

## NORMALNE FORME - PROJEKTOVANJE RELACIJA NORMALIZACIJOM

Normalizacija je postupak projektovanja logičke strukture baze podataka. Uobicajeno je da se koristi za projektovanje logičke strukture relacionog modela, pa će i ovde normalne forme biti definisane u terminologiji relacionog modela. Međutim, postupak normalizacije ima opštiji značaj i treba ga primenjivati i na druge "klasične" modele baze podataka (mrežni i hijerarhijski), kao i za projektovanje strukture zapisa u obradi podataka zasnovanoj na skupu datoteka. Relaciona terminologija se očigledno i direktno preslikava u terminologiju ovih drugih modela.

Najopštije receno, dobra je ona struktura baze podataka u kojoj je logička redundansa minimalna. Problemi održavanja redundantne baze podataka su ranije uopšteno diskutovani. Osnovne operacije održavanja su dodavanje nove n-torke u relaciju, izbacivanje neke n-torke iz relacije i izmena vrednosti nekog atributa u relaciji (ažuriranje). Problemi pri izvođenju ovih operacija (potreba da se pri izmeni jednog atributa, dodavanju ili izbacivanju jedne n-torke sama operacija mora ponavljati više puta, ili čak da se neko logičko dodavanje ne može izvršiti, odnosno da izbacivanje jednog logičkog skupa podataka dovodi do neželjenog izbacivanja drugih podataka) nazivaju se anomalije u održavanju BP. Uobicajeno je da se posebno definišu i analiziraju anomalije u dodavanju n-torke, anomalije u izbacivanju n-torke i anomalije u ažuriranju.

Loše projektovana logička struktura baze podataka ne dovodi samo do anomalija u njenom održavanju. Sa tačke gledišta izveštavanja kvalitet logičke strukture BP može se ceniti na osnovu sledećeg opšteg kriterijuma: Podednako teški (laki) zahtevi za izveštajima iz BP realizuju se podednako teškim (lakim) programima, ili, preciznije, simetrični zahtevi rezultuju u simetrične programe.

Ilustroćemo probleme održavanja i izveštavanja na primeru jedne nenormalizovane relacije. Nenormalizovana relacija je ranije definisana kao relacija koja poseduje neke vrednosti atributa koje nisu "atomske", odnosno relacija koja poseduje "grupe sa ponavljanjem".

### STUDENT

BI	IME	SEM	ŠSMER	IMERUK	ŠPRED	NAZPRED	OCENA
21	ZORAN	5	01	BATA	121	MATEMAT	7
					323	BAZEPOD	8
					056	MARKSIZ	8
77	ANA	7	01	BATA	056	MARKSIZ	10
					121	MATEMAT	5
36	PERA	4	02	MIKA	323	BAZEPOD	8
					456	ELEKTRON	9
					442	FIZIKA	6
					056	MARKSIZ	8

Anomalije u dodavanju: Ako je u novom nastavnom planu definisan novi predmet, ne mogu se ubaciti podaci o tom predmetu dok ga neki student ne položi. Ili, ako se otvori neki novi smer, ne mogu se ubaciti podaci o tom smeru dok ga neki student ne upiše.

Anomalije u izbacivanju: Ako je jedan predmet (FIZIKA) položio samo jedan student (PERA) i ako se on ispiše sa fakulteta, odnosno izbaci odgovarajuća n-torka, gube se i sve informacije o tom predmetu. Ako je taj student bio i jedini student na nekom smeru, gube se i sve informacije o tom smeru.

Anomalije u ažuriranju: Ako se promeni naziv nekog predmeta ili rukovodioc nekog smera, to se mora uciniti na onoliko mesta koliko je studenata položilo taj predmet, odnosno koliko je studenata upisano na dati smer.

Problemi u izveštavanju: Data struktura relacije je veoma pogodna za izveštaj na zahtev: "Prikaži listu studenata, svih ispita koje je svaki student položio i njegovu prosečnu ocenu" (Uverenje o položenim ispitima). Odgovarajući program bi bio veoma jednostavan i sveo bi se na listanje date relacije (datoteke). Međutim "simetrican" zahtev: "Prikaži listu predmeta, imena svih studenata koji su ga položili i prosečnu ocenu na predmetu", za datu strukturu relacije zahtevao bi znatno složeniji program, ili bi samu relaciju trebalo prestrukturirati i dobiti dve relacije sa istim skupom podataka za dva različita zahteva, čime bi se redundansa podataka, pa samim tim i problemi održavanja baze podataka, umnožili.

