



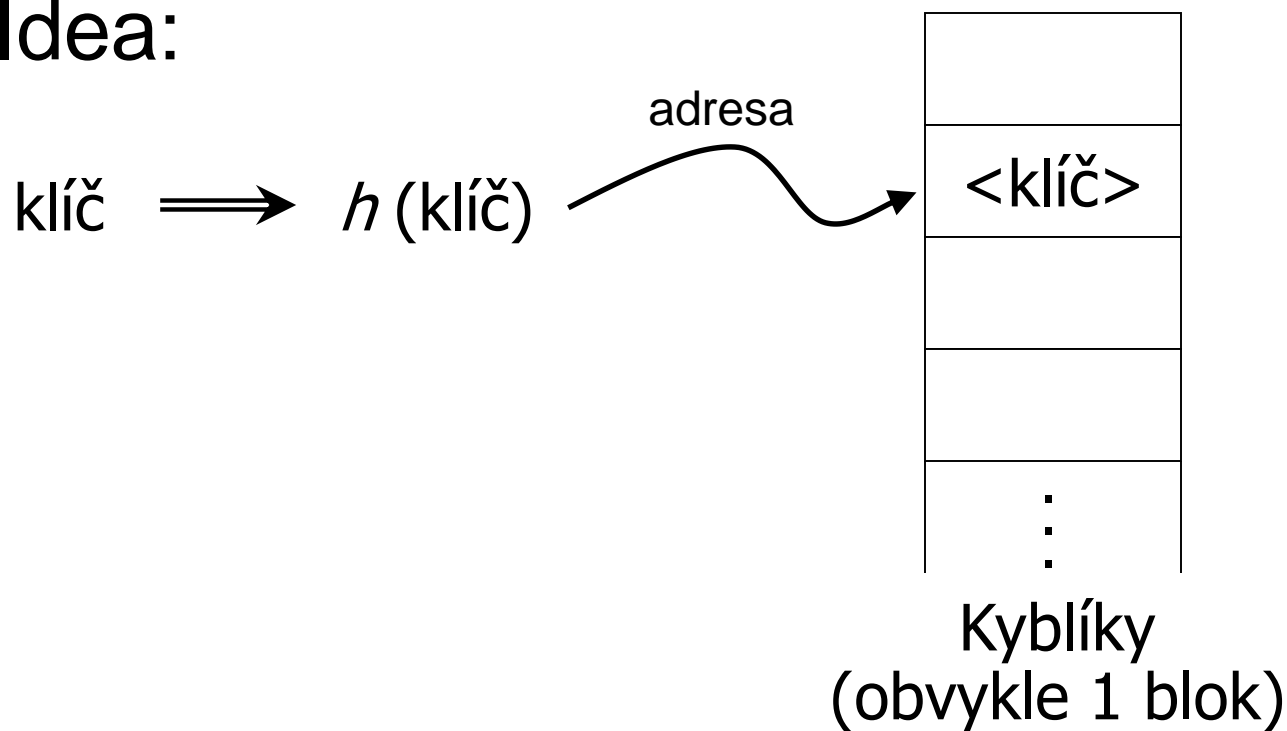
PA152: Efektivní využívání DB
5. Hašování

Vlastislav Dohnal

Hašování

- Transformace klíče na adresu
 - Funkce vracející adresu pro vstupní klíč

- Idea:



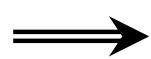
Možnosti implementace

■ Přímá adresace

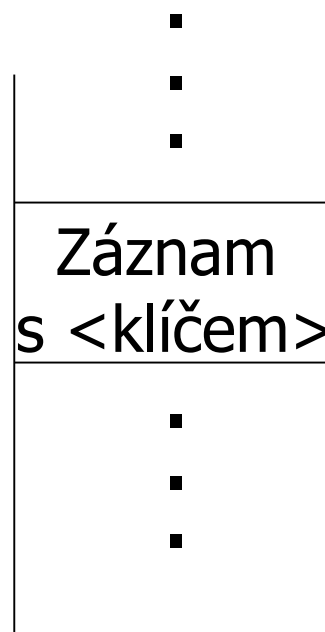
□ Adresa záznamu

- Obvykle adresa bloku

klíč



h (klíč)

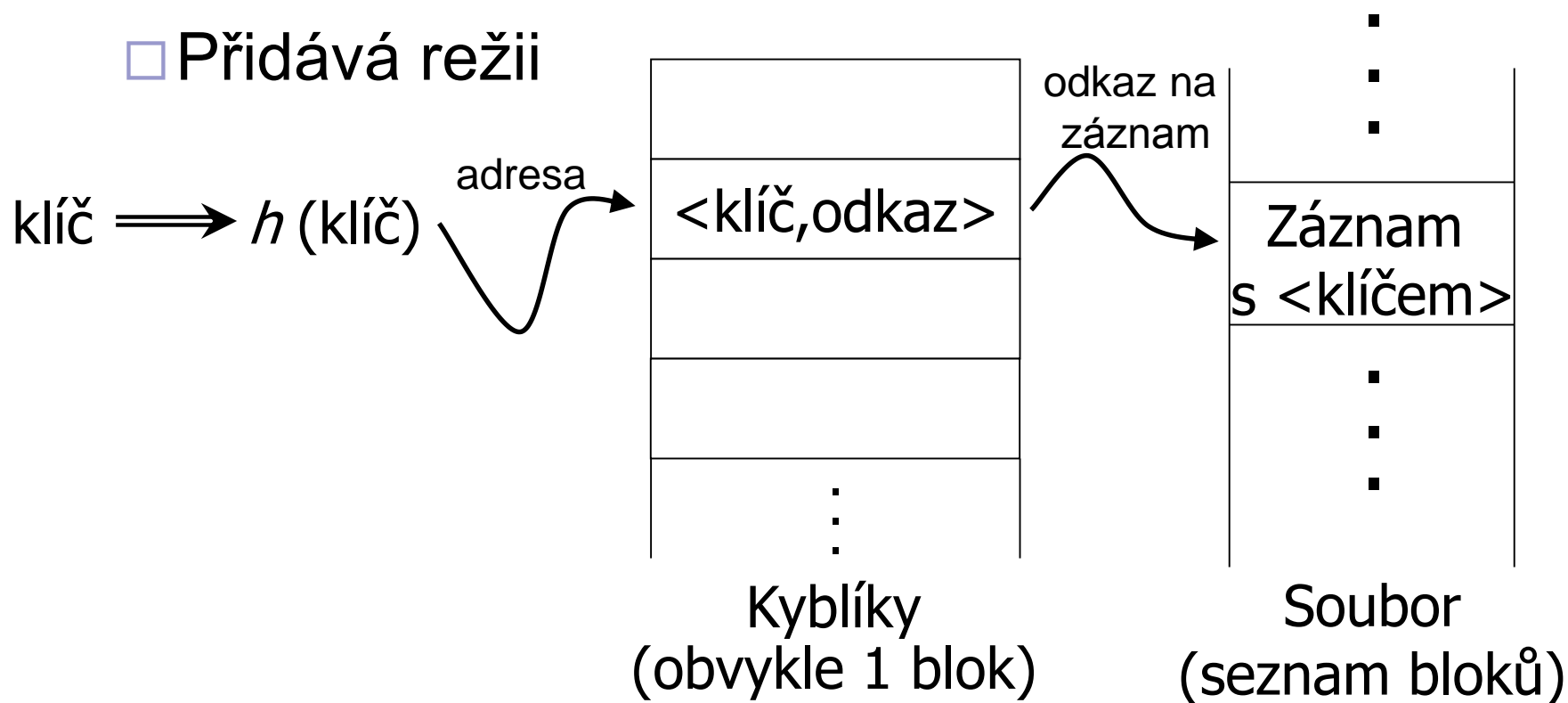


Soubor
(seznam bloků)

Možnosti implementace

■ Nepřímá adresace

- Vhodné pro sekundární indexy
- Přidává režii



Příklad hašovací funkce

- Klíč je řetězec znaků
 - n bajtů
- Adresní prostor
 - B kyblíků
- Hašovací funkce $h(x_0x_1\dots x_{n-1})$
 - $(x_0+x_1+\dots+x_{n-1}) \bmod B$
 - $(x_0*31^{n-1}+x_1*31^{n-2}+\dots+x_{n-1}) \bmod B$
 - Lze i na proměnlivou délku

Hašovací funkce

■ Požadavky:

□ Rovnoměrná

- Stejné obsazení všech kyblíků

□ Náhodná

- Bez korelace vstupu a výstupu

■ „Velká věda“ → speciální literatura

□ Dobrá funkce je alespoň rovnoměrná

Použití kyblíků

- Kyblík má větší kapacitu než 1
 - Uspořádat klíče?
 - Ano, pokud chceme zrychlit přístup
 - Ano, pokud je málo aktualizací
 - Ne, pokud je hodně aktualizací

Základní pojmy

- Hašovací funkce

- Kolize

- Na vypočtené adrese je již něco uloženo
- Není problém, pokud lze uložit více klíčů

