UVOD U DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE

TRANSAKCIJE

ŠTA JE TRANSAKCIJA?

- Kolekcija operacija (čitanja i pisanja) koje želimo zajedno da obavimo nad bazom podataka u cilju obavljanja nekog posla definisanog na višem nivou (aplikativnom)

TRANSAKCIJE U SQL-u

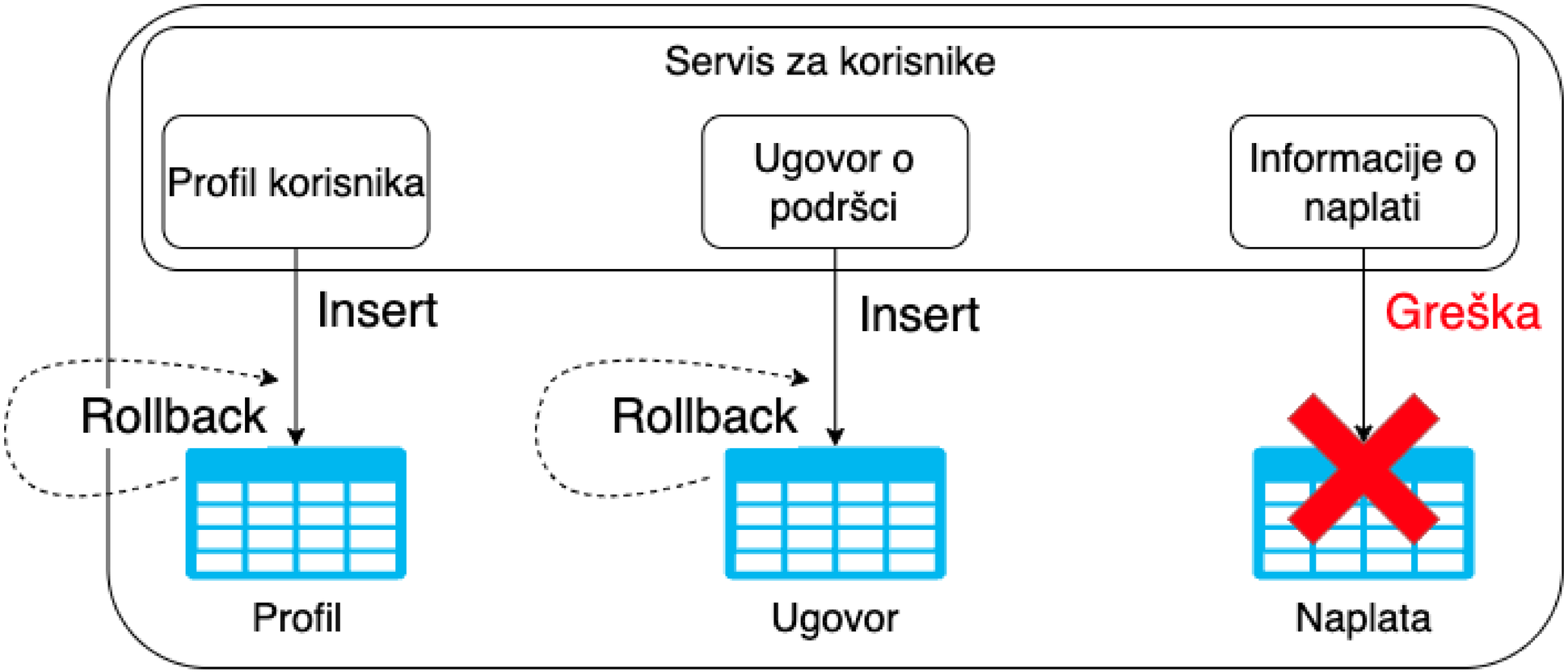
- Počinju sa BEGIN
- Završavaju se sa COMMIT ili ROLLBACK (ABORT)
    - Ako se završe sa COMMIT, baza ili sačuva sve promene ili radi ROLLBACK
    - Ako se završe sa ROLLBACK, sve promene se odbacuju i podaci se vraćaju u prvobitno stanje

SVOJSTVA TRANSAKCIJA

KOJA SVOJSTVA TRANSAKCIJA TREBA DA POSEDUJE?

- A - Atomičnost skupa operacija (Atomicity)
- C - Konzistentnost podataka (Consistency)
- I - Izolovanost operacija (Isolation)
- D - Izdržljivost podataka (Durability)

SVOJSTVA TRANSAKCIJA



DISTRIBUIRANI SISTEMI

ŠTA JE DISTRIBUIRANI SISTEM?

- Distribuirani sistem je skup nezavisnih računara koji korisnicima izgleda kao koherentan sistem

DVA ASPEKTA

- Sistemi rade na više servera gde broj servera može da varira od svega par na stotine
- Sistemi upravljaju podacima što ih čini inherentno *stateful* sistemima

CAP TEOREMA

ŠTA JE CAP TEOREMA?

- Pri pravljenju distribuiranih sistema (ne samo baza podataka) kao najvažniji ciljevi ističu se tri svojstva:
  - Konzistentnost (Consistency)
  - Dostupnost (Availability)
  - Tolerancija razdvajanja (Partition tolerance)

- Erik Bruer (Eric Brewer) uvodi pretpostavku koja kaže da se mogu zadovoljiti samo dva od tri svojstva za bilo koji zajednički sistem podataka

CAP TEOREMA

KONZISTENTNOST

- *Konzistentan sistem ili funkcioniše kao celina ili ne funkcioniše uopšte*
- *Sva čitanja, na svim čvorovima, moraju da daju isti rezultat*
- *Rezultat operacije (čitanja) nikada ne zavisi od čvora na kome se izvršava*

CAP TEOREMA

DOSTUPNOST

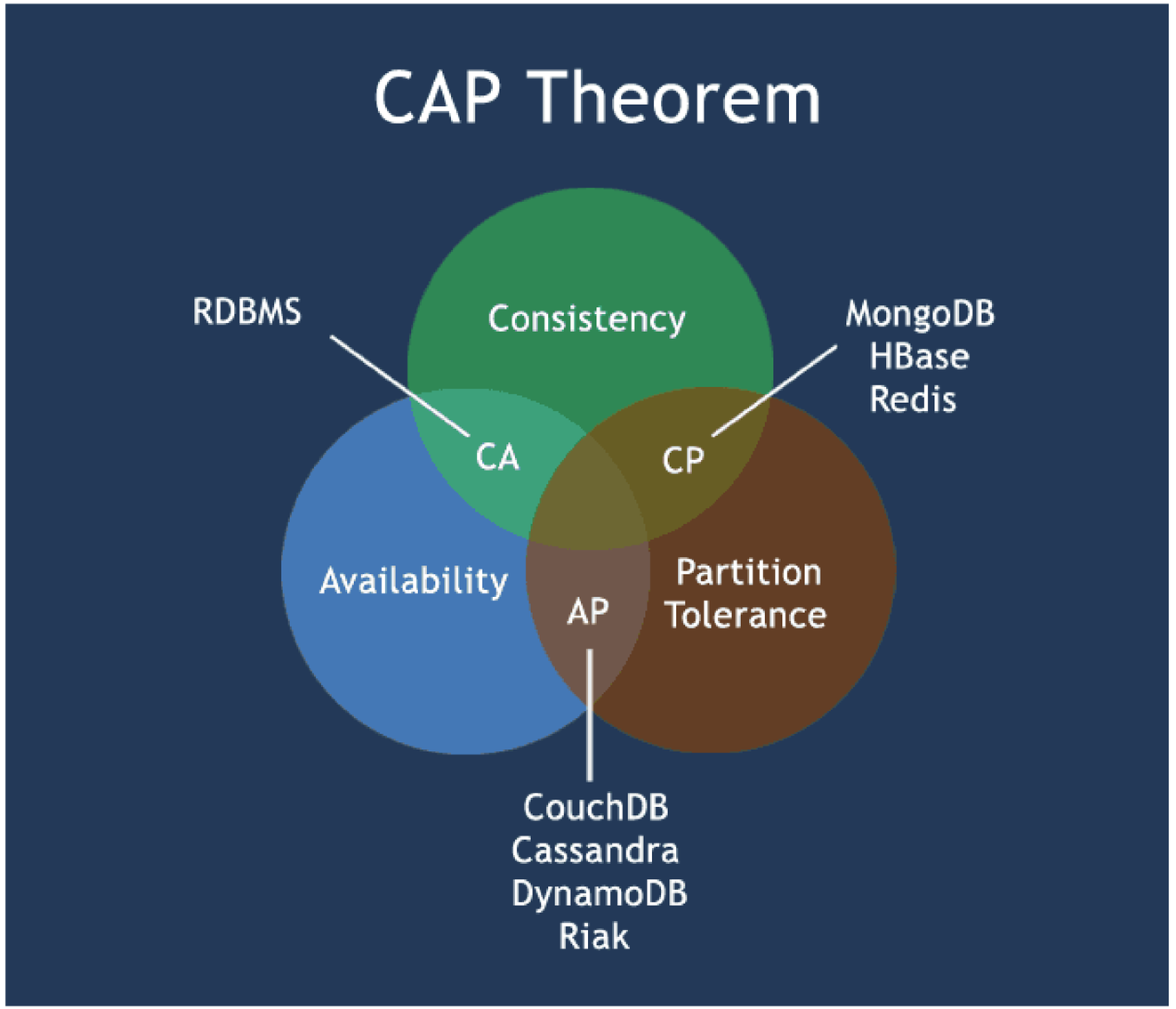
- *Sistem je uvek dostupan*
- Dostupnost (raspoloživost) se praktično definiše kao odziv sistema u nekim garantovanim granicama
- Sistem obično nije dostupan upravo kada je potreban
- U vreme kada je dostupnost najpotrebnija, onda je i najteže ostvariva, zato što je tada sistem najviše opterećen
- Ako je sistem dostupan kada nije potreban, to nema značaja