Postupkom normalizacije logička struktura baze podataka se dovodi u takav oblik (ili, drugim recima, relacije se dovode u normalne forme) u kome se izbegavaju anomalije u održavanju i problemi u izveštavanju.

### 3.1. Prva normalna forma (1NF)

Pokazali smo da nenormalizovana relacija dovodi do anomalija u ažuriranju i da nije pogodna za sve zahteve za izveštavanje koji se realno mogu očekivati. Isto tako, ranije je naglašeno da svi upitni jezici zasnovani na relacionoj algebri i relacionom racunu zahtevaju normalizovane relacije, odnosno relacije u Prvoj normalnoj formi (1NF). (Termin normalizovana relacija se koristi za relacije koje su u 1NF).

**Relacija R je u Prvoj normalnoj formi (1NF) ako su sve vrednosti njenih atributa atomske.**

Relaciju STUDENT možemo normalizovati (svesti na 1NF) ako u svakoj vrsti prikazane tabele, za svaki ispit koji je neki student položio, ponovimo i sve ostale njegove podatke (BI, IME, SEM, ŠSMER, IMERUK). Međutim, da bi se smanjila redundansa do koje bi, očigledno, ovakva normalizacija dovela, možemo ovako dobijenu relaciju, operacijom projekcije, dekomponovati na sledeće dve:

STUDENT1 (BI, IME, SEM, ŠSMER, IMERUK)	... (1)
PRIJAVA (BI, ŠPRED, NAZPRED, OCENA)	... (2)

Prirodno spajanje ove dve relacije po BI rekonstruisalo bi polaznu normalizovanu relaciju.

### 3.2. Funkcionalne zavisnosti - osnovne definicije i terminologija

Definicije Druge, Treće i Boyce-Codd-ove normalne forme zasnivaju se na konceptu funkcionalne zavisnosti atributa relacije.

Data je relacija R sa atributima X i Y, moguće složenim. Atribut Y je funkcionalno zavisan od atributa X (ili X funkcionalno određuje Y),

$$R.X \rightarrow R.Y,$$

ako i samo ako svakoj vrednosti X odgovara jedna i samo jedna vrednost Y.

Na primer u relaciji (1) postoje sledeće funkcionalne zavisnosti:

BI  $\rightarrow$  IME

BI  $\rightarrow$  SEM

BI -> ŠSMER  
BI -> IMERUK

Definicija funkcionalne zavisnosti se može dati i na sledeci nacin:

Atribut Y relacije R je funkcionalno zavisn od atributa X relacije R ako i samo ako kad god dve n-torke relacije R imaju istu x-vrednost one moraju imati istu i y-vrednost.

Ocigledno je da iz definicije funkcionalne zavisnosti sledi i nova definicija kljuca relacije i novi koncept nadkljuca relacije:

Atribut X moguće složeni, je nadključ neke relacije R ako i samo ako funkcionalno određuje sve ostale attribute relacije R.

Atribut X, moguće složeni, je ključ relacije R ako je nadključ relacije R, a nijedan njegov pravi podskup nema tu osobinu.

Koncept potpune funkcionalne zavisnosti se definiše na sledeci nacin:

Atribut Y relacije R je potpuno funkcionalno zavisn od atributa X relacije R ako je funkcionalno zavisn od atributa X, a nije funkcionalno zavisn ni od jednog pravog podskupa atributa X.

Primere potpune i nepotpune funkcionalne zavisnosti možemo pokazati na relaciji PRIJAVA:

(a) Pošto važi sledece:

BI, ŠPRED ---> OCENA  
BI -/-> OCENA  
ŠPRED -/-> OCENA

atribut OCENA je potpuno funkcionalno zavisn od složenog atributa BI, ŠPRED.