- Přetečení

- Kapacita kyblíku je naplněna
- Přetoková oblast

- Statické vs. dynamické hašování

- Podle změny velikosti adresového prostoru

Řešení kolizí

■ Uzavřené hašování

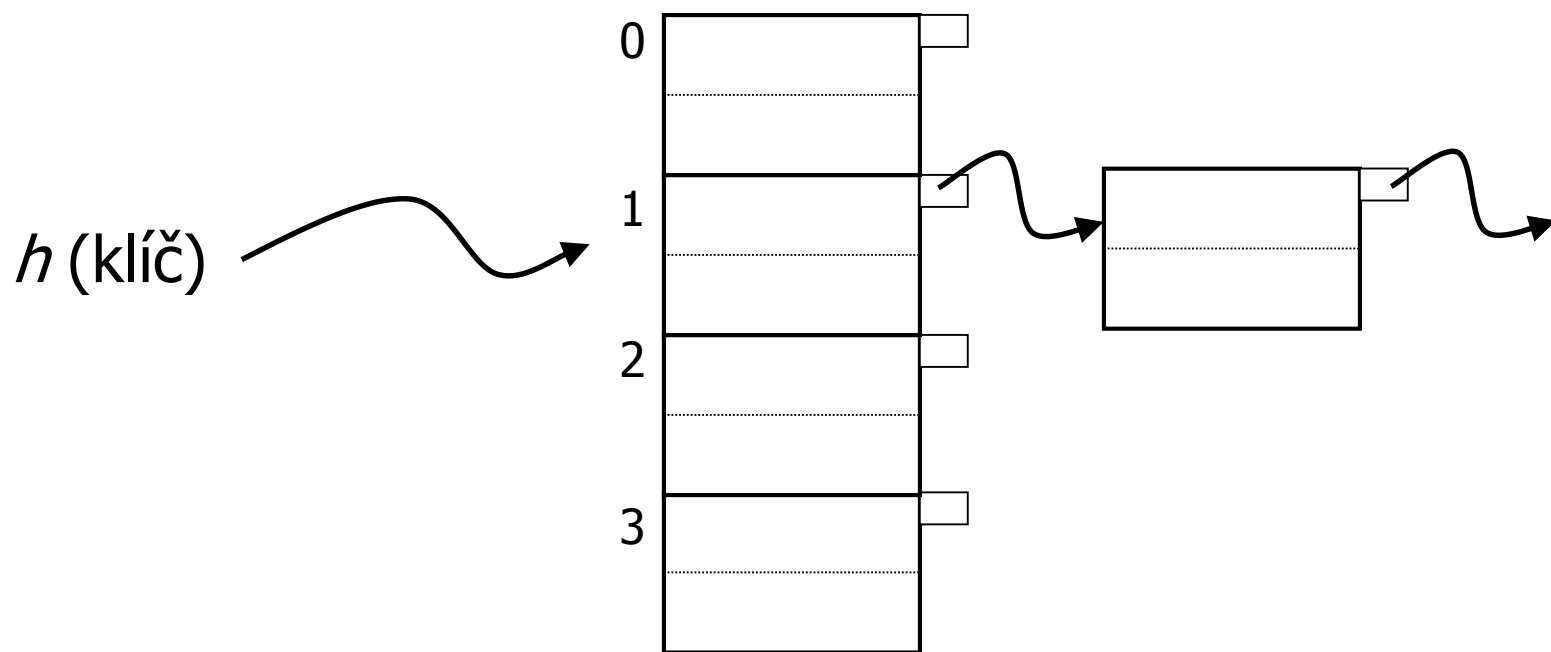
- Vypočtená adresa je fixní
- Při přetečení vytvoř nový kyblík (přetoková oblast)
 - Řetězení přetokových oblastí

■ Otevřené hašování

- Existence kolizní funkce
 - Lineární, kvadratické, dvojité hašování
 - Viz Organizace souborů

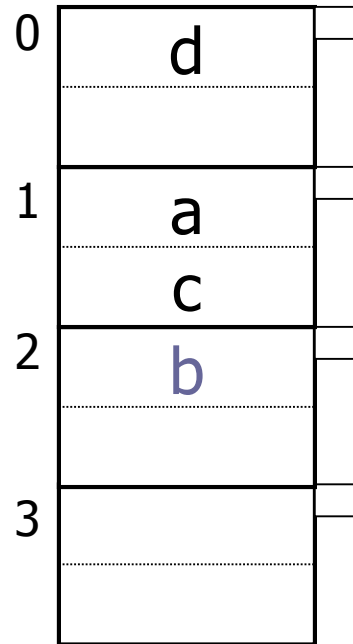
Příklad

- Statické uzavřené hašování
 - Kolize pomocí přetokových oblastí
 - Kapacita kyblíku = 2 klíče



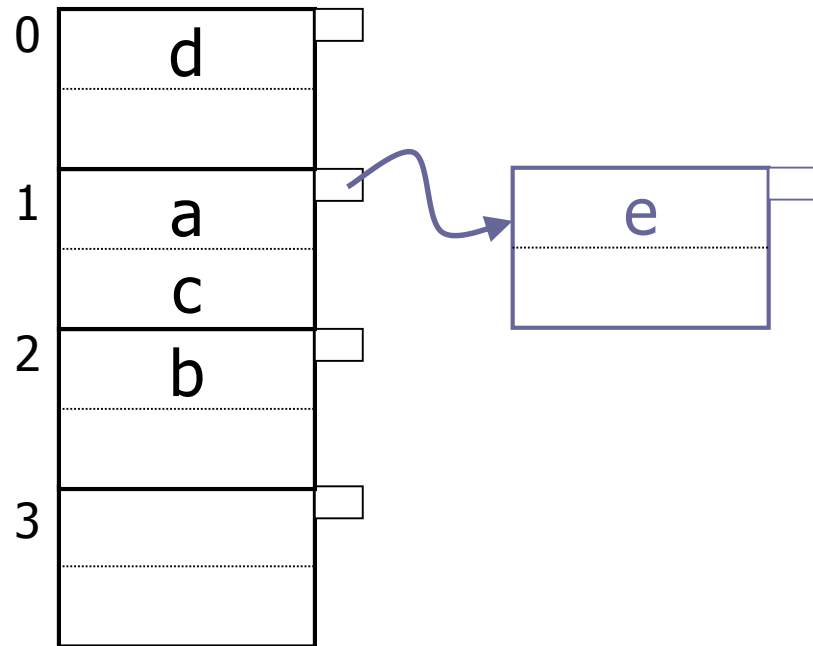
Příklad vkládání

- $h(„b“) = 2$



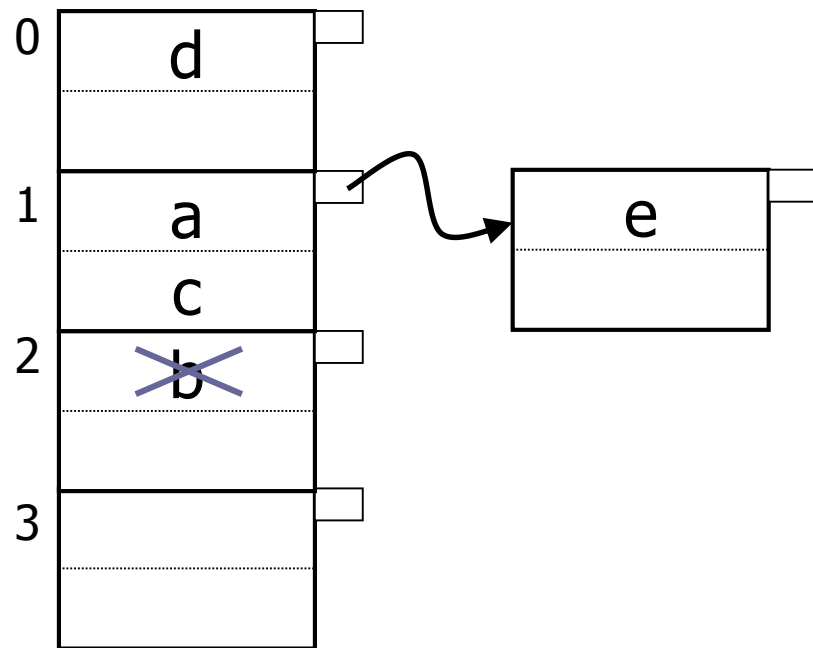
Příklad vkládání

- $h(„e“) = 1$



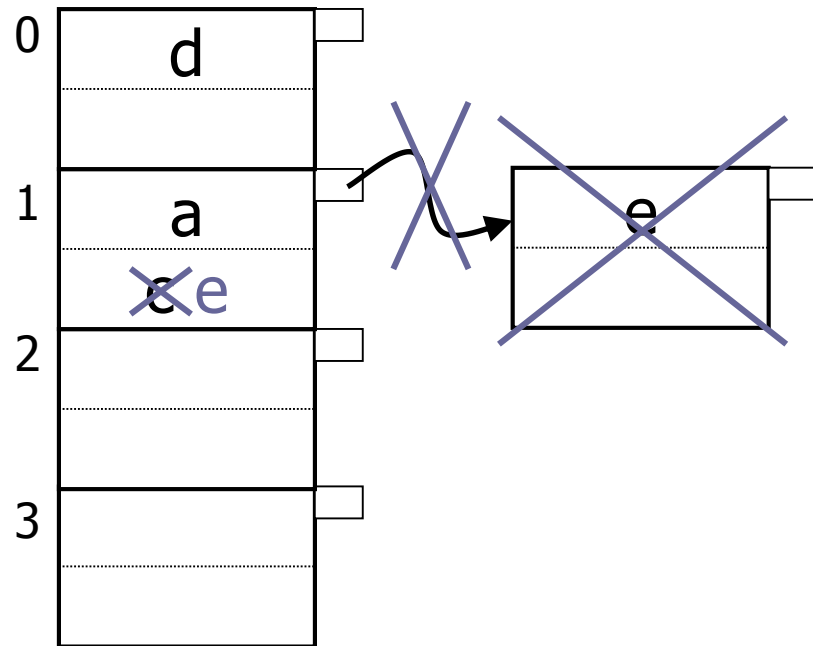
Příklad mazání

- Uvolňovat přetokové oblasti
- Smaž „b”



