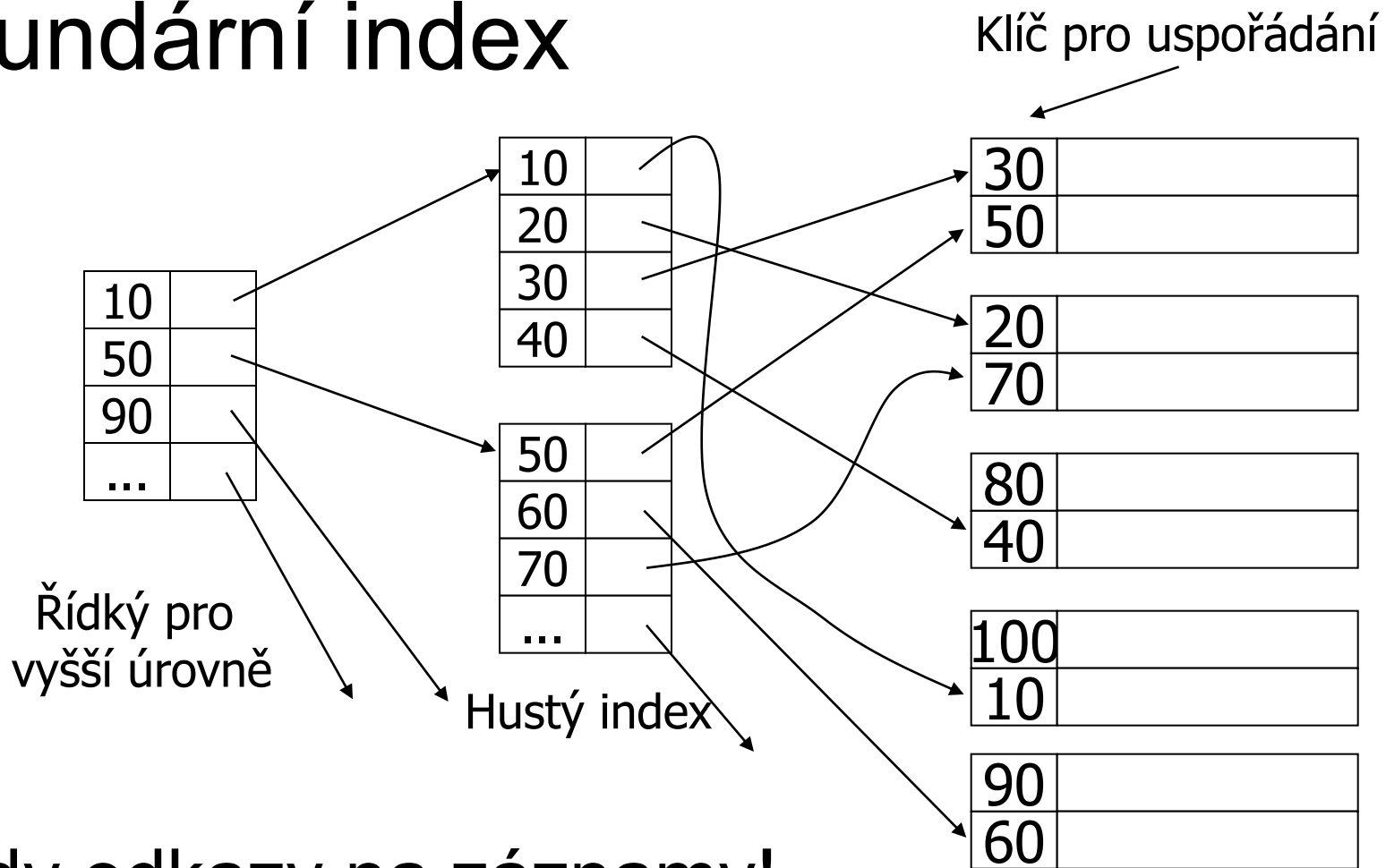
□ Vložení záznamu

- 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



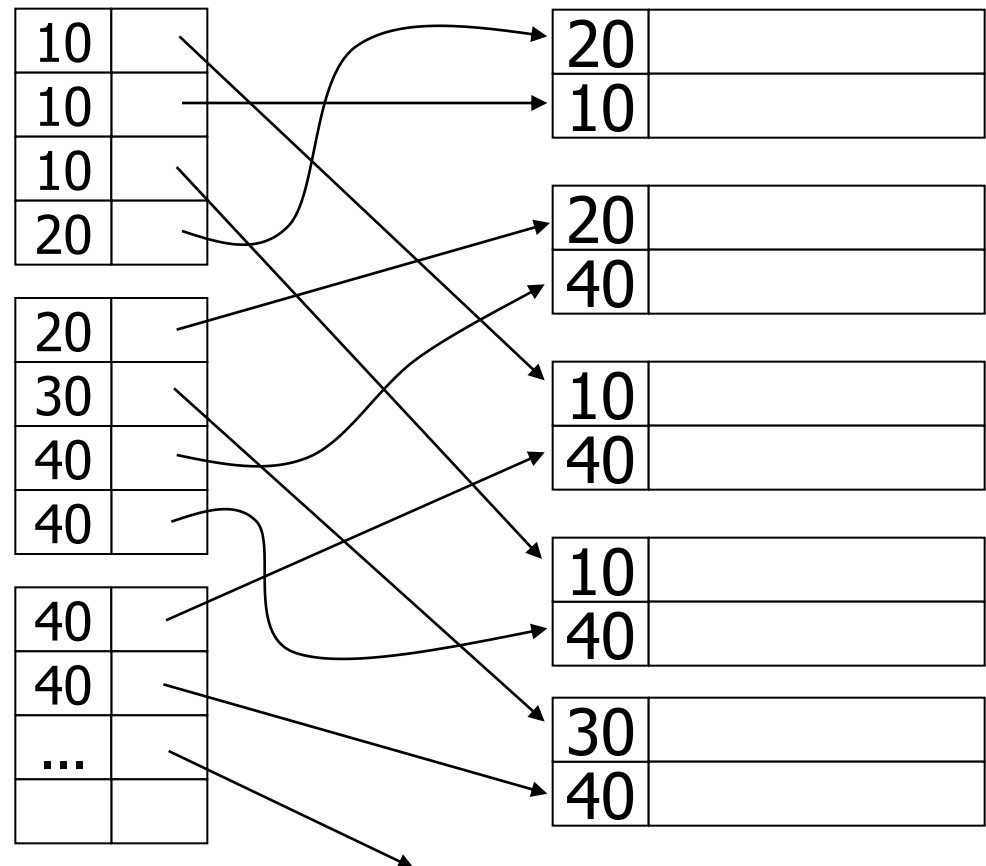
- Vždy odkazy na záznamy!