CAP TEOREMA

TOLERANCIJA RAZDVOJENOSTI

- *Nijedan skup problema, osim potpunog otkazivanja, ne sme da proizvede neispravan odziv sistema*
- Sistem mora da prihvata delimične otkaze komunikacije i da nastavlja ispravan rad (u ovom kontekstu se razmatra ispravnost odziva)
- Povremeni prekidi komunikacije među čvorovima su neizbežni
- Razdvojenost (partition) je stanje komunikacione mreže u kome su delovi sistema (obično usled kvara) podeljeni na particije (dva ili više razdvojenih skupova čvorova) između kojih ne postoji komunikacija

CAP TEOREMA



1 CAP Theorem https://www.w3resource.com/mongodb/nosql.php

CAP TEOREMA

KOMPROMISI

- Pri projektovanju (ili konfigurisanju) distribuiranog sistema neophodno je napraviti neki kompromis:
  - odbacivanje konzistentnosti
  - odbacivanje raspoloživosti
  - odbacivanje tolerancije razdvojenosti
  - odbacivanje više strogo definisanih uslova
  - zasnivanje sistema na drugačijem skupu uslova
  - projektovanje zaobilaznih puteva

KOMPROMISI

ODBACIVANJE KONZISTENTNOSTI

- Dopušta se da isti upit daje različite rezultate na različitim čvorovima
- Ova opcija se koristi kada su razlike u podacima prihvatljivije od niske dostupnosti i ako je cena nekonzistentnosti prihvatljiva
- Konzistentnost je jedan od osnovnih uslova za uspešan rad baza podataka

KOMPROMISI

ODBACIVANJE DOSTUPNOSTI

- U slučaju razdvojenosti se ne garantuje vreme odziva
- Problem se redukuje pažljivim projektovanjem sistema, odnosno uspostavljanjem što niže sprege među čvorovima
- Sistem koji nije raspoloživ je praktično neupotrebljiv
- Ako je konzistentnost primarna i ako je tolerancija razdvojenosti nezaobilazna, onda se teži niskoj spregnutosti među čvorovima

KOMPROMISI

ODBACIVANJE TOLERANCIJE RAZDVOJENOSTI

- Pristaje se da sistem ne radi u slučaju razdvojenosti
- Jedan način prevazilaženja je da sve bude na jednoj mašini (tada je particionisanje besmisleno)
- Alternativa je da se višestrukim umrežavanjem razdvojenost (a time i otkaz sistema) svede na najmanju moguću meru
- Mana ovog pristupa je da su obe alternative veoma skupe
- Imajući u vidu da se distriburana rešenja koriste samo onda kada su neophodna zbog obima podataka i poslova, ovaj vid kompromisa se retko pravi

KOMPROMISI

DRUGAČIJI SKUP USLOVA

- Dostupnost i tolerancija razdvojenosti nisu deo ACID garancija transakcije, tako da je možda moguće da se od njih odustane da bi se sačuvao integritet baze podataka
- Međutim, to možda nije najbolji izbor u svim okruženjima jer ograničava sposobnost sistema da se skalira i bude visoko dostupan
- U mnogim okruženjima, dostupnost i tolerancija razdvojenosti su važniji od konzistentnosti
- Da bi se garantovalo ACID ponašanje u transakcijama, objekti (npr. delovi baze podataka) moraju biti zaključani tako da svi vide konzistentne podatke, što uključuje da drugi entiteti moraju da čekaju dok ti podaci ne budu dosledni i otključani
- Zaključavanje dobro funkcioniše ali je to teško efikasno uraditi na velikim sistemima sa velikim količinama podataka
- Umesto toga treba razmotriti korišćenje keširanih podataka
- Rizik je da prekršimo „C“ i „I“ u ACID - dve odvojene transakcije mogu da vide različite prikaze istih podataka

KOMPROMISI

DRUGAČIJI SKUP USLOVA

- Alternativa strogim zahtevima ACID-a je BASE:
  - *Basic Availability* - ne garantuje se raspoloživost odgovora, već samo sistema; to znači da ako korisnik ne može da se dobije odgovor na zahtev, bar će se dobiti obaveštenje o tome
  - *Soft-state* - stanje sistema može da se menja čak i kada nije u toku nijedna transakcija, na primer radi postizanja konzistentnosti
  - *Eventual consistency* - žrtvuju se garantovana stalna konzistentnost i izolovanost transakcija zarad dostupnosti; sistem će u nekom trenutku (*eventually*) postati konzistentan ali će raditi i davati odgovore (potencijalno različite) do tada

DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE

ŠTA SU DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE?

- Transakcije koje za izvršavanje zahtevaju pristup podacima koji se nalaze na različitim lokacijama (čvorovima)
  - U okviru jednog DBMS – homogeno okruženje
  - Kroz više različitih DBMS - heterogeno okruženje
- Transakcije koje se prožimaju kroz više različitih sistema zovu se i globalne transakcije
- Globalne transakcije se sastoje iz lokalnih transakcija koje se izvršavaju na pojedinačnim čvorovima zbog čega je potrebna koordinacija

ZAŠTO SE IZUČAVAJU?

- Ne moraju se svi potrebni podaci naći na jednom čvoru
- Određena svojstva je teže implementirati
- Mehanizmi koji se koriste za rešavanje problema na jednom čvoru nisu dovoljni

DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE

ZAŠTO IH JE TEŠKO IMPLEMENTIRATI?

- Atomičnost
  - Različiti delovi podataka iz transakcije se možda nalaze na drugim lokacijama
  - Kako da obezbedimo da je sve ili ništa izvršeno?
- Konzistentnost
  - Otkaz može da utiče samo na jedan deo transakcije
- Izolovanost
  - *Commit* mora da se desi “simultano” na svim lokacijama
- Izdržljivost
  - Isti problemi kao i kod “običnih” transakcija

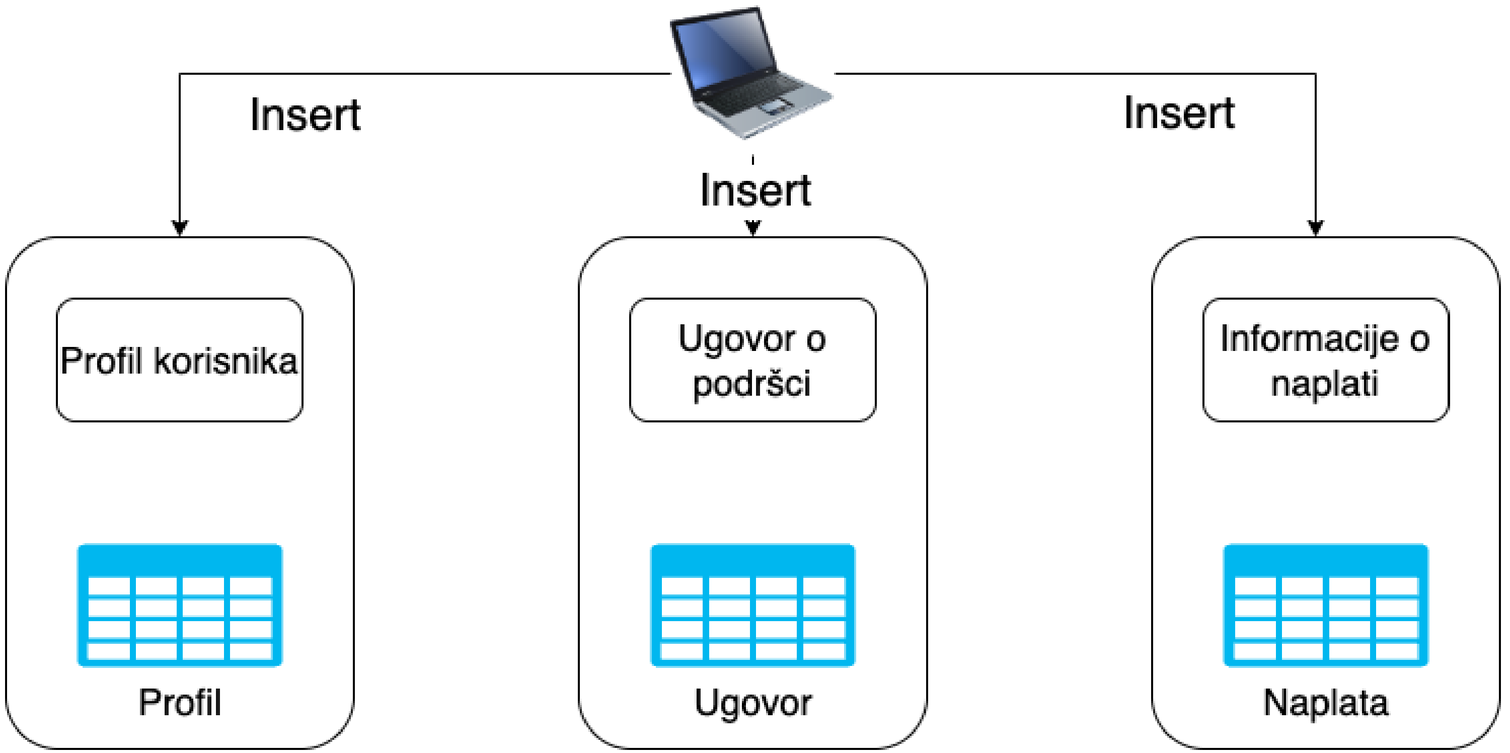
KOJI SU GLAVNI PROBLEMI?

- *Commit*
  - Standardne tehnike čuvaju svojstva transakcija kada se desi *commit*
  - Distribuirani sistemi moraju da imaju *commit* protokol da bi se znalo kada se *commit* desio
- Otkazi
  - Standardne tehnike podržavaju izdržljivost u slučaju *commit* ili *abort* operacije
  - Šta se dešava ako čvor koji učestvuje u transakciji otkaže tokom *commit*-a?

