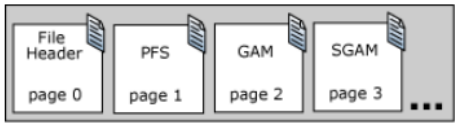
Fyzická implementácia DB, B-stromy a indexy

1) Súbory
2) Stránka, jej typy a indexy
3) Klastrový a neklastrový index
4) B-strom
5) Návrh indexov
(6) Príklady: ZS)

1) Súbory C:\Program Files\Microsoft SQL Server\MSSQL12.SQLEXPRESS\MSSQL\DATA

SQL Server mapuje DB na systémové súbory.
SQL Server rozlišuje 3 typy súborov:
- **primárny dátový** súbor - *.**mdf**
  - každá DB ma iba jeden
  - ukazuje na ďalšie súbory + master DB
- **sekundárny dátový** súbor - *.**ndf**
- **Log** súbor - *.**ldf**
  - slúži na obnovenie DB po transakcii

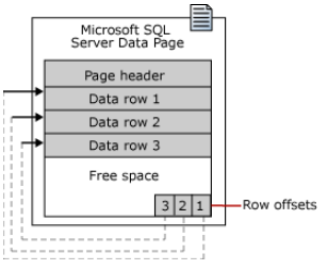
Dátové súbory majú prísnu štruktúru a obsahujú: header, PFS(page free space), GAM(global allocation map), …



Ukážkové T-SQL príkazy:

```
DBCC fileheader (Poliklinika)
DBCC IND('Poliklinika',Navstevy,-1) -- _____
DBCC TRACEON(3604); DBCC PAGE('Poliklinika',1,143,3) WITH TABLERESULTS --vykonat spolu
```

2) Stránka, jej typy a indexy



Tabuľky a indexy sú uložené ako kolekcia 8-KB stránok.

Stránka - Page
- je základná jednotka ukladania dát (tabuliek a indexov)
- operacie I/O sú vykonané pomocou stránok
- 1 page = 8kb.
- stránka začína hlavičkou za ktorou nasledujú seriovo riadky
- 8 typov strán - dáta, indexy, image/text, info o voľných miestach + 4 ďalšie

Extent je skupina ôsmich logicky susediacich stránok (1 extent obsahuje 8 * 8 KB). Ak stránka je plná a príde nový záznam, *riadok*, preňho sa vytvorí nová stránka.

Index v knihách je zoznam dvojíc - dôležitých pojmov a čísiel strán - v abecednom poradí umiestnený na konci knihy. Index zrýchli vyhľadávanie pojmov.
Indexy v DB tiež slúžia na rýchle vyhladávanie záznamov, riadkov tabuľky.

a) Indexový súbor/indexová tabuľka je v podstate **zoznam s dvomi poliami**: prvé pole je **index ⇔ kľúč** a druhé pole môže byť dvojaké: buď obsahuje samotný záznam alebo smerník na blok dátového súboru, kde sú záznamy s príslušnou hodnotou indexového poľa. Indexový súbor je oveľa **menší** ako dátový súbor.

Rozlišujeme klastrový a neklastrový index, pozri nižšie.
klastrový index ⇔ zotriedený index aj fyzicky iba indexová tabuľka
Tabuľka s klastrovým indexom by teoreticky mohla byť aj zoradená, ale z optimalizačných dôvodov nie sú.

b) Dátové tabuľky
Dátové stránky tabuľky môžu byť organizované ako
- klastrové tabuľky s klastrovým indexom (B-stromy)
alebo
- HEAP tabuľky (halda) bez klastrového indexu
Kým klastrové tabuľky sú zoradené, halda je bez zoradenia.

3) Klastrový a neklastrový index
- Ak tabuľka obsahuje *klastrový index*, potom dáta (presnejšie údajové stránky) sú v listových uzloch alebo na listovými smerníkmi presmerovaných miestach. Tabuľka môže mať iba **jeden** kl.index.

