UNIVERZITET U NIŠU

ELEKTRONSKI FAKULTET

Obrada transakcija, planovi izvrsavanja transkacija, izolacija i zakljucavanje kod *Mongo DB* baze podataka

Seminarski rad

Studijski program: Računarstvo i informatika

Modul: Softversko inženjerstvo

Mentor:

Aleksandar Stanimirović

Student:

Petar Mančić

1. Uvod u transakcije u *MongoDB*-u

1.1 Šta su transakcije?

Transakcija je sekvenca jedne ili više operacija nad bazom podataka koja se izvršava kao jedna neraskidiva celina. Osnovna ideja je da se ili sve operacije u transakciji uspešno izvrše i trajno zabeleže, ili se, u slučaju greške, nijedna od njih ne odrazi na stanje baze — to je princip **atomičnosti**.

Ukoliko transakcija zadovoljava svojstva ***ACID***, to znači:

- ***Atomicity* (Atomičnost)** — govori o tome da se sve naredbe transakcije izvršavaju kao jedinstvena celina ili se uopšte ne izvršavaju.
- ***Consistency* (Konzistentnost)** -garantuje da se baza podataka nakon transakcije prevodi iz jednog konzistentnog stanja u drugo konzistentno stanje.
- ***Isolation* (Izolacija)** — govori o tome da efekti transakcije nisu vidljivi u drugim transakcija sve dok se transakcija ne komituje
- ***Durability* (Trajnost)** — govori o tome da su sve izmene nad podacima nacinjene tokom transakcije trajne.

1.2 Zašto su transakcije bitne?

Transakcije su ključne za očuvanje integriteta podataka u scenarijima gde jedna logička operacija menja više zapisa ili kolekcija (npr. transfer novca između naloga, sinhronizacija stanja više dokumenata, ažuriranje indeksa i metapodataka i sl.). Bez transakcija, u slučaju greške u sredini operacije, baza može ostati u polu-izmenjenom i nekonzistentnom stanju.

1.3 Kratak istorijat podrške u *MongoDB*

- *Pre MongoDB 4.0*: atomicnost je bila zagarantovana samo po jednom dokumentu (*single-document atomic operations*). Kompleksne *multi-document* operacije morale su da se rešavaju aplikacionom logikom ili pomoću dvostepene protokole (složenije i sklono greškama).
- *MongoDB 4.0* (izdanje): uvedene su ***multi-document* transakcije** za replika setove.

- *MongoDB* 4.2 i novije verzije: podrška za transakcije proširena i na ***sharded*** klastere. Ovo je značajan prelaz koji omogućava MongoDB-u da konkuriše RDBMS-ima u scenarijima koji zahtevaju ACID svojstva preko više dokumenata i kolekcija.

1.4 Osnovne karakteristike *MongoDB* transakcija

- ***Session-based***: transakcije se pokreću i održavaju u okviru sesije (*logical session id, LSID*). Klijentske biblioteke (*driveri*) obezbeđuju *API za start/commit/abort*.
- ***Snapshot reads***: transakcije koriste snapshot view podataka (u okviru iste transakcije vidite konzistentan snapshot stanja u trenutku početka transakcije — ovo je bitno za izolaciju).
- **Kontrola čitanja i pisanja**: kombinacijom *readConcern i writeConcern* podešavanja se kontroliše vidljivost i trajnost podataka.
- **Ograničenja performansi**: transakcije su skuplje od single-document operacija — duge transakcije i veliki broj promena unutar transakcije može da utiče na latenciju i resurse (*memory, oplog size, itd*.).

1.5 Kratak primer (*Node.js*)

Evo minimalnog primer koda koji ilustruje kako se u *Node.js (MongoDB driver)* započne sesija i transakcija, i kako se radi *commit/abort*:

```
async function runTransactionExample() {
  const client = new MongoClient("mongodb://localhost:27017");
  await client.connect();
  const session = client.startSession();

  try {
    session.startTransaction({
      readConcern: { level: "snapshot" },
      writeConcern: { w: "majority" }
    });

    const users = client.db("bank").collection("users");
    const logs  = client.db("bank").collection("logs");

    // primer: transfer 100 sa naloga A na nalog B
    await users.updateOne({ _id: "A" }, { $inc: { balance: -100 } }, { session });
    await users.updateOne({ _id: "B" }, { $inc: { balance:  100 } }, { session });
    await logs.insertOne({ action: "transfer", from: "A", to: "B", amount: 100 }, { session });

    await session.commitTransaction();
    console.log("Transaction committed.");
  } catch (err) {
    console.error("Transaction aborted due to error:", err);
    await session.abortTransaction();
  } finally {
    await session.endSession();
    await client.close();
  }
}
runTransactionExample();
```

Slika 1 Započinjanje translakcija

Kratko objasnjenje ovog koda:

- *startTransaction* prima opcije za *readConcern i writeConcern*.
- Sve operacije koje pripadaju transakciji prosleđuju se sa { *session* }.
- U slučaju greške poziva se *abortTransaction*.

1.6 Tipične greške i napomene

- Ne koristiti transakcije za bulk operacije koje mogu biti podeljene ili obrađene idempotentno — transakcije su pravljenje za logičke jedinice rada.
- Duge transakcije mogu uzrokovati veći rast oplog-a i povećati *contention*.
- Obavezno pozivanje *endSession*() u *finally* bloku da bi se oslobodili resursi.

2. Obrada transakcija i planovi izvršavanja transakcija

2.1 Istorijski kontekst i arhitektonski izazovi

Do 2018. godine *MongoDB* je bio tipičan predstavnik *BASE* filozofije. Podrška za atomičnost postojala je samo na nivou jednog dokumenta (*single-document ACID*). Sve operacije nad više dokumenata bile su *„best-effort“* i zahtevale su kompenzacione akcije na aplikativnom nivou.

