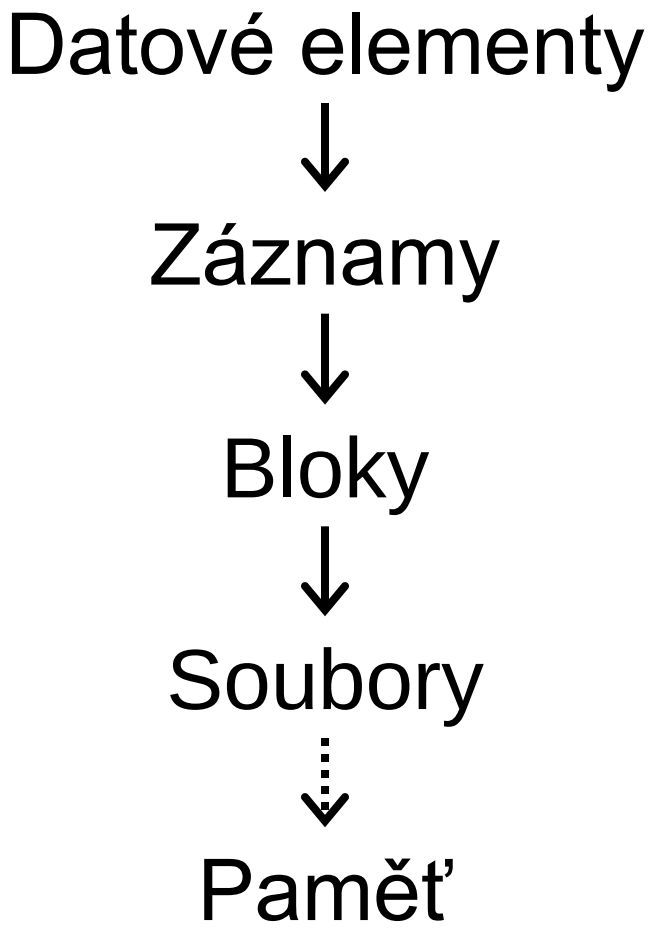
PA152: Efektivní využívání DB

3. Ukládání dat

Vlastislav Dohnal

Souvislosti



Osnova

- *Ukládání dat*
- Záznamy
- Organizace bloků
- Příklady

Uložení dat

- Co chceme ukládat?
  - jméno
  - plat
  - datum
  - obrázek
- Jak ukládat?
  - bajty $\rightarrow$ posloupnost bajtů

Typy datových elementů

- Celá čísla
  - Podle rozsahu: 2 bajty, 4 bajty
  - Např. 35 v 16 bitech

    00000000 00100011
  - Obvykle přímý kód nebo inverzní kód
- Reálná čísla
  - Plovoucí čárka
    - *n* bitů rozděleno na mantisu a exponent (dle IEEE 754)
  - Pevná čárka
    - Kódování každých 9 cifer (základ 10) do 4 bajtů
    - Uložení jako řetězec

Typy datových elementů

- Znaky
  - Nejčastěji v ASCII kódování – 1 bajt
  - Více bajtové znaky
    - UCS-2 – kódování UTF-8 do 16 bitů
      - Znaky s kódy 0 až 65535
    - UTF-8 – kódování variabilní délky
      - Znak může zabírat 1 až 3 bajty

Typy datových elementů

- Pravdivostní hodnota (boolean)
  - Obvykle jako celé číslo
  - True `1111 1111`
  - False `0000 0000`
  - Méně než 1 bajt nemá velký význam
- Bitové pole
  - Délka + bity
    - Tj. zaokrouhleno na celé bajty

Typy datových elementů

- Datum
  - počet dní od „počátku” (např. 1.1.1970)
  - řetězec YYYYMMDD (8 znaků)
    - YYYYDDD (7 znaků)
    - Proč ne YYMMDD?
- Čas
  - počet sekund od půlnoci
    - počet milisekund nebo mikrosekund
  - řetězec HHMMSSFF
  - časové zóny – čas uložen v UTC
    - Ukládání – konverze z daného pásma do UTC

Typy datových elementů

- Výčtový typ
  - Očíslování hodnot → integer
  - red → 1, green → 2, blue → 3, yellow → 4, ...

Typy datových elementů

- Řetězce
  - Pevná délka
    - Omezení velikosti
      - Kratší řetězce doplněny mezerami
      - Delší oříznuty
  - Proměnlivá délka
    - Uložená délka, pak řetězec
    - Ukončení nulou
      - nutnost číst celý
      - nelze uložit nulu v textu
  - Problém znakové sady (kódování)

Uložení datových elementů

- Každý element „má“ svůj typ
  - interpretace bitů
  - velikost
  - speciální hodnota „neznámá” (NULL)
- Většinou pevná délka
  - každý typ má svoji bitovou reprezentaci
- Proměnlivá délka
  - velikost na začátku hodnoty

Osnova

- Ukládání dat
- *Záznamy*
- Organizace bloků
- Příklady

Záznam (record)

- Seznam souvisejících datových elementů
  - Resp. jejich hodnot
  - Fields, Attributes
- Např.
  - Zaměstnanec
    - jméno – Novák
    - plat – 1234
    - datum_přijetí – 1.1.2000

Schéma záznamu

- Popisuje strukturu záznamu
- Uložené informace
  - Počet atributů
  - Typ / název každého atributu
  - Pořadí atributu

Typy záznamů podle schématu

- Pevný formát
  - Schéma společné pro všechny záznamy
    - Je uloženo mimo záznamy (tzv. data dictionary)
- Proměnlivý formát
  - Každý záznam obsahuje svoje schéma
  - Vhodné pro:
    - „řídké“ záznamy (hodně NULL)
    - opakování stejných atributů
    - vyvíjející se formát
      - změny schématu během života db

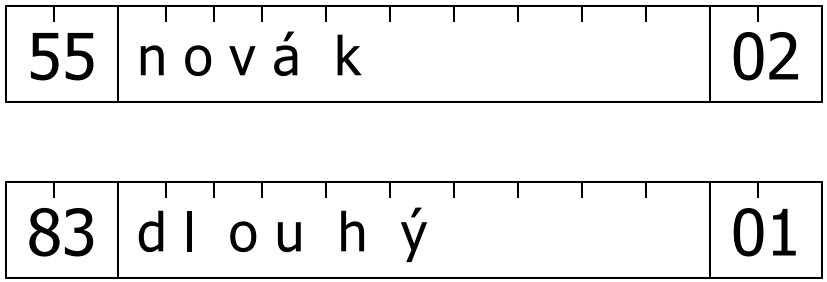
Typy záznamů podle délky

- Pevná délka
  - Každý záznam má stejnou délku (počet bajtů)
- Proměnlivá délka
  - Ušetření paměti
  - Složitější implementace
  - Možnost pro uložení velkých dat (obrázky, …)