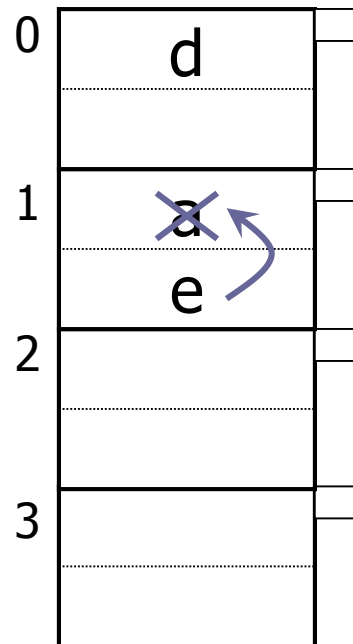
Příklad mazání

- Uvolňovat přetokové oblasti
- Smaž „c”



Příklad mazání

- Uvolňovat přetokové oblasti
- Smaž „a”



Empirická znalost

- Zaplnění udržovat mezi 50% a 80%
 - Zaplněnost = počet klíčů / max. kapacita
 - $< 50\%$ – plýtvání místem
 - $\geq 80\%$ – příliš mnoho kolizí
 - Přetokové oblasti zpomalují vyhledávání i vkládání

Dynamická data

■ Statické hašování

- Přetoky → reorganizace

- Tj. vytvoření nové hašovací funkce

■ Dynamické hašování

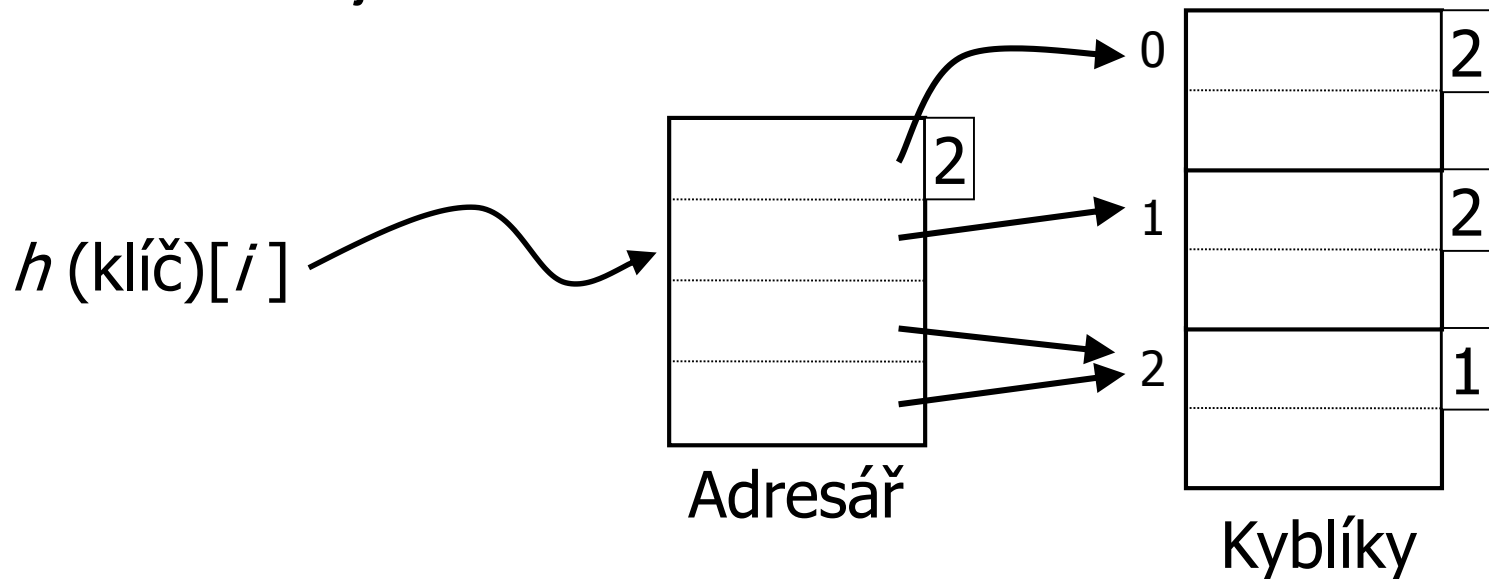
- Rozšiřitelné

- Lineární

Rozšiřitelné hašování

■ Idea:

- Využití pouze několika prvních bitů adresy
- Přidání další tabulky – adresář
 - Velikost je mocnina 2

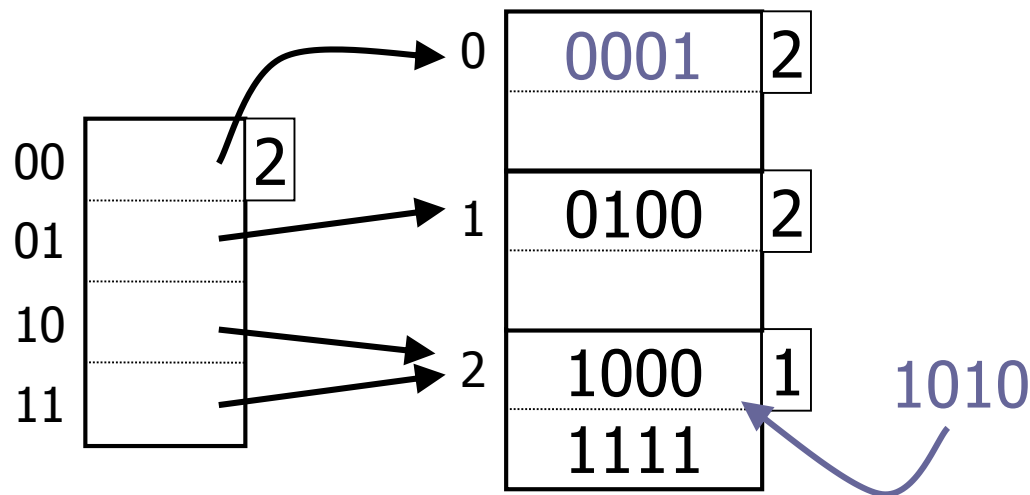


Rozšiřitelné hašování: vkládání

- Příklad: $h(x) = x$, tj. identita
- Najdi kyblík
 - je volné místo \rightarrow ok
 - není \rightarrow rozštěpení kyblíku
 - přerozdělení obsahu

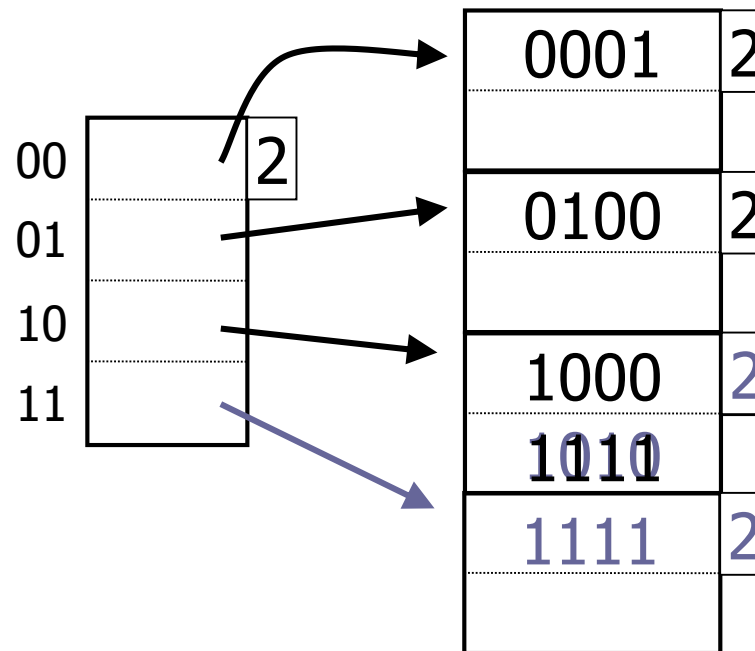
■ Vložení

- 0001
- 1010



Rozšiřitelné hašování: vkládání

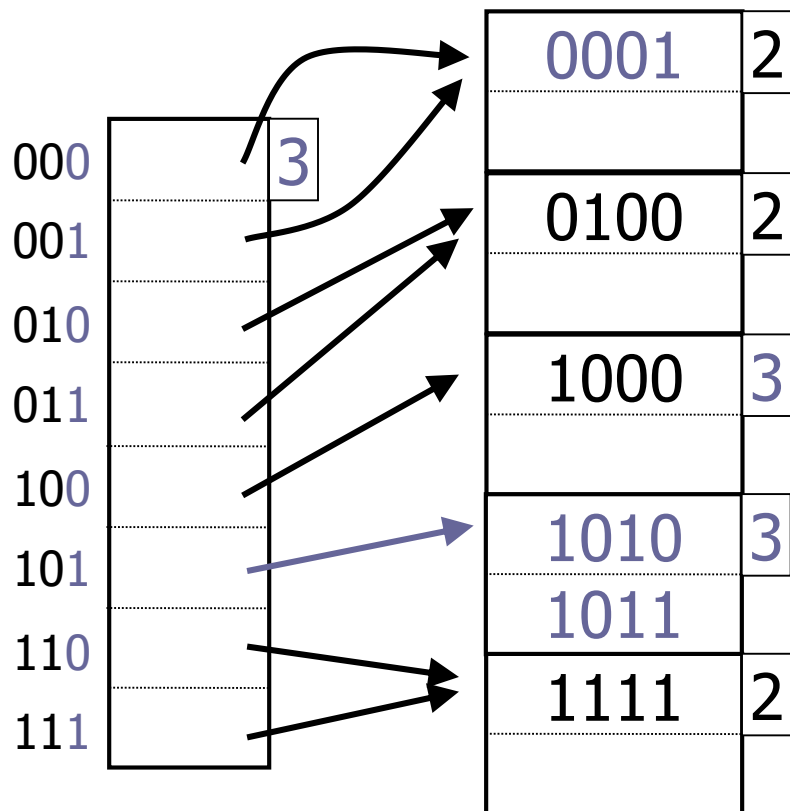
- Při vkládání 1010
 - Rozštěpení kyblíku



Rozšiřitelné hašování: vkládání

■ Vložení 1011

- Adresář je plný → zdvojnásobení (přidání bitu)



Rozšiřitelné hašování: mazání

■ Mazání klíče

- Smaž klíč

- Kyblík je prázdný

- Nedělej nic → předpoklad nového vkládání

- Sloučení sousedních kyblíků

- Mající stejný prefix o jeden bit kratší

- Může být i zmenšen adresář

Rozšiřitelné hašování: hodnocení

■ Výhody

- Měnící se data
- Méně plýtvá místem (než statické hašování)
- Lokální reorganizace

■ Nevýhody

- Další úroveň nepřímých odkazů
 - Ok, pokud je adresář v paměti
- Adresář se zdvojnásobuje
 - Nemusí se vejít do paměti
 - Ale kyblíky rostou lineárně!