(b) Pošto važi sledece:

BI, ŠPRED ---> NAZPRED  
BI -/-> NAZPRED  
ŠPRED ---> NAZPRED

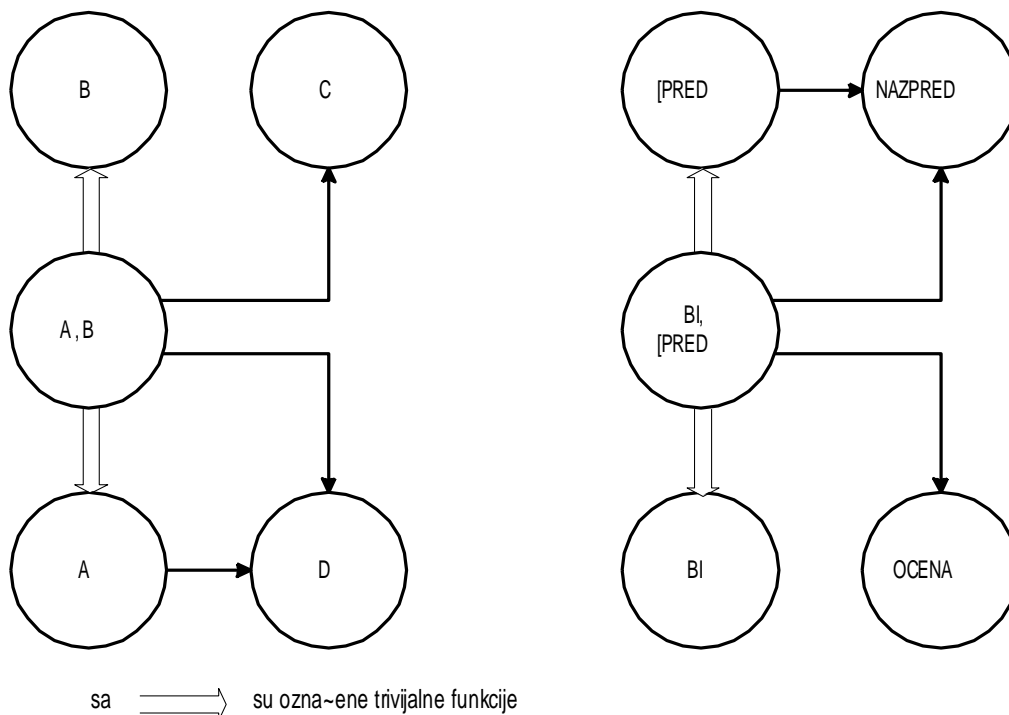
atribut NAZPRED je nepotpuno funkcionalno zavisn od složenog atributa BI, ŠPRED, jer je funkcionalno zavisn i od njega i od jednog njegovog dela, od ŠPRED.

Graf na Slici 1 ilustruje gornji primer potpune i nepotpune funkcionalne zavisnosti. Pokazuje se da je nepotpuna funkcionalna zavisnost redundantna, jer se može dedukovati preko proizvoda (kompozicije) zavisnosti:

f1: BI, ŠPRED ---> ŠPRED  
f2: ŠPRED ---> NAZPRED  
Iz f1 i f2 sledi:

f3 = f1 ° f2: BI, ŠPRED ---> NAZPRED, pa je nije neophodno pamtiti u bazi podataka.

(Sa oznakom ° se oznacava proizvod ili kompozicija funkcija. Funkcionalna zavisnost f1 je trivijalna funkcionalna zavisnost, zavisnost koja uvek važi, jer je podskup (ŠPRED) uvek funkcionalno zavisn od skupa (BI, ŠPRED)).



(a) Graf definicije potpune funkcionalne zavisnosti. C je potpuno funkcionalno zavisno od složenog atributa {A,B}, a D nije.

(b) Primer potpune funkcionalne zavisnosti. OCENA je potpuno zavisna od {BI, ŠPRED}, a NAZPRED nije.

Slika 1. Nepotpuna funkcionalna zavisnost

Koncept tranzitivne funkcionalne zavisnosti se definiše na sledeći način:

Data je relacija R sa atributima A, B i C, moguće složenim. Ako u relaciji R važi:

A  $\longrightarrow$  B  
 B  $\longrightarrow$  C  
 A  $\longrightarrow$  C  
 B  $\not\rightarrow$  A  
 C  $\not\rightarrow$  A

atribut C je tranzitivno funkcionalno zavisna od atributa A.