Příklad – pevný formát i délka

- Zaměstnanec
  1) id – 2 byte integer
  2) jméno – 10 znaků
  3) oddělení – 2 byte code

schéma

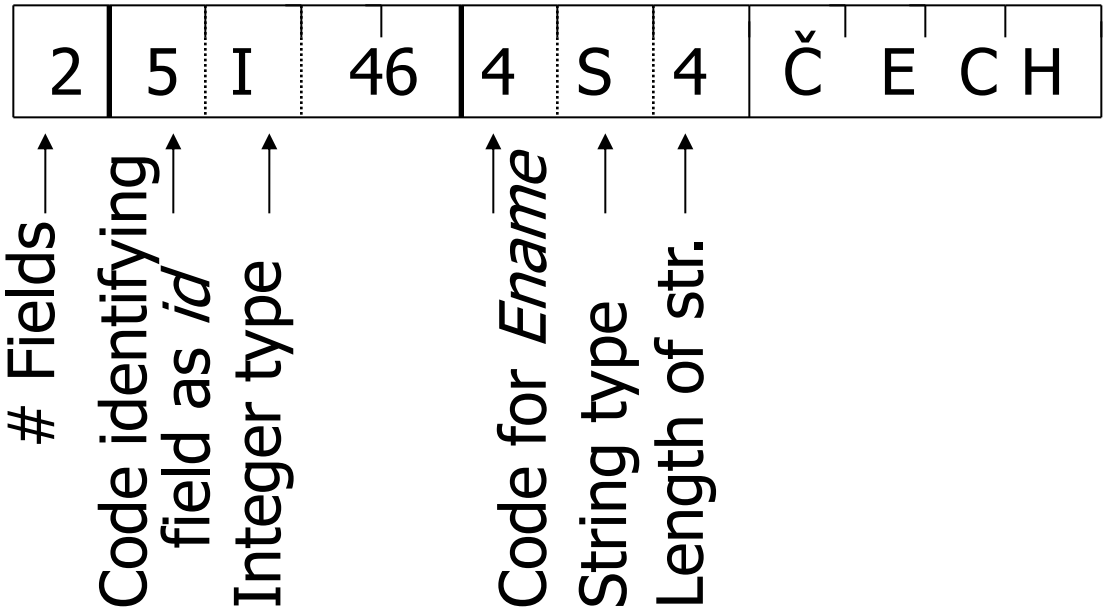


záznamy

- Zarovnání na „vhodnou“ délku
  - Rychlejší přístup k paměti zarovnané na 4 (8) bajtů

Příklad – proměnlivý formát i délka

- Zaměstnanec:



Kódy identifikující názvy atributů mohou být přímo textové řetězce, tzv. tagy.

- Nazýváno „Tagged fields“

Příklad – opakující se atribut

- Zaměstnanec má děti

3	Jméno: Jan Novák	Dítě: Tomáš	Dítě: Pavel

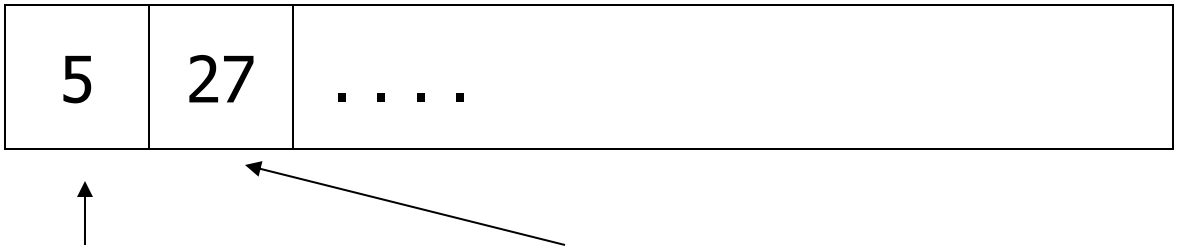
  - Vhodné v případě polí (arrays) atp.

- Opakování atributu neznamená proměnlivou délku ani schéma
  - Lze určit maximální počet opakování
    - Nevyužité místo vyplnit NULL

Novák	Potápění	Šachy	--

„Mezivarianta“

- Mezi pevným a variabilním formátem
- Přidání „typu záznamu“



record type
tells me what
to expect
(i.e. points to schema)

record length

Hlavička záznamu

- Ukládá další informace o záznamu (nesouvisející s hodnotami atributů)
  - Čas vytvoření / změny / čtení záznamu
  - Délka záznamu
  - Počet atributů / ukazatel na schéma
  - OID (Object Identifier) – „ID“ záznamu
  - Pole pro NULL hodnoty
    - Jeden bit pro každý atribut
  - …

Další problémy

- Komprese
  - Zvýšení rychlosti (méně čtu)
  - Uvnitř záznamu (hodnoty zvlášť)
  - Více záznamů
    - Efektivnější (lze vytvořit slovník)
    - Složitější
- Kódování (šifrování)
  - Co potom s indexy?
  - Jak řešit rozsahové dotazy?
  - …

Uložení objektů

- Současné komerční DB podporují objekty
  - Rozšíření relačních DBMS
  - OODBMS
- Objekt má atributy
  - Jednoduché typy → uložit jako záznam
  - Kolekce → vytvořit novou relaci a tam uložit
    - Referencovat pomocí OID

Uložení relace

- Řádkové
  - Zatím uvažovaná varianta
- Sloupcové
  - Hodnoty stejného atributu pohromadě

- Příklad řádkového uložení:
  - Order(id, cust, prod, store, price, date, qty)

id1	cust1	prod1	store1	price1	date1	qty1
id2	cust2	prod2	store2	price2	date2	qty2
id3	cust3	prod3	store3	price3	date3	qty3

Sloupcové uložení

- Relace
  - Order(id, cust, prod, store, price, date, qty)

id1	cust1
id2	cust2
id3	cust3
id4	cust4
...	...

id1	prod1
id2	prod2
id3	prod3
id4	prod4
...	...

...

Id mohou ale nemusí být uloženy, lze využít pořadí hodnot

Porovnání

- Výhody sloupcového uložení
  - Kompaktnější uložení (nezarovnávání na bajty, komprese, …)
  - Efektivní čtení (např. pro data mining)
    - Zpracovávání mála atributů, ale všech hodnot
- Výhody řádkového uložení
  - Aktualizace / vkládání je rychlejší
  - Efektivnější při přístupu k celým záznamům

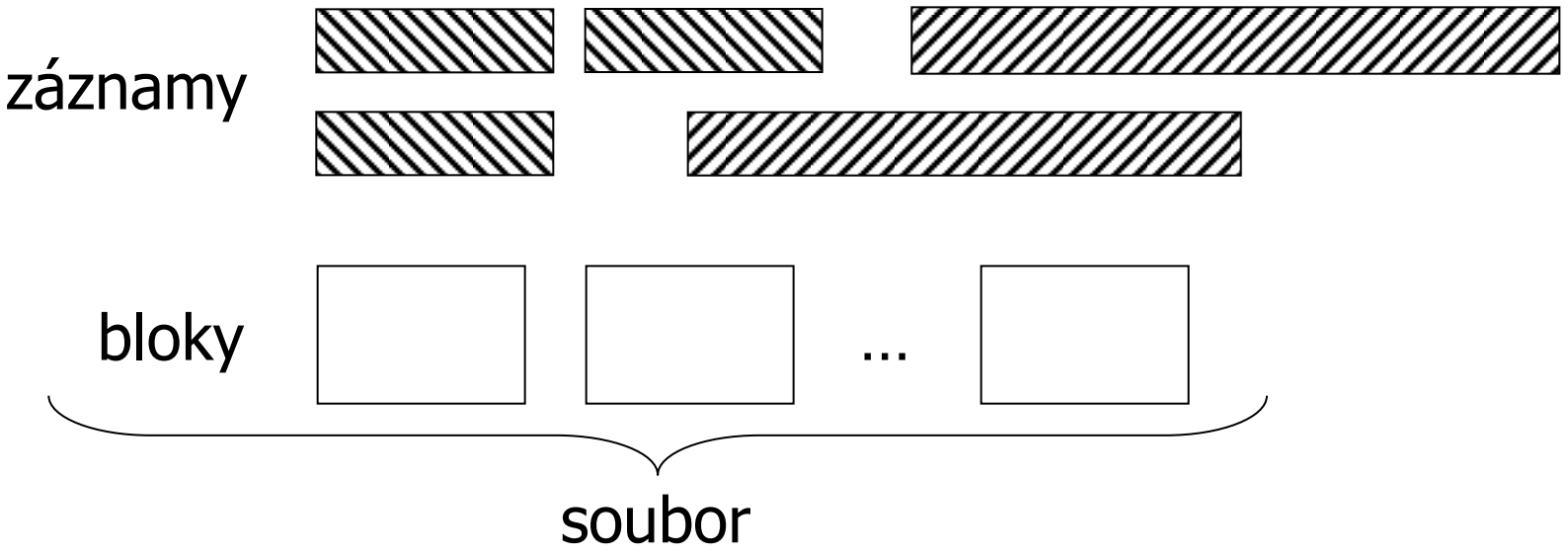
Mike Stonebraker, Elizabeth O'Neil, Pat O'Neil, Xuedong Chen, et al.:
C-Store: A Column-oriented DBMS, VLDB Conference, 2005.
http://www.cs.umb.edu/~poneil/vldb05_cstore.pdf