Sekundární index: duplikátní klíče

■ Replikace v indexu

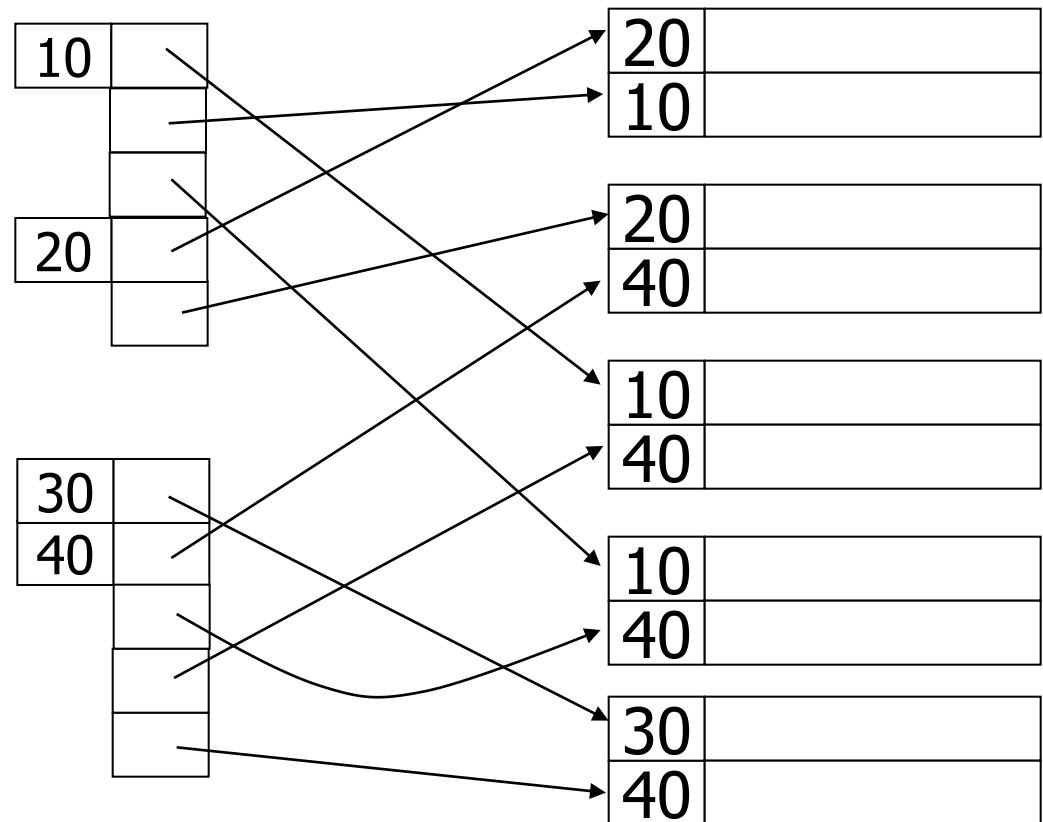
□ Zvýšení

- Přístupového času (access time)
- Diskových nároků



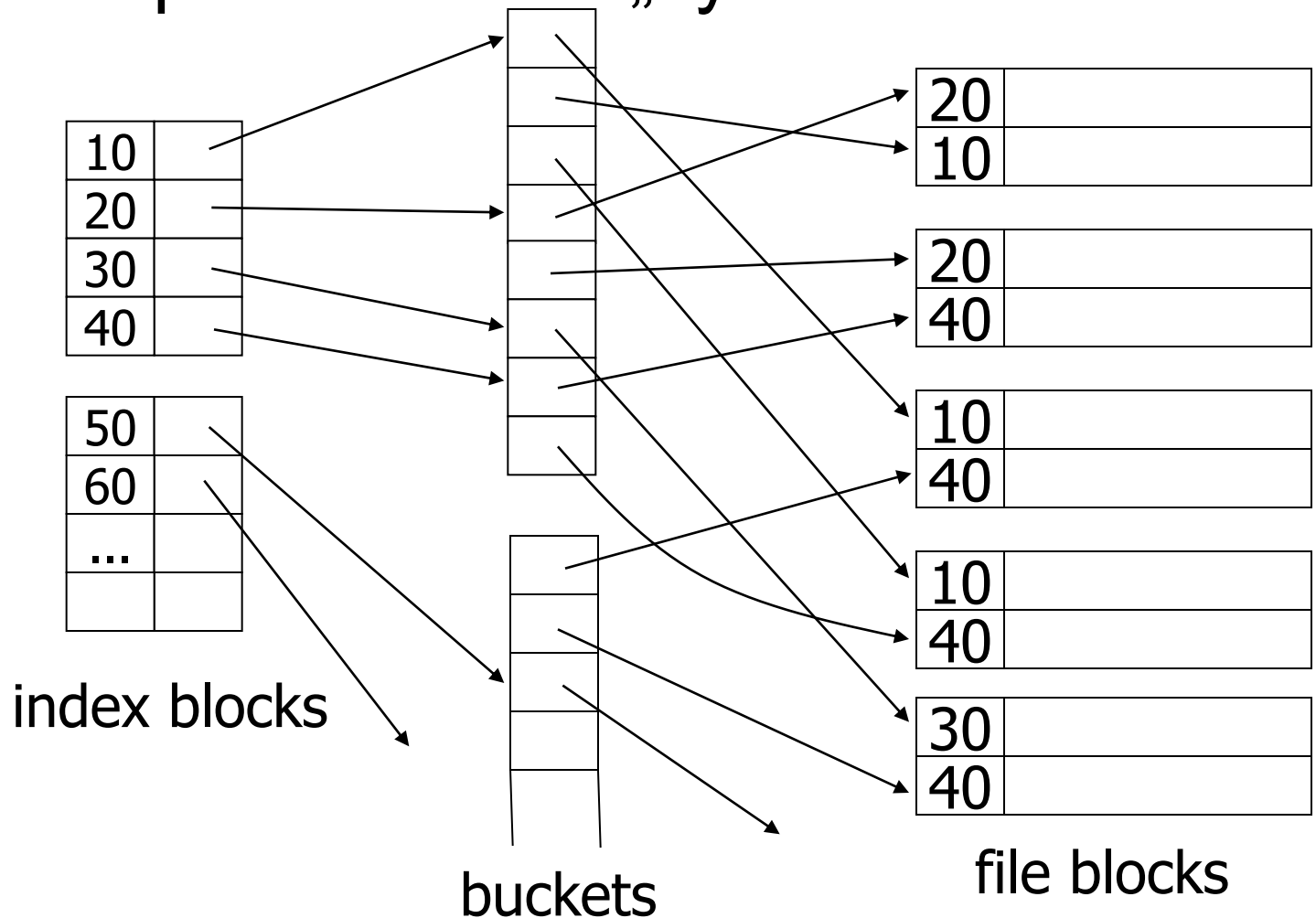
Sekundární index: duplikátní klíče

- Indexová položka má seznam ukazatelů
 - Problém variabilní délky položky



Sekundární index: duplikátní klíče

- Variabilita přesunuta do „kyblíků“

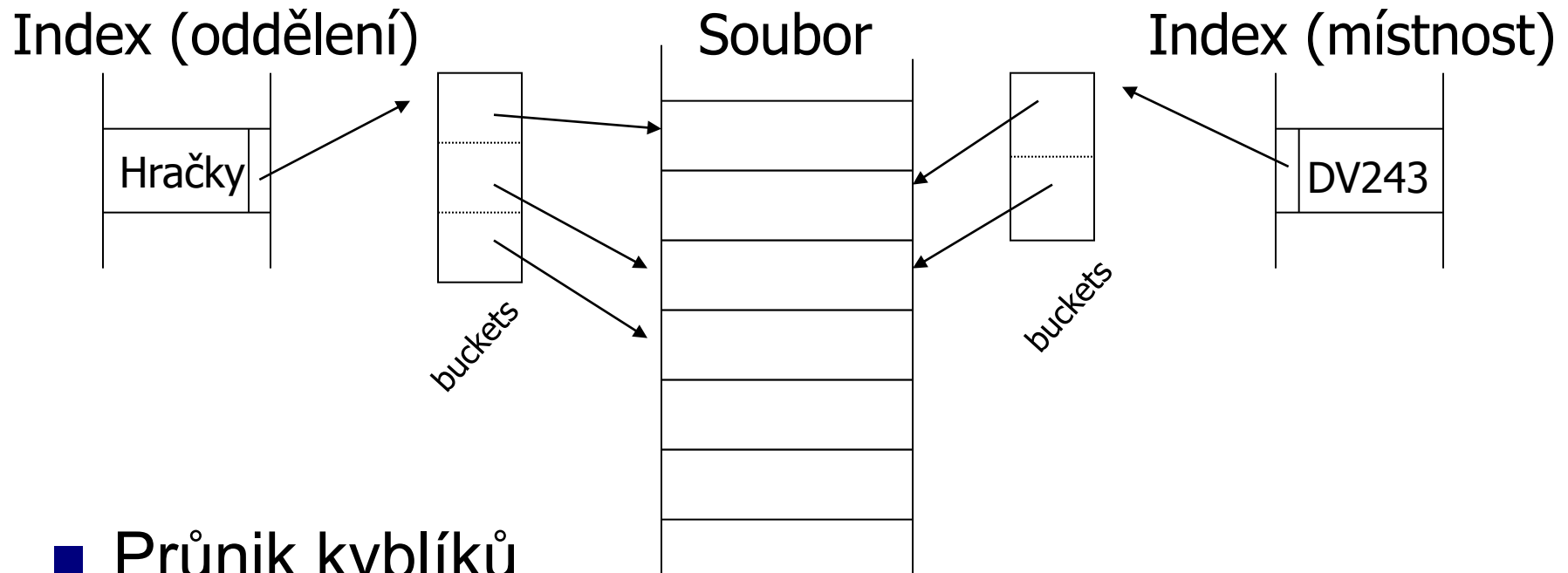


Sekundární index: duplikátní klíče

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

Sekundární index: duplikátní klíče

- Dotaz: zaměstnanci hraček v místnosti DV243

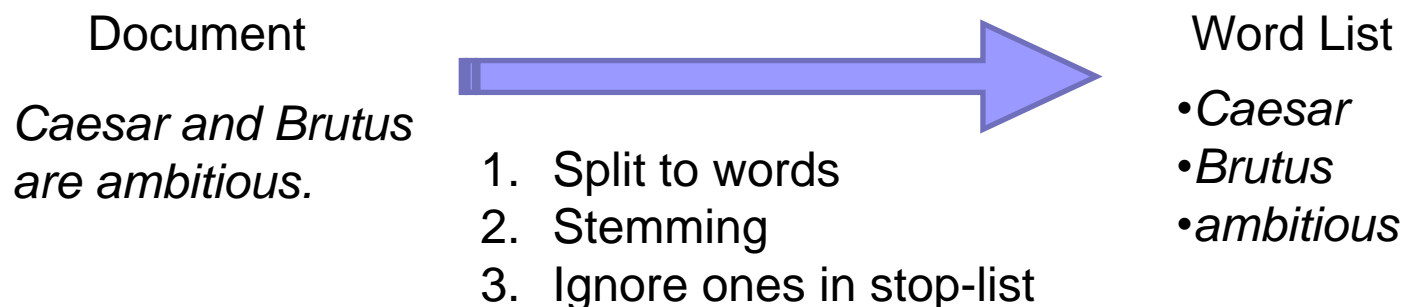


- Průnik kyblíků

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

Příklad: Text Information Retrieval

