Indecși

SEMINAR 5

Introducere

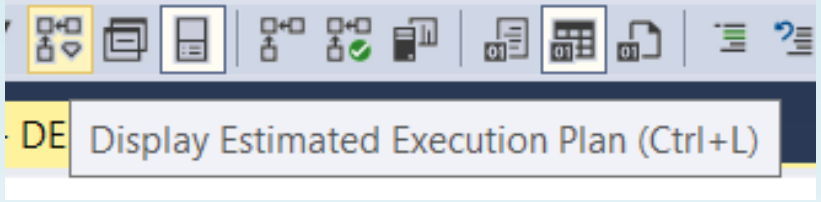
- Pentru a putea executa o interogare, **SQL Server Database Engine** trebuie să analizeze interogarea pentru a determina o modalitate eficientă de a accesa datele necesare și de a le procesa
- Această analiză este gestionată de o componentă numită **Query Optimizer**
- Datele de intrare pentru Query Optimizer constau în interogare, schema bazei de date (definițiile tabelului și ale indecșilor) și *database statistics*
- Query Optimizer construiește unul sau mai multe planuri de execuție, uneori denumite planuri de interogare (query plans) sau planuri de execuție (execution plans)
- Query Optimizer alege un plan de interogare folosind un set de euristici pentru a echilibra timpul de compilare și optimalitatea planului cu scopul de a găsi un plan de execuție bun

Introducere

- Planurile de execuție afișează grafic metodele de recuperare a datelor alese de SQL Server Query Optimizer
- Planurile de execuție reprezintă costul de execuție al anumitor instrucțiuni și interogări din SQL Server folosind pictograme în loc de reprezentarea tabelară produsă de instrucțiunile SET SHOWPLAN_ALL sau SET SHOWPLAN_TEXT
- Această abordare grafică este utilă pentru înțelegerea caracteristicilor de performanță ale unei interogări
- Deși SQL Server Query Optimizer produce un singur plan de execuție, există conceptul de **plan de execuție estimat**, **plan de execuție real** și **statistici live ale interogărilor**

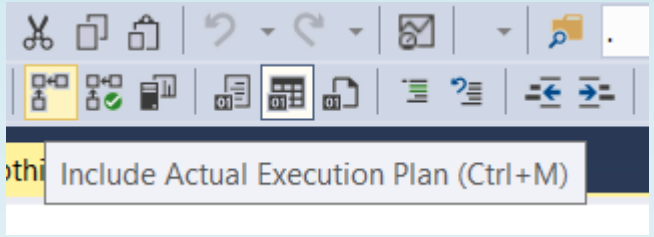
Plan de execuție estimat (estimated execution plan)

- Un **plan de execuție estimat** returnează planul compilat așa cum este produs de Query Optimizer, pe baza estimărilor
- Acesta este planul de execuție stocat în *plan cache*
- Producerea planului de execuție estimat nu execută de fapt interogarea sau batch-ul și, prin urmare, nu conține nicio informație din timpul execuției, cum ar fi indicatori de utilizare reală a resurselor sau avertismente din timpul execuției
- Pentru a afișa **planul de execuție estimat** în Microsoft SQL Server Management Studio, bifați căsuța **Display Estimated Execution Plan** sau apăsați combinația de taste **Ctrl + L**:



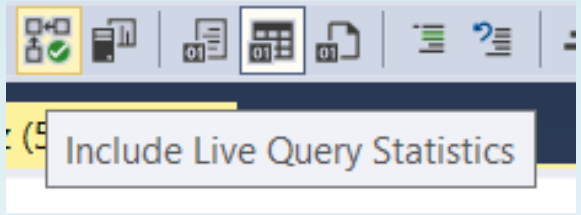
Plan de execuție real (actual execution plan)

- Un **plan de execuție real** returnează planul compilat plus contextul său de execuție
- Acesta devine disponibil după finalizarea execuției interogării
- Acest plan include informații reale din timpul execuției, cum ar fi avertismentele de execuție, iar în versiunile mai noi ale SQL Server Database Engine, timpul scurs și timpul CPU utilizat în timpul execuției
- Pentru a afișa **planul de execuție real** în Microsoft SQL Server Management Studio, bifați căsuța **Include Actual Execution Plan** sau apăsați combinația de taste **Ctrl + M**:



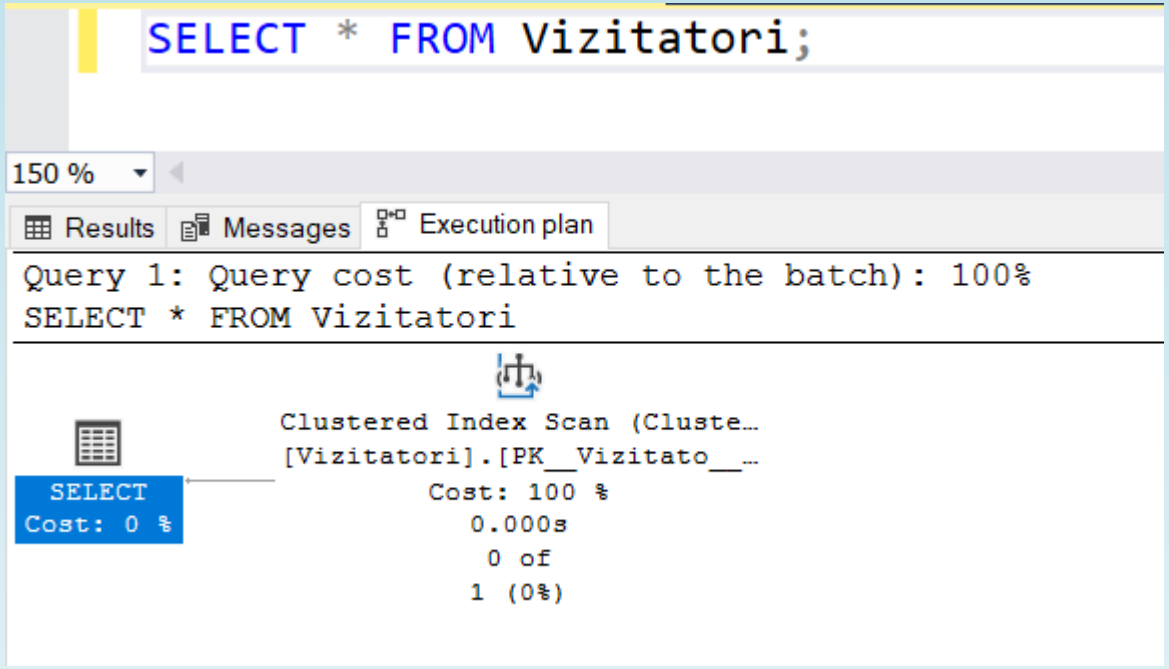
Statistici live ale interogărilor (live query statistics)

- **Live Query Statistics** returnează planul compilat plus contextul său de execuție
- Acest plan este disponibil pentru interogările aflate în execuție și este actualizat în fiecare secundă
- Acestea includ informații din timpul execuției, cum ar fi numărul real de înregistrări care trec prin operatori, timpul scurs și progresul estimat al interogării
- Această opțiune nu este disponibilă în Azure Data Studio
- Pentru a afișa statistici live ale interogărilor în Microsoft SQL Server Management Studio, bifați căsuța **Include Live Query Statistics**:



Afișarea planului real de execuție

- Pentru a verifica planul de execuție real al unei interogări, ne asigurăm că este activată căsuța **Include Actual Execution Plan,** iar apoi vom executa interogarea:

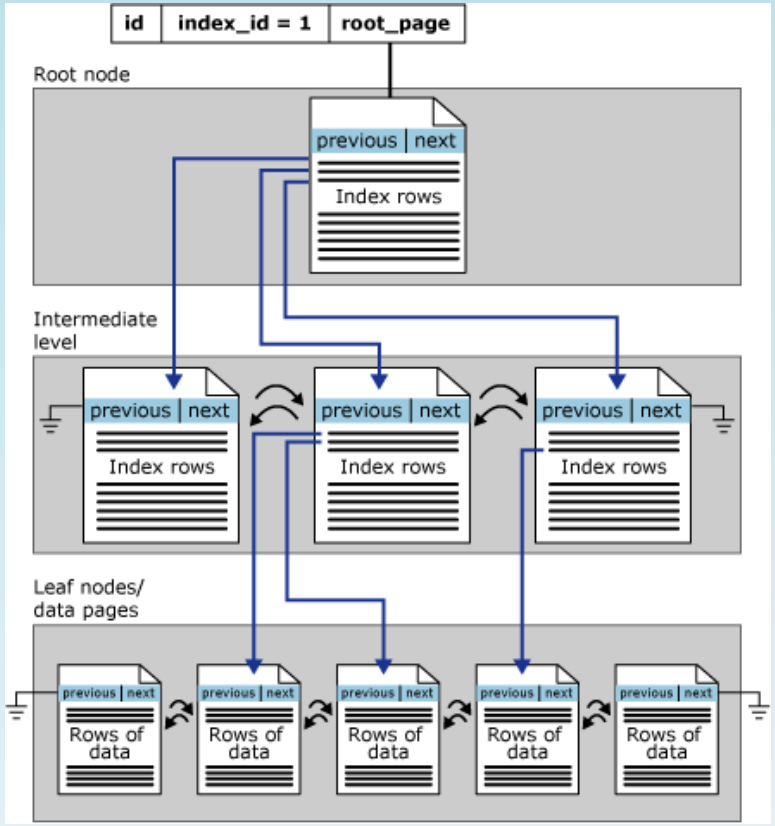


Indecși

- Un index este o structură *on-disk* asociată unui tabel sau unui view care crește viteza de returnare a înregistrărilor
- Alegerea corectă a indecșilor îmbunătățește performanța
- Alegerea incorectă a indecșilor generează probleme de performanță
- Indecșii sunt definiți pentru a localiza mai rapid înregistrările care urmează să fie returnate
- Dacă **nu** este definit un index, SQL Server verifică fiecare înregistrare din tabel pentru a determina dacă ea conține sau nu informația necesară interogării (*table scan*)

Indecși

- Indecșii sunt organizați ca **B+ trees**



Caracteristici ale indecșilor

- **Clustered** / **nonclustered**
- **Unique** / **non-unique**
- **Single column** / **multi-column**
- Ordine **crescătoare** / **descrescătoare** pe coloanele din index
- **Full-table** / **filtered** pentru indecșii **nonclustered**

Indecși: clustered vs nonclustered

- Indexul **clustered** definește ordinea fizică în care sunt stocate datele în tabel (dacă indexul **clustered** conține mai multe coloane, datele vor fi stocate în ordine secvențială în funcție de coloane: prima coloană, a doua coloană și așa mai departe)
- Se poate defini doar un **singur index clustered** pe fiecare tabel, deoarece **nu** putem stoca fizic datele decât într-o singură ordine
- Paginile de date ale unui index clustered vor conține întotdeauna toate coloanele din tabel
- Sintaxa:

```
CREATE CLUSTERED INDEX index_name ON table_name
(column_name(s) [ASC|DESC]);
```

Indecși: clustered vs nonclustered

- Indexul nonclustered stochează pointeri la date din heap/indexul clustered ca parte din index key
- Putem avea mai mulți indecși **nonclustered** pe același tabel
- Sintaxa:

```
CREATE INDEX index_name ON table_name
(column_name(s) [ASC|DESC]);
```

- SQL Server suportă până la 999 indecși **nonclustered** pe tabel
- Un index key poate fi format din maxim 32 coloane (versiuni SQL Server >= 2016)
- Un index key poate ocupa maxim 900 bytes (index clustered) și 1700 bytes (index nonclustered), în cazul versiunilor SQL Server >= 2016

Indecși: clustered vs nonclustered

- Când este creată o **cheie primară** pe un tabel, dacă nu există deja un index clustered și un index nonclustered nu este specificat, se creează un **index clustered unique**
- Dacă atunci când este creată o **cheie primară** pe un tabel există deja un index clustered definit pe acel tabel, se va crea un **index nonclustered unique**
- Dacă toate coloanele returnate de către o interogare se află în index, indexul se numește **covering index**, iar interogarea se numește **covered query**

Index clustered

- Poate fi folosit pentru interogările care se execută în mod frecvent
- Poate fi folosit în **range queries**
- Nu este bine să definim un **index clustered** pe coloane care sunt actualizate des, deoarece SQL Server va trebui să modifice constant ordinea fizică a datelor

Index nonclustered

- Exemplu de definire a unui index nonclustered non unique:

```
CREATE NONCLUSTERED INDEX IX_Atractii_nume_asc ON Atractii (nume ASC);

sau

CREATE INDEX IX_Atractii_nume_asc ON Atractii (nume);
```

- Atunci când se definește o **constrângere UNIQUE** pe un tabel, se va crea un **index nonclustered unique** pe coloana sau coloanele pe care este definită **constrângerea UNIQUE**

Indecși: coloane key și coloane nonkey

- **Coloane key** – coloanele specificate la crearea unui index
- **Coloane nonkey** – coloanele specificate în **clauza INCLUDE** a unui **index nonclustered**
- Sintaxa:

```
CREATE INDEX index_name

ON table_name (key_column_name(s)[ASC|DESC])

INCLUDE (nonkey_column_name(s));
```