Osnova

- Ukládání dat
- Záznamy
- *Organizace bloků*
- Příklady

Uložení záznamů do bloků

- Záznamy
  - Pevné délky
  - Proměnné délky
- Bloky pevné velikosti



Uložení záznamů do bloků

- Techniky
  - Oddělování záznamů
    - Separating records
  - Rozdělování / nerozdělování záznamů
    - Spanned vs. unspanned
  - Uspořádání záznamů
    - Sequencing
  - Odkazy na záznamy
    - Indirection

Oddělování záznamů

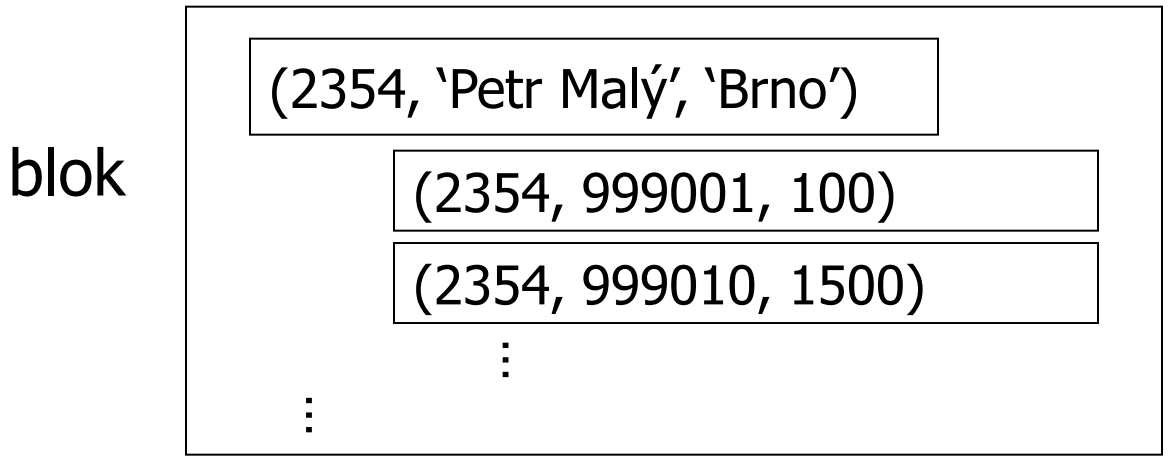
- Záznamy pevné délky
  - Žádný oddělovač
  - Pamatovat počet a ukazatel na první záznam
- Oddělovač
- Ukládání délek záznamů (nebo počátků)
  - V rámci záznamu
  - V hlavičce bloku

Míchání (shlukování) záznamů

- Záznamy různých relací v jednom bloku
  - Některá data jsou vyžadována současně
  - Uložit je společně → zrychlené čtení
  - Složitější implementace

Míchání (shlukování) záznamů: příklad

- Relace: zákazník (zid, jméno, adresa)
  vklady (zid, vkl_id, výše_vkladu)
- Vhodné pro dotaz Q1:
  - SELECT jméno, adresa, výše_vkladu
    FROM vklady, zákazník
    WHERE vklady.zid = zákazník.zid AND zákazník.zid = 2354



Míchání (shlukování) záznamů: příklad

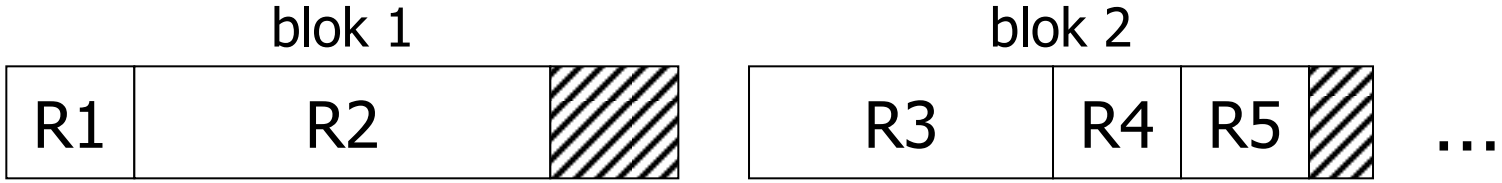
- Dotaz Q2:
  - SELECT * FROM zákazník
- Shlukování nevhodné pro Q2
  - Záleží na četnosti jednotlivých dotazů

Míchání (shlukování) záznamů

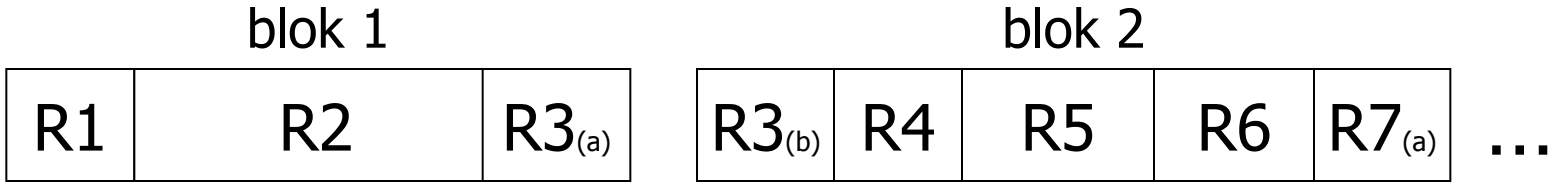
- Řešení:
  - Nemíchat v rámci bloku
  - Ukládat bloky blízko sebe
    - Stejný válec disku

Rozdělování vs. nerozdělování záznamů

- Nerozdělování
  - každý záznam součástí jednoho bloku
  - jednodušší, ale může plýtvat místem

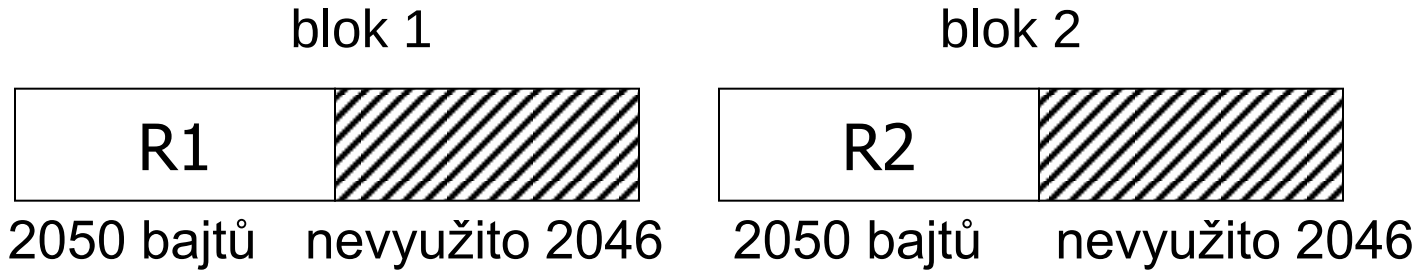


- Rozdělování
  - Záznam „přetéká“ mezi bloky
  - Nutné, pokud je záznam větší než blok!