- Tzv. „full-text“ index nad dokumenty
- Textové dokumenty rozděleny na slova

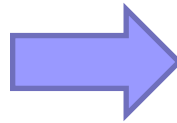


- Vytvoř invertovaný soubor
 - pro všechny dokumenty

Příklad: Text Information Retrieval

■ Invertovaný soubor

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



Term	Posting list of docIDs
ambitious	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
 - Zejména u sekundárních indexů
- Výhody
 - Jednoduché
 - Index je sekvenční soubor → vhodné pro „full scan“
- Nevýhody
 - Aktualizace drahá
 - Ztráta „sekvenčnosti“ a vyváženosti
 - kvůli přetokovým oblastem

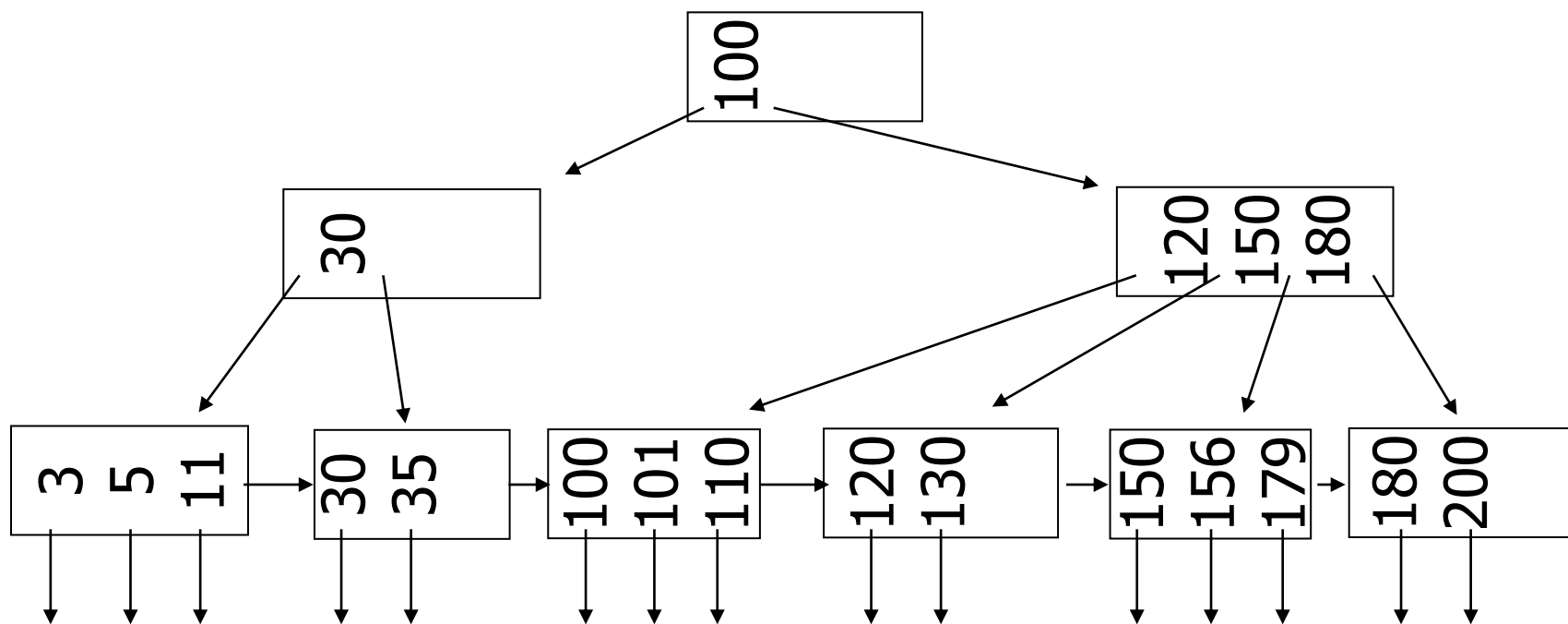
B-stromy

- 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

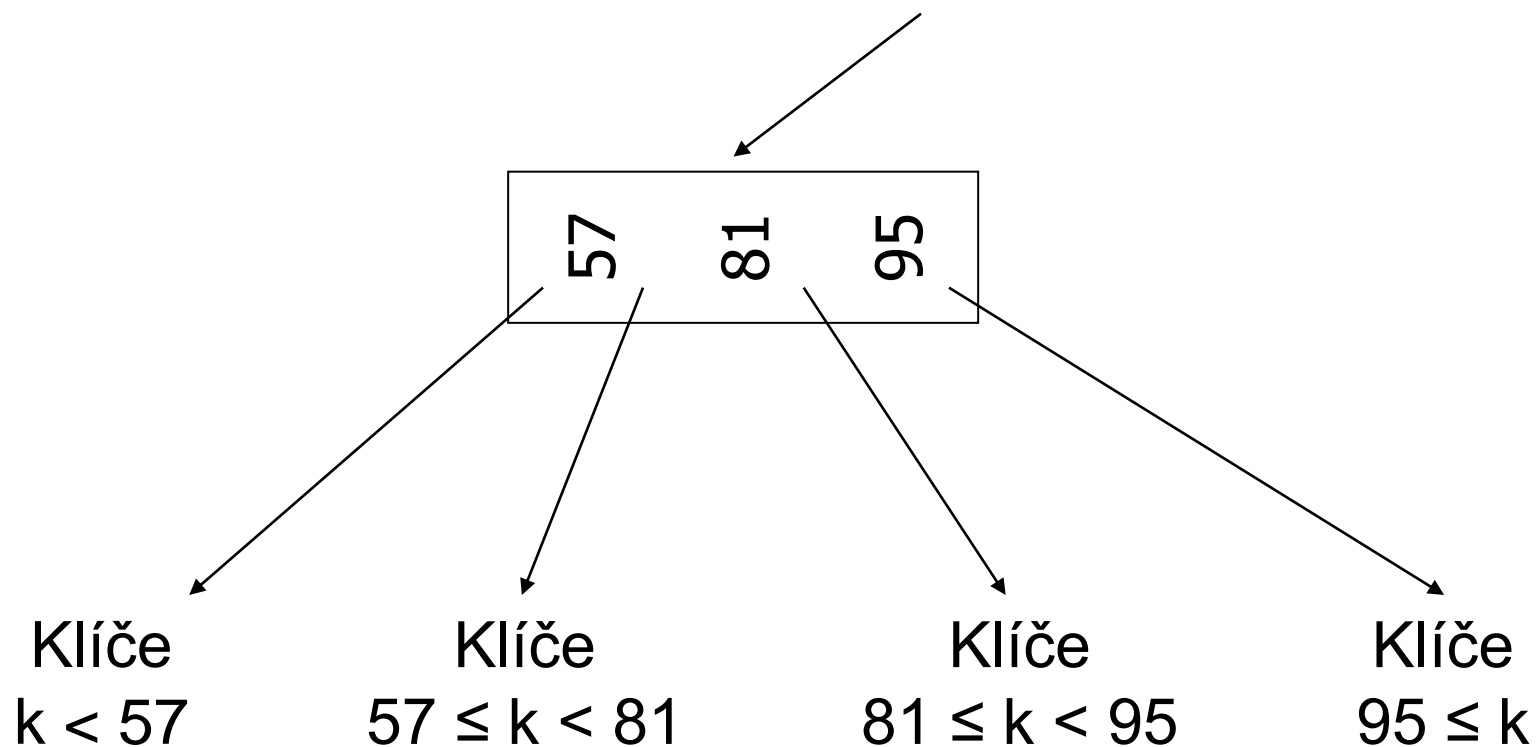
■ Příklad $n=4$



... záznamy v souboru ...