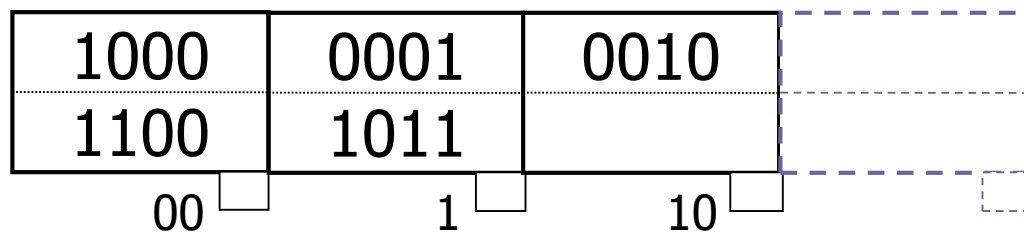
Lineární hašování

■ Idea:

- Využití pouze několika *posledních* bitů adresy
 - Konkrétně i bitů
- Žádný adresář
- Soubor roste lineárně

$h(\text{klíč})[i]$

Kyblíky



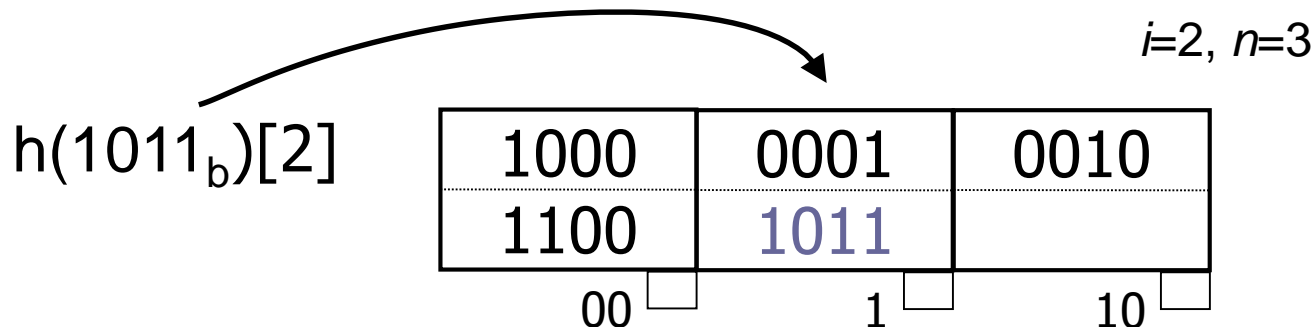
Lineární hašování: vkládání

■ Parametry:

- i – délka sufixu
- n – počet kyblíků

■ Vlož 1011_b

- $h(1011_b)[2] = 11_b = m$
 - Pokud $m < n$, vlož do kyblíku m
 - Jinak vlož do kyblíku $m - 2^{i-1}$

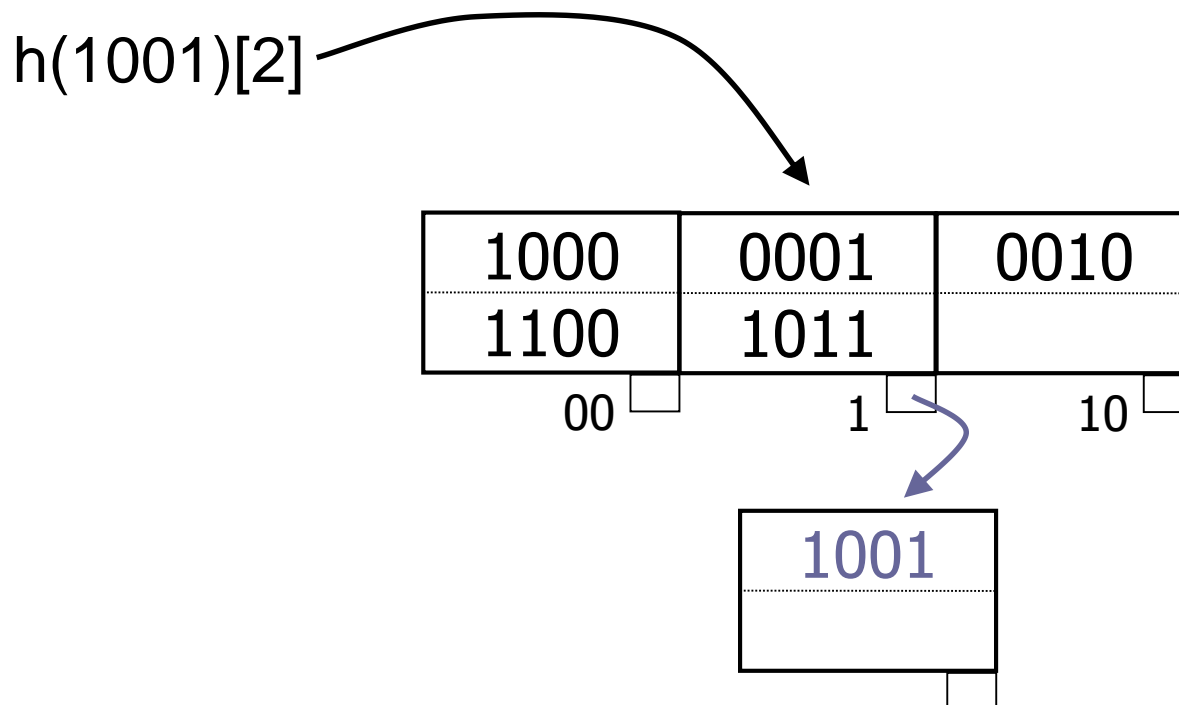


Lineární hašování: vkládání

■ Vlož 1001

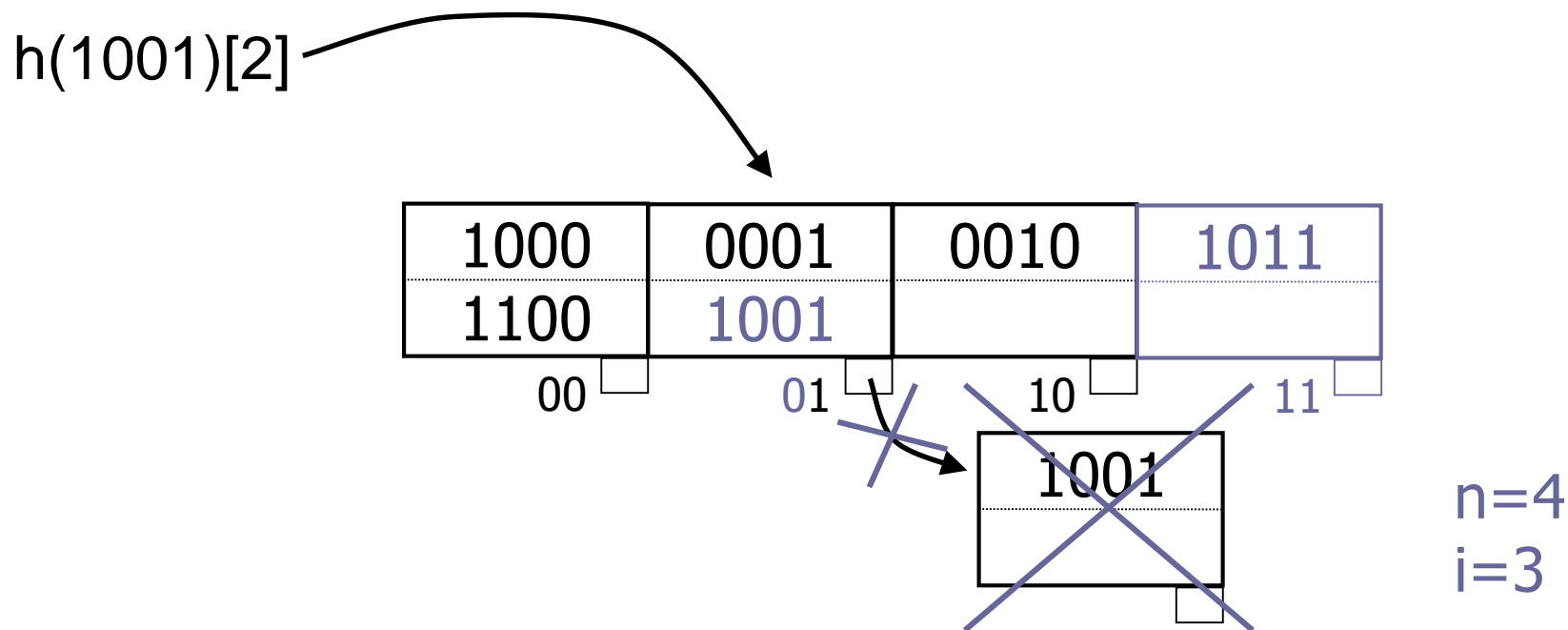
□ $h(1001)[2] = 01$

□ Není místo → přetoková oblast



Lineární hašování: štěpení kyblíku

- Při vkládání kontroluj naplnění
 - $>80\%$, pak rozděl kyblík (jehož adresa je $0abcd\dots z$)
 - Resp. přidej nový \rightarrow adresa je $1abcd\dots z$
 - Rozděl data v kyblíku $0abcd\dots z$ mezi $[01]abcd\dots z$



