Virtualne Java dretve i Oracle "virtualne transakcije" - idealan par?

Zlatko Sirotić, univ. spec. inf.

ISTRA TECH d.o.o., Pula

CASE konferencija 2026

09.03. - 10.03.2026., Rijeka

Teme

- Par slajdova s
  - CASE 2012 (CASE 24)
  Utjecaj razvoja mikroprocesora na programiranje

  - CASE 2017 (CASE 29)
  Paralelno programiranje u Javi

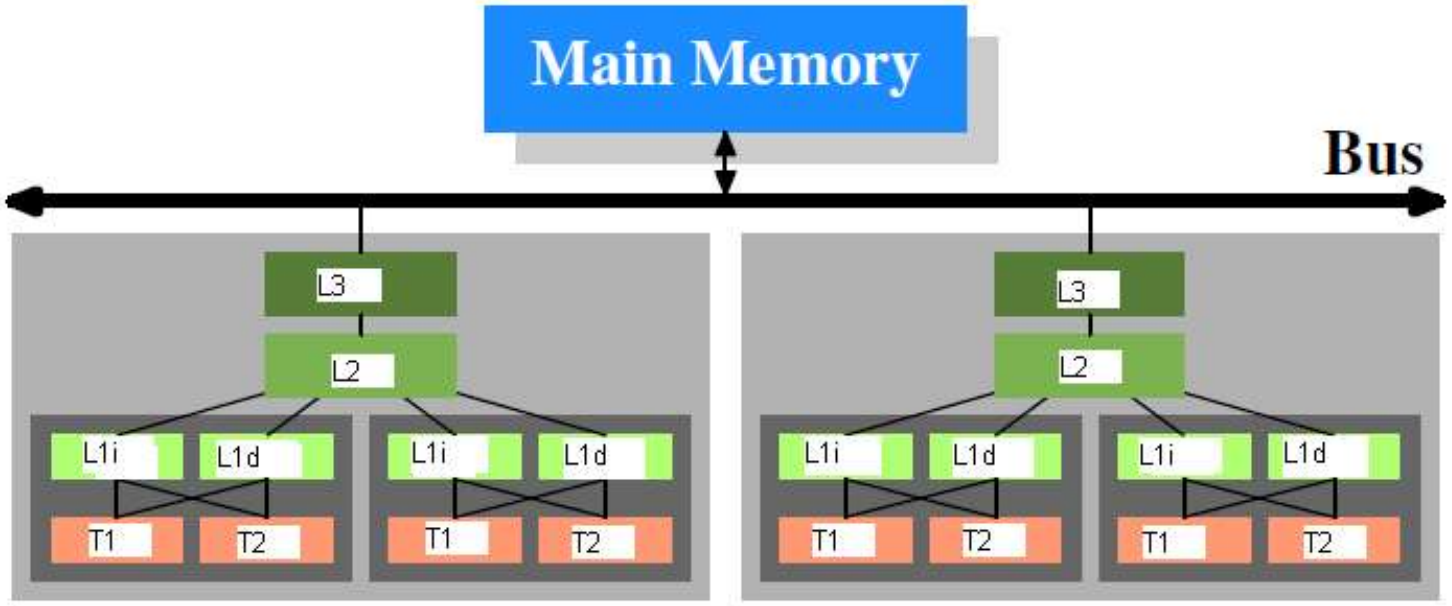
- Java virtualne dretve

- Oracle transakcije bez sesija (Sessionless Transactions)
  - "virtualne transakcije" (naš naziv)

- Da li nedostaje i "treći igrač"?