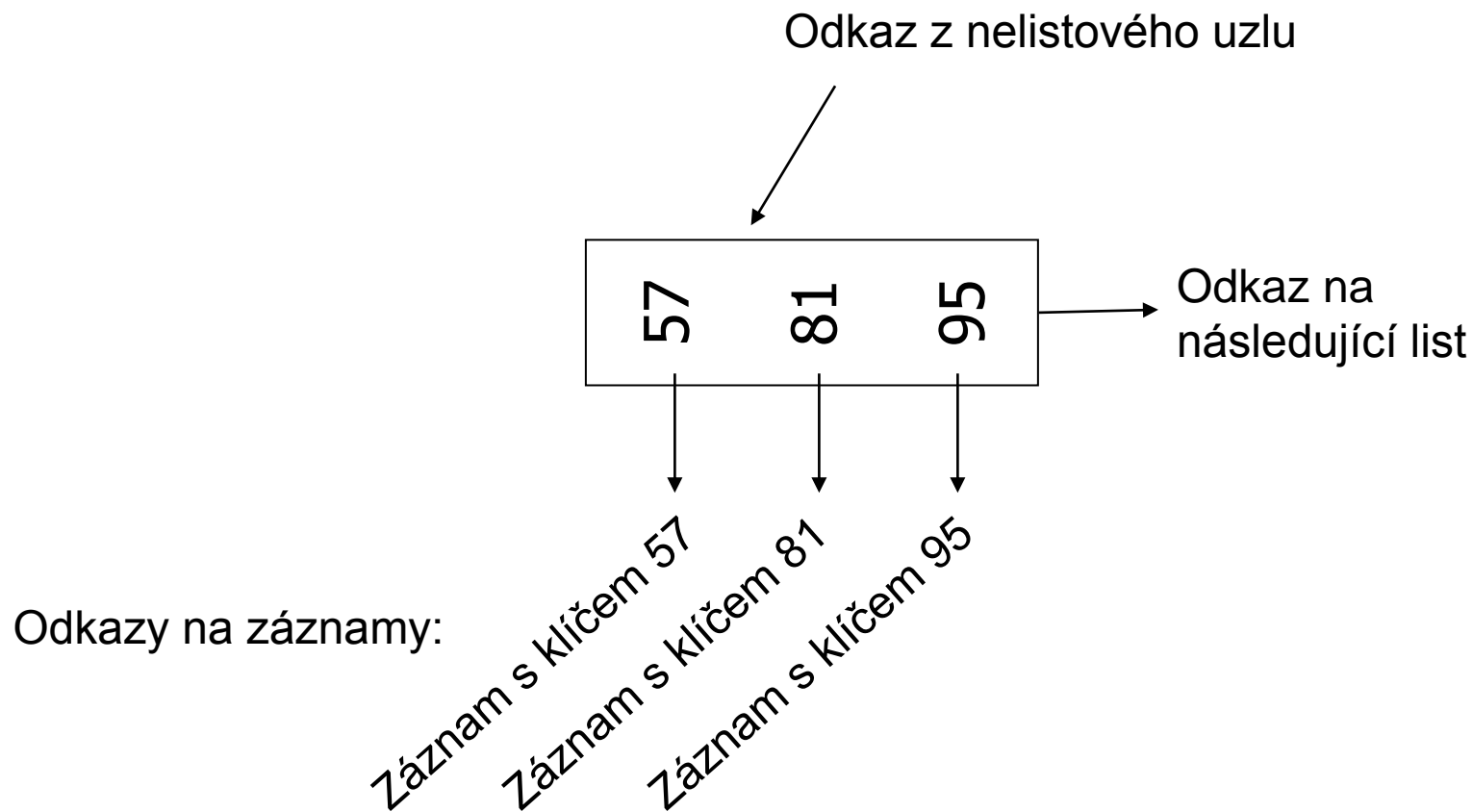
B⁺-strom

- Vnitřní uzel pro $n=4$



B⁺-strom

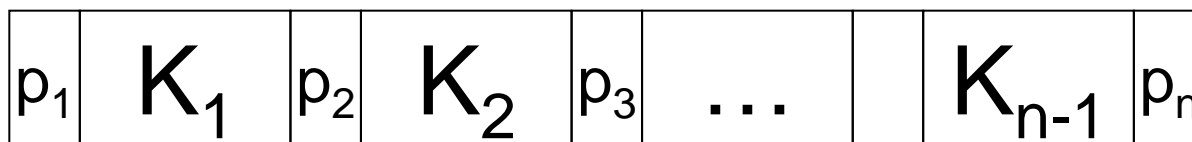
■ Listový uzel pro $n=4$



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

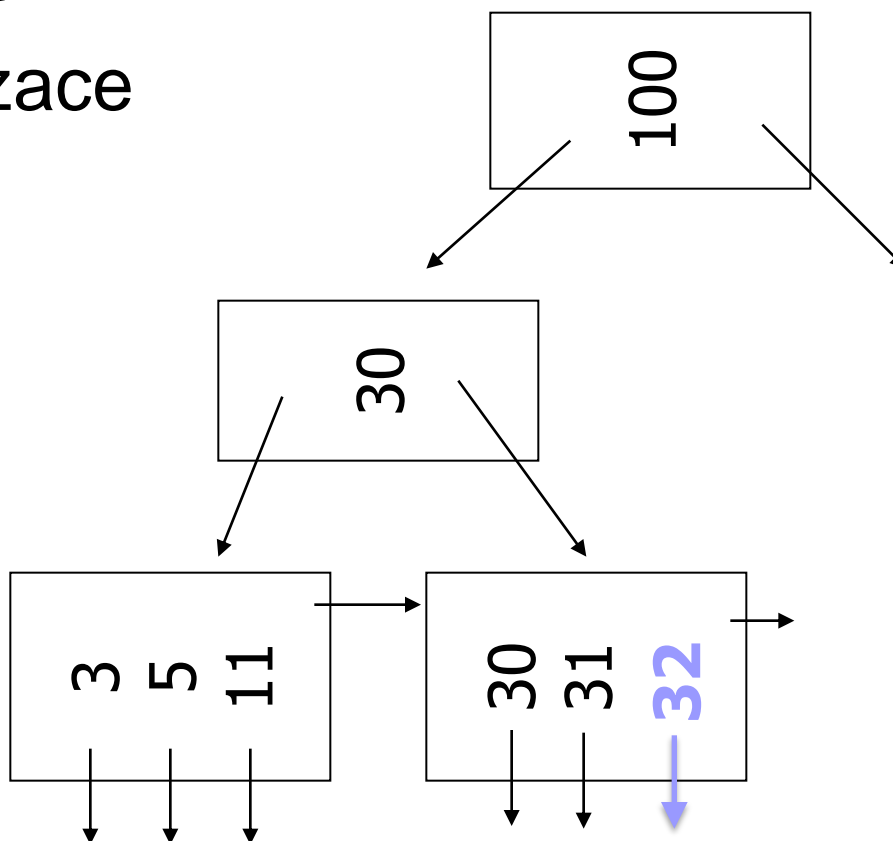
	Max ukazatelů	Min ukazatelů	Max klíčů	Min klíčů
Vnitřní uzel (ne kořen)	n (potomků)	$\lceil n/2 \rceil$ (potomků)	n-1	$\lceil n/2 \rceil - 1$
Vnitřní uzel (kořen)	n (potomků)	2 (potomků)	n-1	1
List (ne kořen)	n-1 (záznamů)	$\lceil (n-1)/2 \rceil$ (záznamů)	n-1 (záznamů)	$\lceil (n-1)/2 \rceil$ (záznamů)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

B⁺-strom: vkládání

- Princip: Růst od listu ke kořenu
- Postup: 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