Rozděl. vs. nerozděl. záznamů: příklad

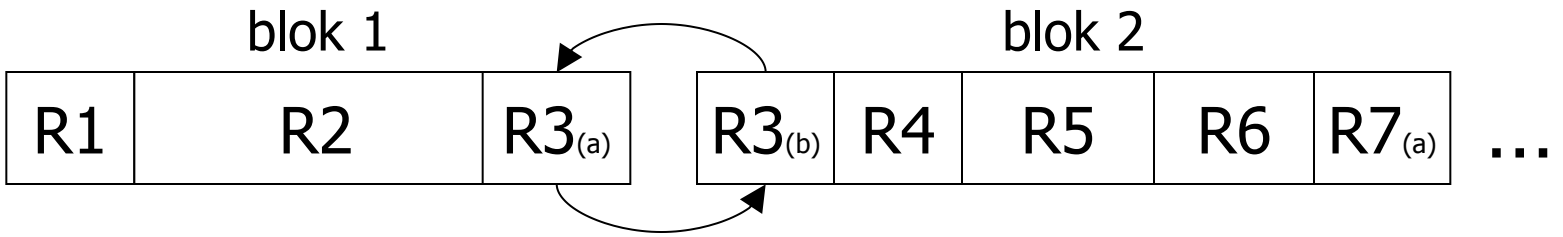
- Nerozdělování záznamů
  - 10^6 záznamů, každý 2 050 bajtů (pevná délka)
  - Velikost bloku 4 096 bajtů



  - Celkem alokováno: 10^6 * 4096B
  - Celkem využito: 10^6 * 2050B
  - Využití paměti: 50,05%

Rozdělování záznamů

- Záznam „přetéká“ mezi bloky
  - Musíme udržovat pořadí bloků
    - Lze používat ukazatele



- Záznam je rozdělen na „fragmenty“
  - Bitový příznak, zda je fragmentován
  - Ukazatel na další / předchozí fragment

Rozdělování záznamů

- Velký atribut
  - The Oversized-Attribute Storage Technique
    - TOAST or *"the best thing since sliced bread"***
    - Rozdělení záznamu (viz předchozí)
      - Resp. dlouhých hodnot ve velkém atributu
  - Komprese
  - Rozdělení do více fyzických záznamů (interně)

** [cit. dokumentace PostgreSQL]

Rozdělování záznamů

- Velká data (LOB)
  - Bez ohledu na typ: binární i textová
  - Uloženo zvlášť
    - posloupnost bloků (jiného souboru)
  - DB neindexuje, neumí uvnitř vyhledávat

** [cit. dokumentace PostgreSQL]

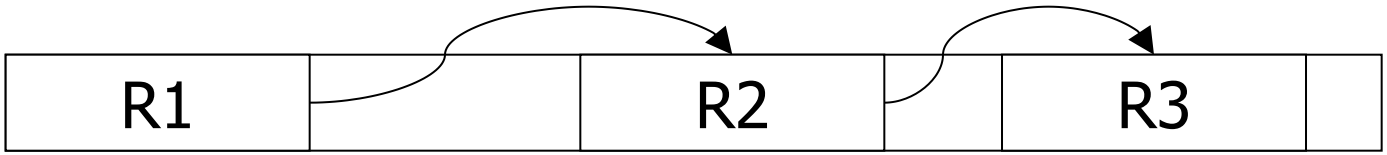
Uspořádání záznamů

- Záznamy jsou v souboru (a bloku) uspořádány
  - Podle hodnoty nějakého klíče
  - Např. sekvenční soubor
- Důvod:
  - Efektivní čtení záznamů v daném pořadí
  - Např. pro merge-join, order by, …

Uspořádání záznamů

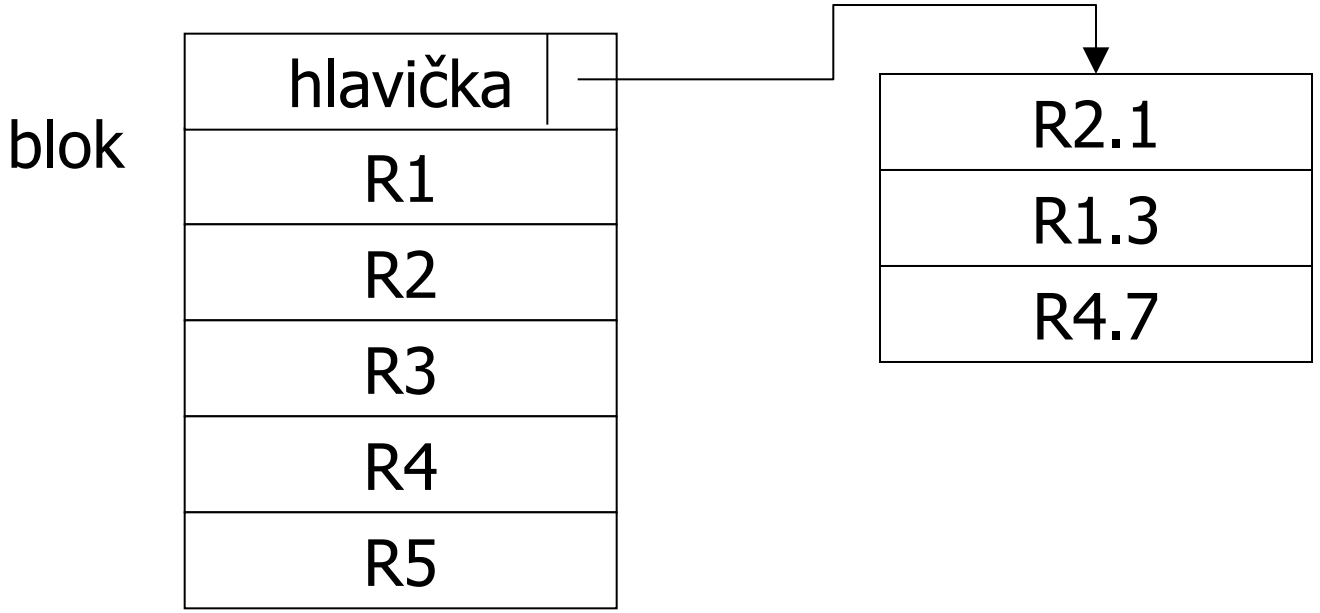
- Uložené za sebou

- Zřetězený seznam



Uspořádání záznamů

- Přetoková oblast
  - Záznamy jsou uložené za sebou
    - nutné reorganizace při aktualizaci
  - Odkaz na přetokovou oblast / blok



Odkazy na záznamy

- Použití
  - Rozdělování záznamů
  - Odkazování bloků / záznamů (viz indexy)
  - Zřetězování bloků (viz indexy)
  - OODBMS: objekty ukazují na jiné objekty

Odkazy na záznamy

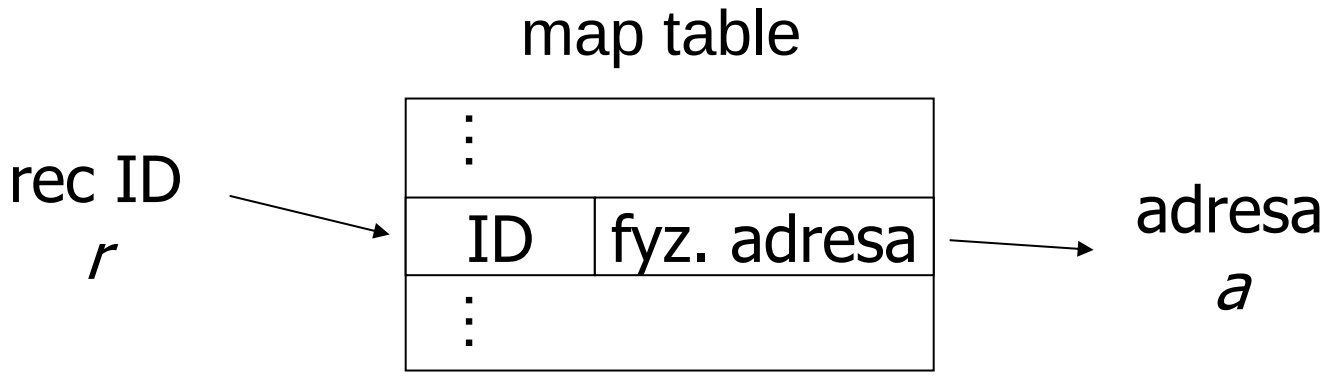
- Adresa záznamu
  - V paměti (memory address)
    - přímá adresace
    - 4 (8) bajtový ukazatel
  - V úložišti (db address)
    - sekvence bajtů popisující umístění
    - přímá vs. nepřímá adresace