Lineární hašování

■ Vkládání nového klíče

- Může vést k přetokové oblasti
- Může způsobit větší naplnění než 80%
 - Proveďte se štěpení kyblíku
 - Štěpený kyblík může být různý od kyblíku, do kterého se vkládá!
- Po přidání 2^i -tého kyblíku, zvětší i
 - Tj. počet kyblíků překročí 2^i

Lineární hašování: hodnocení

■ Výhody

- Měnící se data
- Méně plýtvá místem (než statické hašování)
- Lokální reorganizace
- Žádná dodatečná překladová tabulka

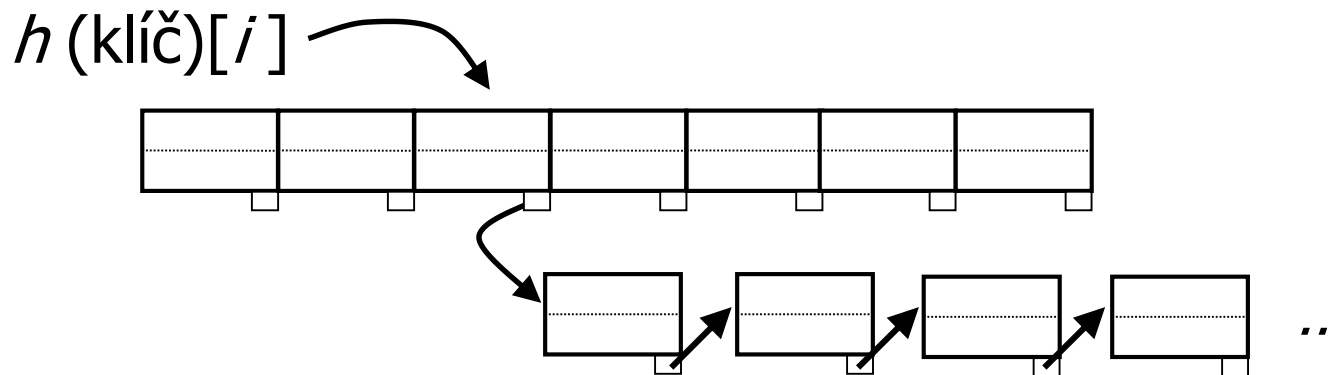
■ Nevýhody

- Přetokové oblasti

Lineární hašování: příklad

- „Chybná“ data

- Posledních x bitů nerozliší klíče



- Jeden kyblík má všechna data, ostatní nic
 - Faktor naplnění vysoký → stále se štěpí

Hašování vs. indexování

■ Hašování

- Vhodné pro přesné dotazy
SELECT ... WHERE a=5

■ Indexování

- Vhodné pro rozsahové dotazy
SELECT ... WHERE a>5

Bitmapový (rastrový) index

- Atribut X má h unikátních hodnot
- Kolekce h bitových polí
 - Pro každou hodnotu je jedno pole
 - Délka pole je počet záznamů (n)
 - = invertovaný soubor
- Vhodné pro atributy s „malým“ počtem hodnot

Bitmapový index: příklad

■ Relace $R(F, G)$

F	G
30	foo
30	bar
40	baz
50	foo
40	bar
30	baz
34	foo
80	baz

■ Bitmapový index pro G

<i>Hodnota</i>	<i>Vektor</i>
foo	10010010
bar	01001000
baz	00100101

Bitmapový index: vlastnosti

■ Nevýhody

□ Paměťová náročnost

- Pokud je klíč primárním klíčem, pak $n(n \log_2 n)$ bitů

□ Aktualizace záznamů

- Nová hodnota → nové bitové pole
- Nový záznam → rozšíření všech polí

■ Výhody

□ Rychlé operace na bitech (AND, OR)

□ Použitelné i pro rozsahové dotazy

□ Snadné kombinace více indexů dohromady

Bitmapový index: komprese

- Zmenšení polí
 - Málo 1, hodně 0
 - Obvykle Run-Length Encoding (RLE)
- RLE
 - Rozdělení na části
 - Sekvence *i nul* následovaná *jedničkou*
 - Číslo *i* uložit binárně
 - Kód části je
„Délka binárního čísla, vlastní číslo“
- Vlastnost
 - Sekvence vždy končí jedničkou
 - Chybějící nuly na konci lze doplnit podle počtu záznamů

Bitmapový index: RLE

■ Příklad komprese – 3 bajty

□ Sekvence: 0000 0000 0000 0110 0010 0000

- 13x nula, 1x jednička
- 0x nula, 1x jednička
- 3x nula, 1x jednička
- 5x nula a nic.... → ignoruji

□ Binárně tedy:

- $13_d \rightarrow 1101_b$
- $0_d \rightarrow 0_b$
- $3_d \rightarrow 11_b$

□ Kód RLE

- Kód: 11101101001011

Bitmapový index: RLE

■ Příklad dekomprese

□ Kód 11101101001011

□ Rozdělení na části a dekomprese...

■ Délka binárního čísla:

□ počet bitů (jednička a pak nula)

■ 11101101001011

□ Dekódování částí

■ 11101101 → 0000 0000 0000 01

■ 00 → 1

■ 1011 → 0 001

□ Výsledná sekvence:

■ 0000 0000 0000 0110 001

■ Chybějící nuly na konci lze doplnit podle počtu záznamů

Bitmapový index: operace

- Bitové operace
 - AND, OR
- RLE řetězce
 - Dekomprimovat → snadné
 - Bez dekomprese
 - Složitější algoritmus, ale možné
 - AND: čísla i v kódech se musí shodovat
 - OR: analogicky...

Bitmapový index: implementace

- Otázky pro efektivní použití:
 1. Nalezení bitového pole pro konkrétní hodnotu klíče
 2. Mám bitové pole, jak načtu záznamy?
 3. Aktualizace záznamů, co s indexem?

Bitmapový index: řešení

- Ad 1: (Nalezení bitového pole pro konkrétní hodnotu klíče)
 - Pro hodnotu klíče máme bitové pole
 - B⁺-strom pro hodnoty klíče
 - V listu odkaz na bitové pole
 - Uložení bitových polí
 - Záznamy variabilní délky
- Ad 2: (Mám bitové pole, jak načtu záznamy?)
 - Nalezení záznamu x (pořadí záznamu)
 - Sekvenční soubor → snadné
 - Sekundární index pro čísla záznamů

Bitmapový index: řešení

- Ad 3: (Aktualizace záznamů, co s indexem?)
 - Čísla záznamů jsou fixní
 - Mazání záznamu
 - náhrobek v souboru a změna 1 na 0 v jednom bitovém poli
 - smazání daného bitu ve *všech* polích
 - Vkládání záznamu
 - přidej na konec souboru (nové číslo záznamu)
 - do správného bitového pole připojit 1
 - pole nemusí existovat, vytvoř nové
 - Čísla záznamů nejsou fixní
 - Reorganizace všech polí
 - Málo používaná verze

Bitmaps -- data

Settings:

```
lineitem ( L_ORDERKEY, L_PARTKEY , L_SUPPKEY, L_LINENUMBER,  
L_QUANTITY, L_EXTENDEDPRICE ,  
L_DISCOUNT, L_TAX , L_RETURNFLAG, L_LINESTATUS ,  
L_SHIPDATE, L_COMMITDATE,  
L_RECEIPTDATE, L_SHIPINSTRUCT ,  
L_SHIPMODE , L_COMMENT );
```

```
create bitmap index b_lin_2 on lineitem(l_returnflag);
```

```
create bitmap index b_lin_3 on lineitem(l_linestatus);
```

```
create bitmap index b_lin_4 on lineitem(l_linenum);
```

- 100000 rows ; cold buffer
- Dual Pentium II (450MHz, 512KB), 512 MB RAM, 3x18GB drives (10000RPM), Windows 2000.

Bitmaps -- queries

Queries:

□ 1 attribute

```
select count(*) from lineitem where l_returnflag =  
    'N';
```

□ 2 attributes

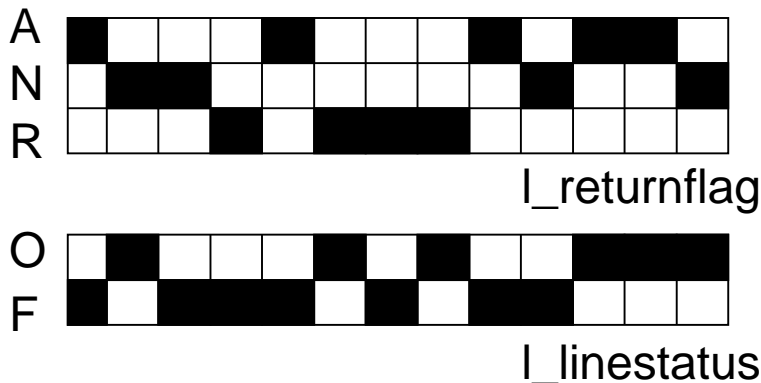
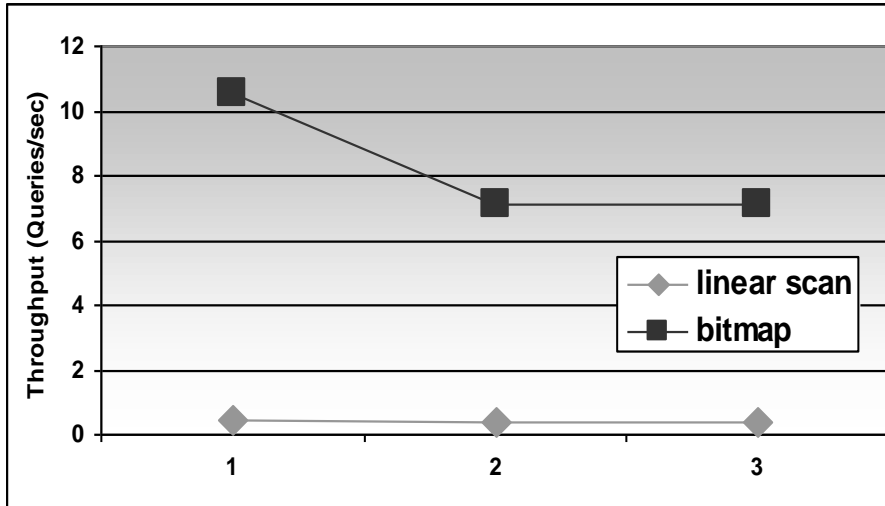
```
select count(*) from lineitem where l_returnflag = 'N'  
    and l_linenumber > 3;
```