Uvođenje višedokumentnih transakcija zahtevalo je sledeće fundamentalne izmene:

- Prebacivanje podrazumevanog *storage engine-a* na *WiredTiger* (od 3.2 obavezno za transakcije)
- Implementaciju distribuiranog *clock*-a za *snapshot* koordinaciju između čvorova
- Proširenje oplog formata (*v2 oplog*) za beleženje transakcionih metapodataka
- Dodavanje *cluster-wide transaction coordinator*-a u *mongod* i *mongos procesima*

2.2 Životni ciklus transakcije – detaljan prikaz

1. ***Client → Driver → startSession()*** → vraća *sessionId + serverSession*

2***. startTransaction(readConcern, writeConcern)*** → kreira *TransactionRecord* u *config.transactions* kolekciji (na *config* serveru kod *sharded* klastera)

3. **Prva operacija u transakcij** → dodeljuje se *txnNumber + snapshot timestamp (clusterTime)*

4. **Svaka naredna operacija** → proverava da li je ista sesija i isti *txnNumber*

5. **commitTransaction()** → dvofazni *commit*:

Faza 1: *prepare* (samo kod *sharded* klastera od 4.2+)

Faza 2: stvarni *commit* (označava oplog unose kao *committed*)

6***. abortTransaction*()** → označava sve promene kao aborted, *WiredTiger* ih odbacuje

2.3. Tipovi transakcija kod *MongoDB*

2.3.1. Jednodokumentne transakcije (*Single-document atomic operations*)

MongoDB je od početka (od prve verzije) garantovao **atomičnost na nivou jednog dokumenta**.

- Ne tretira se formalno kao "transakcija", ali ***MongoDB interni engine (WiredTiger)*** ih smatra transakcijama na nivou jednog dokumenta.
- Svaka **jedna operacija** (*insert/update/delete*) nad jednim dokumentom je **atomska**.
- Koristi se implicitno, bez session i bez *startTransaction*().

Kada se koriste?
U 90% *CRUD* operacija – zato se transakcije retko koriste u realnim sistemima.

2.3.2. Višedokumentne transakcije (*Multi-document ACID transactions*)

Uvedene u *MongoDB 4.0 (Replica Set),* a u 4.2 i na *Sharded Cluster*-ima.

- Pokreću se eksplicitno:
- *session.startTransaction*()
- Garantuje se:
    - **Atomičnost** nad više kolekcija i dokumenata
    - ***Snapshot Isolation*** **(pravim *MVCC*)**
    - ***Reads-your-own-writes***
    - Serijalizacija konflikata preko *write lock*-ova na dokumentima

Podtipovi koje razlikujemo:

1. Transakcije nad *Replica Set*-om

- Najbrže
- Najstabilnije
- Bez mrežnih prelaza između *shard*-ova

2. Transakcije nad *Sharded Cluster*-om

- Najkompleksnije
- Koordinacija preko mongos
- Koristi internu dvostepenu *commit* strategiju

2.3.3. *Read/Write concern* konfiguracije transakcija (tipovi po garancijama)

Tip transakcije se takodje moze razlikovati i po garanciji konzistentnosti:

1. READ CONCERN:

MongoDB transakcije mogu biti:

- ***local*** – najbrže, nema garancija replikacije
- ***majority*** – najčešći nivo, čita potvrđene podatke
- ***snapshot*** – koristi *MVCC*, standard za transakcije

- ***linearizable*** (nedozvoljen u transakcijama)

U transakcijama je najvažniji ***snapshot*** jer daje izolaciju.

2. *WRITE CONCERN*:

- *w:1* – prihvata samo od primarnog
- *w:majority* – najbezbedniji, čeka da većina replika potvrdi
- *w:all* – vrlo retko, skoro nikad se ne koristi

2.3.4. *Implicit* i *Explicit* transakcije (po načinu pokretanja)

Na osnovu toga da li se transakcije izvrsavaju implicitno ili ih programmer pokrece eksplicitno postoje 2 tipa transakcija:

1. Implicitne transakcije

- Jednostavne operacije nad jednim dokumentom
- Atomskost je garantovana automatski
- Klijent ne koristi *session*

2. Eksplicitne transakcije

- Programer ih ručno pokreće preko:

```
const session = client.startSession();
session.startTransaction();
```

- Koriste *read/write concern*
- Imaju *retry* logiku (*transient errors*)

2.4. Planovi izvršavanja unutar transakcija – dubinska analiza

2.5.1 Fiksiranje plana na početku transakcije

Kada se izvrši prva operacija u transakciji, *query planner* bira plan i **kešira ga za celu transakciju**. To znači:

- Nema plan *re-caching* čak i ako se kardinalitet drastično promeni tokom transakcije
- Može dovesti do lošeg plana ako se podaci značajno promene

Primer:

```
session.startTransaction();
db.orders.insertOne({...});
for(let i=0; i<1000000; i++) db.orders.insertOne({...});
```

3.Izolacija u *MongoDB*

Izolacija u *MongoDB*-u definiše kako paralelne operacije čitanja i pisanja međusobno utiču jedna na drugu i koliko su „odvojene“ (izolovane) u toku izvršavanja. Za razliku od tradicionalnih relacionih baza koje primenjuju različite izolacione nivoe (*READ UNCOMMITTED, READ COMMITTED, REPEATABLE READ, SERIALIZABLE*), *MongoDB* koristi **sopstveni model izolacije**, zasnovan na:

- **atomskim operacijama nad jednim dokumentom**
- ***MVCC* mehanizmu (*Multi-Version Concurrency Control*)**
- ***snapshot read* modelu u transakcijama**
- **dokument-nivou zaključavanja (*document-level locking*)**
- ***Write Conflict Detection* sistemu**

MongoDB ne implementira direktno *SQL* izolacione nivoe, već obezbeđuje ponašanje koje je najbliže kombinaciji ***Snapshot Isolation*** i ***Read Committed***, u zavisnosti od toga da li koristiš transakcije ili ne.

3.1. Izolacija van transakcija (*default case*)

Van eksplicitnih transakcija (u regularnim *CRUD* operacijama), *MongoDB* koristi:

1. **Atomicnost i izolacija na nivou jednog dokumenta**
    - Svaka pojedinačna operacija nad jednim dokumentom je **atomska**.
    - Čitaoci nikada ne vide delimične promene dokumenta — ili vide stari dokument ili novi.

2. *Read Committed* semantika

MongoDB van transakcija omogućava:

- čitanje samo **potvrđenih** (*committed*) podataka
- čitanje podataka koji su vidljivi na primarnom čvoru u trenutku čitanja
- ne garantuje da će sledeće čitanje vratiti isti *snapshot* — mogu se videti nove promene

Dakle, izolacija je na nivou ***read committed***, ali bez klasičnih *SQL* "*dirty read*" ili "*non-repeatable read*" problema unutar jedne operacije.

3.2. Izolacija unutar transakcija

U eksplicitnim višedokumentnim transakcijama *MongoDB* pruža ***Snapshot Isolation*** korišćenjem *MVCC*-a.