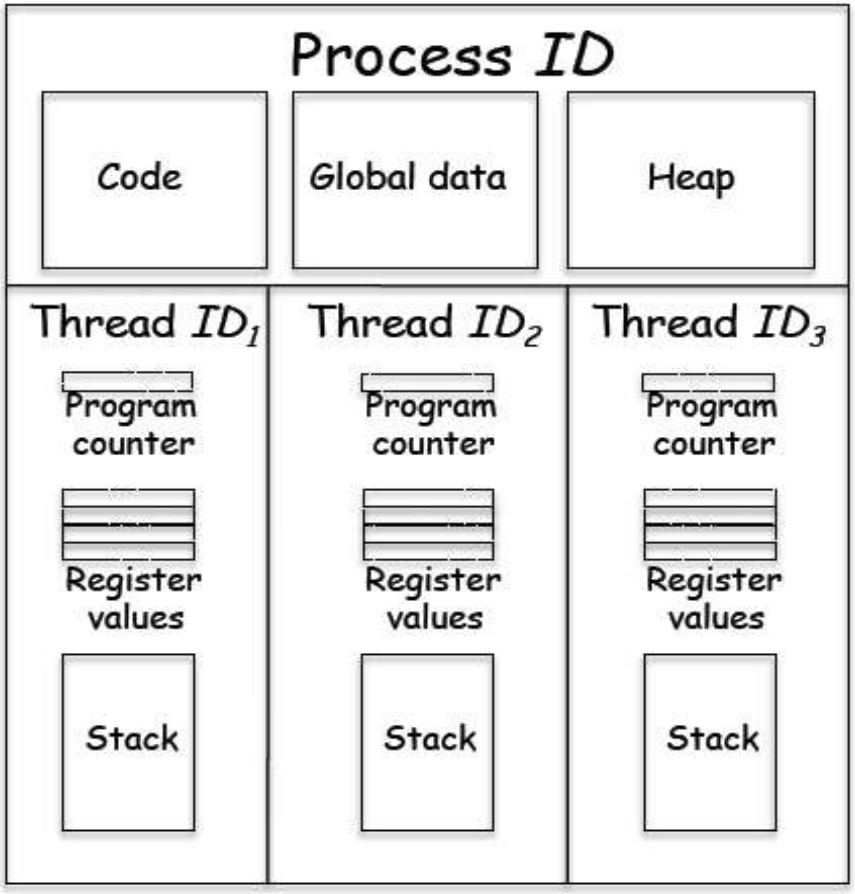
CASE 2012 ili (izvorni naziv) CASE 24 (Utjecaj razvoja mikroprocesora na konkurentno programiranje)

- Primjer sustava s dva dvojezgrena mikroprocesorska čipa.
- Svaka jezgra podržava dvije hardverske dretve, koje dijele cache prve razine (L1i = instrukcijski cache, L1d = data cache). Jezgre dijele cache druge i treće razine (L2 i L3).
- Ukupno sustav ima 4 jezgre i 8 hardverskih dretvi:



CASE 2012

- Dretve OS-a dijele globalnu memoriju (programski kod i globalne podatke) i gomilu (heap) procesa OS-a, ali imaju vlastiti stog (stack) i kontekst dretve:

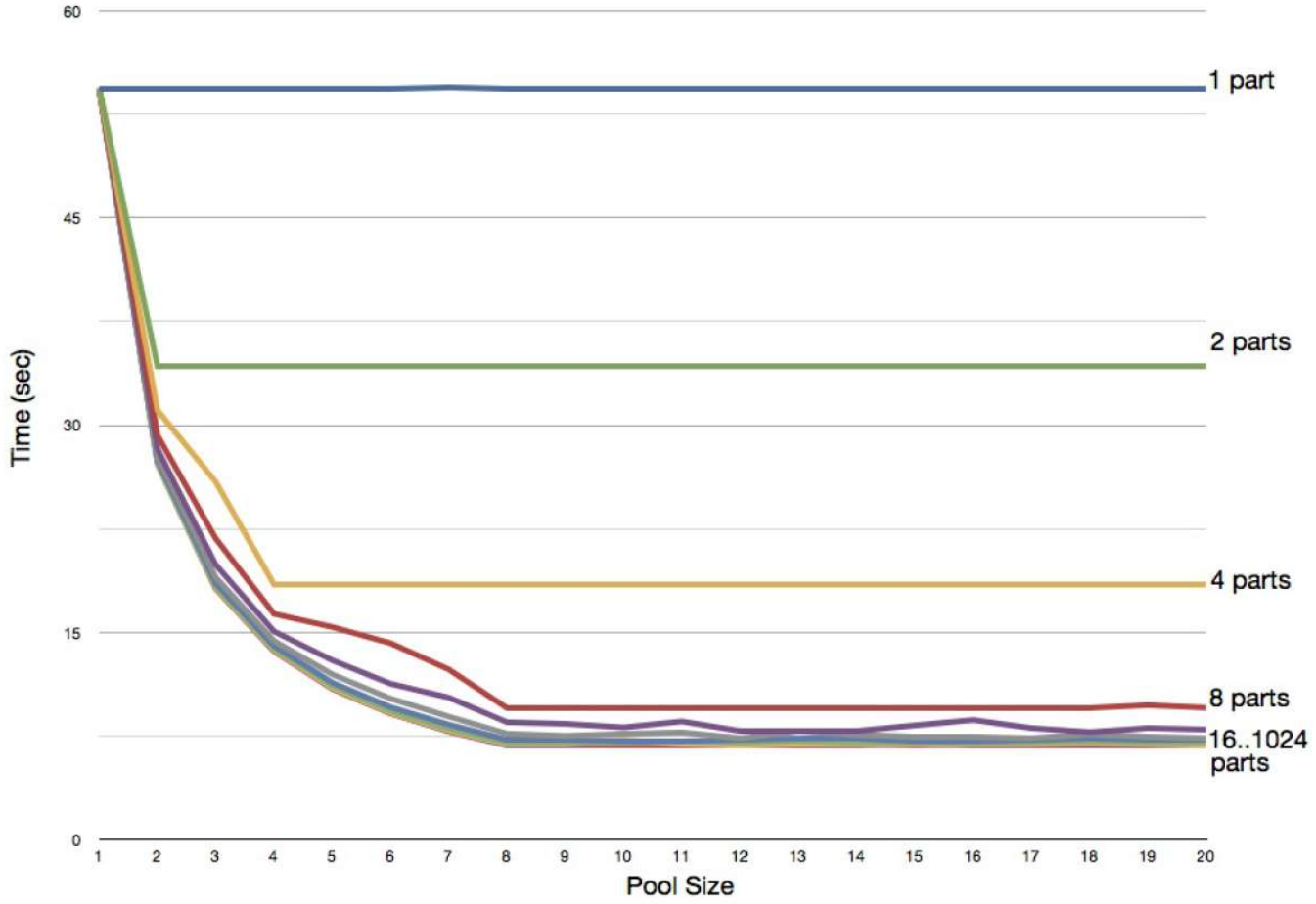


CASE 2017 ili CASE 29
(Paralelno programiranje u Javi)
Java 5/6 Executor, Java 7 ForkJoin, Java 8 Stream

```
PrimesExecutor 10000000  1 1000  Time (seconds) taken is 8.69
PrimesExecutor 10000000  2 1000  Time (seconds) taken is 4.57
PrimesExecutor 10000000  4 1000  Time (seconds) taken is 2.51
PrimesExecutor 10000000  8 1000  Time (seconds) taken is 1.76
PrimesExecutor 10000000 16 1000  Time (seconds) taken is 1.72

PrimesForkJoin 10000000  1 100   Time (seconds) taken is 8.89
PrimesForkJoin 10000000  2 100   Time (seconds) taken is 4.64
PrimesForkJoin 10000000  4 100   Time (seconds) taken is 2.59
PrimesForkJoin 10000000  8 100   Time (seconds) taken is 1.85
PrimesForkJoin 10000000 16 100   Time (seconds) taken is 1.79

PrimesStream   10000000 0         Time (seconds) taken is 8.92
PrimesStream   10000000 1         Time (seconds) taken is 1.92

... Number of primes under 10000000 is 664579
```

CASE 2017
Java 5 Executor

- Brojanje prim brojeva na µP sa 8 HW dretvi (4 jezgre * 2)
  - prikaz efekta mijenjanja broja Java dretvi (PoolSize, os x)
  i broja podzadataka (različite krivulje):



Java virtualne dretve

- Java je od početka imala Java dretve, koje se temelje na OS dretvama. Svaki Java program ima barem jednu dretvu, onu koja izvršava metodu main().

- Rad s više Java dretvi može poslužiti za (barem) dvije različite namjene:

  - **paralelizacija** (jednog) programa, kako bi program iskoristio sve hardverske procesore (hardverske dretve ili jezgre)

  - **konkurentno programiranje**, kod kojeg svaki korisnik za rješavanje svog zahtjeva dobiva Java dretvu (najčešće iz Java thread poola).