□ 3 attributes

```
select count(*) from lineitem where l_returnflag =  
    'N' and l_linenumber > 3 and l_linestatus = 'F';
```

Bitmaps

- Order of magnitude improvement compared to scan.
- Bitmaps are best suited for multiple conditions on several attributes, each having a low selectivity.

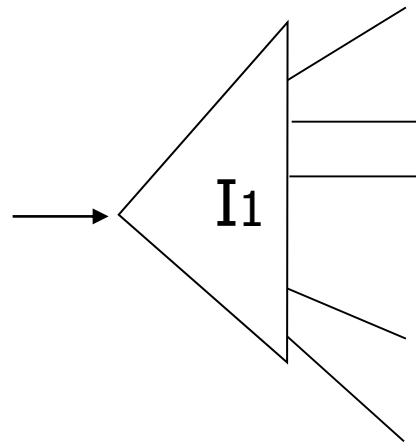


Víceklíčový index

- Index pro více atributů
- Důvod:
SELECT jméno, plat FROM zam
WHERE oddělení='Hračky' AND plat < 10000
- Řešení
 - a) Index pro jeden atribut + filtrování
 - b) Nezávislé indexy pro atributy + průnik vyhovujících
 - c) Index v indexu
 - d) Spojení klíčů v jeden

Index pro jeden atribut

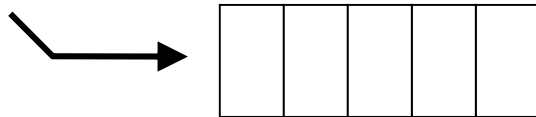
- SELECT jméno, plat FROM zam
WHERE oddělení='Hračky' AND plat < 10000
- Index pro *oddělení*
 - Nalezené záznamy filtruj pomocí *plat < 10000*



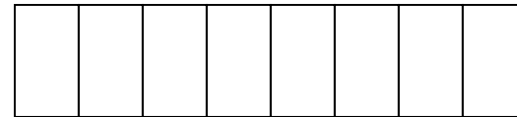
Nezávislé indexy

- Index pro *oddělení*
- Index pro *plat*
- Každý index vrátí seznam kandidátů
 - Průnik seznamů → výsledek dotazu

oddělení='Hračky'



plat < 10000

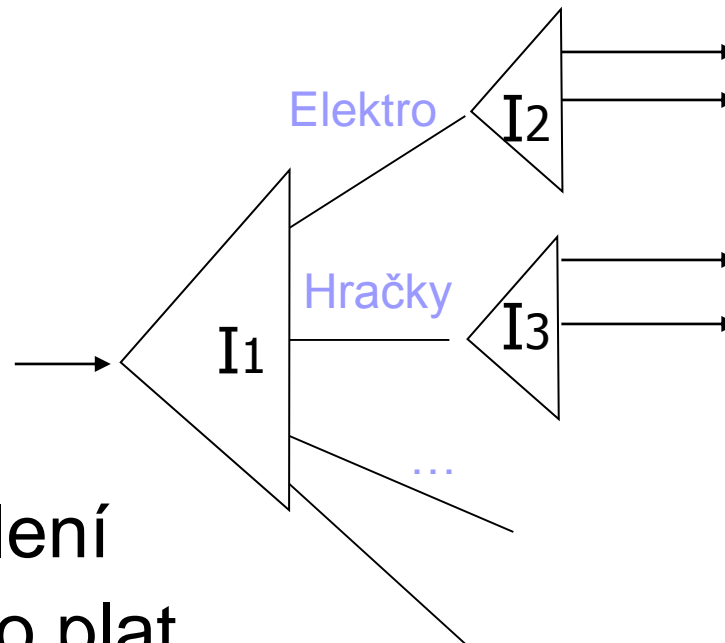


bucket with record pointers

Index v indexu

- Index pro první atribut

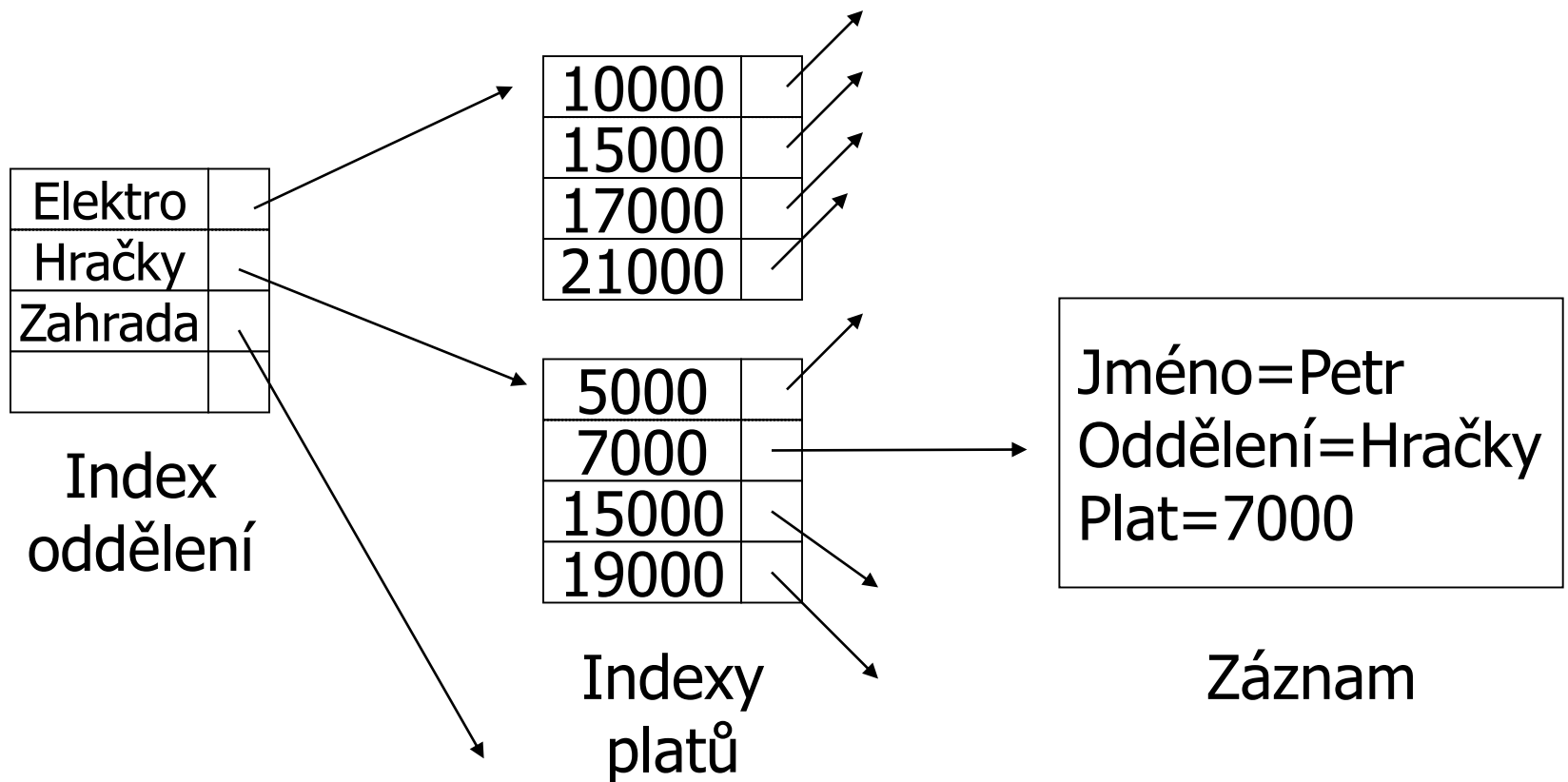
- V listu je odkaz na index pro druhý atribut



- I_1 pro oddělení
 - $I_x, x=2..k$ pro plat
 - I_2 obsahuje pouze záznamy se stejným oddělením (Elektro)