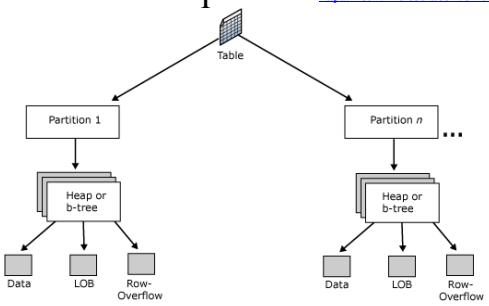
- *Neklastrový index* je tiež organizovaný ako B-strom, ale
  - v listových uzloch sú indexové stránky namiesto údajových stránok.

Tabuľka môže mať až 249 neklastrových indexov. Indexové stránky obsahujú indexové riadky, každý z ktorých sa skladá z kľúča a z **lokátora** riadku.

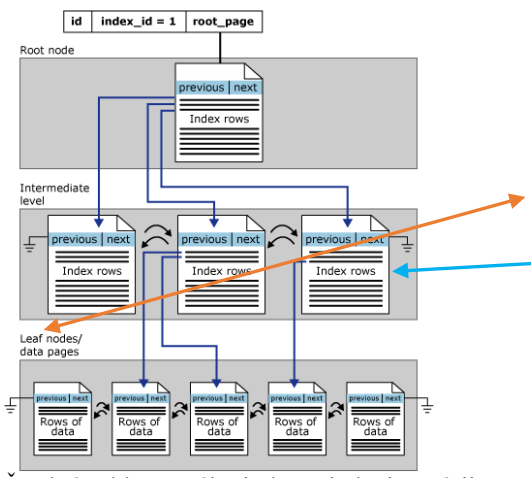
Neklastrový index môže byť definovaný na
- tabuľke alebo view s klastrovým indexom, potom **lokátor** je **kľúč** klastrového indexu na dátový riadok
- halde, potom **lokátor** je **ukazovateľ**/pointer na dátový riadok.

Partícia je horizontálne rozdelenie tabuľky alebo indexu (ich riadkov) do menších jednotiek, definovaných užívateľom! (MS SQL Server 2005 Enterprise, Developer editions!). Vďaka partície veľké tabuľky a indexy sa chovajú optimálnejšie.

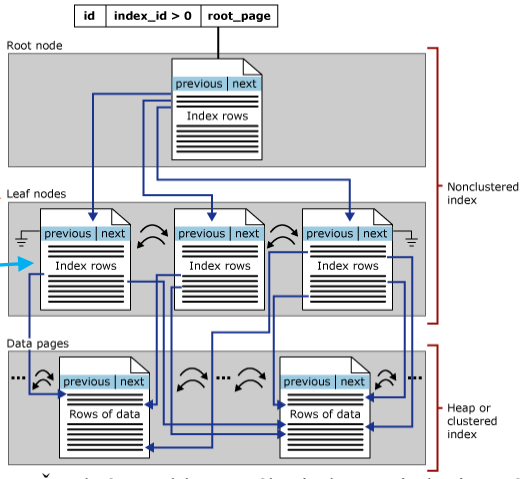
- tabuľka => partície http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms188706(SQL.90).aspx



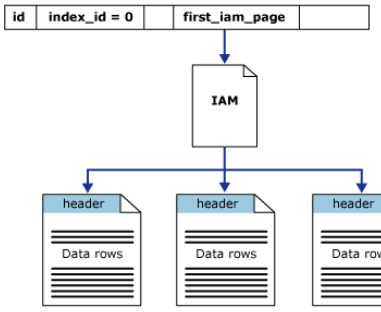
- partícia: riadky => pages – klastrová tabuľka s klastrovým indexom
– heap (halda) tabuľka bez kl. indexu

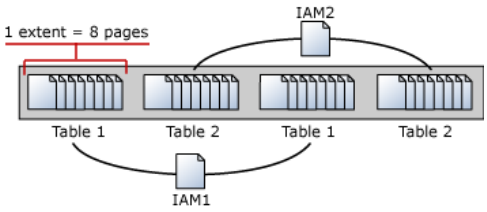


Štruktúra klustrového index v jednej partícii.
http://msdn.microsoft.com/en-US/library/ms177443(v=sql.90).aspx