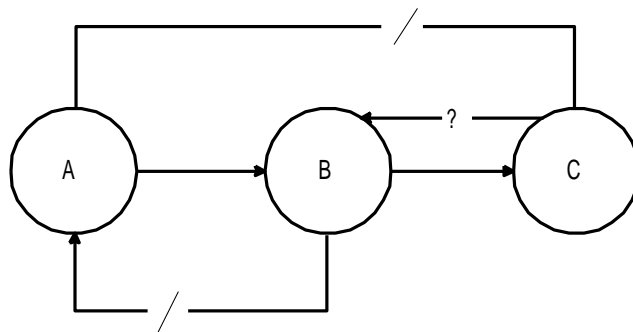
Jednostavnije rečeno, atribut C je tranzitivno funkcionalno zavisna od atributa A ako je funkcionalno zavisna od A i ako je funkcionalno zavisna od nekog atributa B koji je i sam funkcionalno zavisna od A.

Na Slici 2 prikazan je graf koji ilustruje opštu definiciju tranzitivne funkcionalne zavisnosti i primer tranzitivne funkcionalne zavisnosti iz relacije STUDENT. Očigledno je da je i tranzitivna funkcionalna zavisnost redundantna, jer se može dedukovati iz kompozicije funkcija koje je čine. Iz zavisnosti

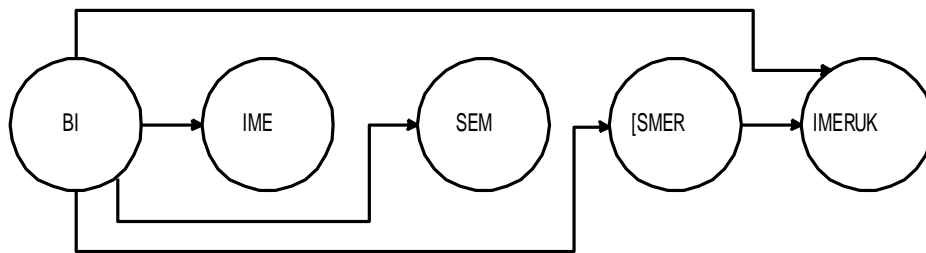
f1: BI  $\longrightarrow$  ŠMER

f2: ŠMER  $\longrightarrow$  IMERUK

sledi f3 = f1  $\circ$  f2 : BI  $\longrightarrow$  IMERUK, pa je nije neophodno pamti u bazi podataka.



(a) Graf definicije tranzitivne FZ. Atribut C je tranzitivno funkcionalno zavisian od A



(b) Primer tranzitivne FZ. Atribut IMERUK je tranzitivno funkcionalno zavisian od BI

Slika 2. Tranzitivna funkcionalna zavisnost

U definiciji tranzitivne funkcionalne zavisnosti ništa nije receno o zavisnosti atributa B od atributa C. To znaci da ona može biti bilo funkcionalna, bilo višeznacna. Ako je ova zavisnost višeznacna, takva tranzitivna zavisnot C od A se naziva stroga tranzitivna zavisnost. Stroga tranzitivna zavisnost dovodi do vece redundanse.

### 3.3. Dekompozicija relacija bez gubljenja informacija

Vec pri svodenju nenormalizovane relacije STUDENT na prvu normalnu formu dekomponovali smo ovu relaciju na njene dve projekcije STUDENT1 i PRIJAVA. I u daljem postupku normalizacije ovih relacija i njih cemo dekomponovati u njihove projekcije. Postavlja se pitanje da li se pri takvoj dekompoziciji gubi neka informacija iz polazne relacije, odnosno postavlja se zahtev da se ovakva dekompozicija vrši bez gubljenja informacija.

Relacija R se dekomponuje u svoje projekcije bez gubljenja informacija ako prirodno spajanje tako dobijenih projekcija dovodi do polazne relacije. Pokažimo na primeru relacije PRIJAVA da je formalno moguće dekomponovati relaciju i sa gubljenjem informacija i da se to gubljenje informacija ogleda, obicno, u tome da se u relaciji koja se dobija prirodnim spajanjem projekcija pojavljuju i neke dodatne n-torke koje nisu postojale u polaznoj relaciji.