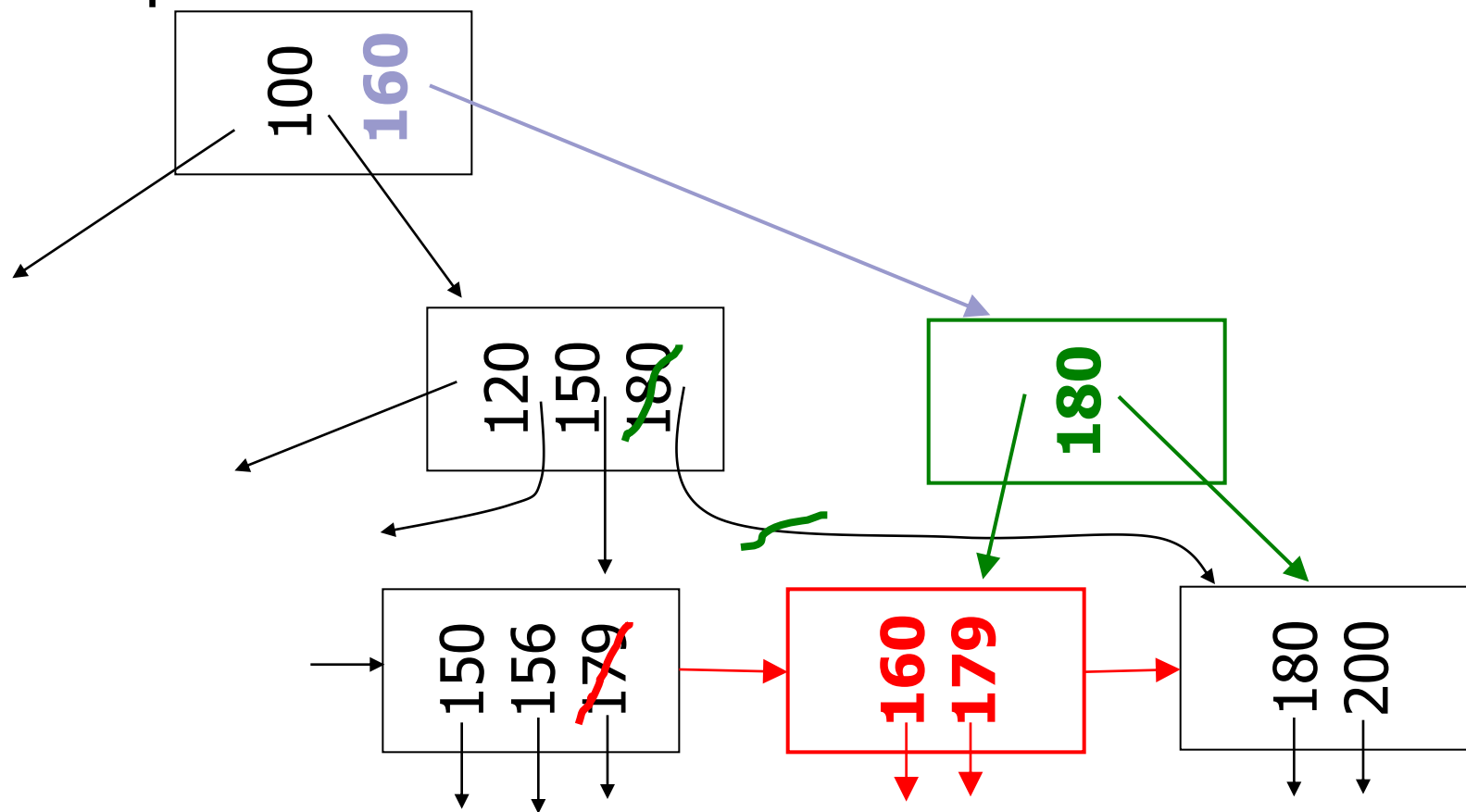
B⁺-strom: $n=4$

- Vložení klíče 32
 - Bez reorganizace



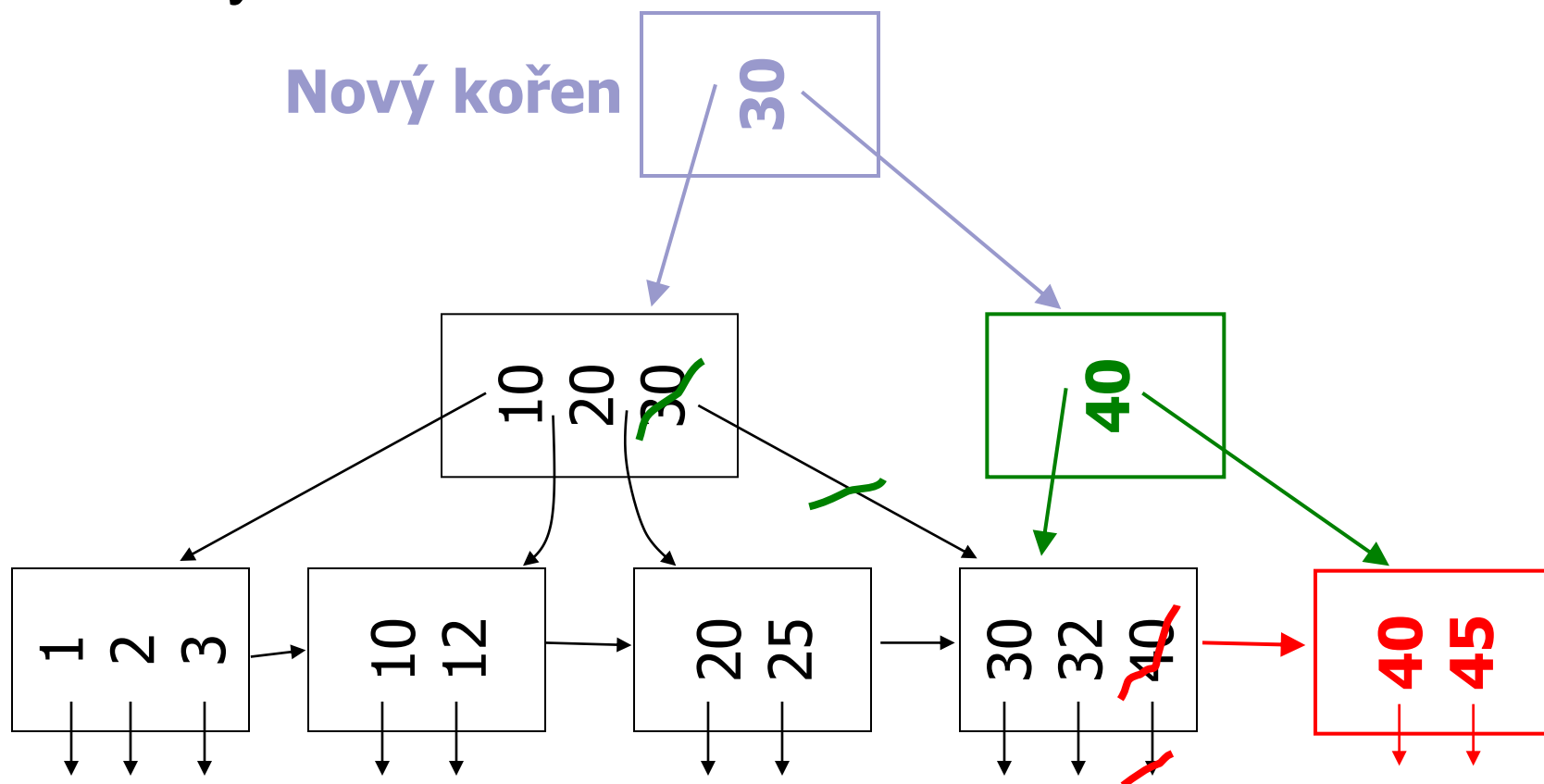
B⁺-strom: $n=4$

- Vložení klíče 160
 - Štěpení vnitřního uzlu



B⁺-strom: $n=4$