1. *Snapshot Isolation*

Kada transakcija počne:

- dobija **konzistentan *snapshot* baze**

- sve *READ* operacije tokom transakcije vide **isti *snapshot***, bez obzira na kasnija pisanja drugih sesija
- istovremeno, transakcija vidi svoja sopstvena pisanja (*read-your-own-writes*)

MongoDB interno koristi ***WiredTiger MVCC***, koji čuva više verzija dokumenata.

Šta *snapshot isolation* sprečava?

- ***Dirty reads*** – nemoguće
- ***Non-repeatable reads*** – nemoguće
- ***Phantom reads*** – sprečeni u većini slučajeva, jer snapshot ne menja vidljiv skup dokumenata (iako *MongoDB* formalno ne garantuje *SERIALIZABLE*)

Šta *snapshot isolation* ne pruža?

- ***Serializable* izolaciju** — *MongoDB* ne garantuje striktno serijalizabilno ponašanje
- moguće su ***write-write* kolizije**, ali se automatski detektuju

3.3. Zaključavanje i izolacija (*Locking* model)

MongoDB koristi ***fine-grained locking***, najčešće na nivou dokumenta:

1. *Document-level locking*

- pisanje nad jednim dokumentom blokira samo taj dokument
- drugi dokumenti u kolekciji ostaju dostupni
  Ovo je glavna razlika u odnosu na *SQL* baze koje često koriste *page-level* ili *table-level lock*-ove.

2. *Write Conflict Detection*

Ako dve transakcije pokušaju da izmene isti dokument:

- *MongoDB* detektuje konflikt
- druga transakcija se prekida sa greškom *WriteConflict*
- klijent treba da ponovi transakciju (*retry logic*)
- Ovo je karakteristika *MVCC* sistema.

3.4. *Read Concern* i njihov uticaj na izolaciju

U transakcijama je izolacija direktno određena ***read concern*** vrednostima.

1. *readConcern*: "*snapshot*"

- podrazumevani i najčešće korišćen u transakcijama
- garantuje *snapshot isolation*
- izolacija čitanja je stabilna tokom celoj transakcije

2. readConcern: "*local*" (van transakcija)

- najbrži
- nema garancija replikacije
- izolacija = *read committed*

3. *readConcern: "majority"*

- čita samo podatke potvrđene od većine replika
- jače garancije konzistentnosti, ali nije isto što i *snapshot*

Zakljucak u vezi izolacije u *MongoDB*:

Izolacija u *MongoDB* zasniva se na atomskim operacijama nad jednim dokumentom, *MVCC* mehanizmu i snapshot čitanju u transakcijama. Van transakcija, *MongoDB* pruža izolaciju sličnu nivou ***Read Committed***, dok u višedokumentnim transakcijama postiže ***Snapshot Isolation***, sprečavajući pojave kao što su *dirty* i *non-repeatable reads*. Korišćenjem zaključavanja na nivou dokumenta i detekcije konflikata, *MongoDB* omogućava efikasnu paralelnu obradu bez teških globalnih lockova. Iako ne obezbeđuje Serializable nivo izolacije, *MongoDB* postiže dobru ravnotežu između konzistentnosti, performansi i skalabilnosti, što ga čini pogodnim za moderne distribuirane sisteme.

4.Zaključavanje u *MongoDB*

Zaključavanje (*locking*) u *MongoDB* predstavlja mehanizam koji kontroliše pristup deljenim resursima kako bi se obezbedila konzistentnost podataka tokom konkurentnih operacija. Za razliku od tradicionalnih relacionih baza koje se oslanjaju na tabelarna ili stranica-nivo (*page-level*) zaključavanja, *MongoDB* koristi **fino-granulisan model zaključavanja**, čime postiže visok stepen paralelizma i minimalno blokiranje procesa.

4.1. Evolucija zaključavanja u *MongoDB*

Šta zapravo znači zaključavanje u *MongnoDB*?

U klasičnim relacionim bazama podataka (npr. *PostgreSQL, Oracle*) zaključavanje je pesimističko – transakcija prvo „uzme katanac“ na redove ili tabele i drži ga dok ne završi. Ako druga transakcija hoće iste podatke, mora da čeka. To sprečava konflikte, ali može dovesti do čekanja i mrtvih petlji (*deadlock*).

MongoDB od verzije 3.2 (2016) koristi potpuno drugačiji pristup – **nema klasičnih zaključavanja koje korisnik vidi**. Umesto toga koristi **optimističku kontrolu konkurentnosti** preko *storage engine-a WiredTiger.*

4.2 Razvoj granualnosti zaključavanja u *MongoDB*-u

Verzija	Nivo zaključavanja	Objašnjenje
do 2.6	GLOBALNI ZAKLJUCAVANE NA CEO SERVER	JEDAN WRITER U JEDNOM TRENUTKU
3.0 -3.2	ZAKLJUCAVANJE PO KOLEKCIJI	VIŠE WRITER-A AKO RADE NA RAZLIČITIM KOLEKCIJAMA
OD 3.2	ZAKLJUCAVANJE PO DOKUMENTU	TRENUTNI STANDARD

Danas je granularnost na nivou pojedinacnog dokumenta, što je najsitnija moguća jedinica.

4.3 Kako funkcioniše zaključavanje kod transakcija od verzije 4.0 nadalje

Kada dve ili više transakcija pokušaju istovremeno da menjaju isti dokument, *MongoDB* **ne blokira** nijednu od njih. One rade paralelno, a sukob se otkriva tek u trenutku *commit*-a.

Mehanizam rada:

1. Svaka transakcija radi na svom snimku (*snapshot*) podataka.
2. Kada transakcija hoće da upiše izmene (*commit*), *WiredTiger* proverava da li je dokument u međuvremenu promenjen od strane druge transakcije.
3. Ako jeste – dolazi do greške ***WriteConflict*** (kod 112).
4. Klijentski driver automatski pokreće celu transakciju iz početka (*retry*).
5. Prva transakcija koja uspešno izvrši *commit* – pobeđuje (*first committer wins*).

Zbog toga ne postoje mrtve petlje (*deadlock*) – uvek se samo jedna transakcija „žrtvuje“ i ponavlja.

4.4. Koje vrste kratkotrajnih zaključavanja ipak postoje u *WiredTiger*-u

Iako korisnik ne vidi klasično zaključavanje, na najnižem nivou (unutar *storage engine*-a) postoje veoma brzi mehanizmi zaštite:

- ***Latches*** – kratkotrajni spinlock-ovi koji štite strukturu B-stabla (traju mikrosekunde)
- ***Ticket sistem*** – ograničava broj istovremenih upisivača da ne bi preopteretili keš
- ***History store*** – čuva stare verzije dokumenata dok su potrebne aktivnim snapshot-ovima

Ovi mehanizmi su nevidljivi za korisnika i ne izazivaju dugo čekanje.