# PRIJAVA

BI	ŠPRED	NAZPRED	OCENA
21	121	MATEMAT	7
21	323	BAZEPOD	8
21	056	MARKSIZ	8
77	056	MARKSIZ	10
77	121	MATEMAT	5
36	323	BAZEPOD	8
36	456	ELEKTRON	9
36	442	FIZIKA	6
36	056	MARKSIZ	8

Dekomponujmo ovu relaciju na projekcije R1(BI, ŠPRED, OCENA) i R2(NAZPRED, OCENA).

## R1

BI	ŠPRED	OCENA
21	121	7
21	323	8
21	056	8
77	056	10
77	121	5
36	323	8
36	456	9
36	442	6
36	056	8

## R2

NAZPRED	OCENA
MATEMAT	7
BAZEPOD	8
MARKSIZ	8
MARKSIZ	10
MATEMAT	5
ELEKTRON	9
FIZIKA	6

Prirodno spajanje  $R3 = R1[OCENA * OCENA]$  R2 daje:

## R3

BI	ŠPRED	NAZPRED	OCENA
21	121	MATEMAT	7
21	323	BAZEPOD	8
21	056	MARKSIZ	6
77	056	MARKSIZ	10
77	121	MATEMAT	5
36	323	BAZEPOD	9
36	456	ELEKTRON	9
36	442	FIZIKA	6
36	056	MARKSIZ	8
-----			
21	323	MARKSIZ	8
36	056	BAZEPOD	8
21	056	FIZIKA	6
36	442	MARKSIZ	6
36	323	ELEKTRON	9
36	465	BAZEPOD	9

N-torke dopisane ispod crtkaste linije su rezultat spajanja, a nisu postojale u polaznoj relaciji PRIJAVA i one su uzrok gubljenja informacija u navedenoj dekompoziciji.

Heath-ova teorema /Heath 71/ daje uslove pod kojima se može izvršiti dekompozicija relacije bez gubljenja informacija:

Relacija  $R(A,B,C)$ , gde su  $A$ ,  $B$  i  $C$  podskupovi atributa, u kojoj važi  $R.A \rightarrow R.B$  može se uvek dekomponovati u svoje projekcije  $R1(A,B)$  i  $R2(A,C)$  bez gubljenja informacija.

Za navedeni primer relacije PRIJAVA dekompozicija bez gubljenja informacija bi bila dekompozicija u projekcije  $R1(BI, ŠPRED, OCENA)$  i  $R2(ŠPRED, NAZPRED)$

### 3.4. Druga i Treća normalna forma

Posmatrajmo relaciju PRIJAVA. Očigledna je redundansa podataka u ovoj relaciji: NAZPRED, za isti predmet, se pojavljuje uz svakog studenta koji je taj predmet položio. Postoje ponovo sve iste anomalije u održavanju BP:

- Ne mogu se dodati podaci o novom predmetu ako ga neki student nije položio.
- Ako se iz baze podataka izbaci n-torka studenta koji je jedini položio neki predmet, gube se sve informacije i o tom predmetu.
- Ako se promeni naziv predmeta, to se mora uciniti na onoliko mesta koliko je studenata položilo taj predmet.

Uzrok redundansi i anomalijama u održavanju je nepotpuna funkcionalna zavisnost atributa NAZPRED od složenog atributa BI, ŠPRED, za koju smo ranije pokazali da je redundantna funkcionalna zavisnost. Definicija Druge normalne forme zabranjuje postojanje ovakve zavisnosti /Date 86/.

Relacija  $R$  je u Drugoj normalnoj formi (2NF) ako i samo ako je u 1NF i svi njeni neključni atributi potpuno i funkcionalno zavise od primarnog ključa.

Neključni atributi (atributi koji nisu kandidati za ključ, niti deo kandidata za ključ) relacije prijava su NAZPRED i OCENA, a primarni ključ je složeni atribut BI, ŠPRED. Kako je ranije pokazano atribut OCENA je potpuno funkcionalno zavisna od primarnog ključa, a atribut NAZPRED nije. Zbog toga relacija PRIJAVA nije u 2NF. Svodenje na 2NF vrši se dekompozicijom na taj način što u jednoj projekciji ostavlja primarni ključ i svi atributi koji su potpuno funkcionalno zavisni od njega, a u drugim projekcijama se realizuju one funkcionalne zavisnosti koje su prouzrokovalе nepotpune funkcionalne zavisnosti. Za navedeni primer dekompozicija je:

PRIJAVA1(BI, ŠPRED, OCENA) . . . . (3)  
PREDMET(ŠPRED, NAZPRED)

. . . . (4)

Može se dati i sledeća neformalna definicija 2NF /Kent 83/:

Relacija  $R$  je u 2NF ako svi njeni atributi daju jednoznačne činjenice samo o celom ključu.