Indecși: coloane key și coloane nonkey

- **Beneficii** ale utilizării **coloanelor nonkey**:
  - Coloanele pot fi accesate cu un **index scan**
  - Tipurile de date care nu sunt permise în coloanele care fac parte din index (index key columns) sunt permise în coloanele nonkey (exceptând tipurile de date text, ntext și image)
  - Pot fi incluse coloane calculate, dar valorile trebuie să fie deterministe
  - Coloanele care apar în **clauza INCLUDE** nu se iau în calcul în cazul limitei de 1700 bytes a unui index key impusă de SQL Server

Indecși unique versus indecși non unique

- Un **index unique** (unic) definit pe una sau mai multe coloane asigură unicitatea valorilor la nivelul coloanei sau combinației de coloane pe care este definit
- De exemplu, dacă vom crea un index nonclustered unic în tabelul *Categorii* pe coloana *nume*, nu vom putea avea două înregistrări cu aceeași valoare pentru coloana *nume* în tabel
- Dacă vom crea un index unic după ce am introdus date în tabel și avem valori duplicate în coloana sau coloanele pe care am definit indexul unic, operațiunea de creare a indexului va eșua

Indecși unique versus indecși non unique

- Pentru a putea crea un index unic pe un tabel, va trebui să eliminăm înainte toate valorile duplicate din coloana sau coloanele pe care definim indexul unic
- Un index unic garantează că fiecare valoare (inclusiv NULL) pentru coloana pe care a fost definit apare o singură dată în tabel
- Exemplu de index nonclustered unique definit pe o singură coloană:

```
CREATE UNIQUE INDEX IX_Categorii_nume_desc_uq ON Categorii

(nume DESC);
```

Indecși unique versus indecși non unique

- În cazul indecșilor unici se poate seta opțiunea **IGNORE_DUP_KEY**
- Dacă se setează **IGNORE_DUP_KEY=ON**, în cazul unui batch INSERT, se vor insera toate înregistrările care nu conțin valori duplicate, iar înregistrările care conțin valori duplicate vor fi ignorate și nu vor fi inserate în tabel
- Exemplu de definire a unui index nonclustered unique pe o singură coloană cu opțiunea **IGNORE_DUP_KEY=ON**:

```
CREATE UNIQUE INDEX IX_Vizitatori_email_asc_uq

ON Vizitatori (email ASC) WITH (IGNORE_DUP_KEY=ON);
```

- Indecșii non unique (care nu sunt unici) permit inserarea de valori duplicate în tabel

Indecși single column versus indecși multi-column

- Un **index single column** este un index definit pe o singură coloană (care conține o singură coloană key în index key)
- Un **index multi-column** este un index definit pe mai multe coloane (care conține mai multe coloane key în index key)
- Dacă dorim să folosim indexul și pentru sortarea înregistrărilor care sunt returnate, va trebui să ținem cont de ordinea crescătoare sau descrescătoare a coloanelor care fac parte din index key
- În cazul unui index **single column**, ordinea specificată pentru coloana key nu este atât de importantă deoarece se poate folosi indexul pentru a sorta după coloana respectivă atât în ordine crescătoare cât și în ordine descrescătoare

Indecși single column versus indecși multi-column

- Exemplu de definire a unui index nonclustered non unique single column:

```
CREATE INDEX IX_Sectiuni_nume_desc ON Sectiuni (nume DESC);
```

- Indexul definit mai sus va putea fi folosit pentru ambele interogări de mai jos:

```
SELECT nume FROM Sectiuni ORDER BY nume DESC;

SELECT nume FROM Sectiuni ORDER BY nume ASC;
```

- În cazul indecșilor **multi-column**, ordinea coloanelor key este importantă dacă dorim să se utilizeze indexul pentru sortarea înregistrărilor după coloanele care fac parte din index key

Indecși single column versus indecși multi-column

- Exemplu de definire a unui index nonclustered non unique multi-column:

```
CREATE INDEX IX_Atractii_varsta_min_asc_nume_asc ON Atractii
(varsta_min ASC, nume ASC);
```

- Indexul definit mai sus va putea fi folosit **pentru sortare** în cazul interogărilor de mai jos:

```
SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY varsta_min ASC, nume ASC;
SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY varsta_min DESC, nume DESC;
SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY varsta_min ASC;
SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY varsta_min DESC;
```

Indecși single column versus indecși multi-column

- Indexul `IX_Atractii_varsta_min_asc_nume_asc` definit anterior **nu va putea fi folosit pentru sortare** în cazul interogărilor de mai jos:

```
SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY varsta_min ASC, nume DESC;

SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY varsta_min DESC, nume ASC;

SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY nume ASC, varsta_min DESC;

SELECT varsta_min, nume FROM Atractii ORDER BY nume DESC, varsta_min ASC;
```