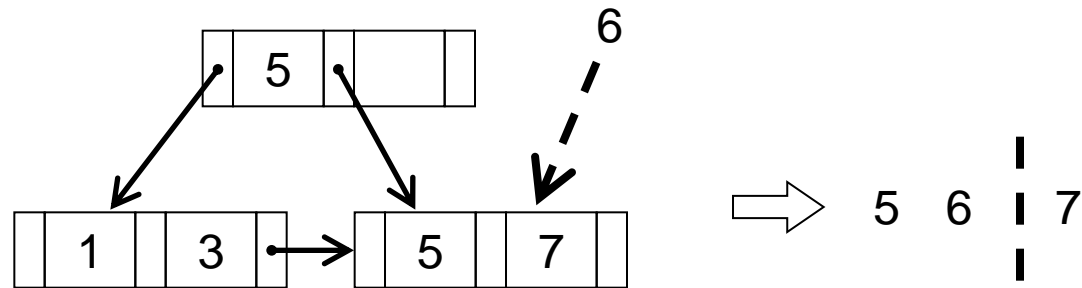
- Vložení klíče 45
 - Nový kořen



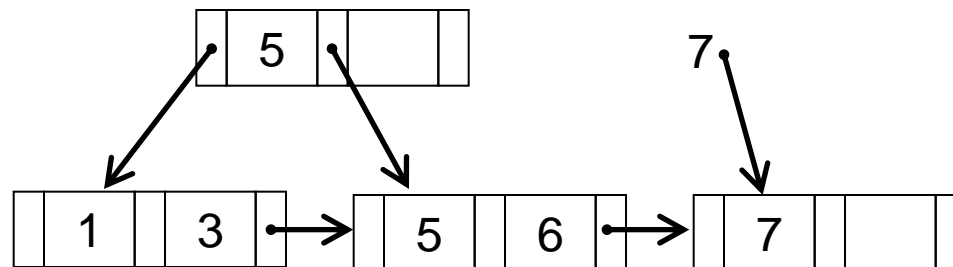
B⁺-strom: štěpení listu

$n=3$, vkládáme 6

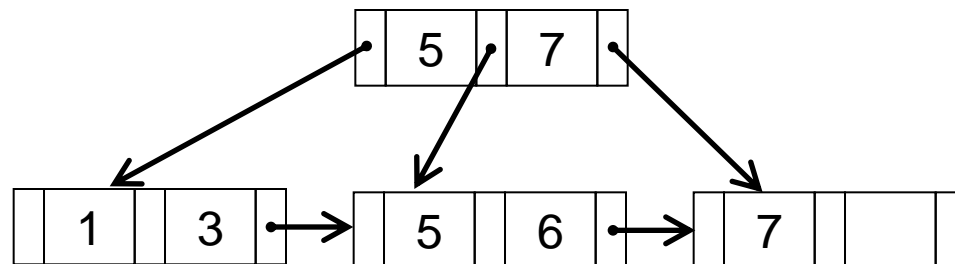
1.



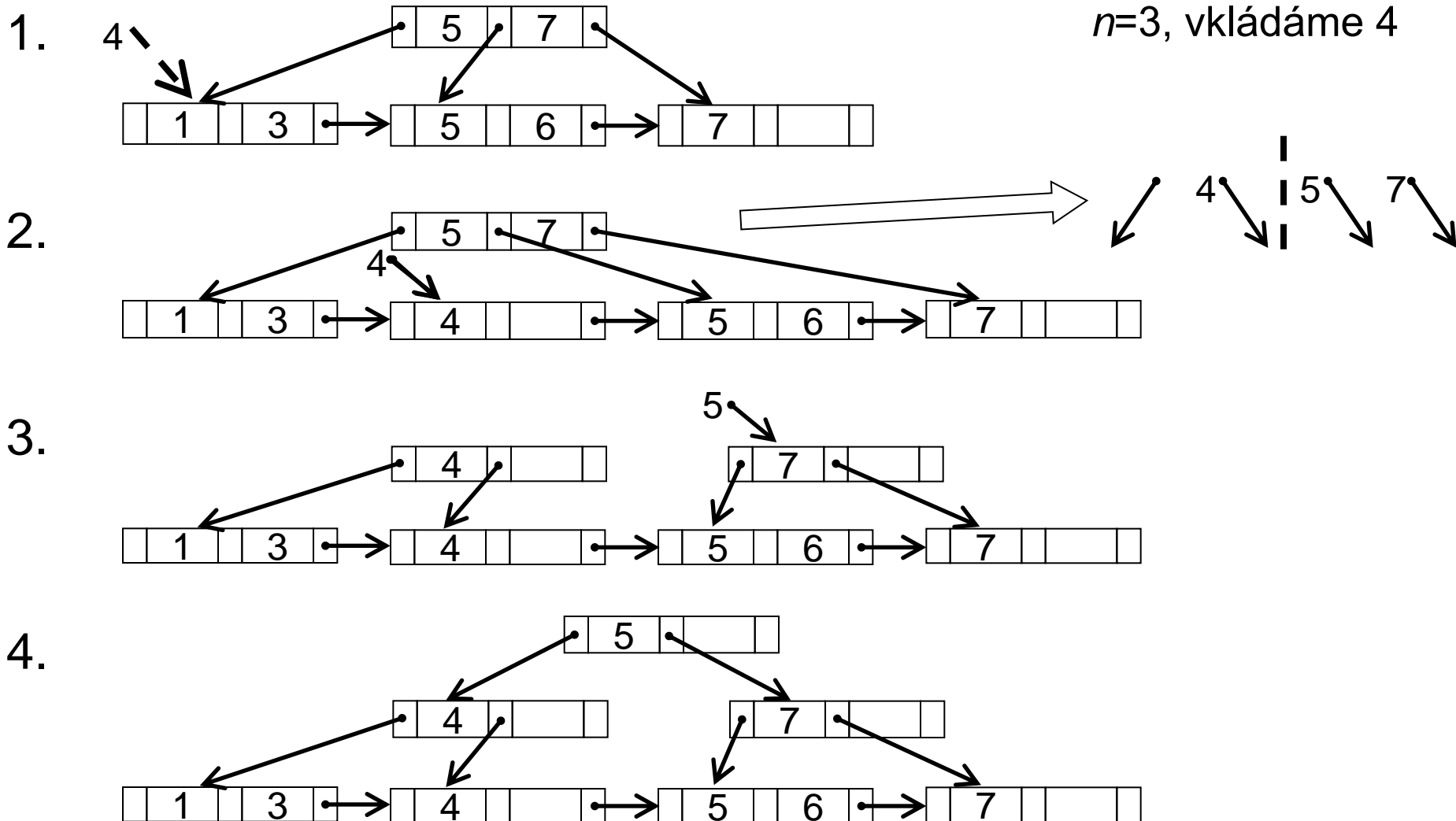
2.



3.