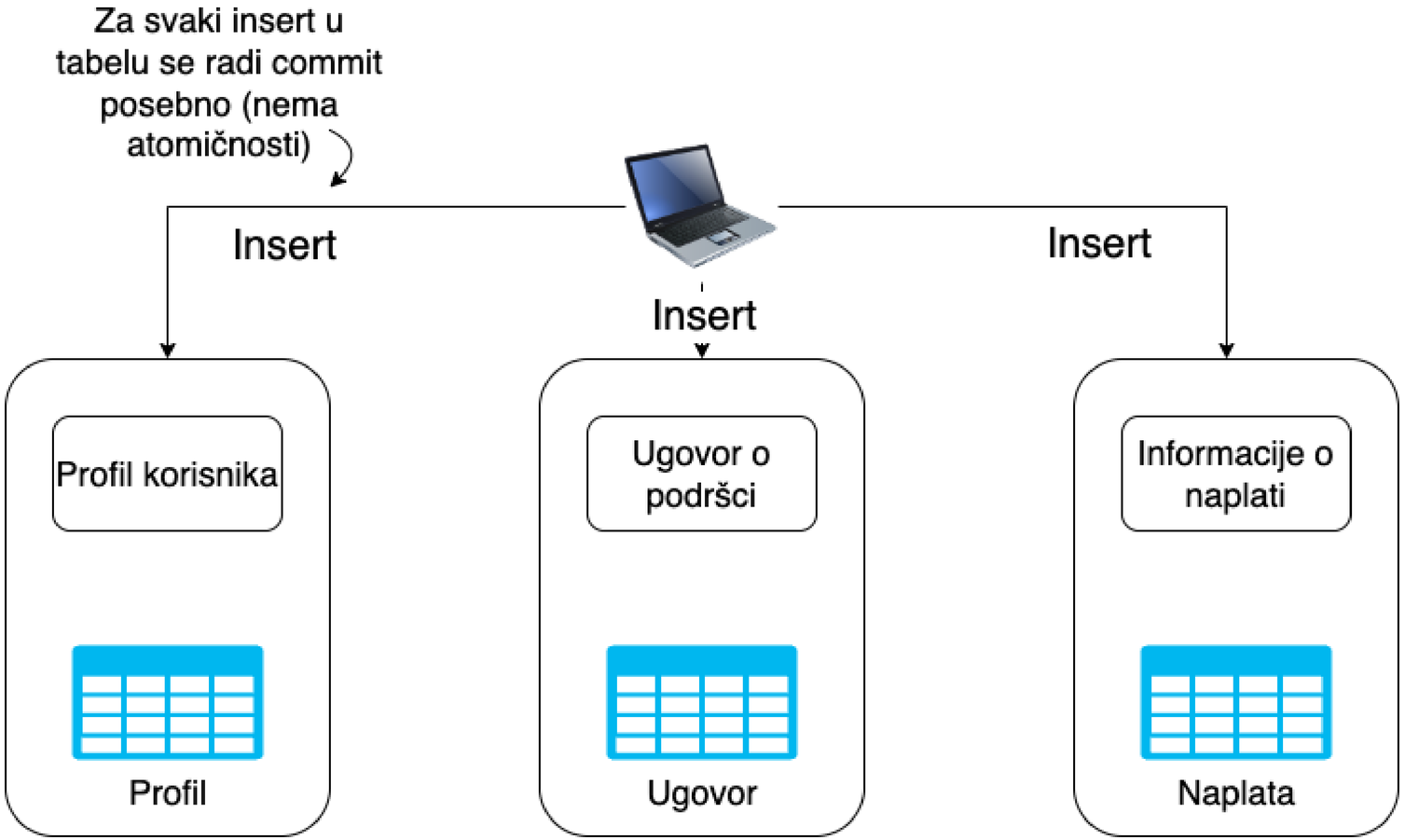
KOJI SU GLAVNI PROBLEMI?

- Ako bi se poslala *commit* naredba svakom čvoru, transakcije bi se izvršavale nezavisno
- Lako se može desiti da se transakcija uspešno izvrši na nekim čvorovima, dok na drugim izvrši neuspešno čime se narušava osobina atomičnosti:
  - Neki čvorovi mogu da detektuju narušavanje ograničenja ili konflikt i time započnu *abort*, dok drugi čvorovi mogu da izvrše transakciju bez problema
  - Neki zahtevi za *commit* mogu da se izgube u mrežnoj komunikaciji i ti zahtevi mogu da rezultuju *timeout*-om
  - Neki čvorovi mogu da otkažu pre nego što se transakcija u potpunosti izvrši i pokrene se *rollback*

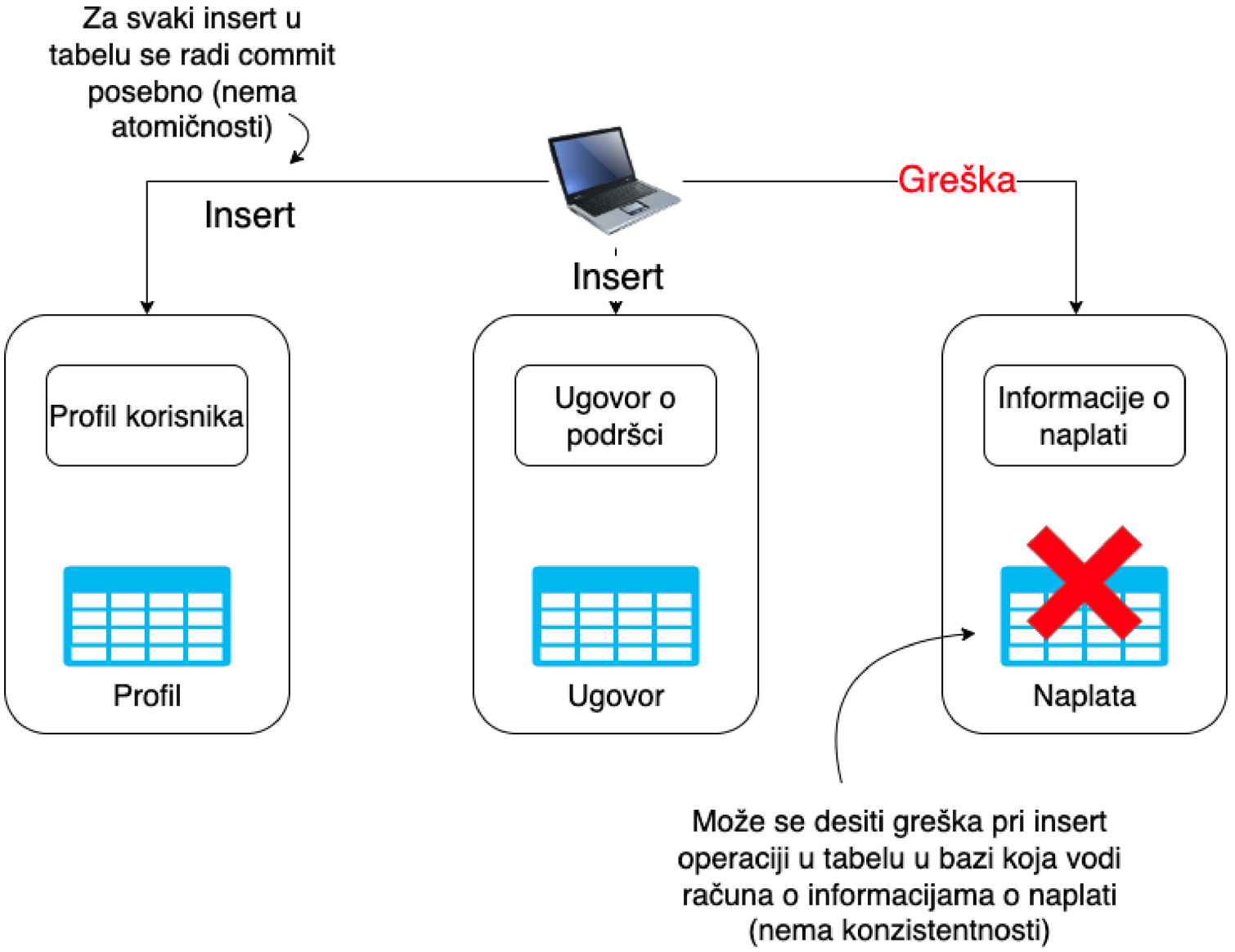
DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE



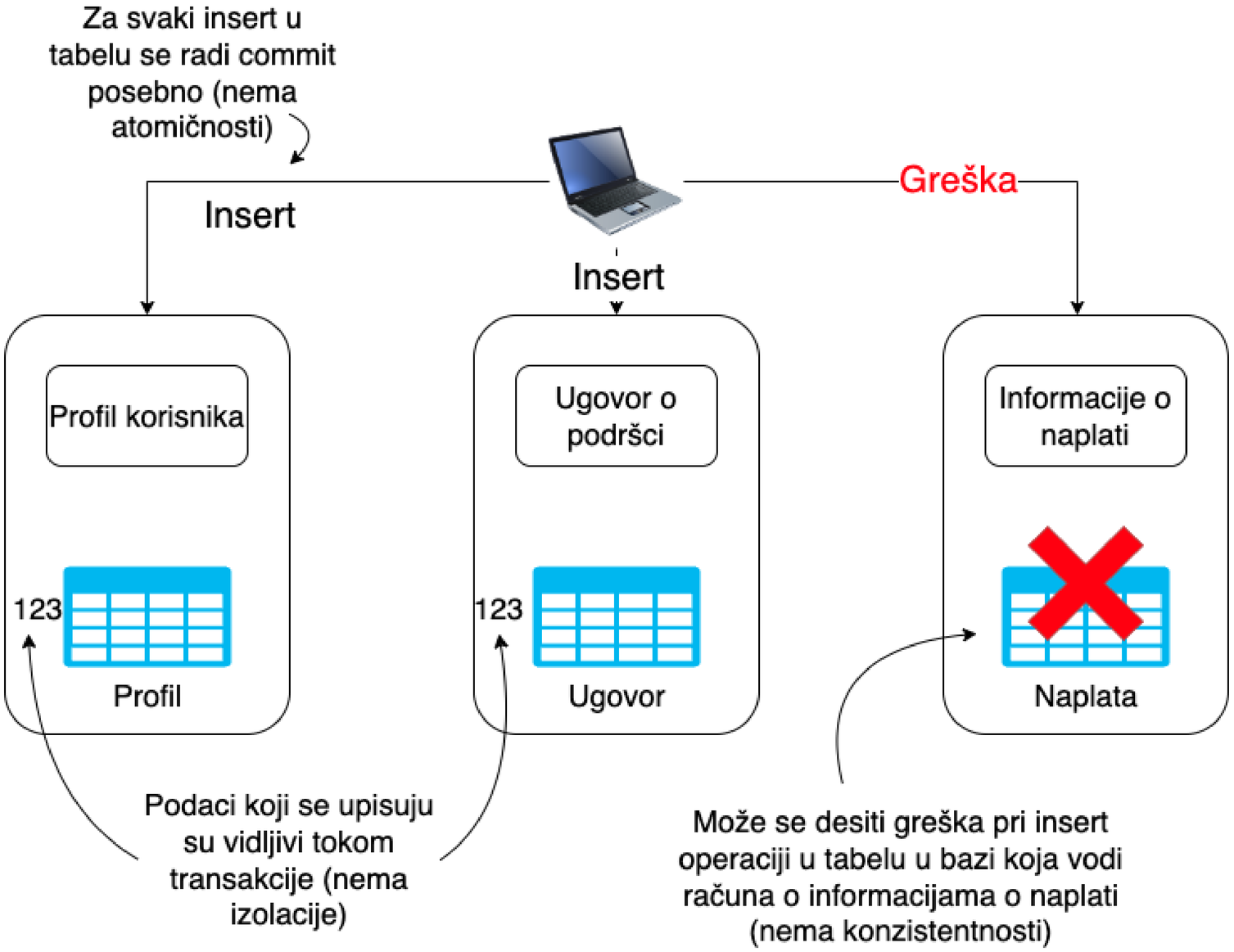
DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE



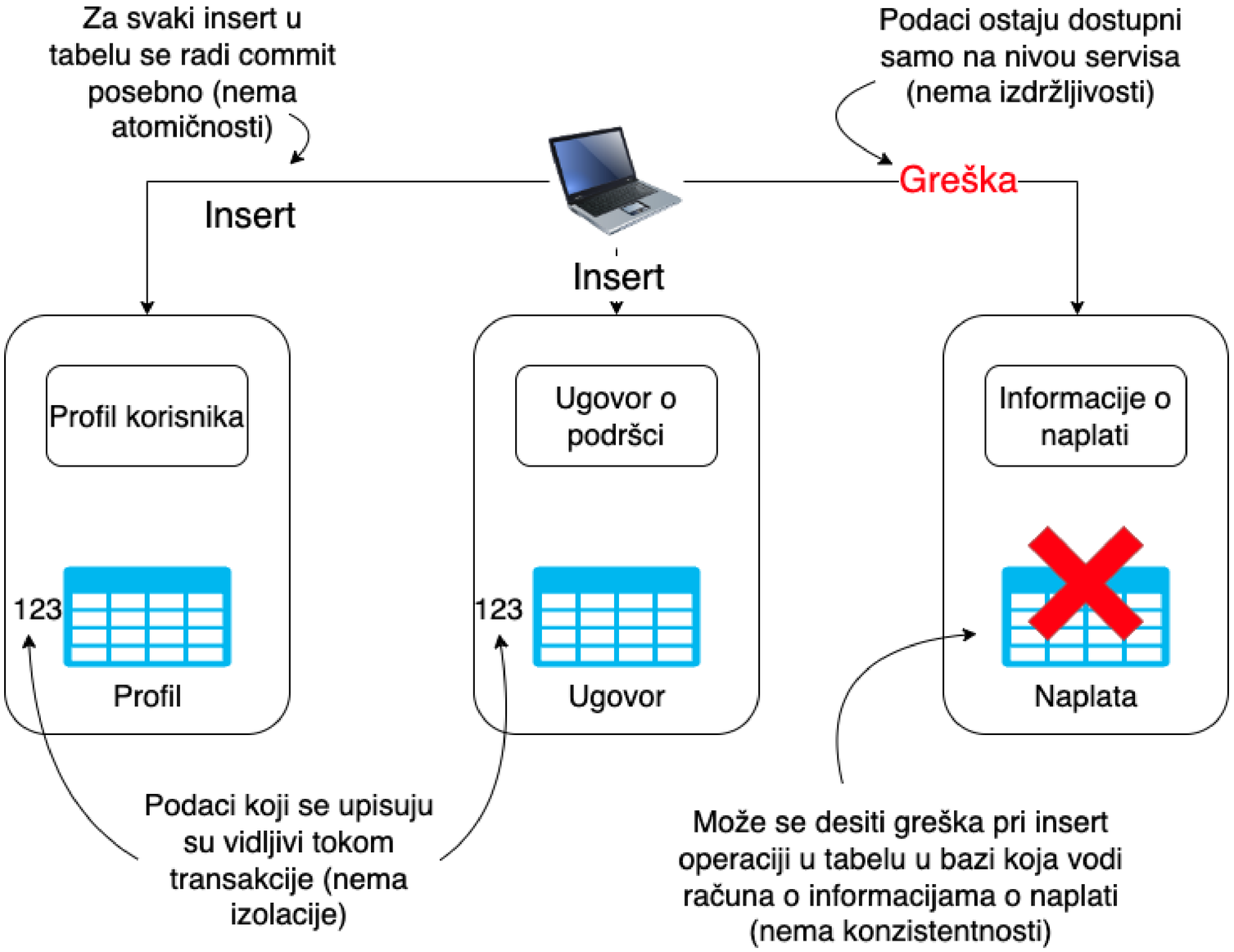
DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE



DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE



DISTRIBUIRANE TRANSAKCIJE

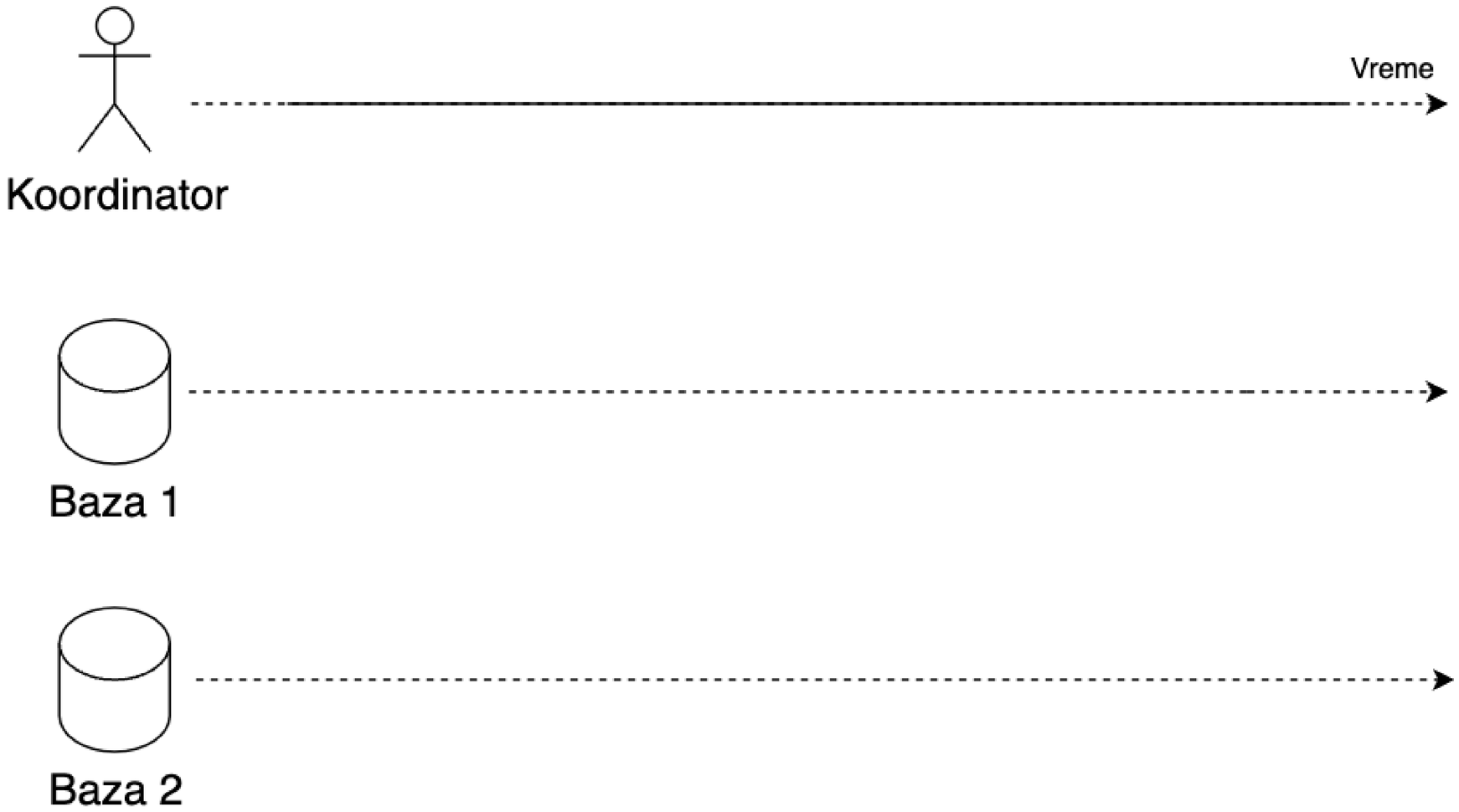


TWO-PHASE COMMIT

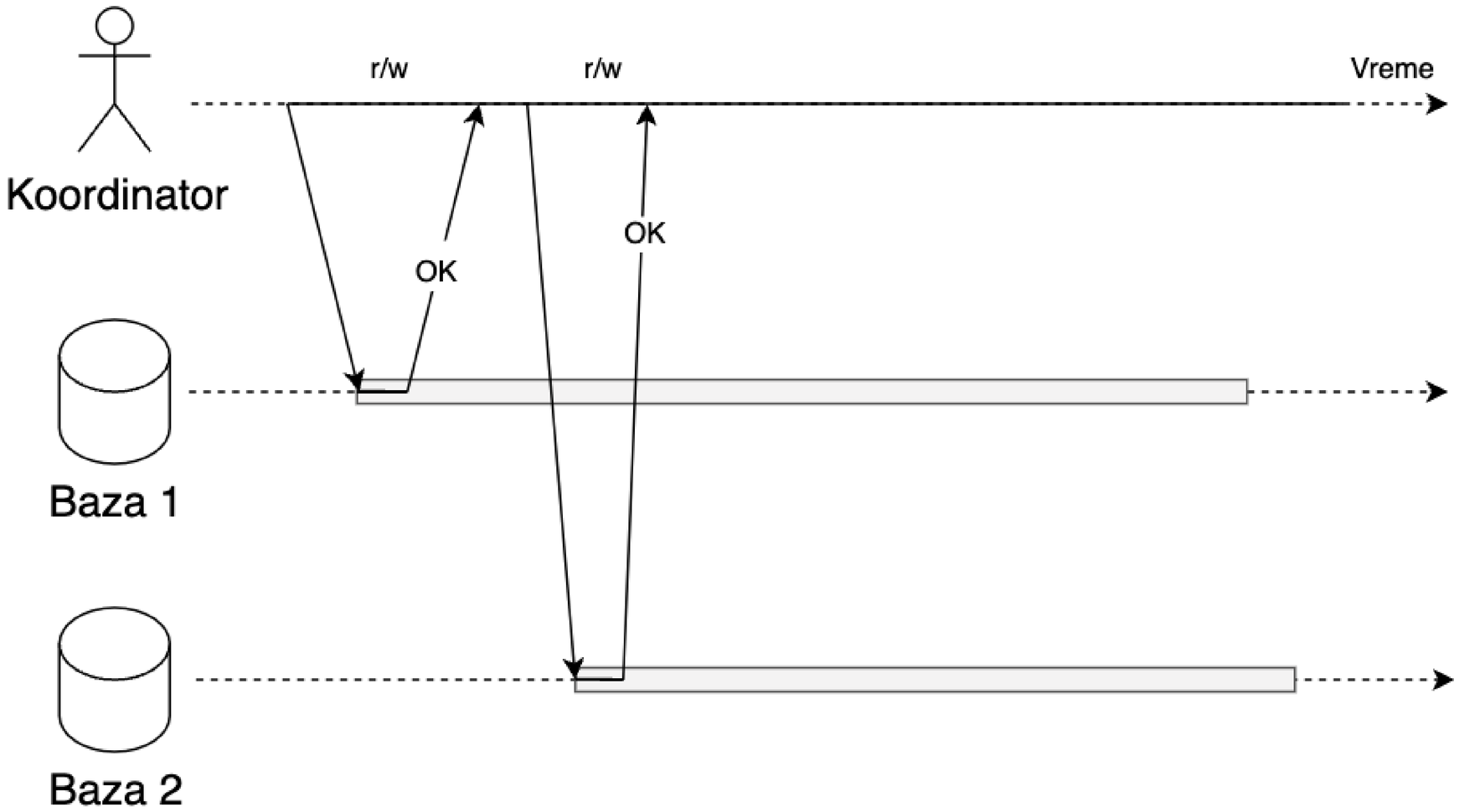
ŠTA JE 2PC?

- Algoritam za postizanje atomičnog *commit*-a transakcija na više čvorova
- Sastoji se iz dve faze:
    - Faza pripreme – proverava se da li transakcija može da se izvrši
    - *Commit* faza – radi se *commit* transakcije
- Uvodi dodatnu komponentu koja koordiniše fazama – koordinator ili transakcioni menadžer
- 2PC započinje tako što aplikacija čita i/ili piše podatke na više čvorova
- Kada je aplikacija spremna za *commit* izmena, koordinator kreće u prvu fazu i šalje *prepare* zahtev svakom čvoru
    - Ako svi čvorovi odgovore sa DA, koordinator šalje *commit* zahtev svim čvorovima u drugoj fazi
    - Ako bar jedan čvor odgovori sa NE, koordinator šalje *abort* zahtev svim čvorovima u drugoj fazi