Odkazy na záznamy

- Přímá adresace
  - Fyzická adresa záznamu
  - Adresa v úložišti
    - ID disku, stopu, povrch, blok, offset v bloku
  - Nepraktické
    - Např. realokace bloku nebo záznamu

Odkazy na záznamy

- Nepřímá adresace
  - Záznam (i blok) je identifikován svým ID
  - ID = logická adresa
    - libovolná posloupnost bitů
  - Převodní tabulka (map table): ID → fyz. adresa



Odkazy na záznamy

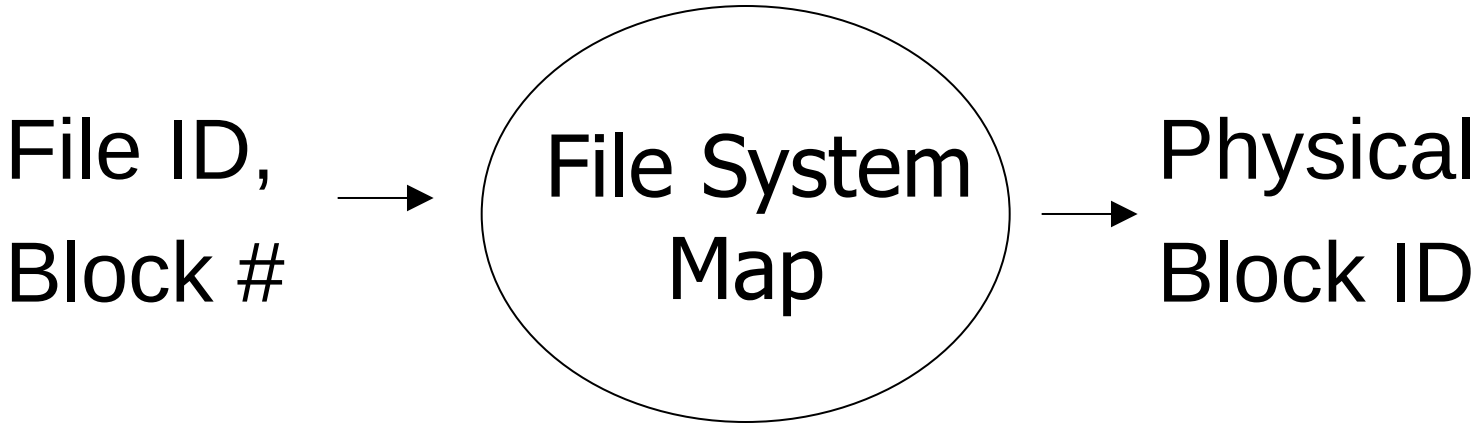
- Nepřímá adresace
  - Nevýhoda
    - Zvýšené náklady
      - Průchod map table
  - Výhoda
    - Velká flexibilita
      - Mazání záznamů, vkládání
      - Optimalizace uložení bloků

Odkazy na záznamy

- Vhodná varianta = **kombinace**
  - Fyz. adresa záznamu = fyz. adresa bloku + offset
    - Offset je pořadí záznamu v bloku
      - V hlavičce je obvykle seznam odkazů na záznamy.
  - Výhody
    - Lze přesouvat záznamy v bloku
      - Beze změny fyz. adresy
    - Lze přesunout záznam do jiného bloku
      - V původním místě udělám odkaz na nový blok + offset
    - Lze zrušit map table
  - Nevýhoda
    - Nízká flexibilita přesouvání bloků (defragmentace)

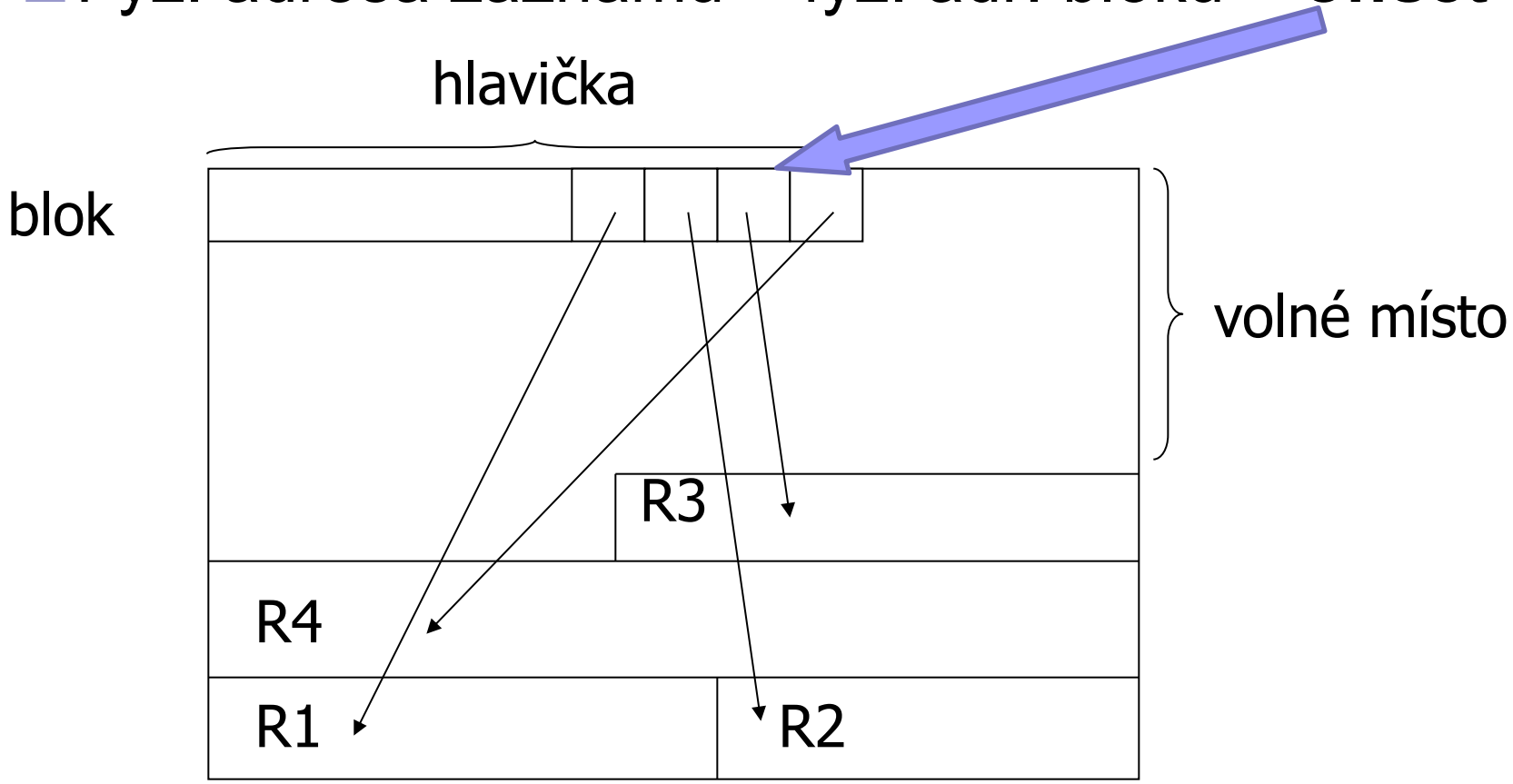
Odkazy na záznamy

- Používaná varianta
  - Adresa záznamu =
    ID souboru + číslo bloku + offset v bloku
  - Uložení bloku určuje systém souborů (file system)