Štruktúra neklastrového indexu v jednej partícii.
http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms177484(v=sql.90).aspx





SQL Server používa IAM (Index Allocation Map) stránky na získanie dátových riadkov v jednej **heap** partícii. http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms188270(v=sql.90).aspx http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms187501(SQL.90).aspx

4) B-stromy
- Strom
- B-strom
- Výška B-stromu
- Operácie na B-stromoch

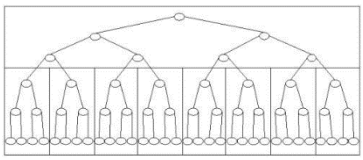
Terminológia **stromu**

Strom je tvorený **uzlami**/vrcholmi a hranami. Rozlišujeme **3 typy** uzlov:

- koreňový
- vnútorný, nelistový
- vonkajší, listový

Každý uzol, okrem koreňa má jeden **rodičovský** uzol a niekoľko – nula a viac – **potomkov**.

Hĺbka, výška uzla je vždy o jeden viac ako úroveň rodičovského uzla, pričom úroveň koreňa je nula. **Podstrom** uzla sa skladá z uzla a všetkých jeho potomkov.

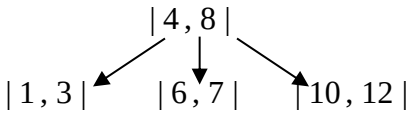


Binárny strom rozdelený na "stránky" (po 7 uzlov):

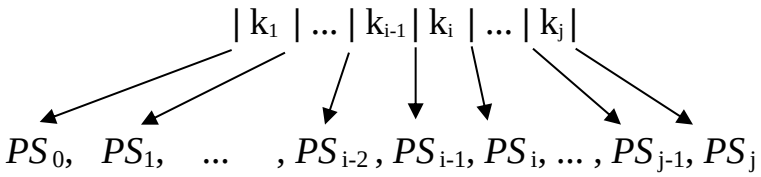
B-strom

B-strom je stromová dátová štruktúra, vhodná na ukladanie a čítanie veľkých celkov dát a zabezpečuje vyhľadanie, vkladanie a vymazanie za **logaritmický čas**. B-strom zaviedol Bayer (1972) a McCreight.

Schematicky B-strom vyzerá nasledovne



Každý interný uzol v **B-strome** má tvar



alebo

$$< p_1, k_1, \dots , p_{i-1}, k_{i-1}, p_i, \dots , p_I, k_I, p_{I+1} >$$

kde p_i je smerník (šípka) na iný uzol v strome / podstrom / PS_i, k_i je hodnota kľúča, *I* je počet kľúčov / prvkov k_i v uzle, i=1,2,…,I a I=1,2,…,m-1, kde m je rád stromu.

Definícia B-stromu ():

B-strom rádu *m* je strom s vlastnosťami:

1) Koreň buď má aspoň **dvoch potomkov** alebo je **list**.

2) Každý vnútorný uzol má rovnaký počet potomkov - **minimálne** $\lceil m/2 \rceil$ a **maximálne** *m* potomkov.

3) Vnútorný uzol s *j+1* potomkami obsahuje *j* kĺúčov/prvkov.

4) Kľúče v uzle sú usporiadané

$$k_1 < \dots < k_{i-1} < k_i < \dots < k_j.$$

5) Pre kľúče *podstromo* v_{j-1} *a* v_j platí:

$$k_{j-1} < k < k_j .$$

6) Každý list je v **tej istej hĺbke** od koraňa.

B-stromy rádu 4 sú známe ako 2-3-4 stromy (pozri obr. v dôkaze nižšie).

Výška/Hĺbka B-stromu
Počet operácií v B-strome je proporcionálny k hĺbke stromu, ktorá rastie pomaly.