Java virtualne dretve

- Rad s Java dretvama nije jednostavan (paralelno i konkurentno programiranje uglavnom nije jednostavno) ali nije niti strašno kompliciran (barem od Jave 5 dalje).

- Ali, Java dretve, budući da su temeljene na OS dretvama, imaju dvije značajne mane:

  - **utrošak vremena zbog context switch-a**

  - **broj OS dretvi je ograničen**; danas ih može biti nekoliko tisuća, ali nekoliko milijuna je obično previše.

Java virtualne dretve

- Java asinkrono programiranje (uključujući i reaktivno programiranje) rješava te probleme, ali asinkroni programi imaju sljedeće velike mane:

  - teški su za pisanje / čitanje / testiranje

  - debug je praktički nemoguć

  - profiliranje je praktički nemoguće.

Java virtualne dretve

- Java je u 9. mjesecu 2023. u (dugotrajnoj) verziji 21 dobila i Java virtualne dretve (prije verzije 21, to je bilo prototipno rješenje).
- Dok su Java ne-virtualne (platformske) dretve povezane 1:1 s dretvama operacijskog sustava, više Java virtualnih dretvi može se izvoditi na jednoj platformskoj dretvi, tj. na jednoj dretvi operacijskog sustava. Time je broj Java virtualnih dretvi praktički neograničen.
- Java virtualne dretve omogućavaju pisanje programskog koda koji je:
  - efikasan kao i asinkroni kod
  - ali je čitljiviji, puno lakši za debugiranje
  - i daje jasnije greške (exception) u odnosu na asinkroni kod.

Java virtualne dretve

- Java dokumentacija objašnjava za što virtualne dretve (ni)su namijenjene:

  "Use virtual threads in high-throughput concurrent applications, especially those that consist of a great number of concurrent tasks that spend much of their time waiting. …Virtual threads are not faster threads; they do not run code any faster than platform threads. They exist to provide scale (higher throughput), not speed (lower latency)."

- Analizirali smo **jesu li virtualne dretve (značajno) sporije** od klasičnih (ne-virtualnih) dretvi kod paralelnih programa.

Java virtualne dretve

- Uzeli smo tri naša stara programa koji koriste ne-virtualne dretve na tri različita načina (Executors, ForkJoin framework, Streams) i napravili program koji koristi virtualne dretve tako da smo samo malo mijenjali stari program s Executors.
- Usporedili smo njihovu brzinu izvršavanja na dva računala:
  - Intel i7 čip 7. generacije, ima 8 HW dretvi = 4 jezgre * 2
  - Intel i7 čip 13. generacije, ima 20 HW dretvi = 6 * 2 (jake jezgre, imaju Hyper-Threading) + 8 (bez HT).
- Virtualne dretve se interno temelje na ForkJoin frameworku, koji ima default broj Java dretvi, tako da kod tog novog programa korisnik ne unosi broj dretvi (isto kao i kod starih programa koji koriste ForkJoin framework i Streams).
- Primijetimo da ne bi imalo smisla raditi s virtualnim dretvama kod ForkJoin i Streams varijanti (Streams se temelji na ForkJoin), jer bismo onda imali "ForkJoin iznad ForkJoin".

Java virtualne dretve

- Glavna razlika u programima:

- Stari program, s ne-virtualnim dretvama

```
final ExecutorService executorPool =
  Executors.newFixedThreadPool(poolSize);
```

- Novi program, s virtualnim dretvama

```
final ExecutorService executorPool =
  Executors.newVirtualThreadPerTaskExecutor();
```

Java virtualne dretve

Broj Java dretvi	Executors vrijeme (s) na Intel i7 7700HQ / 13700H	Executors s Java virtualnim dretvama	ForkJoin	Streams
1	7.52 / 2.01	-	7.72 / 2.20	7.20 / 2.01
2	4.03 / 1.01	-	4.09 / 1.12	-
4	2.20 / 0.51	-	2.25 / 0.58	-
8	**1.54** / 0.31	**1.56** / -	1.56 / 0.36	1.63 / -
12	1.54 / 0.27	-	1.60 / 0.31	-
16	1.54 / 0.23	-	1.60 / 0.28	-
20	1.54 / **0.22**	- / **0.23**	1.62 / 0.28	- / 0.22
32	1.54 / 0.22	-	1.64 / 0.29	-