Odkazy na záznamy

- Nepřímý odkaz v bloku
  - Fyz. adresa záznamu = fyz. adr. bloku + **offset**



Hlavička bloku

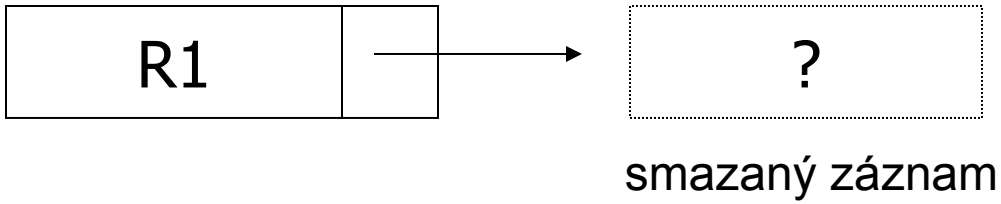
- Přítomná v každém bloku
  - File ID (or RELATION ID or DB ID)
  - ID bloku (tohoto)
  - Adresář záznamů (odkazy na data záznamů)
  - Ukazatel na volné místo (začátek, konec)
  - Typ bloku
    - např. záznamy typu 4, přetoková oblast, TOAST záznamy, …
  - Ukazatel na další blok (např. pro indexy)
  - Čas modifikace (popř. verze)

Modifikace záznamů v bloku

- Vkládání
  - Obvykle snadné
- Mazání
  - Správa volného místa
- Změna
  - Stejná velikost
    - Ok
  - Jiná velikost
    - Problém stejný jako při vkládání / mazání

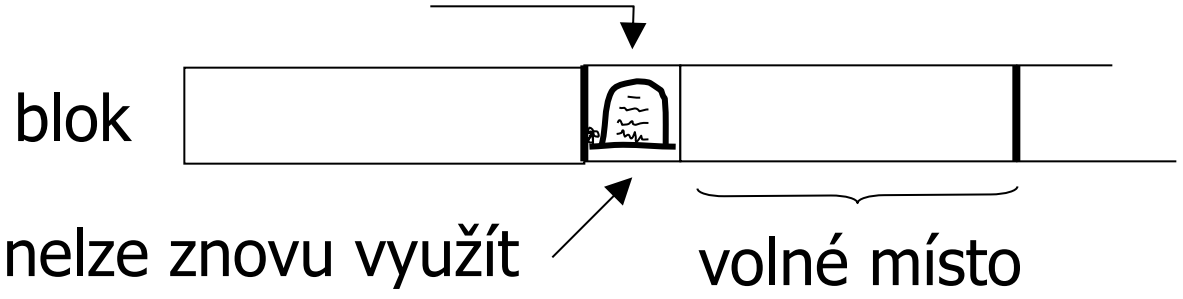
Mazání záznamů

- Problém s odkazy na smazané záznamy
  - Musí být neplatné
  - Nesmí odkazovat na jiná nová data
  - Tzv. *dangling pointers*



Mazání záznamů

- Přímá adresa záznamu (fyzická adresa)



  - Označ jako smazané
    - Vytvořením značky (tombstone)
    - Stačí 1 bit
      - Implementace: obvykle několik bajtů (zarovnání)
  - Oznámit volné místo
    - Zřetězení volných míst

Mazání záznamů

- Nepřímá adresace
  - *Map table*
  - Smazaný záznam uvolní místo v bloku
  - Náhrobek je v map table

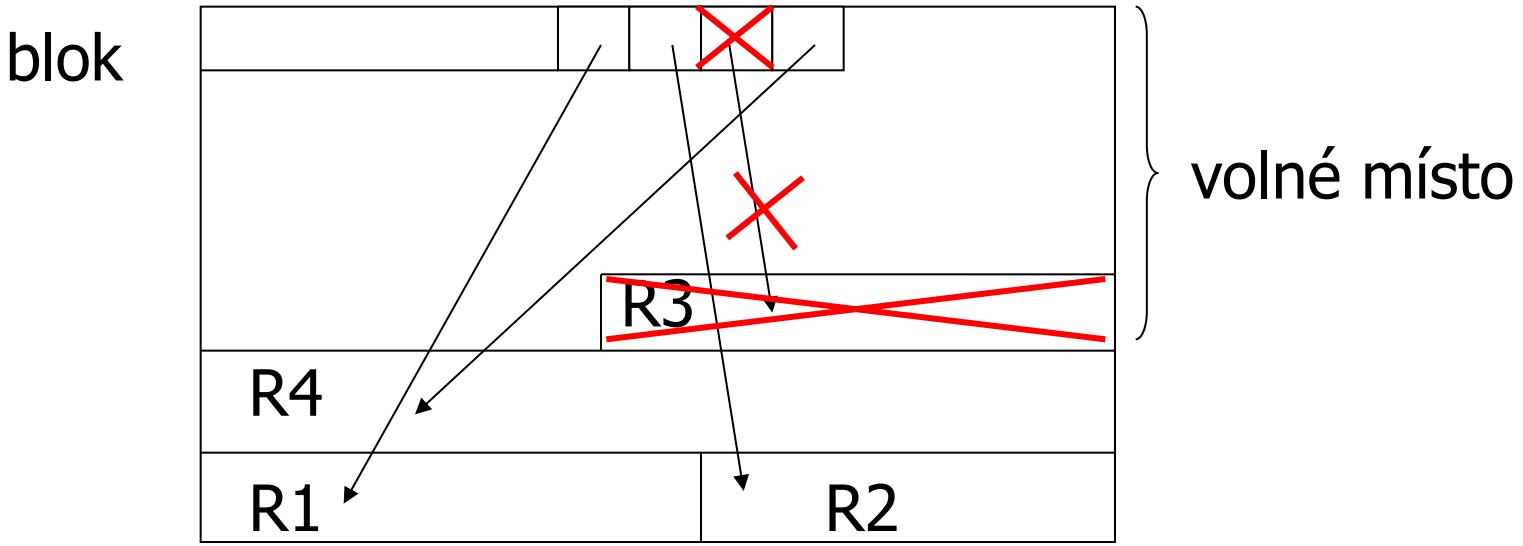
Map Table

ID	LOC
7788	

Tuto položku nelze již znovu využít.