4.5 Prednosti i mane optimističkog zaključavanja

Prednosti

- Odlične performanse kada je mala verovatnoća sukoba (većina realnih aplikacija)
- Čitanje nikad ne čeka pisanje i obrnuto
- Nema *deadlock*-ova
- Veliki broj paralelnih operacija

Mane

- Kod velikog broja sukoba (npr. svi klijenti menjaju isti dokument) dolazi do mnogo ponavljanja → pad performansi
- Aplikacija mora biti spremna na automatsko ponavljanje transakcija (*driver to* radi sam, ali ipak troši procesor)

4.6 Kada *MongoDB* ipak koristi pravo (pesimističko) zaključavanje

Postoje retki administrativni poslovi gde se i dalje koriste klasični katanci:

- Kreiranje indeksa u pozadini (do verzije 4.2)
- Brisanje cele baze ili kolekcije
- *Initial sync replica* seta

Ovi poslovi su blokirajući, ali se ne odnose na obične korisničke transakcije.

Zaključak:

MongoDB je svesno odustao od tradicionalnog pesimističkog zaključavanja u korist optimističkog modela koji je zasnovan na snimcima i automatskom ponavljanju transakcija u slučaju sukoba. Ovakav pristup omogućava odlično skaliranje u većini realnih situacija, ali zahteva da programer bude svestan mogućnosti *WriteConflict* grešaka kod aplikacija sa velikim brojem konkurentnih upisa na iste dokumente.

5.Praktični primeri

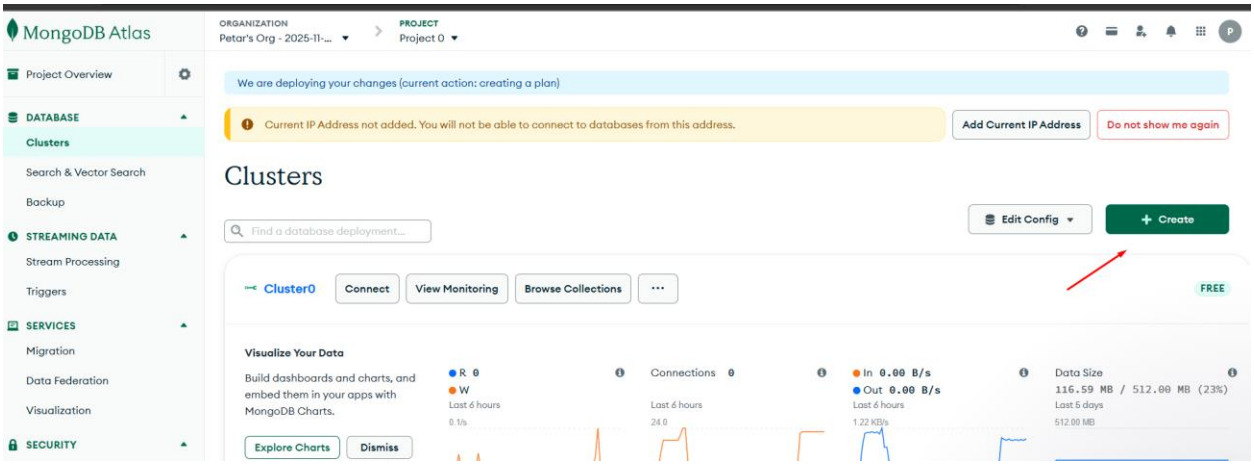
5.1. Korišćenje *MongoDB Atlas*-a i Transakcija u *MongoDB*-u

MongoDB Atlas je *cloud* platforma koja obezbeđuje jednostavno kreiranje i upravljanje *MongoDB* bazama podataka. Prednost *Atlasa* je što korisniku omogućava da veoma brzo dođe do funkcionalne baze, bez potrebe za lokalnom instalacijom, konfiguracijom servera ili održavanjem infrastrukture.

Kreiranje baze i povezivanje na *Atlas*

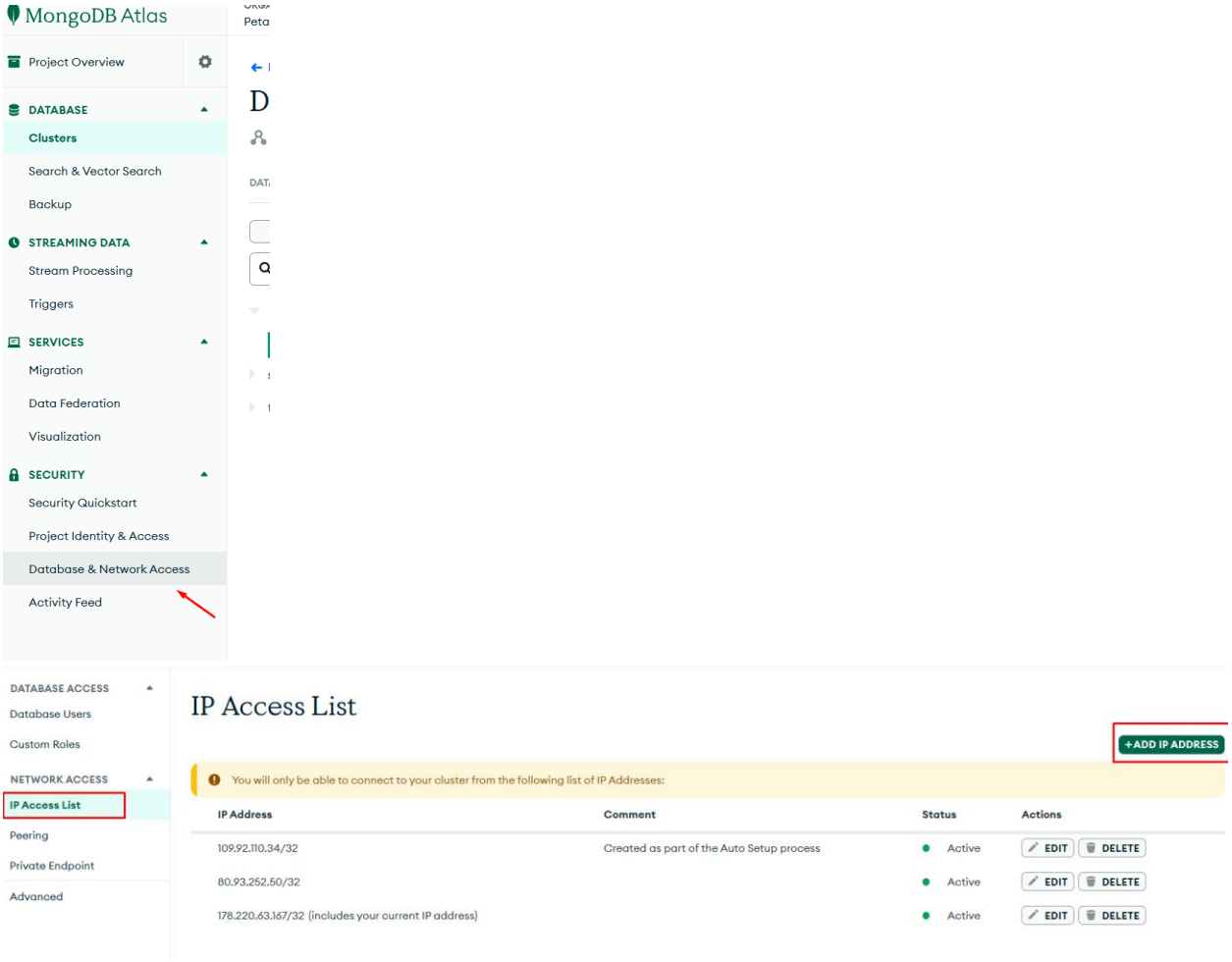
Nakon kreiranja naloga na *MongoDB Atlas* platformi, potrebno je:

1. Kreirati *cluster*



2. Definisati korisnika baze i postaviti lozinku.

3. U sekciji *Network Access* dodati *IP*



4. Kopirati connection *string* i pomoću njega povezati se u *Mongo Compass*:

```
mongodb+srv://petarmancic_db_user:KfGrWcWPGdBOy36rx@cluster0.6yuwubq.mongodb.net/?appName=Cluster0
```

Sada imamo sve što nam je potrebno da bismo mogli da radimo sa transakcijama.

5.2.Obrada transakcija

Najpre ćemo kreirati par korisnika koji će nam omogućiti rad sa transakcijama:

```
db.accounts.insertMany([
  { name: "Alice", balance: 1000 },
  { name: "Bob", balance: 1000 },
  { name: "Charlie", balance: 1000 },
  { name: "Diana", balance: 1000 },
  { name: "Ethan", balance: 1000 }
]);
```

Slika 2 Insertovanje 5 korisnika u bazi

Ovim unosom formiramo pet korisnika sa početnim stanjem od 1000 jedinica (neka to budu dinari).

Što se tiče transakcija u *MongoDB*-u, one nam omogućavaju da se više operacija izvrši kao jedna celina (*ACID* principi).
To bi u prevodu značilo:

- Sve operacije unutar transakcije će biti izvršene
- Nijedna operacija neće biti izvršena

To je veoma važno u finansijskim aplikacijama, posebno kod transfera novca.

Modeliranje transfera novca u *MongoDB*-u pomoću transakcija

Transfer novca sa jednog računa na drugi predstavlja tipični primer operacije koja mora biti **atomska**, tj. ne sme biti delimično izvršena. Transfer se sastoji iz dve osnovne operacije:

1. **Skidanje određenog iznosa sa računa pošiljaoca**

2. **Uplata tog iznosa na račun primaoca**

Ako se obe operacije ne izvrše uspešno, stanje u sistemu bi bilo nedosledno. Na primer, novac bi mogao biti skinut sa jednog računa, a da nikada ne bude uplaćen na drugi. Zbog toga se ove dve operacije obavezno izvršavaju **u okviru jedne *MongoDB* transakcije**.

```
function transferMoney(from, to, amount) {
    const session = db.getMongo().startSession();
    const accounts = session.getDatabase("bank").accounts;

    session.startTransaction();

    try {
        print(`Transferring ${amount} from ${from} to ${to}`);

        // 1. Skidanje sa 'from'
        const res1 = accounts.updateOne(
            { name: from, balance: { $gte: amount } },
            { $inc: { balance: -amount } }
        );

        if (res1.matchedCount === 0) {
            throw new Error(`Sender ${from} does not have enough funds.`);
        }

        // 2. Uplata na 'to'
        const res2 = accounts.updateOne(
            { name: to },
            { $inc: { balance: amount } }
        );

        if (res2.matchedCount === 0) {
            throw new Error(`Receiver ${to} not found.`);
        }

        session.commitTransaction();
        print("Transfer completed successfully.");

    } catch (e) {
        print("Transfer FAILED: " + e);
        session.abortTransaction();

    } finally {
        session.endSession();
    }
}
```

Slika 3 Prenos novca sa jednog računa na drugi

Ovo je kod koji simulira prenos novca sa jednog računa na drugi račun.

Transakcija će izgledati ovako:
Alica-> Bob (300)
Bob->Charlie (500)
Charlie-> Ethan (200)

Na početku svako na računu ima istu količinu novca (1000)

Očekivano ponašanje:

Nakon izvršenja prve transkacije:

Alice: 700

Bob: Priliv 300-> 1300, odliv 500 -> 800

Charlie: Priliv 500-> 1500, odliv 200-> 1300

Uspešna transakcija

```
transferMoney("Alice", "Bob", 300);
transferMoney("Bob", "Charlie", 500);
transferMoney("Charlie", "Ethan", 200);
< Transferring 300 from Alice to Bob
< Transfer completed successfully.
< Transferring 500 from Bob to Charlie
< Transfer completed successfully.
< Transferring 200 from Charlie to Ethan
< Transfer completed successfully.
```

Slika 4 Prva transkacija uspešno izvršena

```
_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045a')
name : "Alice"
balance : 700
```

```
_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045b')
name : "Bob"
balance : 800
```

```
_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045c')
name : "Charlie"
balance : 1300
```

```
_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045e')
name : "Ethan"
balance : 1200
```

Slika 5 Stanje novca korisnika nakon uspešno izvršene transakcije

Druga transakcija:

Alice: 400

Bob: Priliv 300-> 1100, odliv 500 -> 600

Charlie: Priliv 500-> 1800, odliv 200-> 1600

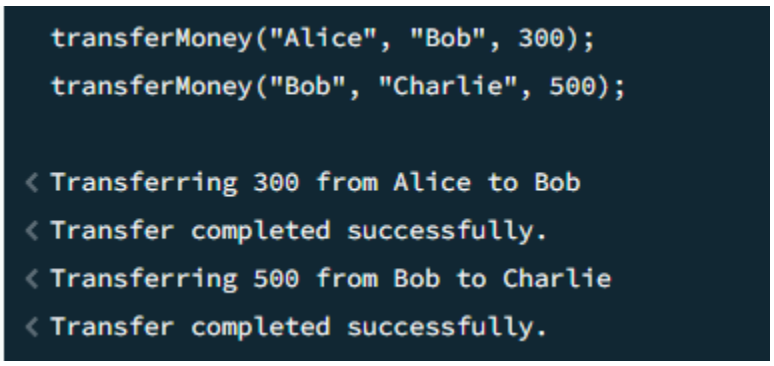
Uspesna transakcija

```
< Transferring 300 from Alice to Bob
< Transfer completed successfully.
< Transferring 500 from Bob to Charlie
< Transfer completed successfully.
< Transferring 200 from Charlie to Ethan
< Transfer completed successfully.
```

Slika 6 Druga transkacija uspešno izvršena

Slika 7 Stanje novca korisnika

U ovoj transkaciji ćemo pokušati da sa *Charlie-vog* računa prebacimo više novca nego što on ima. Tu očekujemo da transakcija bude prekinuta i da se desi *rollback* odnosno da stanje na računima korisnika ostane nepromenjeno.



Slika 8 Uspešna transkacija

Nakon što je *Bob* prebacio novac *Charlie*-u, stanje korisnika je:

```
_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045a')
name : "Alice"
balance : 100

_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045b')
name : "Bob"
balance : 400

_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045c')
name : "Charlie"
balance : 2100

_id: ObjectId('693099c94a0e8bb931c4045e')
name : "Ethan"
balance : 1400
```

Slika 9 Stanje korisnika

Sada ćemo pokušati da sa *Charlie*-vog računa prebacimo 3000 na *Ethan-ovom* računu.

```
> transferMoney("Charlie","Ethan", 3000);
< Transferring 3000 from Charlie to Ethan
< Transfer FAILED: Error: Sender Charlie does not have enough funds.
```

Slika 10 Neuspešna transkacija

Slika 11 Stanje na računima nakon neuspešne transakcije

Zaključak

Transakcije u *MongoDB*-u obezbeđuju da se više povezanih operacija, poput skidanja i uplate novca, izvrše kao jedna nedeljiva celina, čime se garantuje doslednost i tačnost podataka. U prikazanom primeru one sprečavaju delimične izmene i omogućavaju da finansijski transfer bude uvek ispravno izvršen ili potpuno poništen.

5.3.Planovi izvršenja transakcija u *MongoDB*-u

1. Šta je *execution* plan?

Execution plan (plan izvršenja) pokazuje **kako *MongoDB* odlučuje da izvrši neki upit**, uključujući:

- koji indeks koristi
- koliko dokumenata skenira
- da li radi ***COLLSCAN*** (skenira celu kolekciju)
- da li radi ***IXSCAN*** (koristi indeks)
- koliko je upit koštao (*execution time, docsExamined, keysExamined*…)

2. Kako transakcija utiče na *execution plan*?

U transakcijama plan važi za svaki upit pojedinačno

MongoDB nema neki globalni "plan transakcije" koji primenjuje nad svakom transakcijom — pravi plan za **svaki upit unutar transakcije**.

Transakcija dodeljuje upitu:

- ***snapshot*** podataka (vidi konzistentan pogled)
- ***writeConcern*: *majority***
- koristi ***optimistic concurrency***

Plan izvršenja **nije različit**, ali može biti:

- sporiji (zbog izolacije)
- abortovan ako dođe do *write* konflikta

3. Kako u praksi pogledati *execution plan* u transakciji?

Ne možeš direktno pozvati *.explain*() unutar *withTransaction*(),ali možeš uraditi najvažnije: izvršiti isti upit van transakcije i prikazati njegov plan opisati da se isti plan koristi i u transakciji (samo radi pod *snapshot*-om)

To je zvanično preporučeni način i koristi se u *MongoDB* dokumentaciji.

Primer:

***COLLSCAN* u transakciji (bez indeksa)**

1.Najpre kreiramo kolekciju i ubacimo podatke

```
> db.accounts.insertMany([
    { name: "Pera", balance: 100 },
    { name: "Mika", balance: 100 },
    { name: "Zika", balance: 100 }
  ]);
< {
    acknowledged: true,
    insertedIds: {
      '0': ObjectId('6931e5734a0e8bb931c40465'),
      '1': ObjectId('6931e5734a0e8bb931c40466'),
      '2': ObjectId('6931e5734a0e8bb931c40467')
    }
  }
```

Slika 12 Kreiranje kolekcije I ubacivanje podataka

2. Pogledamo plan izvršenja (van transakcije):

```
> db.accounts.explain("executionStats").find({
    balance: { $gt: 50 }
  })
```

Slika 13 Provera plana izvršenja

Ono što je bitno ovde naglasiti jeste da nije korišćen indeks.

Response izvršenog *query*-ja je ogroman a ono što je bitno izdvojiti je sledeće:

```
    winningPlan: {
      isCached: false,
      stage: 'COLLSCAN',
      filter: {
        balance: {
          '$gt': 50
        }
      },
```

Slika 14 Response izvršenog query-ja

Ova slika nam pokazuje ***stage: collscan –*** ovaj podatak nam kaže da nije korišćen nikakav indeks i da su svi dokumenti morali biti pregledani.

Slika 15 Broj skeniranja tokom izvršenja query-ja

Na ovoj slici možemo uočiti koliko dokumenata su bila skenirana tokom izvršenja ovog *query*-ja (odnosno morali su biti skenirani svi dokumenti u kolekciji).

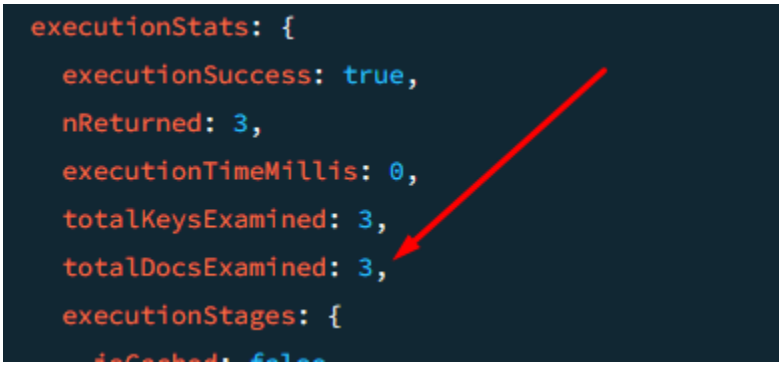
Kako bi izgledao plan izvršenja ukoliko se koristi index?

```
db.accounts.createIndex({ balance: 1 })
```

Nakon izvršenja *query*-ja sada imamo drugaciji *response*:

Slika 16 Izvršenje query-ja sa korišćenjem indeksa

Na ovoj slici možemo videti da je korišćen IXSCAN, takodje je korišćen index "***balance_1***".