TWO-PHASE COMMIT

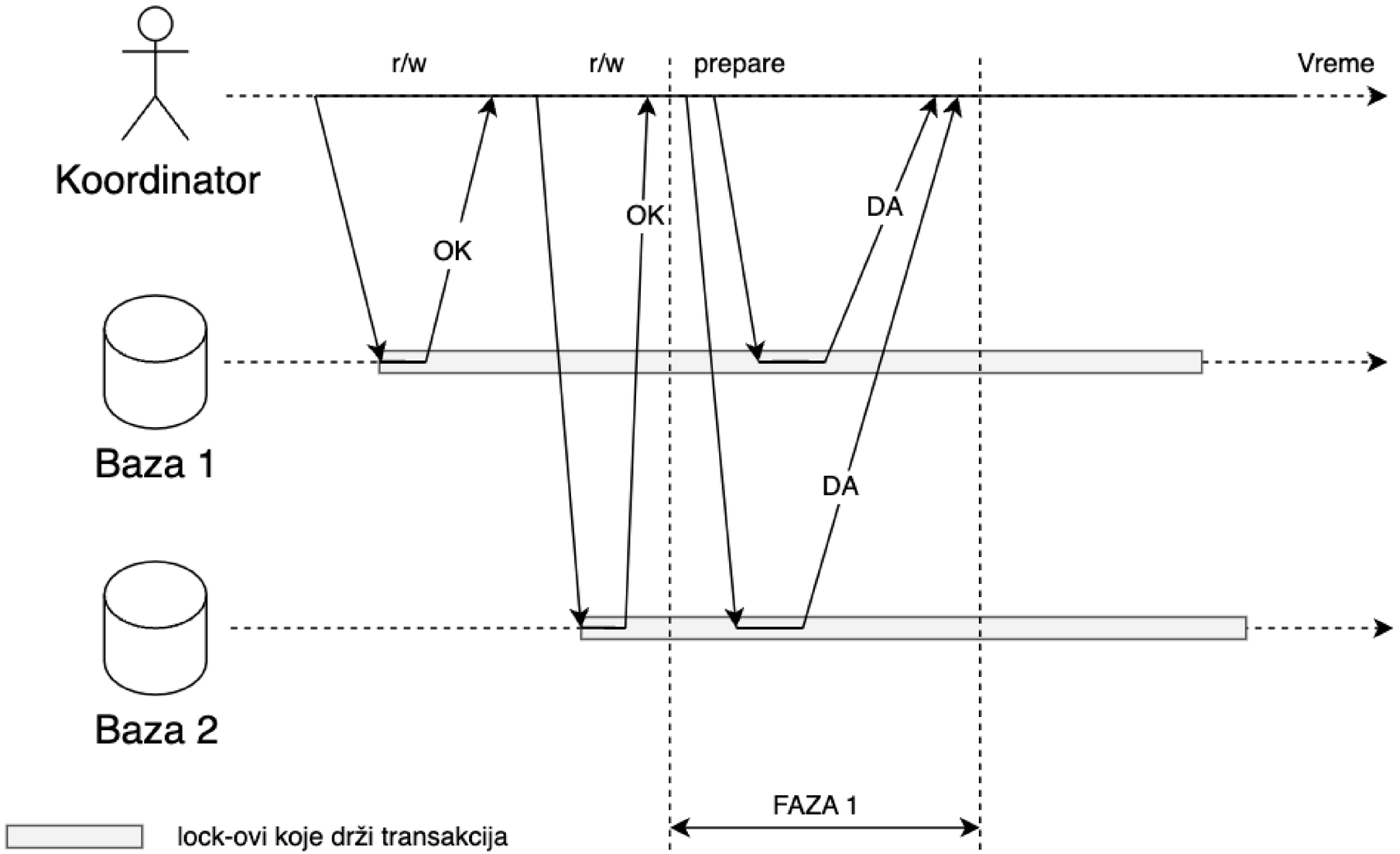


TWO-PHASE COMMIT

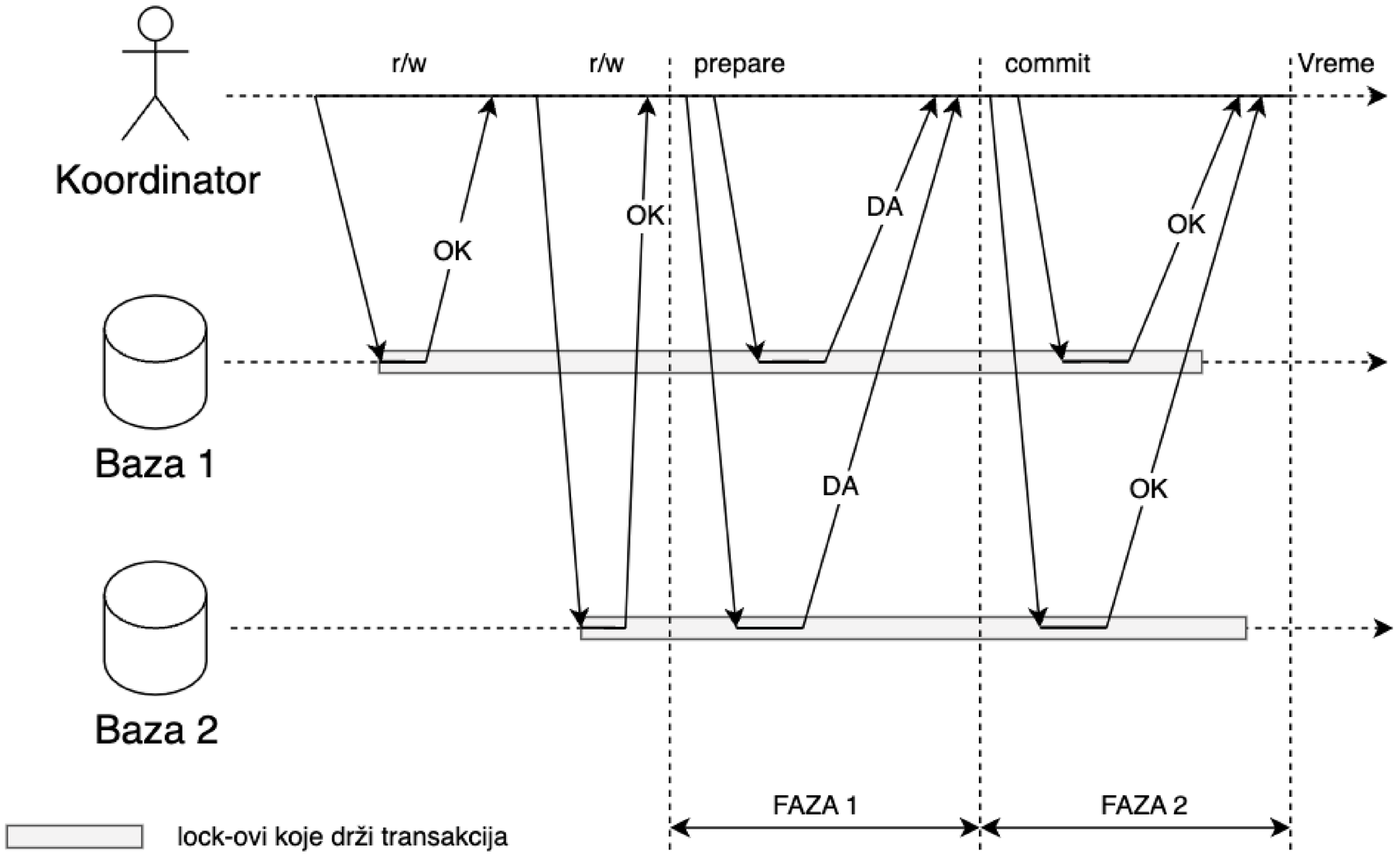


lock-ovi koje drži transakcija

TWO-PHASE COMMIT



TWO-PHASE COMMIT



TWO-PHASE COMMIT

KOJI SU GLAVNI PROBLEMI?

- Ako čvor (učesnik u transakciji) postane nedostupan u fazi pripreme:
  - Koordinator ne dobija uniformno DA i radi se *abort*
- Ako čvor (učesnik u tranksakciji) postane nedostupan u *commit* fazi:
  - Kada se osposobi, može da pita koordinatora da li da radi *commit* (*redo*) ili *abort*
  - Zahteva da oba stanja (i *commit* i *abort*) budu zapamćena u logu (*durability*) pre slanja odgovora
- Ako koordinator postane nedostupan pre faze pripreme učesnici mogu bezbedno da odustanu od transakcije
- Ako čvorovi dobiju *prepare* zahtev i daju odgovor DA, moraju da čekaju odgovor od koordinatora da čuju da li je transkacija komitovana ili otkazana
  - Ako koordinator postane nedostupan u ovom trenutku čvorovi čekaju da se oporavi (transakcije moraju ostati izolovane)
  - Zato koordinator treba da zapiše sve odluke o *commit*-u ili *abort*-u u transakcioni log pre slanja odluke čvorovima kako bi posle oporavka mogao da prosledi adekvatnu informaciju

TWO-PHASE COMMIT

PREDNOSTI

- Jednostavno za razumevanje i implementaciju
- Podržava ACID

MANE

- Mehanizmi zaključavanja i duge konekcije tokom transakcija dovode do opadanja performansi – blokirajući protokol
- Jako sprezanje između svih učesnika u komunikaciji
- Slaba otpornost na greške u komunikaciji
- Koordinator je *Single Point of Failure* (SPoF)

KONSENZUS

ŠTA AKO SE TRANSAKCIJE NE IZVRŠE NA SVIM ČVOROVIMA?

- Svi čvorovi se moraju dogovoriti o ishodu – ili će svi raditi *abort* (ako nešto pođe po zlu) ili će raditi *commit* (ako sve prođe kako treba)
- Jedan ili više čvorova će predložiti vrednosti, a konsenzus algoritam će se odlučiti za jednu od njih
- Takav algoritam treba da zadovolji nekoliko svojstava:
  - Uniformni dogovor – nijedna dva čvora ne mogu dogovoriti različit ishod
  - Integritet – nijedan čvor ne može da odlučuje dvaput
  - Validnost – ako je neki čvor izabrao vrednost, znači da je neki čvor tu vrednost morao predložiti
  - Terminacija – svaki čvor koji ne otkaže, odlučuje o nekoj vrednosti
- Poznati algoritmi za konsenzus:
  - Viewstamped Replication (VSR)
  - Paxos
  - Raft
  - Zab

THREE-PHASE COMMIT

ŠTA JE 3PC?

- Varijacija koja definiše gornju granicu vremena za koju transakcija treba da se komituje ili otkaže
- Pruža rešenje za blokirajuću prirodu 2PC
- *Commit* faza se dekomponuje na dve potfaze:
  - Priprema za *commit* - koordinator šalje poruku svim čvorovima kada dobije DA u prvoj fazi
    - Ako čvor dobije *prepare-to-commit* poruku, priprema sve za *commit* (resurse i *lock*-ove), šalje odgovor da je spreman i čeka
    - Ako čvor dobije *abort* poruku ili istekne period čekanja poruke od koordinatora, radi se *abort* transakcije (puštaju se svi *lock*-ovi nad resursima)
  - *Commit* faza – ista kao i u 2PC, ako dobije *prepare-to-commit* odgovor od svih čvorova šalje *commit* poruku, u suprotnom radi *abort*

THREE-PHASE COMMIT

ŠTA JE 3PC?

- Čvorovi u fazi pripreme za *commit* imaju informaciju šta je konsenzus tako da ako koordinator otkaže, mogu da pošalju informaciju rezervnom koordinatoru kakva je bila odluka (*commit* ili *abort*)
- Ako je svaki čvor dobio *prepare-to-commit* poruku, koordinator može da traži *commit*
- Ako su samo neki čvorovi dobili *prepare-to-commit* poruku, koordinator zna da je jednoglasna odluka trebala da bude *commit* i može ponovo da izda zahtev
- Ako nijedan čvor nije dobio *prepare-to-commit* poruku, koordinator može da restartuje protokol

ŠTA JE SAGA?

- Pristup koji transakciju razdvaja na lanac više podtransakcija (koraka)
- Saga koordinator transakcija izvršava korake u lancu transakcija
- Nakon što se sve transakcije izvrše, resursi se oslobađaju
- Svakoj operaciji transakcije u lancu transakcija odgovara operacija reverzibilne transakcije
- Ako korak propadne, šalje se kompenzaciona operacija
- Koordinacija koraka se sprovodi na dva načina:
    - Orkestrirana saga – centralni koordinator poziva sledeci korak
    - Koreografisana saga – svaki servis poziva sledeći
- Popularan pristup za rukovanje transakcijama, pogotovo u mikroservisnoj arhitekturi