Mazání záznamů

- Adresa záznamu je adr. bloku + offset
  - Ihned uvolni místo
  - Defragmentuj ostatní záznamy
    - volné místo je souvislé
  - V adresáři záznamů nastav ukazatel na ***null***



Mazání záznamů

- Uložení ID záznamu přímo v záznamu
  - Při čtení záznamu kontrolujeme ID na shodu

Vkládání záznamů

- Neuspořádané záznamy
  - Vkládáme na konec
    - Poslední blok, popř. nový
  - Vkládáme do volného místa v existujícím bloku
    - Může být problematické v případě proměnlivé délky záznamu

Vkládání záznamů

- Uspořádané záznamy
  - Nemožné, pokud není nepřímá adresace ani se nepoužívají offsety
  - Najdi místo v „blízkém“ bloku → reorganizuj
    - Přesunutí posledního záznamu do následujícího bloku
      - Nutné přidat příznak do původního bloku
  - Ulož do přetokového bloku
    - Odkaz na přetokový blok je součástí hlavičky bloku

Aktualizace záznamů

- Zvětšení délky záznamu
  - Nemusí se vytvářet náhrobky
  - Posunout následující záznamy
  - Vytvořit přetokový blok
  - …
- Zmenšení délky záznamu
  - dtto
  - Zrušení uvolněných přetokových bloků

Správa vyrovnávací paměti

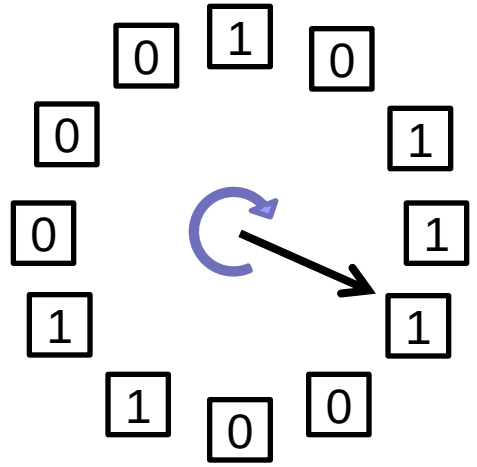
- Různé strategie
  - LRU, FIFO, pinned blocks, toss-immediate, …
- Problém odkazování na záznamy v paměti
  - Prohazování odkazů (swizzling)
- Specifikum databází
  - Někdy je nutné ponechat bloky v cache „déle“
    - Indexy, vyhodnocování spojení relací, …

Správa vyrovnávací paměti

- LRU
  - Při každém přístupu aktualizovat čas přístupu
  - → může být časově náročné
- FIFO
  - Uloží se čas načtení a ten se dále nemění
  - → nevhodné pro stále používané bloky
    - Např. kořen B^+ stromu
- Pinned blocks
  - Bloky trvale v paměti

Správa vyrovnávací paměti

- Hodiny („Clock“)
  - Efektivní aproximace LRU
  - Ručka ukazuje na poslední načtený blok.
  - Pro načtení nového bloku se ručka otáčí, dokud nenalezne volné místo (blok s nulou).

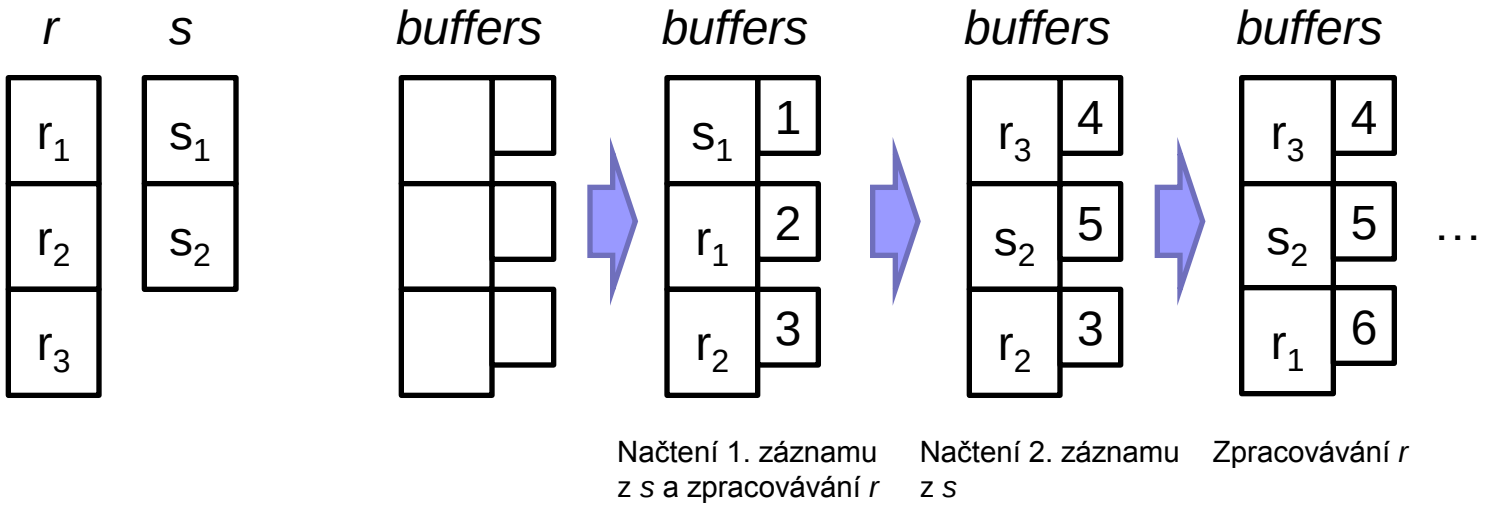


  - Pak načte požadovaný blok a nastaví 1
  - Ručka při otáčení snižuje číslo (až na nulu).
- Lze implementovat i *pinned blocks*. Jak?

Správa vyrovnávací paměti

- LRU a výpočet spojení dvou relací:
  - Vnořené cykly:

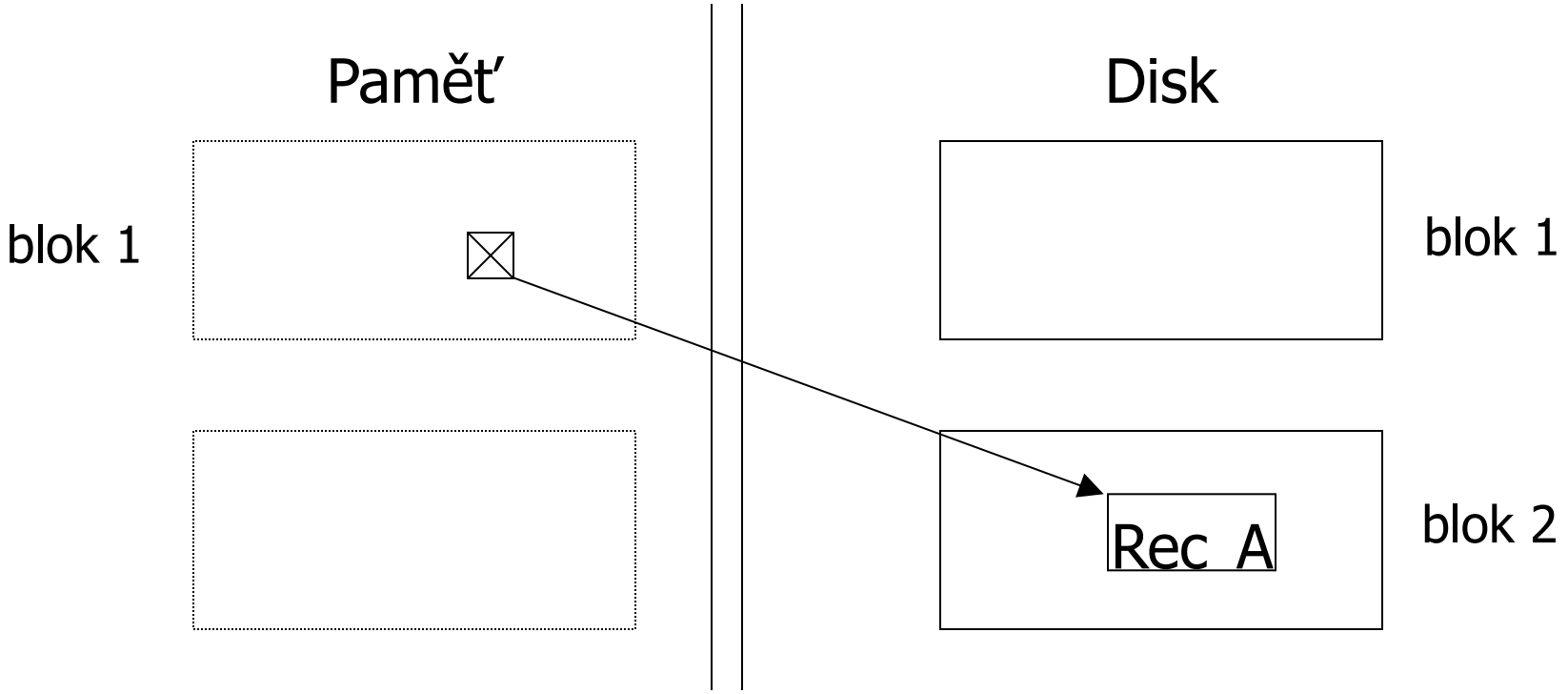
For each t_s in s do
  For each t_r in r do
    Join t_r and t_s