Slika 17 Nastavak izvršenja query-ja korišćenjem indeksa

Sada kada imamo index vidimo da nismo morali da obidjemo sve dokumente u kolekciji vec samo 3.

Iz prikazanog execution plana jasno se vidi da *MongoDB*, u odsustvu indeksa, koristi ***COLLSCAN*** — potpuno skeniranje kolekcije. To znači da je za potrebe upita morao da pregleda **sve dokumente**, što potvrđuju metričke vrednosti poput totalDocsExamined = 10 i *totalKeysExamined*

= 0. Iako se na maloj kolekciji ovakav upit izvršava praktično trenutno, na velikim dataset-ovima ovaj pristup postaje izrazito neefikasan i može značajno usporiti bazu.

Kreiranje indeksnog polja drastično menja plan izvršenja — umesto *COLLSCAN* dobija se ***IXSCAN***, čime se drastično smanjuje broj pregledanih dokumenata, poboljšava vreme izvršavanja i optimizuje opterećenje nad sistemom.

Zaključak:

Execution plan direktno pokazuje kvalitet i efikasnost upita. *COLLSCAN* ukazuje na potrebu za optimizacijom, dok *IXSCAN* potvrđuje da indeks omogućava mnogo brže i skalabilnije izvršavanje u *MongoDB*-u.

5.4. Izolacija u *MongoDB*

Kratko podsećanje: *MongoDB* izolacija

MongoDB u transakcijama koristi:

Snapshot Isolation (SI)

- transakcija vidi konzistentan *snapshot* baze u trenutku starta
- ne vidi tuđe promene dok se ne commit-uju
- nema *dirty reads*
- nema *non-repeatable reads*
- ima *phantom reads* samo u nekim slučajevima izvan transakcija

Primer – *Snapshot* izolacija: transakcija ne vidi tuđe promene

Cilj ovog primera jeste da pokažemo da transakcija vidi “zamrznuto” stanje čak i ako druge sesije menjaju podatke.

```
_id: ObjectId('6931e5414a0e8bb931c40462')
name : "Pera"
balance : 100
```

Slika 18 Početno stanje na računu

```
> sessionA = db.getMongo().startSession()
  a = sessionA.getDatabase("bank")

  sessionA.startTransaction()

  a.accounts.find({ name: "Pera" })
< {
    _id: ObjectId('6931e5414a0e8bb931c40462'),
    name: 'Pera',
    balance: 100
  }
```

Slika 19 Sesija A- start transacije

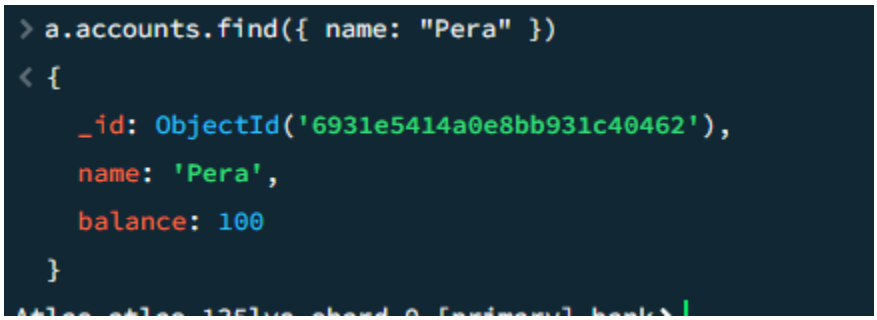
```
> db.accounts.updateOne(
    { name: "Pera" },
    { $set: { balance: 999 } }
  )
< {
    acknowledged: true,
    insertedId: null,
    matchedCount: 1,
    modifiedCount: 1,
    upsertedCount: 0
  }
```

Slika 20 Sesija B- menja podatke van transakcije

Proveravamo podatke direktno u bazi: Očekujemo da je stanje na računu sada 999 zato što smo ga update-ovali iz Sesije B.

Slika 21 Uspešno updatovano stanje

Međutim ukoliko I dalje potražimo podatke iz SesijeA, trebali bismo da dobijemo da je stanje na računu i dalje nepromenjeno.



Slika 22 Stanje na računu je i dalje nepromenjeno

Objašnjenje: *Snapshot isolation* — transakcija vidi stanje baze **u trenutku starta**, ne vidi promene iz drugih sesija.

Primer- slabost *SI*-a

Jos jedan zanimljiv primer koji nam prikazuje slabost *Snapshot isolation*-a

U bolnici moraju biti **2 doktora** dežurna. Svaki vidi snapshot gde je drugi još uvek dežuran. Ukoliko se desi situacija da se odjave, broj doktora padne na 0.

Insertujemo dva doktora u bazi koji su oba na dužnosti.

```
_id: ObjectId('69320ea863a19d7dc6847b78')
doctor : "A"
onDuty : true
```

```
_id: ObjectId('69320ea863a19d7dc6847b79')
doctor : "B"
onDuty : true
```

Slika 23 Insertovanje doktora u bazi

```
s1 = db.getMongo().startSession()
d1 = s1.getDatabase("Hospital")

s1.startTransaction()

d1.doctors.find({ onDuty: true })
```

Slika 24 Sesija A- doktor A gleda stanje

Kao rezultat vidimo 2 doktora:

```
< {
    _id: ObjectId('69320ea863a19d7dc6847b78'),
    doctor: 'A',
    onDuty: true
  }
  {
    _id: ObjectId('69320ea863a19d7dc6847b79'),
    doctor: 'B',
    onDuty: true
  }
```

Slika 25 Doktor A kao rezultat dobija 2 doktora

Na isti nacin provera stanje i doktor B i dobija isti rezultat, 2 aktivna doktora.