Oracle "virtualne transakcije"

- Oracle je u bazi 26ai (staro ime: 23ai) uveo "transakcije bez sesija" (Sessionless Transactions), koje smo ovdje nazvali "virtualne transakcije", kako bi naziv bio sličan virtualnim Java dretvama. Tu mogućnost ima i SE edicija Oracle baze.
- Standardno, upravljanje transakcijom zahtijeva da resursi veze i sesije budu vezani za transakciju tijekom cijelog njezina životnog ciklusa.
- Stoga se sesija/veza može osloboditi tek nakon što je transakcija završila. To često rezultira nedovoljnim korištenjem sesija/veza.
- Kod transakcija bez sesija, nakon što pokrenemo transakciju, imamo fleksibilnost obustave i nastavka transakcije tijekom njezina životnog ciklusa. Sesija/veza može se vratiti u skup slobodnih sesija/veza i mogu je ponovno koristiti druge transakcije.

Oracle "virtualne transakcije"

- Transakcije bez sesija omogućuju aplikacijama da obustave i nastave transakcije među sesijama/vezama (jedna instanca ili RAC) bez potrebe za vanjskim upraviteljem transakcija i bez potrebe da aplikacija koordinira protokole potvrđivanja i oporavka.
- Baza podataka upravlja životnim ciklusom transakcija, uključujući potvrđivanje i oporavak.
- Performanse i propusnost aplikacije imaju koristi od smanjene latencije potvrđivanja, jer je potrebno manje kružnih putovanja klijent-poslužitelj.
- Budući da vanjska koordinacija nije potrebna, korištenje transakcija bez sesija rezultira znatno pojednostavljenom infrastrukturom srednjeg sloja ili sloja aplikacije i značajno smanjuje vrijeme zastoja u usporedbi s vanjskom koordinacijom transakcija (kao što je s XA).

Oracle "virtualne transakcije"

- Npr. pretpostavimo da korisnik pokreće transakciju kroz sesiju 1, nastavlja kroz sesiju 2 i završava kroz sesiju 3:
- Session 1

– Start transaction // Returns a transaction identifier

– Insert row (‘Smith’, 800)

– Suspend the transaction and Release session

- Session 2

– Resume the transaction using the transaction identifier

– Insert row (‘Allen’, 1600)

– Suspend the transaction and Release session

- Session 3

– Resume the transaction using the transaction identifier

– Select inserted rows // Returns rows for Smith and Allen

– Commit

Oracle "virtualne transakcije"

- Odsječak JDBC koda koji starta transakciju, radi DML, pa suspendira transakciju (čime otpušta sesiju):

```
final byte[] gtrid = oc.startTransaction();

try (PreparedStatement p = c.prepareStatement
  ("insert into orders(product_id,quantity,total_price)
    values(?, ?, ?)")
)
{ p.setInt(1,1);
  p.setInt(2,3);
  p.setBigDecimal(3, new BigDecimal(19.90).multiply
    (new BigDecimal(3)));
  p.executeUpdate();
}

oc.suspendTransactionImmediately();
```

Oracle "virtualne transakcije"

- Odsječak JDBC koda koji ponovno pokreće transakciju (u drugoj sesiji), opcionalno radi neki DML, pa COMMIT:

```
System.out.print("Please provide a global trans.ID: ");
System.out.flush();
byte[] buffer = System.in.readNBytes(32);
try (Connection c = Oracle.dataSource.getConnection())
{
  c.setAutoCommit(false);
  final OracleConnection oc =
    c.unwrap(OracleConnection.class);
  final byte[] gtrid =
    HexFormat.of().parseHex(new String(buffer));
  oc.resumeTransaction(gtrid);
... DML
  c.commit();
  System.out.println("Transaction committed!");
}
```

Oracle "virtualne transakcije"