ORKESTRIRANA SAGA

Checkout

Coordinator

StockService

CartService

ORKESTRIRANA SAGA

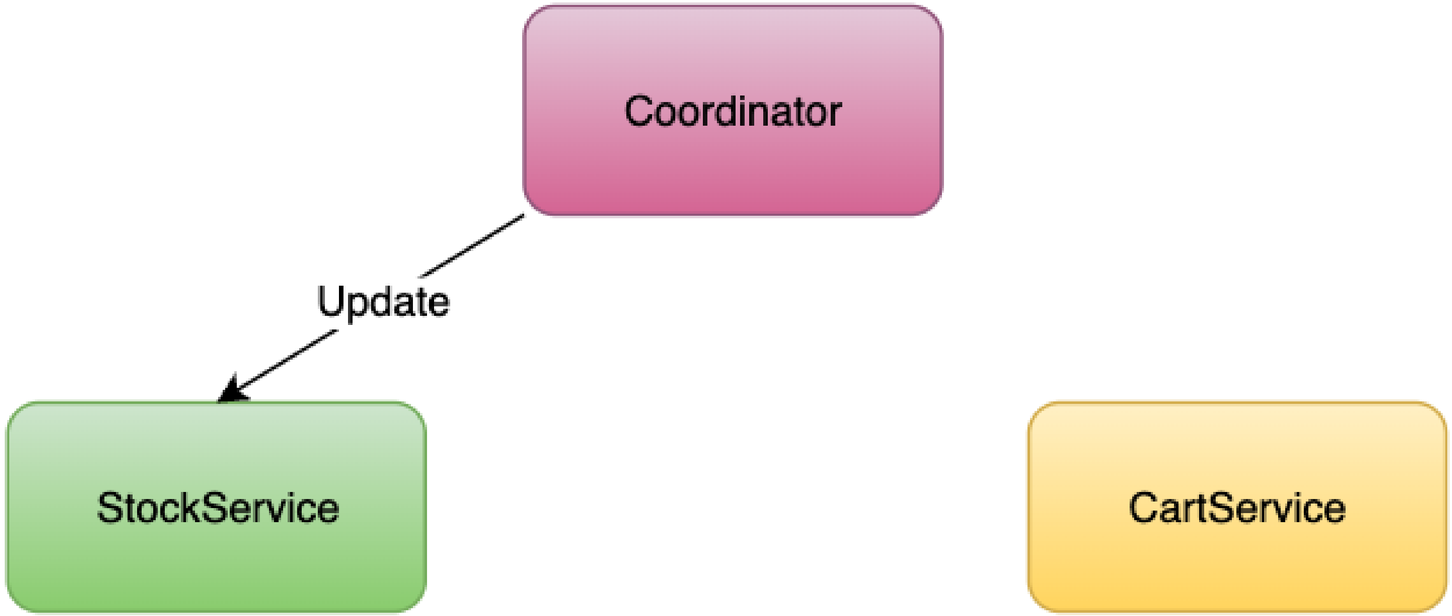
Accepted

Coordinator

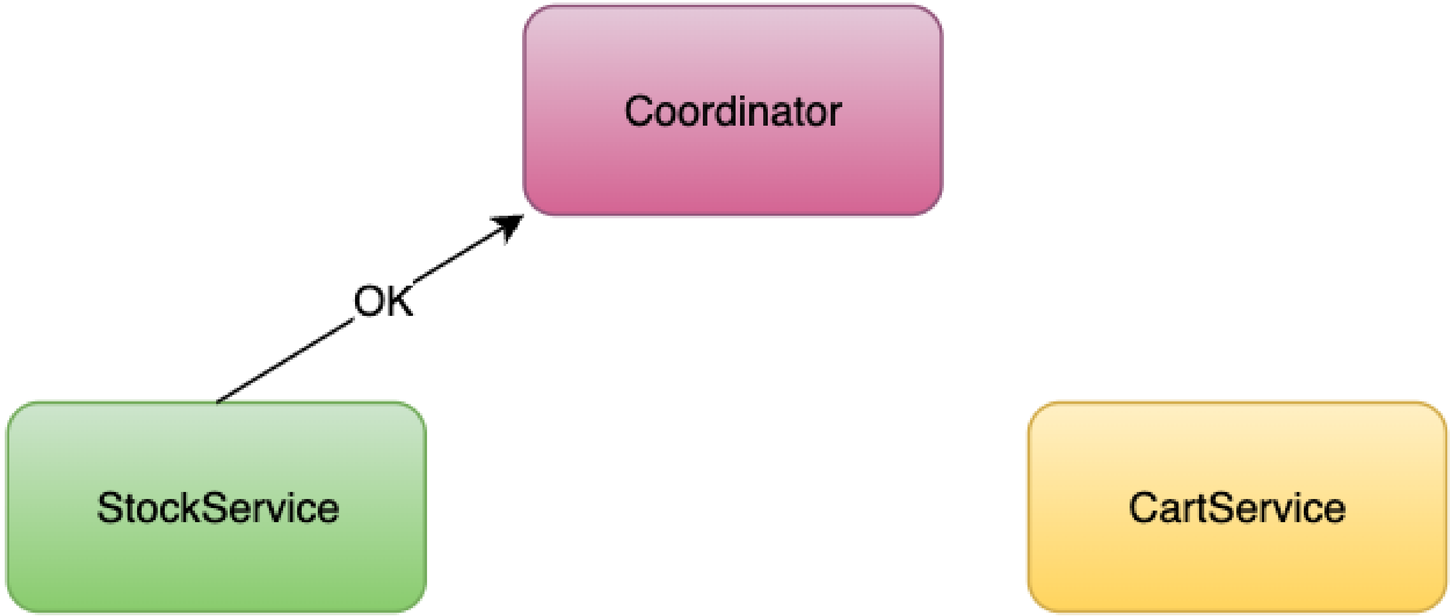
StockService

CartService

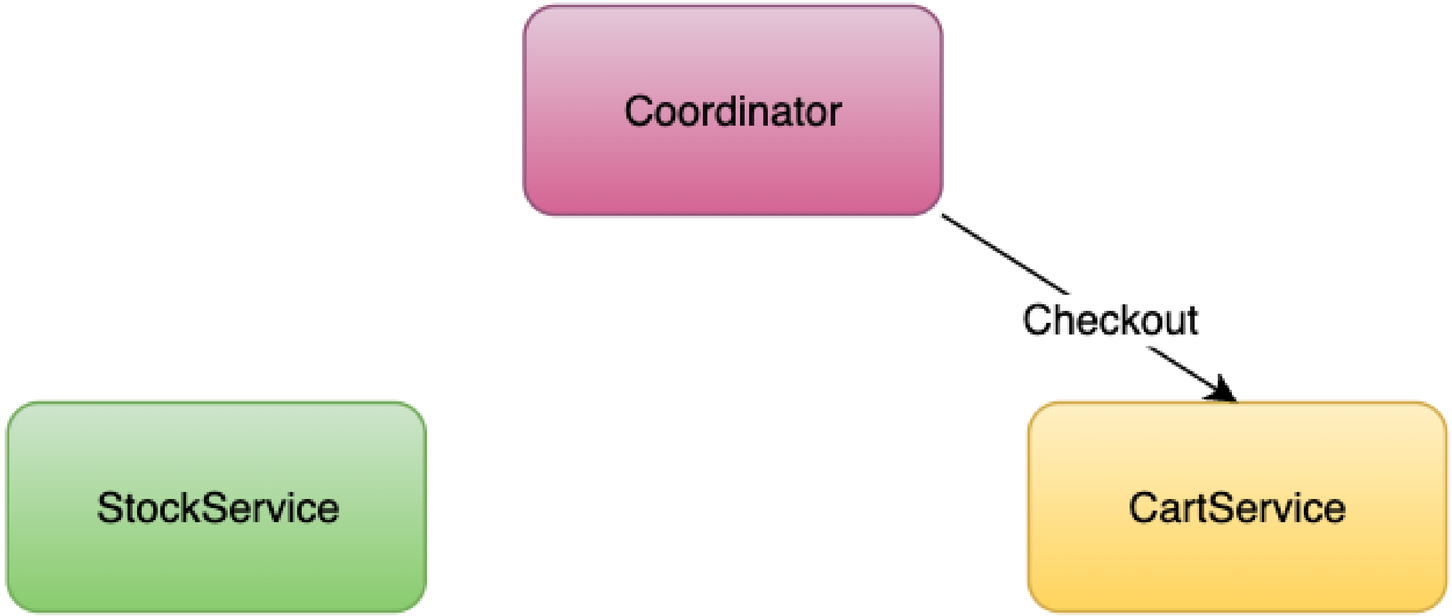
ORKESTRIRANA SAGA



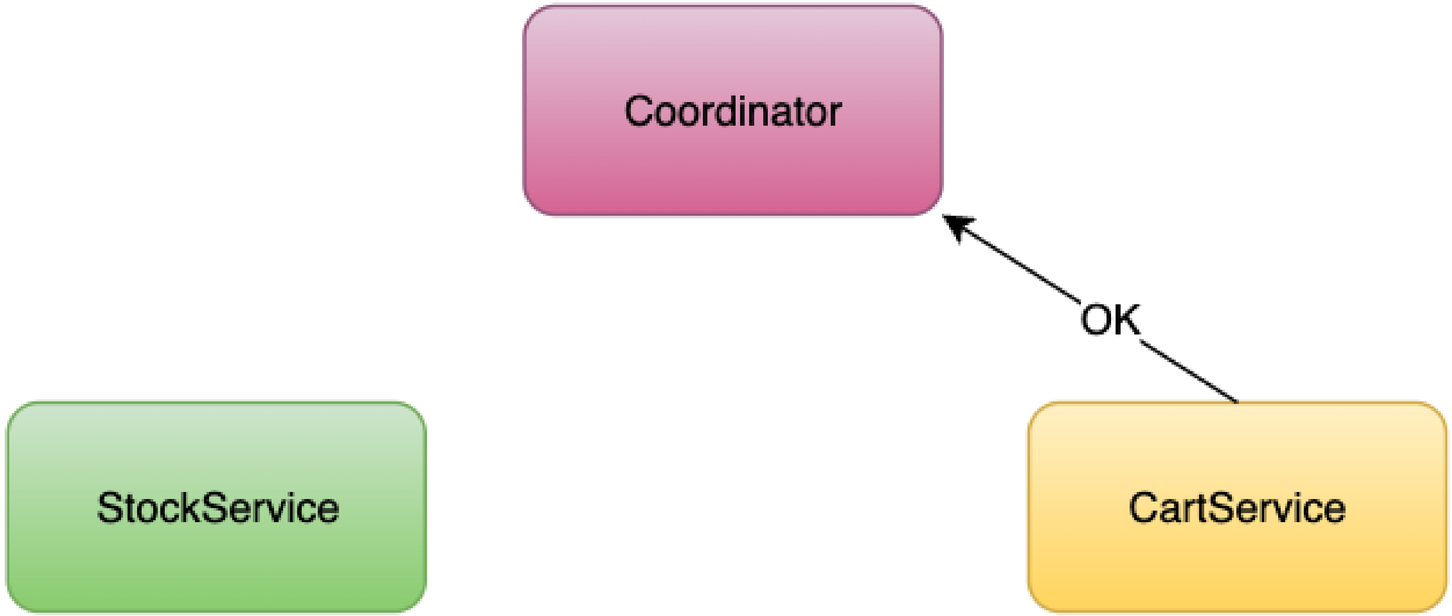
ORKESTRIRANA SAGA



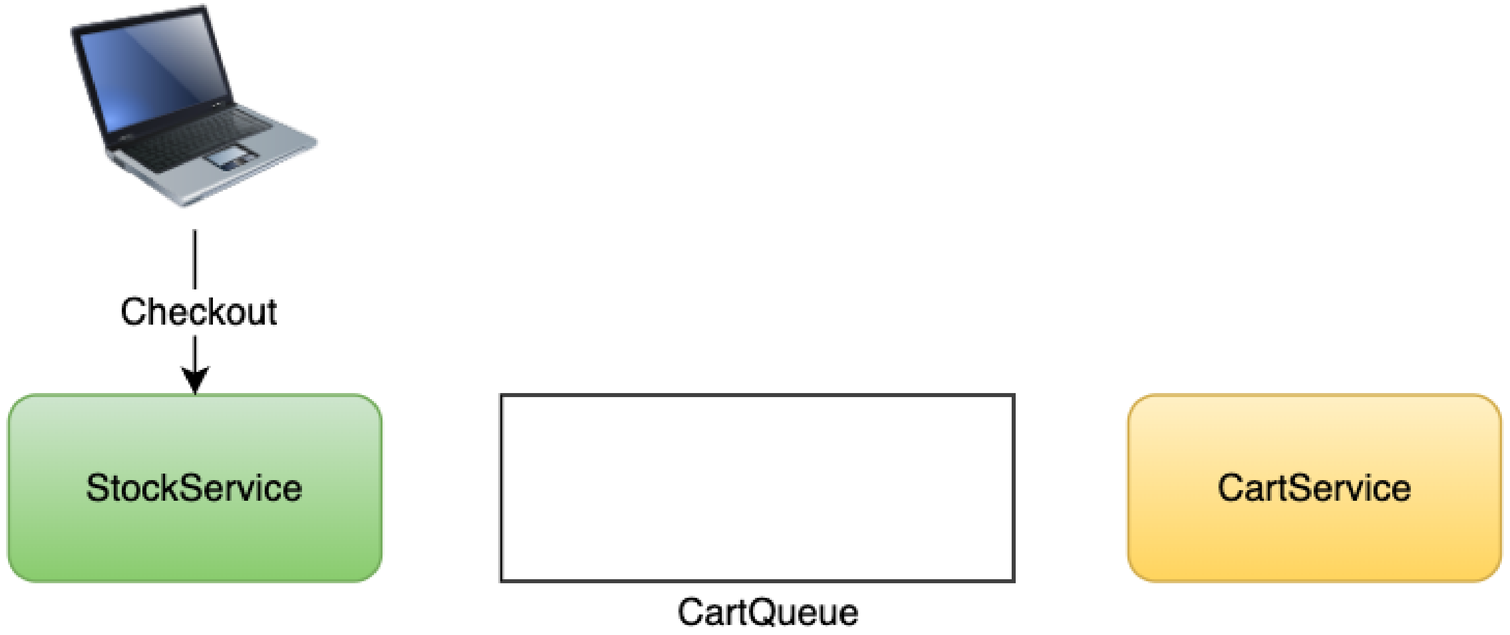
ORKESTRIRANA SAGA



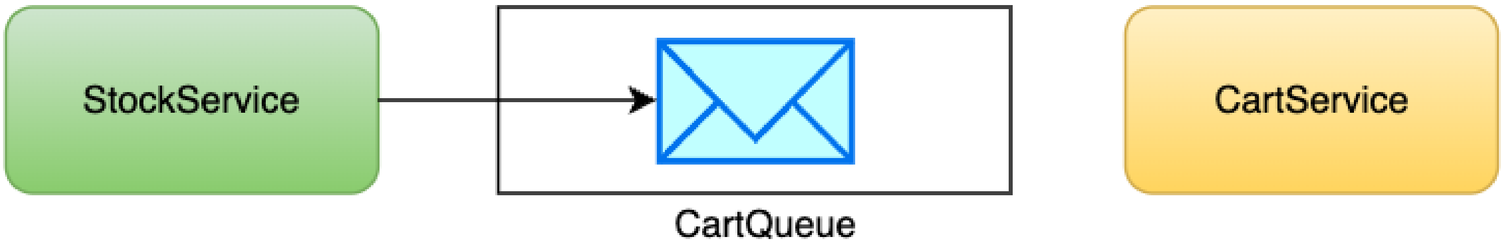
ORKESTRIRANA SAGA



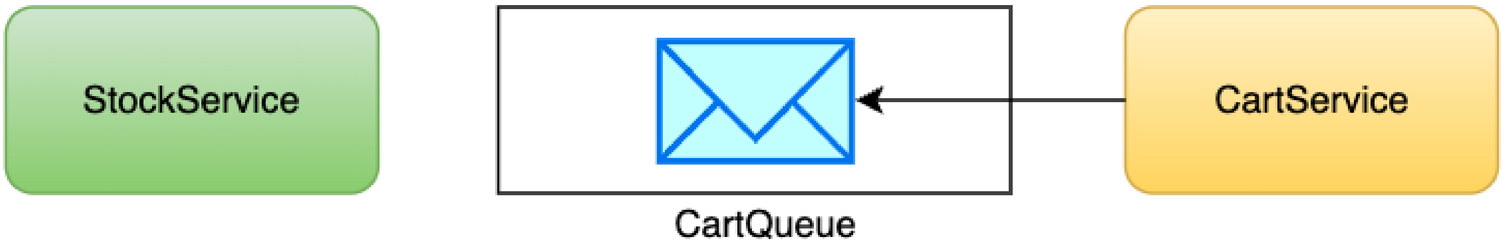
KOREOGRAFISANA SAGA



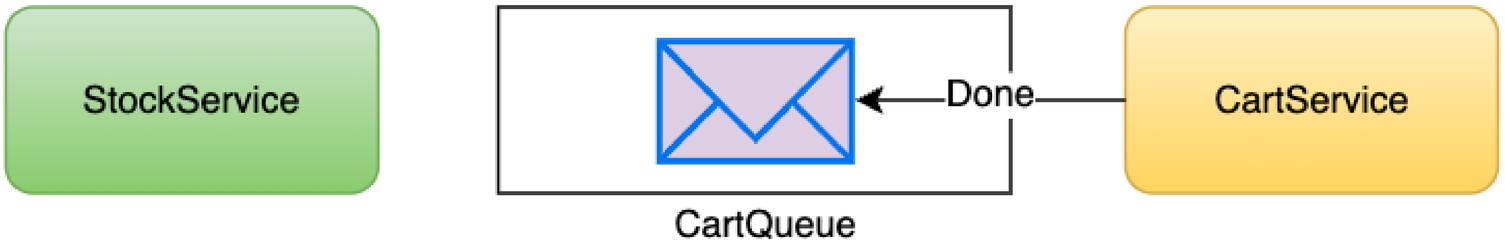
KOREOGRAFISANA SAGA



KOREOGRAFISANA SAGA



KOREOGRAFISANA SAGA



ŠTA JE SAGA?

- Saga transakcije garantuju tri osobine:
  - Atomičnost - koordinator može da obezbedi da su sve lokalne transakcije u lancu transakcija komitovane ili opozvane
  - Konzistentnost - saga transakcije obezbeđuju *eventual consistency*
  - Izdržljivost - Saga je zasnovana na lokalnim transakcijama pa se ova osobina može obezbediti
- Saga ne garantuje izolaciju transakcija
  - Lokalna transakcija će biti vidljiva drugim transakcijama nakon što se izvrši
  - Ako su druge transakcije promenile podatke koji su uspešno poslati, operacija kompenzacije može propasti

ŠTA JE SAGA?

- Saga transakcije zahtevaju da dizajn i implementacija budu u skladu sa tri svojstva:
  - Podrška za praznu kompenzaciju – učesnici u transakciji mogu dobiti redosled operacija za kompenzaciju pre obavljanja originalnih operacija zbog problema sa mrežom; u ovom slučaju je potrebna nulta naknada tj. da se ignorišu sva ažuriranja iz operacija za kompenzaciju
  - Održavanje idempotentnosti – originalne operacije i operacije kompenzacije mogu se više puta pokretati uvek sa istim ishodom
  - Sprečavanje suspenzije resursa - ako originalna operacija stigne kasnije od operacije kompenzacije zbog problema sa mrežom, originalna operacija mora biti odbačena kako ne bi došlo do suspenzije resursa

SAGA

PREDNOSTI