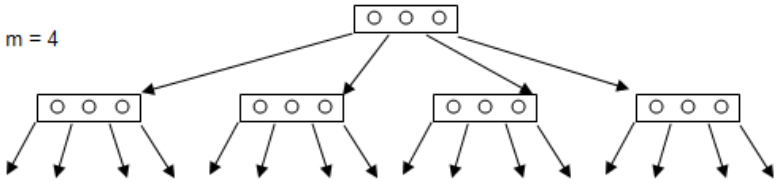
Veta

Úplny B-strom rádu m ≥ 2 s $n \geq 1$ prvkami má hĺbku

$$h = \log_m(n+1) - 1.$$

Dôkaz:

Vieme, že *m* zadá maximálny počet potomkov a *m-1* zadá max. počet prvkov.



Hlbka	Pocet uzlov	Pocet prvkov
0	1	1(m-1)
1	m	m(m-1)
2	m^2	m^2 (m-1)

Teda pre maximálny počet prvkov *n* až do hlbky *h* platí:

$$n = (m-1)\,\Sigma_{i=0}^{h}\, m^i = (m-1)(m^{h+1}-1)/(m-1) = m^{h+1}-1$$

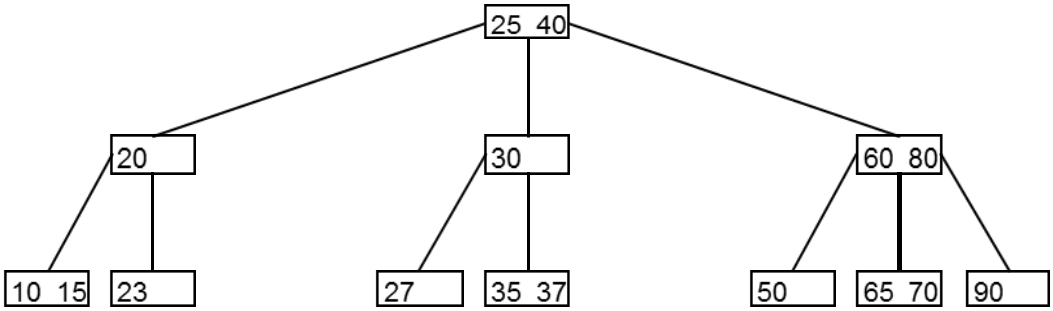
z čoho po logaritmovaní oboch strán a algebraických úprav plynie: $h = \log_m(n+1) - 1$.

Základné operácie na B-stromoch

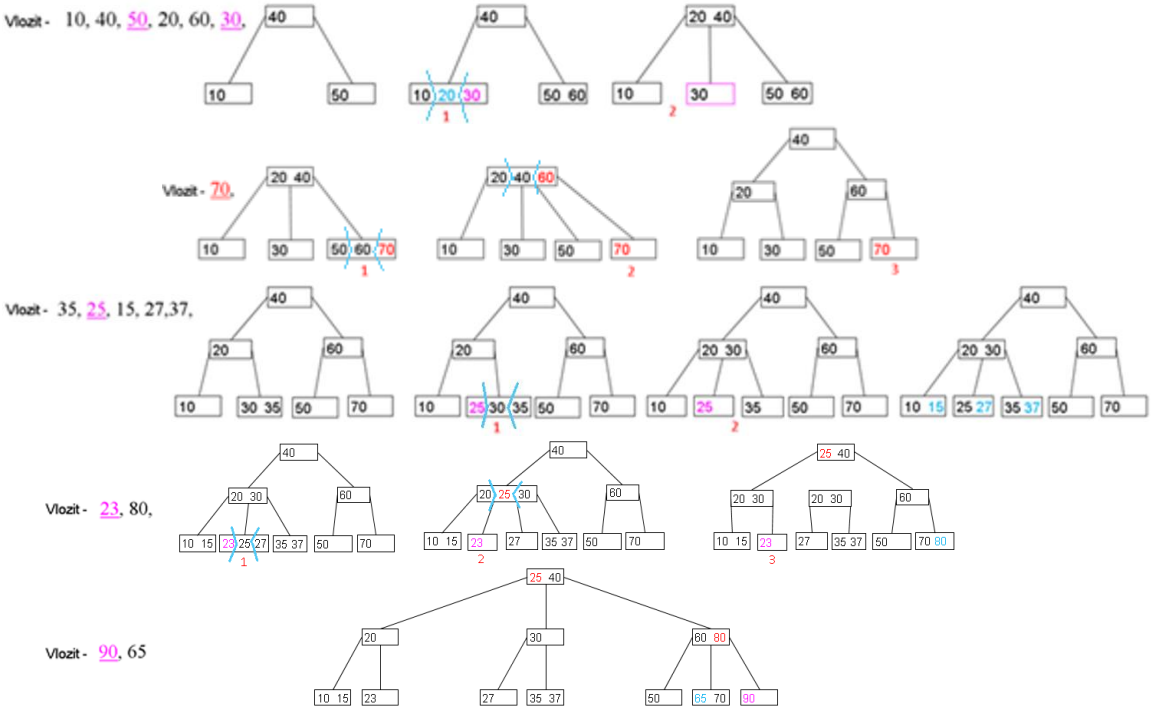
- Vyhľadávanie
- Vkladanie – po zlúčení (1) stredný hore a štiepime (2,3) - pozri na obr. 1, 2, 3
  V kroku stredný hore sa počet prvkov horného uzla zväčší o jeden, preto musí nasledovať buď ďalší hore alebo štiepenie
- Vymazávanie – štiepime alebo zlučujeme