Atribut NAZPRED daje jednoznačnu informaciju o delu ključa ŠPRED, pa zbog toga, i po ovoj neformalnoj definiciji relacija PRIJAVA nije u 2NF.

Iz definicije 2NF i definicije potpune funkcionalne zavisnosti očigledno je da je svaka relacija sa prostim primarnim ključem u 2NF, jer prosti ključ nema semantički moguć pravi podskup.

Posmatrajmo relaciju STUDENTI(BI, IME, SEM, ŠSMER, IMERUK). Očigledno je da u ovoj relaciji postoji redundansa podataka (isto IMERUK se pojavljuje uz svakog studenta upisanog na odgovarajući smer) i da postoje anomalije u održavanju:

- Ne mogu se dodati informacije o novom smeru dok ga neki student ne upiše.
- Ako se iz relacije STUDENT1 izbaci student koji je jedini bio upisan na neki smer, gube se informacije i o tom smeru.
- Ako se promeni rukovodioc smera atribut IMERUK treba promeniti na onoliko mesta koliko je studenata upisano na taj smer.

Razlog za redundansu i anomalije u održavanju je postojanje tranzitivne funkcionalne zavisnosti (za koju smo pokazali da je redundantna) atributa IMERUK od atributa BI. Definicija Treće normalne forme zabranjuje postojanje ovakvih zavisnosti u relacijama. Definicija Treće normalne forme, je /Date 86/:

Relacija R je u Trećoj normalnoj formi (3NF) ako i samo ako je u 2NF i ako svi njeni neključni atributi netranzitivno funkcionalno zavise od primarnog ključa.

Zbog postojanja tranzitivne zavisnosti atributa IMERUK od primarnog ključa BI relacija STUDENT1 nije u 3NF. Svodenje na 3NF vrši se dekompozicijom (bez gubljenja informacija) relacije u njene projekcije na taj način što se u jednoj projekciji ostavljaju primarni ključ i svi netranzitivno zavisni atributi, a u drugim projekcijama se realizuju funkcionalne zavisnosti koje su dovele do tranzitivnih zavisnosti.

STUDENT2(BI, IME, SEM, ŠSMER)	... (5)
SMER(ŠSMER, IMERUK)	... (6)

Može se dati i sledeća neformalna definicija 3NF koja obuhvata i 2NF /Kent 83/:

Relacija R je u 3NF ako svi njeni atributi daju jednoznačne činjenice o celom ključu i samo o celom ključu.

U relaciji STUDENT1 atribut IMERUK je činjenica i o atributu ŠSMER, a ne samo o ključu BI. Tranzitivna zavisnost u nekoj relaciji postoji uvek kada, osim funkcionalne zavisnosti atributa od ključa (jednoznačne činjenice o ključu), u njoj postoji i neka druga funkcionalna zavisnost između atributa (jednoznačne činjenice o nekom atributu koji nije ključ).

Definicije 2NF i 3NF otkrivaju suštinu postupka normalizacije. Naime, baza podataka je, kao što je rečeno, statički model realnog sistema. Samo ako se u njoj jasno prepoznaju objekti, veze i atributi objekata i veza u realnom sistemu, ona će biti pogodna za sve obrade podataka koje odgovaraju svim mogućim zahtevima korisnika, odnosno neće prouzrokovati anomalije u održavanju, niti će dovesti do problema u izradi programa za izveštavanje. Navedeni primeri se očigledno odnose na realni sistem FAKULTET. U kontekstu datih primera možemo reći da se sistem FAKULTET sastoji od objekata STUDENT, PREDMET i SMER čija su svojstva opisana preko njima pripadajućih atributa. (Na primer BI, IME i SEM za objekat STUDENT ili ŠPRED i NAZPRED za objekat PREDMET itd.). Objekti STUDENT i PREDMET su povezani vezom PRIJAVA koja ima atribut OCENA, a objekti STUDENT i SMER su povezani vezom UPISAN koja u modelu nije eksplicitno iskazana, već preko atributa ŠSMER u relaciji STUDENT2. Ovako definisan sistem se jasno prepoznaje u modelu BP sa relacijama u 3NF (STUDENT2, PREDMET, SMER i PRIJAVA1). Polazna relacija STUDENT, relacije STUDENT1 i PRIJAVA predstavljale su neku "mešavinu" objekata i veza realnog sistema, a ne posebne, jasno definisane objekte ili veze sa njima svojstvenim atributima. Postupak normalizacije svodi model BP na skup relacija od kojih svaka predstavlja neki osnovni objekat ili vezu u sistemu. Atributi takvih relacija su svojstveni atributi odgovarajućih objekata ili veza.