- Slaba sprega između servisa/baza
- Dobar pristup za duge transakcije
- Dobar pristup za sisteme sa velikim razlikama u performansama pisanja

MANE

- *Eventual consistency* osobinu je teško zadovoljiti zbog kompleksnog dizajna i implementacije
- Izolacija nije obezbeđena što može dovesti do nekonzestentnosti podataka
- Redosled poruka je veoma bitan

MANE DISTRIBUIRANIH TRANSAKCIJA

ŠTA SU MANE DISTRIBUIRANIH TRANSAKCIJA?

- Ako koordinator nema replike (već postoji samo jedna instanca) postaje *Single Point of Failure* (SPoF)
    - Njegov otkaz uzrokuje da drugi serveri budu blokirani lock-ovima koje drže za aktuelne transakcije
- Mnoge aplikacije su danas *stateless* i podatke čuvaju u bazi podataka, ali kada je koordinator deo sistema, u njegovom logu se čuvaju informacije o transakcijama i aplikacije time prestaju da budu *stateless*
- Pošto implementacije distribuiranih transakcija treba da budu kompatibilne sa različitim sistemima, moraju da poznaju različite sisteme da bi se mogle adekvatno koristiti (možda ne mogu da detektuju *deadlock* ili ne rade sa nekim nivoima izolacije)

REFERENCE

- SILBERSCHATZ A, KORTH H, SUDARSHAN S. DATABASE SYSTEM CONCEPTS. https://db-book.com/
- BREWER E. TOWARDS ROBUST DISTRIBUTED SYSTEM. https://sites.cs.ucsb.edu/~rich/class/cs293b-cloud/papers/Brewer_podc_keynote_2000.pdf
- KLEPPMANN M. DESIGNING DATA-INTENSIVE APPLICATIONS https://bit.ly/30gFSz3
- KLEPPMANN M. A CRITIQUE OF THE CAP THEOREM. https://arxiv.org/abs/1509.05393
- PRITCHETT D (EBAY). BASE: AN ACID ALTERNATIVE. https://queue.acm.org/detail.cfm?id=1394128
- GRAOVAC J. PROJEKTOVANJE BAZA PODATAKA. http://poincare.matf.bg.ac.rs/~jgraovac/courses/projbp/2016_2017/projbp_skripta.pdf
- GARCIA-MOLINA H, SALEM K. SAGAS. https://www.cs.cornell.edu/andru/cs711/2002fa/reading/sagas.pdf
- FORD N, RICHARDS M, SADALAGE P, DEHGHANI Z. SOFTWARE ARCHITECTURE: THE HARD PARTS. https://amzn.to/3tu3glj

KOJA SU VAŠA PITANJA?