- Odsječak PL/SQL koda koji starta transakciju, radi neki DML, pa suspendira transakciju:

```
declare
  gtrid VARCHAR2(128);
begin
  gtrid := DBMS_TRANSACTION.START_TRANSACTION (
    XID => UTL_RAW.CAST_TO_RAW('my_test1'),
    transaction_type =>
       DBMS_TRANSACTION.TRANSACTION_TYPE_SESSIONLESS,
    timeout => 2000,
    flag => DBMS_TRANSACTION.TRANSACTION_NEW
  );
  dbms_output.put_line('GTRID is: ' || gtrid);
end;
... DML
execute DBMS_TRANSACTION.SUSPEND_TRANSACTION;
```

Oracle "virtualne transakcije"

- Odsječak PL/SQL koda koji ponovno pokreće transakciju:

```
declare
  gtrid VARCHAR2(128);
begin
  gtrid := DBMS_TRANSACTION.START_TRANSACTION (
    xid => UTL_RAW.CAST_TO_RAW('my_test1'),
    transaction_type =>
      DBMS_TRANSACTION.TRANSACTION_TYPE_SESSIONLESS,
    flag => DBMS_TRANSACTION.TRANSACTION_RESUME
  );
  dbms_output.put_line('Resumed GTRID: '||gtrid);
end;
```

Java virtualne dretve + "virtualne transakcije"

- Što se (potencijalno) mijenja na razini modela izvršavanja?

- **Prije (klasični model), u tipičnoj web aplikaciji:**

  - 1 HTTP request → 1 platformska dretva

  - 1 HTTP request → 1 DB konekcija iz connection poola

  - 1 HTTP request → 1 transakcija

  - transakcija mora završiti (COMMIT/ROLLBACK) prije slanja HTTP response.

Java virtualne dretve + "virtualne transakcije"

- Virtualne dretve omogućuju:
  - jednostavan sekvencijalni kod
  - bez reactive framework kompleksnosti
  - bez callback komplikacija.
- Sessionless transakcije omogućuju:
  - pauziranje transakcije bez držanja konekcije
  - dugotrajne poslovne tokove
  - razdvajanje HTTP requesta i DB transakcijskog konteksta.

- **Zajedno:**
  - možemo imati milijune logičkih tokova (virtualne dretve)
  - bez potrebe za milijun DB konekcija
  - bez reactive paradigme.
- **To je arhitekturno nova situacija!**

Java virtualne dretve + "virtualne transakcije"

- Primjeri gdje bi to moglo biti jako korisno:
  - dugotrajni poslovni workflow
  - mikroservisi - bez saga
  - dramatično veći concurrency uz manji connection pool.

- Ali, dok ova kombinacija može dramatično promijeniti orkestraciju dugotrajnih procesa,
  ona neće omogućiti da se transakcije protežu preko "korisničkog vremena za razmišljanje" (User Think Time).

- Razlog: zaključavanje redaka.
  Iako Sessionless Transaction oslobađa sesiju (RAM i TCP socket na bazi),
  ona NE oslobađa zaključane retke u tablicama.

Java virtualne dretve + "virtualne transakcije"

- Ako web aplikacija dopusti da transakcija traje kroz više HTTP requesta, npr. korisnik dobije formu,
  a transakcija je pauzirana dok on ne klikne "Save",
  nakon 5 minuta:

  - te retke (rows) baza ima zaključane 5 minuta

  - niti jedan drugi proces ih ne može mijenjati

  - to može voditi do loših performansi baze
  (lock contention) i povećanja vjerojatnosti za deadlock
  (istina, Oracle baza sama detektira deadlock
  i omogućava da se on lako programski riješi).

"Treći igrač" u Oracle 26ai

- Oracle baza 26ai je uvela i ovo: Lock-Free Reservation, tj. stupce koji se mogu rezervirati (reservable columns). Nažalost, tu mogućnost ima samo skuplja EE edicija.