Vkladanie B_3:

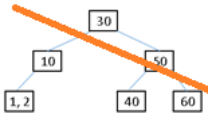
10, 40, 50, 20, 60, 30, 70, 35, 25, 15, 27,37, 23, 80, 90, 65

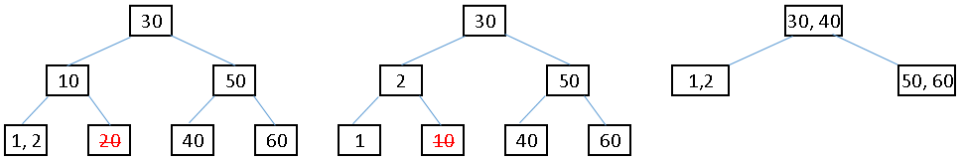


Postup (pozri 1, 2, 3)

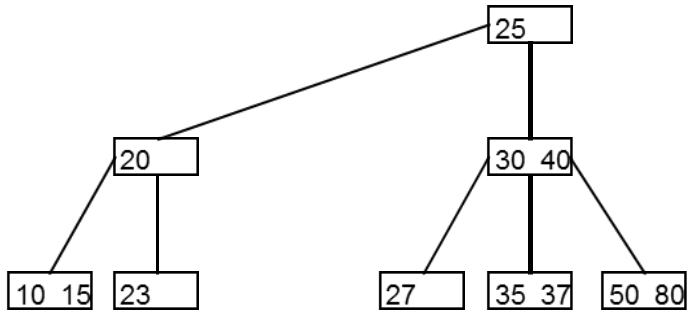


Vymazávanie B_3: (pozri def.)