Index v indexu: příklad

- SELECT jméno, plat FROM zam
WHERE oddělení='Hračky' AND plat < 10000

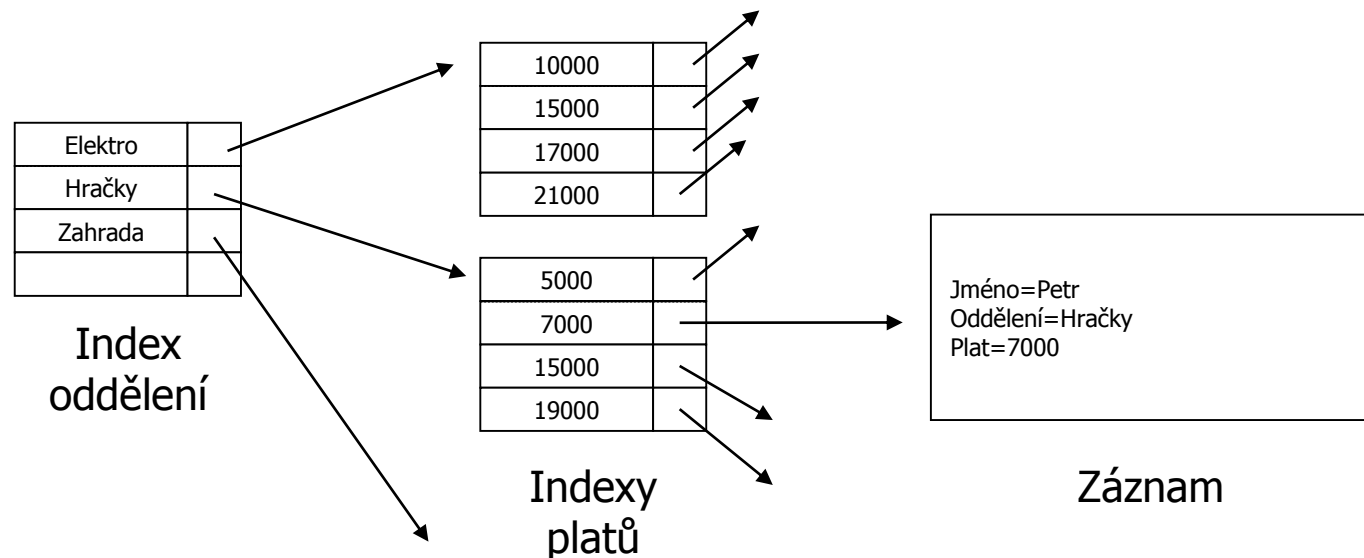


Index v indexu

■ Pro které dotazy je použitelný?

□ SELECT jméno, plat FROM zam WHERE

- a) oddělení = 'Hračky' AND plat ≥ 10000
- b) oddělení = 'Hračky'
- c) plat = 10000



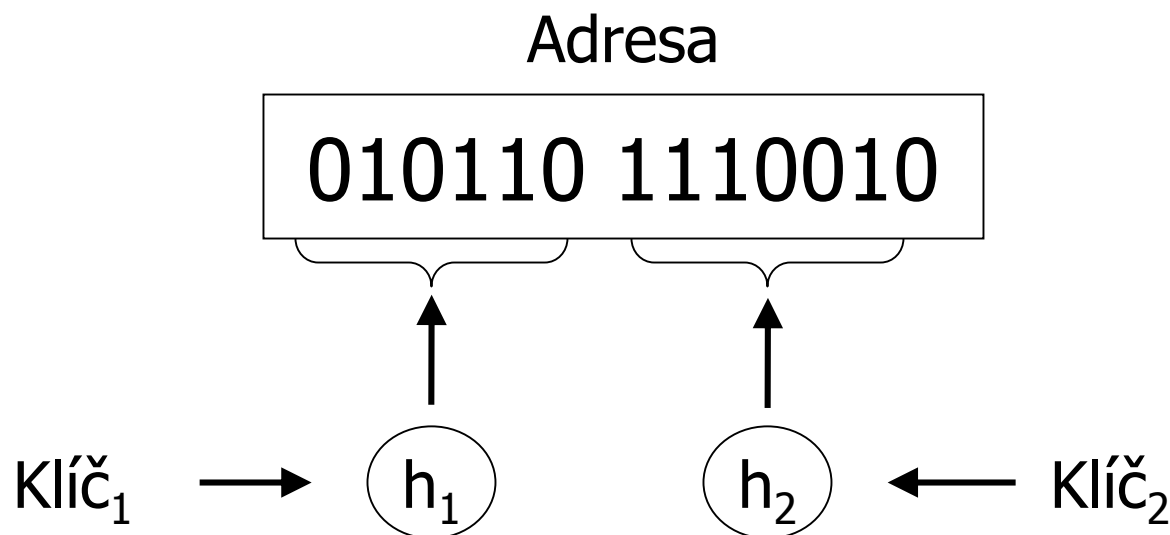
Spojení klíčů v jeden

- Podobné indexu pro jeden klíč
 - Hodnota klíče je spojená
 - Spojení řetězců, kombinace čísel, ...
- V indexování
 - příliš se nepoužívá
- V hašování
 - dělená hašovací funkce
(Partitioned hash function)

Dělená hašovací funkce

■ Idea:

- Dva klíče
- Dvě hašovací funkce
- Jedna adresa



Dělená hašovací funkce: příklad

■ Oddělení

$h_1(\text{Elektro}) = 0$

$h_1(\text{Hračky}) = 1$

$h_1(\text{Zahrada}) = 1$

■ Plat

$h_2(10000) = 01$

$h_2(20000) = 11$

$h_2(30000) = 10$

$h_2(40000) = 00$

■ Záznamy k vložení

□ $\langle \text{Petr}, \text{Elektro}, 10000 \rangle$

□ $\langle \text{Jan}, \text{Hračky}, 10000 \rangle$

□ $\langle \text{Alice}, \text{Zahrada}, 30000 \rangle$

000	
001	$\langle \text{Petr}, \text{Elektro}, 10000 \rangle$
010	
011	
100	
101	$\langle \text{Jan}, \text{Hračky}, 10000 \rangle$
110	$\langle \text{Alice}, \text{Zahrada}, 30000 \rangle$
111	

Dělená hašovací funkce: příklad

■ Oddělení

$h_1(\text{Elektro}) = 0$

$h_1(\text{Hračky}) = 1$

$h_1(\text{Zahrada}) = 1$

■ Plat

$h_2(10000) = 01$

$h_2(20000) = 11$

$h_2(30000) = 10$

$h_2(40000) = 00$

000	<Pavel,...> <Lukáš,...>
001	<Petr,...>
010	<Marie,...>
011	
100	<Anna,...>
101	<Jan,...>
110	<Alice,...>
111	<Veronika,...>

■ Najdi

- zaměstnance z oddělení hraček a platem 40000.

Dělená hašovací funkce: příklad

■ Oddělení

$h_1(\text{Elektro}) = 0$

$h_1(\text{Hračky}) = 1$

$h_1(\text{Zahrada}) = 1$

■ Plat

$h_2(10000) = 01$

$h_2(20000) = 11$

$h_2(30000) = 10$

$h_2(40000) = 00$

000	<Pavel,...> <Lukáš,...>
001	<Petr,...>
010	<Marie,...>
011	
100	<Anna,...>
101	<Jan,...>
110	<Alice,...>
111	<Veronika,...>

■ Najdi

zaměstnance s platem 30000

Dělená hašovací funkce: příklad

■ Oddělení

$h_1(\text{Elektro}) = 0$
 $h_1(\text{Hračky}) = 1$
 $h_1(\text{Zahrada}) = 1$

■ Plat

$h_2(10000) = 01$
 $h_2(20000) = 11$
 $h_2(30000) = 10$
 $h_2(40000) = 00$

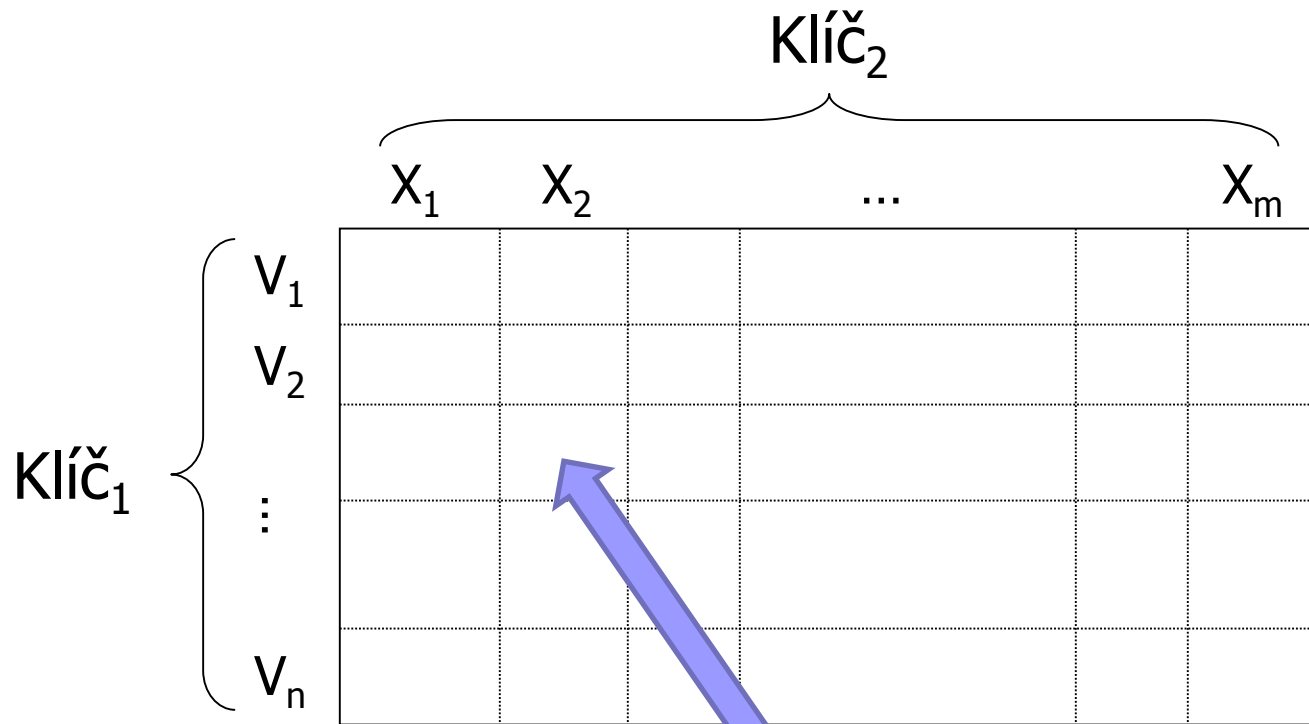
■ Najdi

zaměstnance z oddělení hraček

000	<Pavel,...> <Lukáš,...>
001	<Petr,...>
010	<Marie,...>
011	
100	<Anna,...>
101	<Jan,...>
110	<Alice,...>
111	<Veronika,...>