B⁺-strom: štěpení vnitřního uzlu



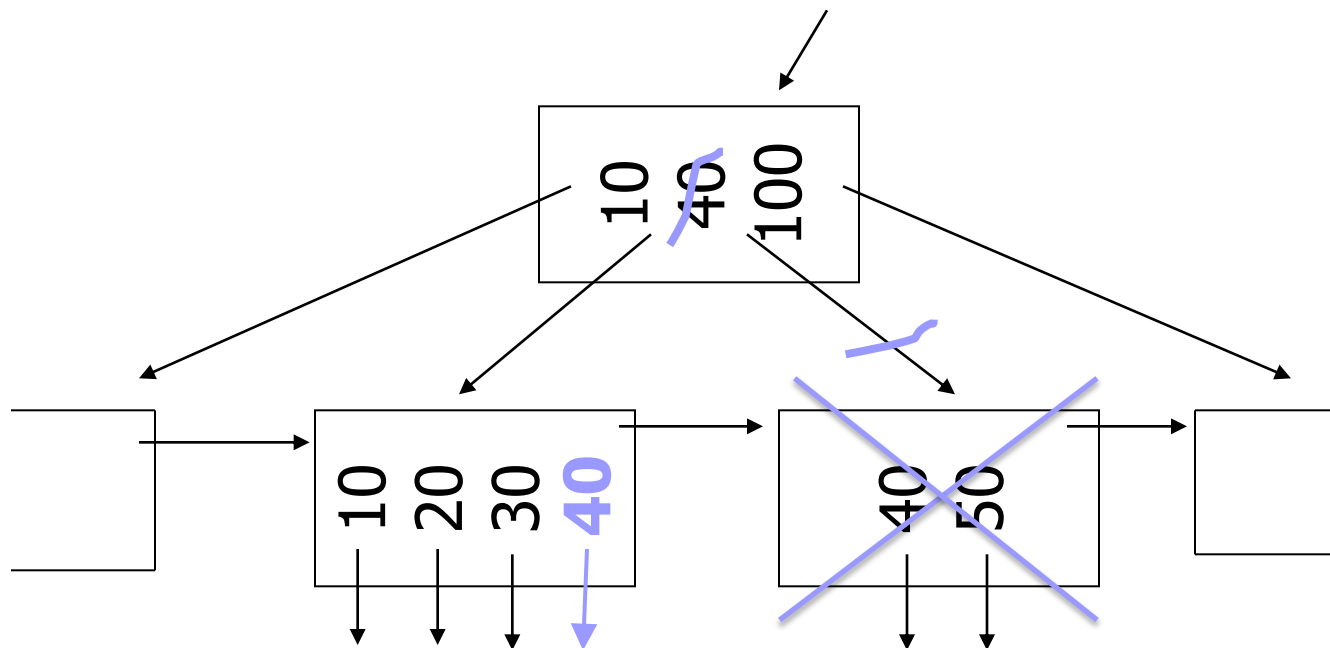
B⁺-strom: mazání

- 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

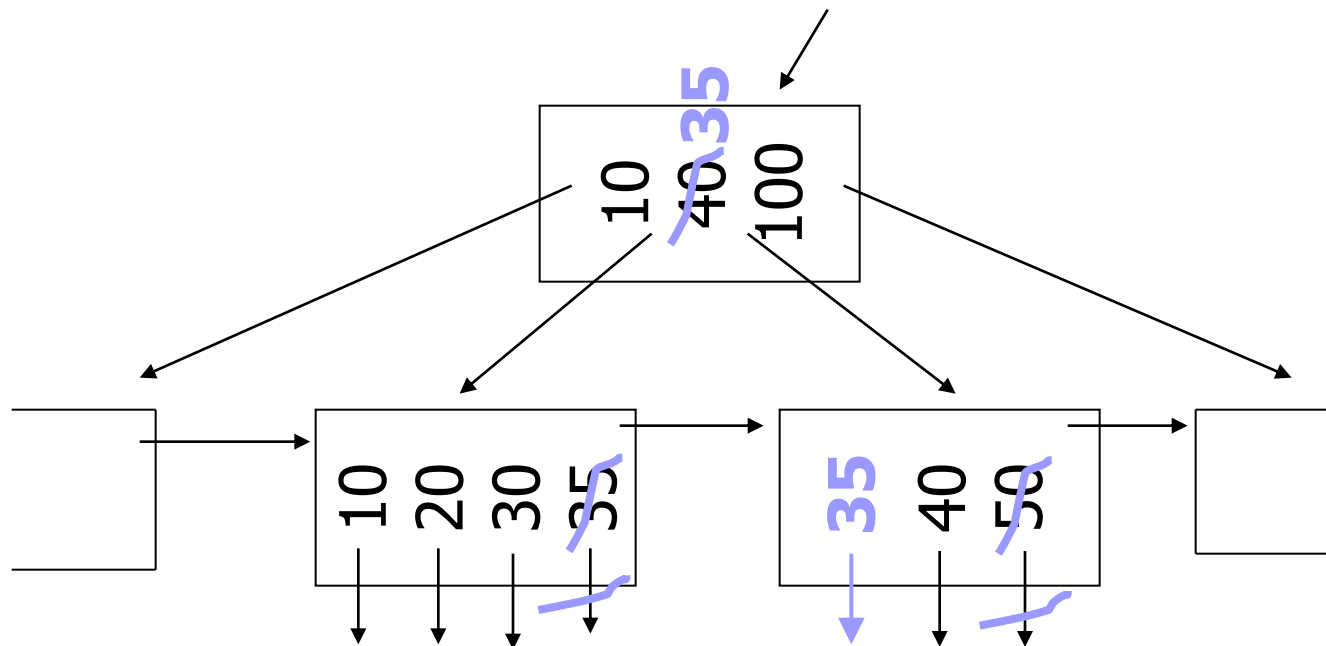
- Přesun do souseda a smaž uzel



B⁺-strom: $n=5$

■ Mazání klíče 50

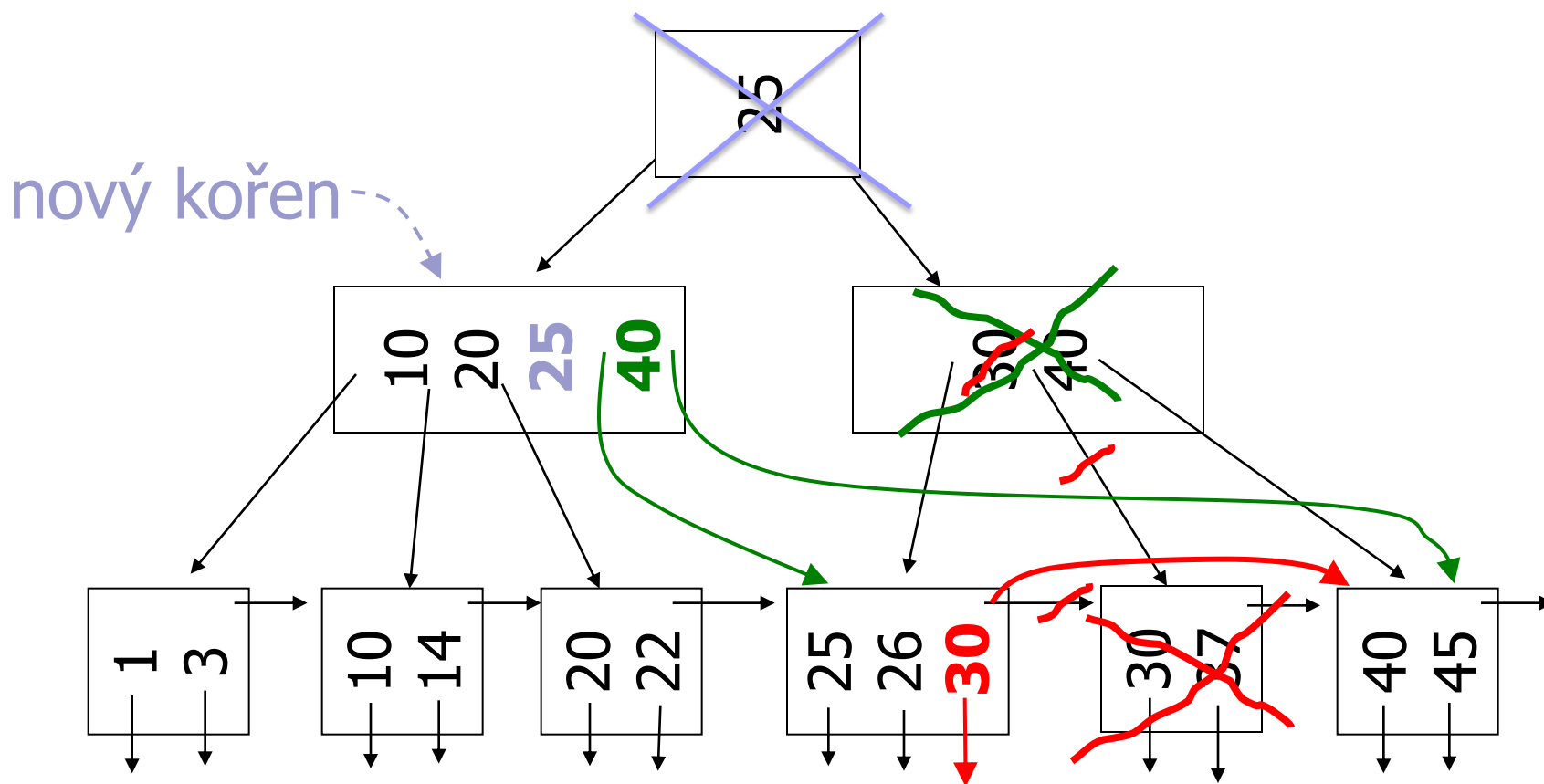
- Přesuny mezi sousedy (bez mazání uzlu)



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 (4 KiB)
 - Klíč = 4 bajty, ukazatel = 4 bajty
 - Statický řídký index a sekvenční soubor
 - implicitní indexy, tj. pouze klíče → 1024 klíčů
 - B⁺-strom jako soubor
 - vnitřní uzel: 512 potomků, list již obsahuje záznamy
- Porovnání – počet datových bloků v indexu:
 - Index o jedné úrovni:
 - Statický ≤ 1024 bloků souboru
 - B⁺-strom ≤ 512 bloků souboru
 - Index o dvou úrovních:
 - Statický ≤ 1 048 576 bloků souboru
 - B⁺-strom ≤ 262 144 bloků souboru