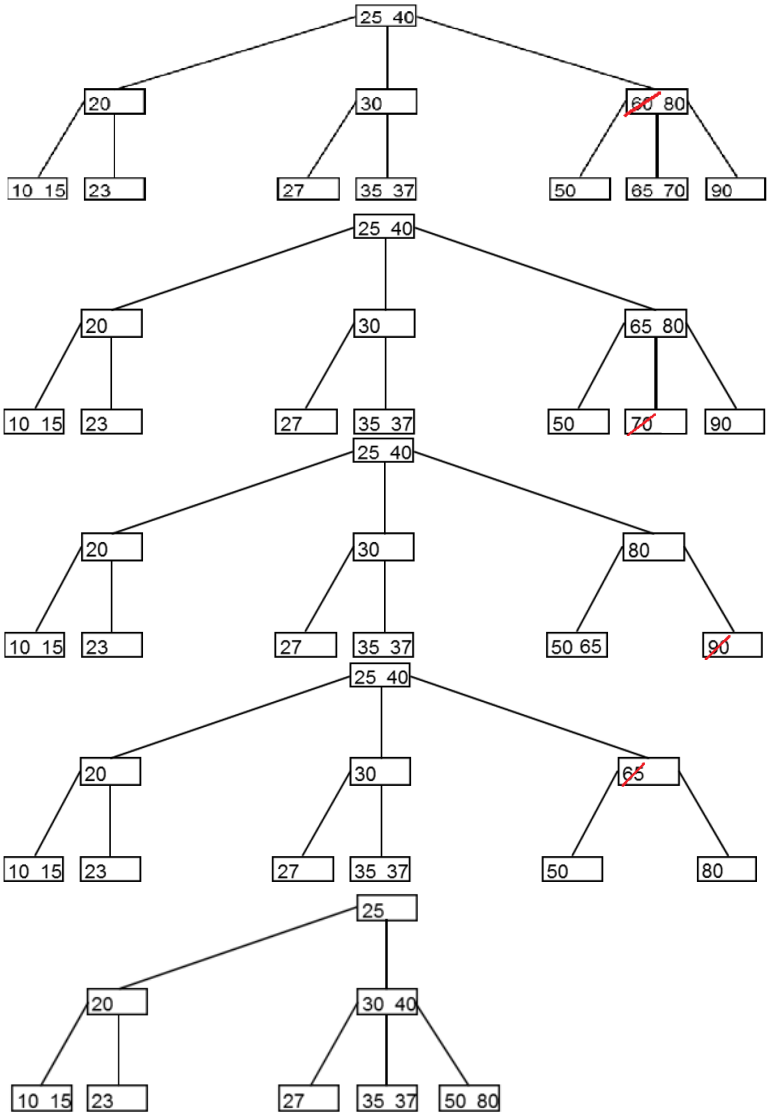




Vymazávanie 60, 70, 90, 65



Postup



5) Návrh indexov
Indexovať?

Význam indexu
- výhody
- nevýhody (pozri priklady)

Návrh indexu
Výber indexu a jeho typu treba dôkladne premyslieť. Existujú všeobecné odporúčania, kedy (ne)použiť index a aký typ. SQL Server má index-tuning system: Database Tuning Advisor (DTA).

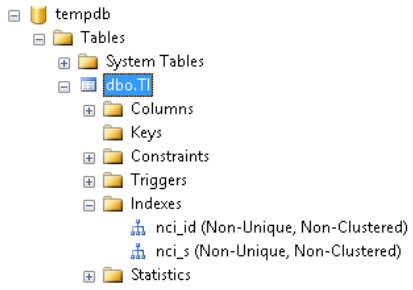
Dobrý index
- ak tabuľka je viac dopytovaná ako modifikovaná
- stĺpce, ktoré nie sú často modifikované
- stĺpec/ce s cudzím kľúčom
- stĺpec, ktorý má veľa odlišných hodnôt
- stĺpce vo WHERE klauzule
- dopyty s order by / join / agregačné

Zlý index
- ak tabuľka je viac modifikovaná ako dopytovaná
- tabuľka s malým počtom riadkov
- stĺpec, ktorý má málo odlišných hodnôt
- stĺpec, ktorý sa v dopyte nepoužíva
- stĺpce s dátovými typmi: text, ntext, image, a bit

Treba mať na pamäti, že ak index sa skladá z viacerých atribútov, potom pri vkladaní nových riadkov alebo modifikovaní daných stĺpcov prebieha viac dodatočných úkonov, súvisiacich s údržbou indexu.

6) Príklady

Prezerať napr. tempdb - Tables - T1 - Keys & Indexes:
https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms188783.aspx



Názvy indexov:
- pki – PRIMARY KEY index – nedá sa drop-núť
- ci - CLUSTERED (klastrový) index
- nci - NONCLUSTERED (neklastrový) index

Typy a spôsoby vytvorenia indexov

Nižšie uvedieme rôzne možnosti definície klastrových či neklastrovýxh indexov s generovanými či vlastnými názvami.