Jiný víceklíčový index

- Grid (mřížka)
- Idea:



Záznamy s $klíč_1 = V_3, klíč_2 = X_2$

Grid: vlastnosti

■ Rychlé pro přesné dotazy

□ klíč₁ = V_i \wedge klíč₂ = X_j

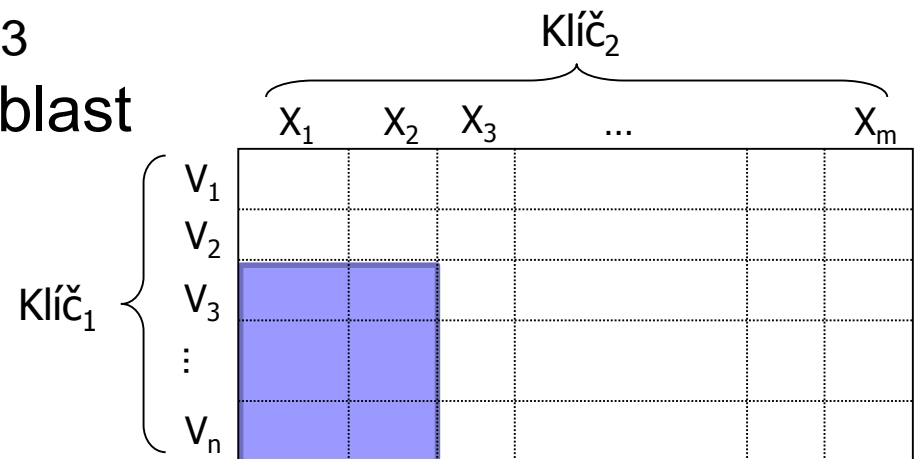
□ klíč₁ = V_i

□ klíč₂ = X_j

■ Rozsahové dotazy

□ klíč₁ $\geq V_3$ \wedge klíč₂ $< X_3$

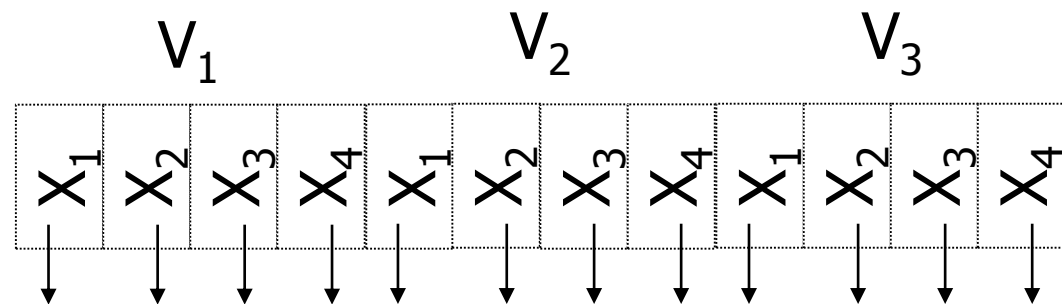
- Vznikne čtvercová oblast



Grid: implementace

- Jak ukládat mřížku na disku?

- Jako pole



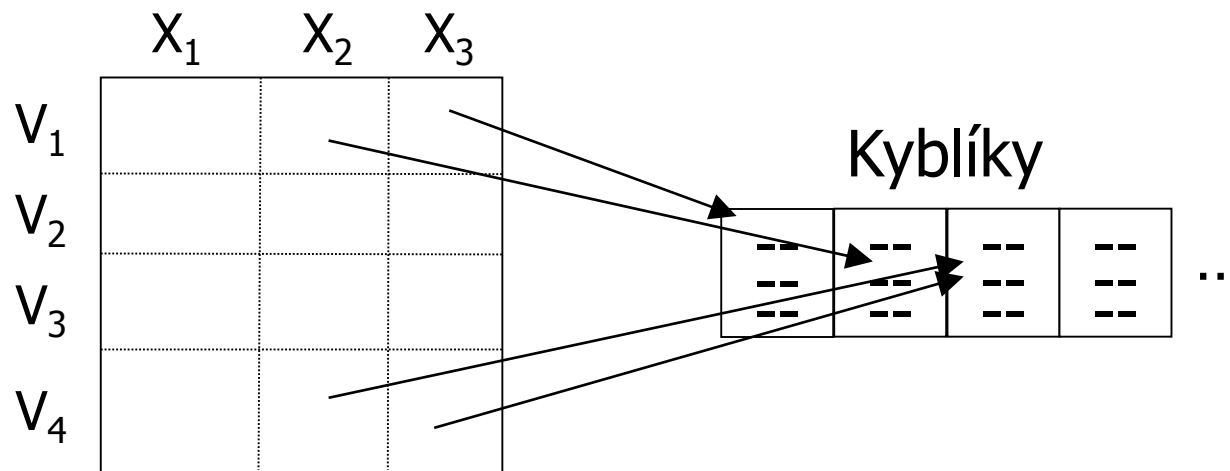
- Problém: rozměr mřížky vs. velikost buňky

- Nevýhoda

- Potřeba pevného rozměru mřížky pro výpočet indexu políčka $\langle V_x, X_y \rangle$ v poli.
 - Omezená velikost buňky

Grid: implementace

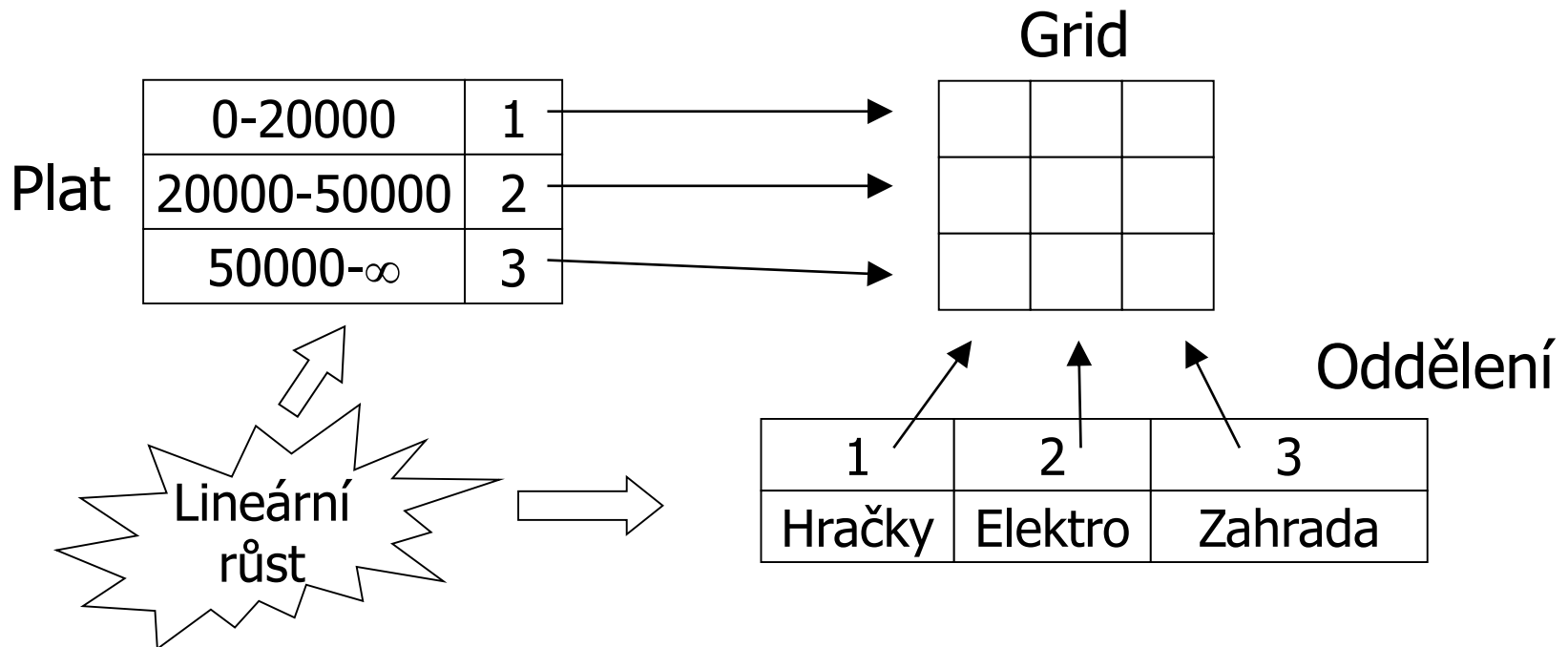
- Použití kyblíků, tj. nepřímé adresování
 - Buňka mřížky odkazuje na kyblík



- Nyní je mřížka pevné velikosti
 - Ovšem přibyla režie s odkazy

Grid: definice mřížky

- Analýzou dat a požadavků na hledání
 - Zjistíme rozměry mřížky
 - Hodnota osy mřížky může být i interval
 - Např. číselné domény



Grid index: hodnocení

■ Výhody

- Vhodné pro víceklíčové indexy

■ Nevýhody

- Mřížka je pevná, zabírá místo
 - Řešením může být hierarchický grid
- Volba rozsahů mřížky → rovnoměrné rozdělení dat