### 3.5. Boyce-Codd-ova normalna forma (BCNF)

Navedene definicije 2NF i 3NF je originalno dao E.F.Codd, tvorac relacionog modela /Codd 72/. Pokazalo se da ove definicije nisu dovoljno precizne (stroge), posebno u slučajevima kada relacija ima tzv "preklapajuće" kandidate za ključ (dva ili više složenih kandidata za ključ koji imaju barem jedan zajednički atribut). Analizirajmo ponovo relaciju PRIJAVA.

PRIJAVA(BI, ŠPRED, NAZPRED, OCENA)

U dosadašnjoj analizi ove relacije prepostavljali smo da važe sledeće funkcionalne zavisnosti:

BI, ŠPRED → NAZPRED  
BI, ŠPRED → OCENA  
ŠPRED → NAZPRED

Jedini kandidat za ključ i primarni ključ je složeni atribut BI, ŠPRED. Neključni atributi su ŠPRED i OCENA. Pošto neključni atribut ŠPRED nepotpuno funkcionalno zavisi od primarnog ključa, relacija PRIJAVA nije u 2NF. Međutim, pretpostavimo da sada postoji još i sledeća funkcionalna zavisnost (da je NAZPRED jednoznačan):

NAZPRED → ŠPRED

U tom slučaju u relaciji PRIJAVA postoje dva složena i "preklapajuća" kandidata za ključ, BI, ŠPRED i BI, NAZPRED. Jedini neključni atribut je sada OCENA, pa pošto on potpuno funkcionalno zavisi od primarnog ključa (bilo koji od kandidata da je izabran), relacija PRIJAVA jeste u 2NF. Međutim, sve anomalije u ažuriranju i dalje ostaju! To znači da definicija 2NF (pa samim tim i 3NF) nije dovoljno precizna.

Boyce-Codd-ova definicija uklanja te nepreciznosti. Za iskaz te definicije uvodi se i pojam determinante relacije.

Determinanta relacije R je bilo koji atribut, prost ili složen, od koga neki drugi atribut u relaciji potpuno funkcionalno zavisi.

Relacija R je u Boyce-Codd-ovoj normalnoj formi (BCNF) ako i samo ako su sve determinante u relaciji i kandidati za ključ.

Oznacimo sve determinante (D) i sve kandidate za ključ (KK) relacije PRIJAVA (uz pretpostavku da važi i dodatno uvedena funkcionalna zavisnost NAZPRED → ŠPRED):

BI, ŠPRED → NAZPRED, OCENA	(D)	(KK)
BI, NAZPRED → ŠPRED, OCENA	(D)	(KK)
ŠPRED → NAZPRED	(D)	
NAZPRED → ŠPRED	(D)	

Sve determinante nisu kandidati za ključ pa relacija nije u BCNF. Dekompozicijom, pri kojoj se iz relacije izvlace projekcije sa onim determinantama koje nisu kandidati za ključ, relacija se svodi na BCNF.

PRIJAVA1(BI, ŠPRED, OCENA)  
PREDMET(ŠPRED, NAZPRED)

Složeni, "preklapajući" kandidati za ključ su signal da relacija možda nije u BCNF. Međutim, može se pokazati da neka relacija i sa složenim, "preklapajućim" kandidatima za ključ može biti u BCNF.

(Domaci zadatak: Data je relacija RANGIRANJE(BI, ŠPRED, RANG), gde je RANG položaj studenta na nekoj rang listi za posmatrani predmet. Pretpostavlja se da dva studenta nemaju isti rang u okviru jednog predmeta. Definirati funkcionalne zavisnosti, determinante i kandidate za ključeve. Pokazati da je relacija u BCNF i da nema anomalija u održavanju)

Može se dati i drugačija definicija BCNF koja koristi ranije definisani koncept nadključa /UII 86/.