B⁺-strom vs. index-sekvenční soubor

■ Závěr (pokračování):

☹ B⁺-strom má větší režii (potřebuje více místa)

☺ Je plně dynamický

☹ B⁺-strom má složitější zamykání

☹ Statický index vyžaduje reorganizace

■ 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

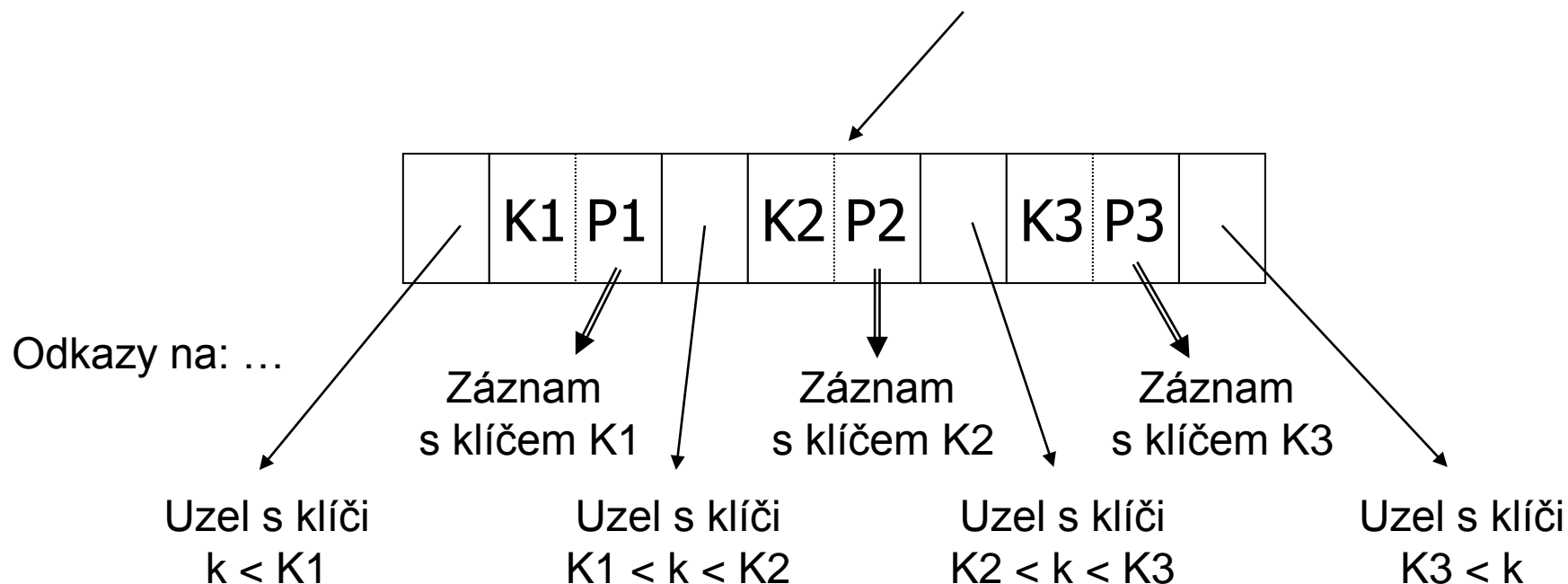
■ LRU není pro B⁺-strom vhodný!

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

B-strom (pozor bez +)

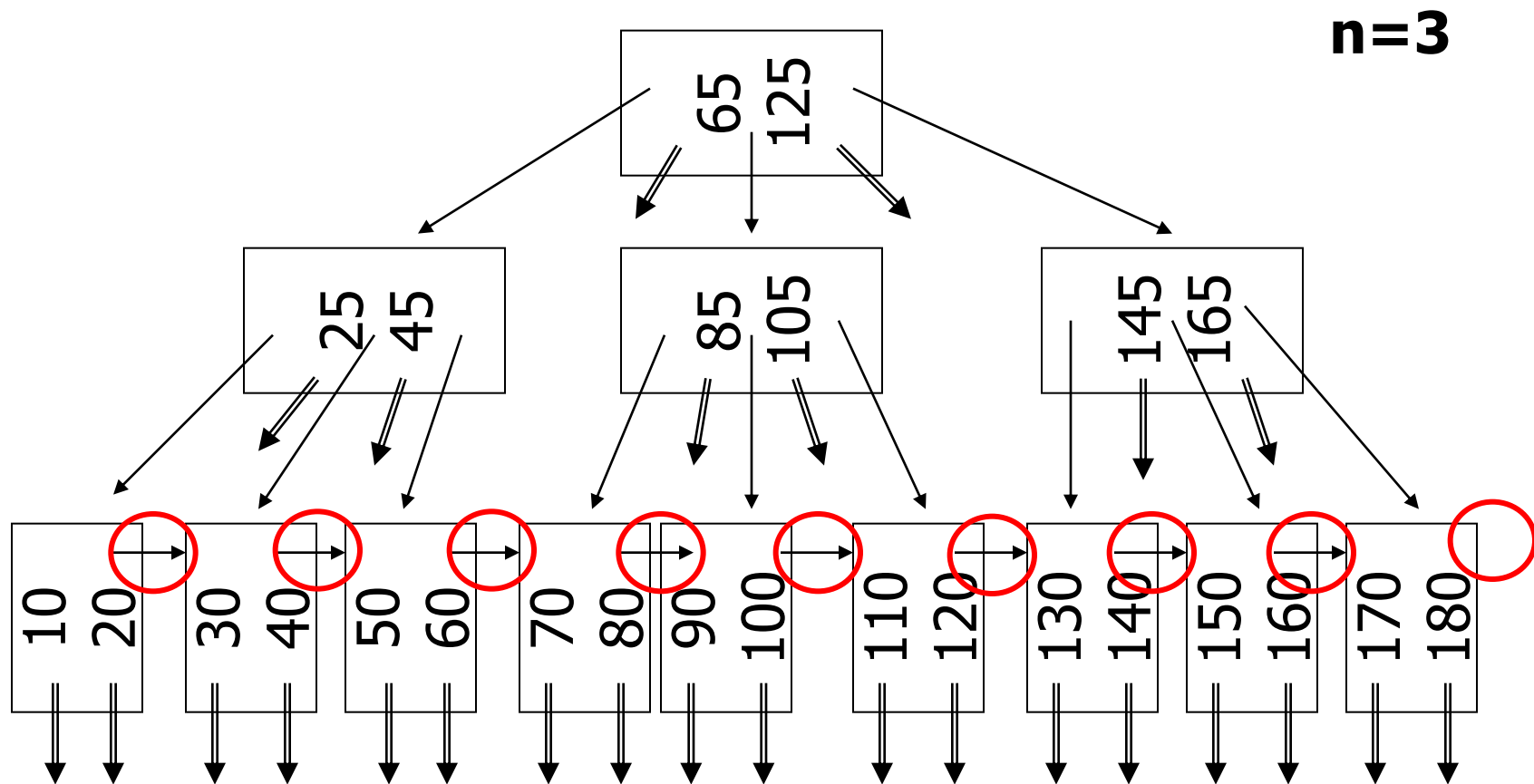
■ Neduplikovat klíče

- → 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 = 4KiB
- 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:

- 341 klíčů + 341 ukazatelů na záznam
- 342 ukazatelů na potomka
- $341 \cdot 8 + 342 \cdot 4 = 4096$ bajtů

■ List:

- 512 klíčů + 512 ukazatelů na záznam
- $512 \cdot 8 = 4096$ bajtů

■ Počet záznamů:

- $341 + 342 \cdot 512 = 175\,445$ záznamů

Porovnání: B⁺-strom

■ Kořen:

- 511 klíčů, 512 ukazatelů na potomka
- $511 \cdot 4 + 512 \cdot 4 = 4092$ bajtů

■ List:

- 511 klíčů + 511 ukazatelů na záznam
- $511 \cdot 8 + 4 = 4092$ bajtů

■ Počet záznamů:

- $512 \cdot 511 = 261\,632$ záznamů

Porovnání: výsledek

■ Počet čtení z disku:

□ B-strom

- $P_{1 \text{ čtení}} = 341 / 175\,445 = 0,2\%$, $P_{2 \text{ čtení}} = 1 - P_{1 \text{ čtení}}$

□ B⁺-strom

- $P_{2 \text{ čtení}} = 100\%$

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 z listů = 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)