Rôzne scenáre

a) Žiadny index
b1) PRIMARY KEY => CLUSTERED index
 Nedá sa DROP-núť pki, iba ci a nci:
 TYPY objektov a indexov: sys.objects, sys.indexes
 Dátum vytvorenia:
b2) CLUSTERED - sys.indexes <=> sysindexes
c1) NONCLUSTERED
c2) **Default** - NONCLUSTERED

```
USE tempdb
GO

IF OBJECT_ID('TI0','U') IS NOT NULL DROP TABLE TI0;
GO
-- a) Tab. bez indexu
CREATE TABLE TI0(id int, s CHAR(10))

-- b1) primary key => clustered index
-- Bez nazvu
IF OBJECT_ID('TI1','U') IS NOT NULL DROP TABLE TI1;
GO
CREATE TABLE TI1(
  id int NOT NULL primary key,
  s CHAR(10)) -- bez nazvu

-- S nazvom
IF OBJECT_ID('TI2','U') IS NOT NULL DROP TABLE TI2;
GO
CREATE TABLE TI2(
  id int NOT NULL,
  s CHAR(10),
CONSTRAINT pki_TI2 primary key (id) ) -- s nazvom

-- Neda sa DROP-nut:
IF EXISTS (SELECT name FROM sys.indexes WHERE OBJECT_ID=OBJECT_ID('TI2')
       AND    name = 'pki_TI2' )
DROP INDEX TI2.pki_TI2;
GO

--b2) CLUSTERED cez NOT EXISTS: sys.indexes <=> sysindexes
---- CREATE CLUSTERED INDEX ind_id ON TI(id) <=>
---- CREATE INDEX ind_s ON TI(s) -- default NONCLUSTERED

-- PK nie, CI ano
IF OBJECT_ID('TI3','U') IS NOT NULL DROP TABLE TI3;
CREATE TABLE TI3(id int, s CHAR(10))
GO
IF NOT EXISTS (SELECT name FROM sys.indexes WHERE name = 'ci_TI3')
     CREATE CLUSTERED INDEX [ci_TI3] ON TI3(id)
```

```
-- Pomocou EXISTS a DROP:
IF OBJECT_ID('TI4','U') IS NOT NULL DROP TABLE TI4;
CREATE TABLE TI4(id int, s CHAR(10))
GO
IF EXISTS (SELECT name FROM sys.indexes WHERE OBJECT_ID=OBJECT_ID('TI4')
                                        AND     name = 'ci_TI4' )
DROP INDEX TI4.ci_TI4;
CREATE CLUSTERED INDEX [ci_TI4] ON TI4(id)

-- c1-c2) Dva NONCLUSTERED na dva stlpce – raz unique:
IF OBJECT_ID('TI5','U') IS NOT NULL DROP TABLE TI5;
CREATE TABLE TI5(id int, s CHAR(10))
GO
IF NOT EXISTS (SELECT name FROM sys.indexes WHERE name = 'nci_id5')
CREATE UNIQUE NONCLUSTERED INDEX [nci_id5] ON TI5(id)
IF NOT EXISTS (SELECT name FROM sys.indexes WHERE name = 'nci_s5')
CREATE  INDEX [nci_s5] ON TI5(s) -- default je NONCLUSTERED
```

Výhody jedinečného/unique indexu

- Viacstĺpcové jedinečné indexy zaručujú, že žiadne dva riadky v tabuľke nemôžu mať rovnakú kombináciu hodnôt pre tieto stĺpce.
- Jedinečné indexy zabezpečujú integritu údajov definovaných stĺpcov.
- Jedinečné indexy poskytujú dodatočné informácie užitočné pre **optimalizátor** dotazov, ktorý môže vytvárať efektívnejšie plány vykonávania.

Cvičenie

Na cvičení ukážeme z rôznych hľadísk, ako vplýva index na čas vykonania ...

Definícia:

0_index_Create.sql

Nevýhoda:

1_CrInd_Insert__Insert_CrInd.sql

Uloženie:

2_ClIndex_Ukladanie.sql

Výhoda – hľadanie:

3a_RAND_SEED_KERNEL.sql

3b_Search_RandTab.sql

3c_Search.sql