Full-table versus filtered pentru indecșii nonclustered

- Indecșii **nonclustered full-table** conțin toate valorile coloanei sau coloanelor pe care au fost definiți
- Indecșii **nonclustered filtered** conțin doar acele valori pentru care evaluarea condiției specificate la crearea indexului returnează *true*
- Exemplu de definire a unui index nonclustered non unique single column filtered:

```
CREATE INDEX IX_Atractii_nume_asc_filtered ON Atractii

(nume ASC) WHERE nume > 'C';
```

Full-table versus filtered pentru indecșii nonclustered

- Indexul `IX_Atractii_nume_asc_filtered` va putea fi folosit pentru următoarele interogări:

```
SELECT nume, descriere FROM Atractii WHERE nume >'C';

SELECT nume, descriere FROM Atractii WHERE nume >'E';
```

- Indexul `IX_Atractii_nume_asc_filtered` **nu** va putea fi folosit pentru următoarele interogări:

```
SELECT nume, descriere FROM Atractii WHERE nume <'C';

SELECT nume, descriere FROM Atractii;
```

Indecși pentru DELETE

- Indecșii pot fi utili și în momentul în care trebuie să ștergem date din baza de date, nu doar atunci când returnăm date
- Atunci când se efectuează o operațiune de ștergere, SQL Server verifică toate tabelele dependente de tabelul din care se șterg date pentru a determina dacă există înregistrări dependente de cele pe care dorim să le ștergem
- În acest caz, un index definit pe un **foreign key** va putea fi folosit pentru a găsi înregistrările dependente mult mai rapid
- În caz contrar, SQL Server va verifica toate înregistrările din tabelul respectiv, prin urmare operațiunea de ștergere va fi lentă

Modificarea unui index

- Dacă dorim să ștergem sau să adăugăm coloane într-un index va trebui să ștergem și să creăm din nou indexul
- Dacă dorim să dezactivăm un index sau să setăm anumite opțiuni, putem folosi instrucțiunea **ALTER INDEX**
- Exemplu de dezactivare a unui index:

```
ALTER INDEX IX_Atractii_varsta_min_asc_nume_asc ON Atractii DISABLE;
```

- Exemplu de reactivare a unui index dezactivat:

```
ALTER INDEX IX_Atractii_varsta_min_asc_nume_asc ON Atractii REBUILD;
```

Ștergerea unui index

- În anumite situații, un index devine inutil și trebuie eliminat
- Sintaxa pentru ștergerea unui index:

```
DROP INDEX index_name ON table_name;
```

- Exemplu de ștergere a unui index:

```
DROP INDEX IX_Atractii_varsta_min_asc_nume_asc ON Atractii;
```

Indecși - Recomandări

- Indecșii sunt utili pentru **mărirea** performanței operațiunilor de **citire**, dar **scad** performanța operațiunilor de **scriere**
- Tipuri de **coloane** recomandate ca *index key columns*:

  - coloane care au definită o constrângere **foreign key**
  - coloane care apar în clauza **WHERE** a interogărilor
  - coloane care apar în clauza **ORDER BY** a interogărilor
  - coloane pe baza cărora se fac **JOIN**-uri
  - coloane care apar în clauza **GROUP BY** a interogărilor
  - coloane cu grad **mare** de varietate a valorilor

Recomandări de proiectare a indecșilor

- Înțelegerea caracteristicilor bazei de date (OLTP versus OLAP)
- Înțelegerea caracteristicilor celor mai frecvente interogări
- Înțelegerea caracteristicilor coloanelor care sunt folosite în interogări
- Determinarea locației de stocare optimă pentru index

Exerciții

- 1. Creați indecși pentru a optimiza execuția interogărilor specificate în exercițiile și/sau exemplele din al doilea seminar.
- 2. Creați indecși pentru a optimiza execuția interogărilor create în a doua temă de laborator.

Bibliografie

- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/sql-server-index-design-guide?view=sql-server-ver16&source=recommendations#General_Design
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/indexes?view=sql-server-ver16&source=recommendations
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/heaps-tables-without-clustered-indexes?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/create-clustered-indexes?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/create-nonclustered-indexes?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/statements/create-index-transact-sql?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/performance/execution-plans?view=sql-server-ver17

Bibliografie

- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/create-unique-indexes?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/create-filtered-indexes?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/create-indexes-with-included-columns?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/delete-an-index?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/modify-an-index?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/indexes/disable-indexes-and-constraints?view=sql-server-ver16
- https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/performance/display-and-save-execution-plans?view=sql-server-ver17