Svako od njih pojedinačno odlučuje da ode kući.

```
> d1.doctors.updateOne({ doctor: "A" }, { $set: { onDuty: false } })
< {
    acknowledged: true,
    insertedId: null,
    matchedCount: 1,
    modifiedCount: 1,
    upsertedCount: 0
  }
```

Slika 26 Doktor A stavlja svoje onDuty stanje na false

Takodje to radi i doktor B.

```
> d2.doctors.updateOne({ doctor: "B" }, { $set: { onDuty: false } })
< {
    acknowledged: true,
    insertedId: null,
    matchedCount: 1,
    modifiedCount: 1,
    upsertedCount: 0
  }
```

Slika 27 Doktor B stavlja stoju duznost na false

Obe transakcije odrade *commit*.

```
s1.commitTransaction()
```

```
s2.commitTransaction()
```

Rezultat:

```
_id: ObjectId('69320ea863a19d7dc6847b78')
doctor : "A"
onDuty : false
```

```
_id: ObjectId('69320ea863a19d7dc6847b79')
doctor : "B"
onDuty : false
```

Slika 28 Nakon commita transkacije nijedan doktor više nije na dužnosti

U demonstraciji sa dežurnim doktorima vidimo **tipičnu anomaliju *snapshot* izolacije – *write skew***:

- Svaka transakcija vidi ***snapshot* baze** u trenutku starta.
- Doktor A i doktor B čitaju stanje i oba vide da su **dva doktora dežurna**.

- Oba odjavljuju sebe, jer snapshot sugeriše da je još uvek dovoljan broj dežurnih.
- Nakon commit-a obe transakcije, broj dežurnih doktora **padne ispod minimalnog** (npr. na 0), što stvara nekonzistentno stanje.

Snapshot isolation garantuje da transakcija vidi konzistentan pogled baze, ali **ne štiti od *write skew*-a**.

Ovo je slabost *SI* koju je važno uzeti u obzir pri dizajnu kritičnih sistema.

Primer -*Phantom reads*

Phantom read je pojava kada isti upit vraća različite rezultate u dve uzastopne čitanja, jer su novi dokumenti umetnuti od strane druge transakcije ili sesije između dva čitanja.

```
db.values.deleteMany({});
db.values.insertMany([
  { value: 1 },
  { value: 2 }
]);
```

Trenutno kolekcija values izgleda ovako:

```
{ value: 1 }
{ value: 2 }
```

Nakon prvog čitanja dobijamo ove dve vrednosti, međutim kada drugi korisnik dodaje novi element:

```
db.values.insertOne({ value: 999 });
```

Sada ce nam upit

```
db.values.find({ value: { $gt: 0 } })
```

Vratiti 3 vrednosti.

Zašto se ovo dešava

- *MongoDB* **van transakcija** ne koristi snapshot isolation.
- Svaki upit vidi **trenutno stanje baze**.

- Kada neko doda novi dokument između dva čitanja, on postaje vidljiv → *phantom read.*

Kako to izgleda unutar transakcije?

```
session = db.getMongo().startSession();
dbs = session.getDatabase("Hospital");
session.startTransaction();

dbs.values.find({ value: { $gt: 0 } });
{
  _id: ObjectId('693219e0c584839100da9fba'),
  value: 1
}
{
  _id: ObjectId('693219e0c584839100da9fbb'),
  value: 2
}
{
  _id: ObjectId('69321a1bd58d886681aff650'),
  value: 999
}
```

Slika 29 Kolekcija values

Sada kada novi korisnik doda vrednost u bazi van te transakcije, mi tu vrednost ne možemo videti to trenutka dok ne *commitujemo* našu transakciju.

Da sumiramo:

- ***Phantom read***: isti upit vraća različite rezultate zbog novih dokumenata umetnutih od strane drugih sesija.
- **Van transakcija** → *MongoDB* dozvoljava phantom reads.
- **Unutar transakcije *(snapshot isolation*)** → *phantom reads* se NE dešavaju; upit vidi konzistentan *snapshot*.

6. Zaključak

Uvođenje podrške za višekolekcijske *ACID* transakcije predstavlja jednu od najvažnijih prekretnica u razvoju *MongoDB*-a, čime je ovaj *NoSQL* sistem postao direktna konkurencija tradicionalnim relacionim bazama podataka u kritičnim poslovnim domenima. Kroz rad je analizirano kako *MongoDB* balansira između visokih performansi distribuiranog sistema i potrebe za strogom konzistentnošću podataka.

Ključni zaključak je da, iako su transakcije moćan alat, one u *MongoDB*-u treba da se koriste strateški. Mehanizmi poput ***Snapshot Isolation*** i ***WiredTiger*** protokola za zaključavanje na nivou dokumenta omogućavaju visoku konkurentnost, ali nepravilna upotreba može dovesti do problema kao što su *write conflict* ili *phantom reads*. Takođe, uočeno je da transakcije nose određeni "*overhead*", te je i dalje preporučljiva praksa primarno oslanjanje na atomarnost pojedinačnih dokumenata kroz pametno modelovanje podataka.

Razumevanje nivoa izolacije i načina na koji *MongoDB* upravlja konfliktima omogućava inženjerima da grade robusne sisteme (poput finansijskih aplikacija ili sistema za upravljanje zalihama) bez žrtvovanja skalabilnosti. MongoDB je uspeo da dokaže da *NoSQL* fleksibilnost i *ACID* pouzdanost mogu koegzistirati, pružajući developerima najbolje od oba sveta.

7. Literatura

1. MongoDB Inc.
MongoDB Documentation – Transactions
https://www.mongodb.com/docs/manual/core/transactions/

2. MongoDB Inc.
Read Concern and Write Concern
https://www.mongodb.com/docs/manual/reference/read-concern/
https://www.mongodb.com/docs/manual/reference/write-concern/

3. MongoDB Inc.
Concurrency Control and Locking
https://www.mongodb.com/docs/manual/faq/concurrency/

4. MongoDB Inc.
WiredTiger Storage Engine
https://www.mongodb.com/docs/manual/core/wiredtiger/

5. MongoDB Inc.
Explain Results and Query Plans
https://www.mongodb.com/docs/manual/reference/explain-results/

6. Chodorow, K.
MongoDB: The Definitive Guide, 3rd Edition
O'Reilly Media, 2019.

7. Kleppmann, M.
Designing Data-Intensive Applications
O'Reilly Media, 2017.

8. Sadalage, P., Fowler, M.
NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence
Addison-Wesley, 2012.

9. Berenson, H. et al.
A Critique of ANSI SQL Isolation Levels
ACM SIGMOD Record, 1995.