  - LRU nevhodný: přepisují se bloky relace *s*
    - Nutné použít *pinned blocks* pro relaci *s*

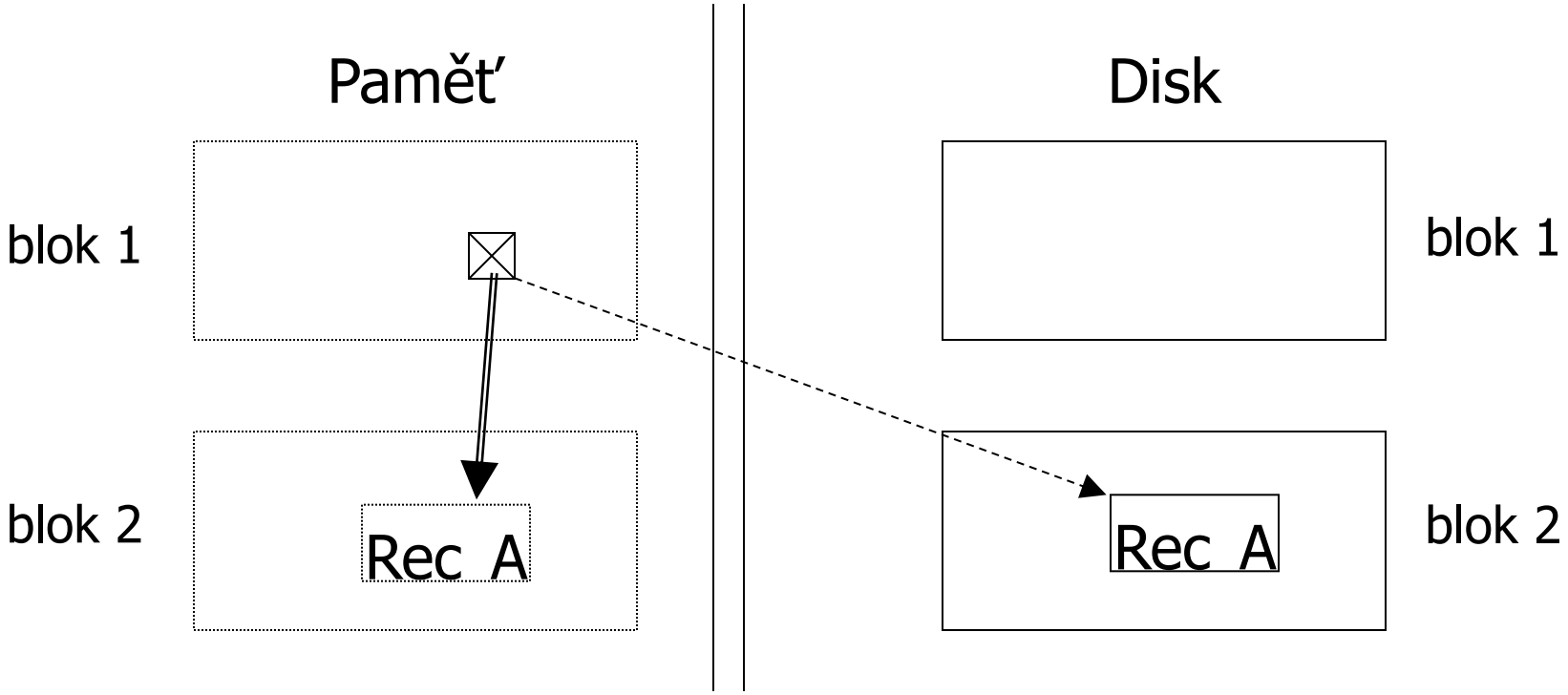
Prohazování odkazů

- Změna odkazů při načtení bloku do paměti
  - a zpět (při ukládání na disk)
- Odkaz pak ukazuje do paměti a ne na disk



Prohazování odkazů

- Po načtení bloku 2 je provedena změna odkazu



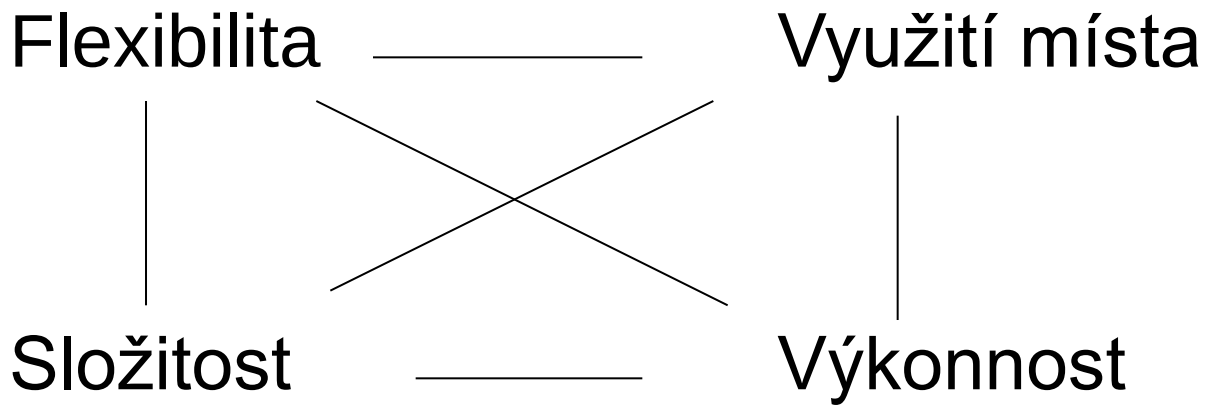
Prohazování odkazů

- Kdy:
  - Automaticky – ihned po načtení
  - Na žádost – při prvním použití
  - Nikdy – vždy se používá překladová tabulka
- Implementace:
  - DB adresa je měněna na paměťovou adresu
    - Buduje se *Translation table*
      - dvojice (paměť. adresa, disková adresa) pro každý záznam
  - Ukazatel má příznak, zda byl prohozen či ne

Osnova

- Ukládání dat
- Záznamy
- Organizace bloků
- *Příklady*

Vlastní implementace



- Otázka náročnosti operací:
  - Načtení záznamu s daným klíčem
    - Načtení následujícího záznamu
  - Vložení / smazání / aktualizace záznamů
  - Čtení celého souboru
  - Reorganizace souboru

Specializované systémy

- BigTable
  - Distribuované úložiště n-tic od Google
  - Škálovatelost do petabajtů (1PB=1000TB)

    F. Chang, J. Dean, S. Ghemawat, et al.:
    Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data,
    Seventh Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI), 2006.
    http://labs.google.com/papers/bigtable-osdi06.pdf
- HBase
  - Distribuované úložiště n-tic
  - Open-source Apache projekt Hadoop

    http://hadoop.apache.org/

Vlastnosti BigTable a HBase

- Nejsou relační databáze
  - Tzv. NoSQL databáze
- Storage as a "key→value" map
  - row_id, column_id, time → value
- Proměnné schéma relace
- Verzování podle času
- Uspořádané podle row_id