- **Facilitates multiple concurrent updates on a numeric column without traditional locking mechanisms.**
- Transactions can concurrently add or subtract from the same **row's reservable column** without waiting for others to commit.
- Updates proceed based on specified conditions for the reservable column.
- **Reservable column updates do not lock rows, allowing concurrent updates to non-reservable columns of the same row.**

"Treći igrač" u Oracle 26ai

- Neka (sadašnja) ograničenja kod Lock-Free Reservation, za stupce koji se mogu rezervirati (reservable columns):

- A reservable column can be specified for Oracle numeric data type columns only.
- A reservable column cannot be a Primary Key or an identity column (or virtual column) because the reservable column is an aggregate type.
- A user table can have at most ten reservable columns.
- User tables that have reservable columns must have a Primary Key.
- Indexes are not supported on reservable columns.
- Composite reservable columns are not allowed.

"Treći igrač" u Oracle 26ai

- Primjer PL/SQL koda bez reservable columns:

```
CREATE TABLE account (
  id NUMBER PRIMARY KEY,
  name VARCHAR2(10),
  balance NUMBER CONSTRAINT min_bal CHECK (balance >= 50));

DECLARE current NUMBER;
BEGIN
  SELECT balance INTO current -- Read and Lock account balance
    FROM account
   WHERE id = 12345 FOR UPDATE;
  IF current >= 75 THEN
    PurchaseItem(); -- Sufficient funds: Perform item purchase
    UPDATE account -- Debit account balance and commit
       SET balance = balance - 25
     WHERE id = 12345;
    COMMIT;
  ELSE
    ROLLBACK; -- Insufficient funds, so cancel
  END IF;
END;
```

"Treći igrač" u Oracle 26ai

- Primjer PL/SQL koda s reservable columns:

```
CREATE TABLE account (
  id NUMBER PRIMARY KEY,
  name VARCHAR2(10),
  balance NUMBER RESERVABLE CONSTRAINT min_bal CHECK (balance >= 50));

BEGIN
  -- Reserve 25 from account balance
  UPDATE account
     SET balance = balance - 25
   WHERE ID = 12345;
  -- If reservation succeeds perform item purchase
  PurchaseItem();
  -- The commit finalizes the balance update
  -- This gets the account row lock
  COMMIT;
EXCEPTION
   -- This indicates that the reservation failed
   WHEN Check_Constraint_Violated THEN
     ROLLBACK;
END;
```

"Treći igrač" u Oracle 26ai

- S ovim "trećim igračem", vjerujemo da je moguća arhitektura koja je neblokirajuća na svim slojevima:

  - "Aplikacijski sloj" (Java Virtual Threads):
  Java dretva ne troši OS dretvu dok čeka vanjski servis

  - "Mrežni sloj" (Sessionless Tx): konekcija prema bazi se ne blokira (ne troši TCP socket/pool) dok aplikacija čeka

  - "Podatkovni sloj" (Lock-Free Reservation):
  mijenjani redak u bazi ne sprečava druge transakcije.

"Treći igrač" u Oracle 26ai

- Primjer radnog toka (Workflow) koji postaje moguć:

- HTTP Request (npr. kada korisnik klikne "Kupi")
- Start Tx: Počinje transakcija
- Lock-Free Reservation: Rezerviraj proizvod (npr. UPDATE inventory SET qty = qty – 1 s uključenom opcijom lock-free); redak NIJE zaključan za druge kupce
- Suspend Tx: Vrati konekciju u pool
- External Call: Virtualna dretva zove Payment Gateway (što traje relativno dugo)
- Resume Tx: Uzmi novu konekciju, nastavi transakciju
- Baza sada provjerava: "Je li stanje skladišta još uvijek dovoljno nakon svih rezervacija koje su se u međuvremenu dogodile?"; ako da, Success (i COMMIT).

Literatura (dio)

- Boyarsky, J., Selikoff, S. (2015): OCP: Oracle Certified Professional Java SE 8 Programmer II Study Guide, Sybex
- Göetz B. and others (2006): Java Concurrency in Practice, Addison-Wesley
- P-Y. Saumont (2017): Functional Programming in Java, Manning
- Oracle (2024): Java Platform SE Core Libraries (Release 21), https://docs.oracle.com/en/java/javase/21/core/
- Oracle (2025): Oracle® AI Database – Database Development Guide - 26ai, https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/26/adfns/index.html
- Paumard, J. (2024): Are Virtual Threads Going to Make Reactive Programming Irrelevant?, https://2024.javazone.no/program/