Relacija R je u BCNF ako i samo ako kad god postoji netrivialna funkcionalna zavisnost  $X \twoheadrightarrow A$  (A nije podskup od X) tada je X nadključ relacije R.

U relaciji PRIJAVA postoje netrivialne funkcionalne zavisnosti  $\text{ŠPRED} \twoheadrightarrow \text{NAZPRED}$  i  $\text{NAZPRED} \twoheadrightarrow \text{ŠPRED}$ , a  $\text{ŠPRED}$  i  $\text{NAZPRED}$  nisu njeni nadključevi, pa ona nije u BCNF.

Definicija BCNF je striktno stroža od definicije 2NF i 3NF. To znači da je svaka relacija koja je u BCNF sigurno i u 2NF i 3NF. Obrnuto ne važi.

### 3.6. Dekompozicija na zavisne i nezavisne projekcije

Dekompozicija relacije bez gubljenja informacija, sa ciljem da se ona svede na neku normalnu formu nije jednoznačan postupak. Na primer, relaciju STUDENT1 možemo svesti na 3NF na sledeća dva načina:

(a)	(b)
STUDENT2(BI, IME, SEM, ŠSMER) SMER(ŠSMER, IMERUK)	STUDENT2a(BI, IME, SEM, ŠSMER) STUDSMER(BI, IMERUK)

I relacije (a) i relacije (b) su u 3NF. Međutim, projekcije (b) pokazuju određene anomalije u održavanju. Da bi se dodali ili izbacili podaci o jednom studentu, to je neophodno uraditi u obe projekcije. Poseban problem predstavlja ažuriranje atributa IMERUK, odnosno promena rukovodioca smera. Za svaku vrednost BI koja odgovara datoj vrednosti ŠSMER iz relacije STUDENT2a, mora se u relaciji STUDSMER izvršiti ažuriranje atributa IMERUK. Projekcije (a) ne pokazuju te anomalije, održavanje se vrši nezavisno (posebno) u svakoj relaciji. Projekcije (a) se nazivaju nezavisne (ortogonalne) projekcije, a projekcije (b) su zavisne (povezane).

Rissanen-ova teorema daje uslove pod kojima se neka relacija može dekomponovati na nezavisne projekcije /Date 86/.

Projekcije R1 i R2 relacije R su nezavisne tada i samo tada kada:

1. Svaka funkcionalna zavisnost u R se može logički dedukovati iz funkcionalnih zavisnosti u R1 i R2 i
2. Zajednički atribut relacija R1 i R2 je kandidat za ključ barem u jednoj od njih.

Za projekcije (a) oba uslova Rissanen-ove teoreme su zadovoljena, a iz projekcije (b) se ne može dedukovati funkcionalna zavisnost  $\text{ŠSMER} \twoheadrightarrow \text{IMERUK}$  koja postoji u relaciji STUDENT1.

Pokazuje se da nije moguće uvek relaciju koja nije u BCNF dekomponovati na nezavisne projekcije koje su u BCNF. Na primer, u relaciji

PREDAJE( IMES, NAZPR, IMENAST)

postoje sledeci odnosi izmedu njenih atributa:

1. Svaki predmet, jednom studentu, predaje samo jedan nastavnik, odnosno

IMES, NAZPR ---> IMENAST

2. Svaki nastavnik predaje samo jedan predmet, odnosno

IMENAST ---> NAZPR

3. Svaki predmet predaje više nastavnika odnosno

NAZPR --/-> IMENAST

Determinante u relaciji PREDAJE su složeni atribut IMES, NAZPR i IMENAST, a kandidat za ključ je samo IMES, NAZPR. Prema tome relacija PRIJAVA nije u BCNF. Jedina moguća dekompozicija je

PREDAJEPR(IMENAST, NAZPR)

PREDAJEST(IMES, IMENAST)

Međutim, ovo je dekompozicija u zavisne projekcije. Rissanen-ova teorema nije zadovoljena, funkcionalna zavisnost

IMES, NAZPR ---> IMENAST

koja postoji u polaznoj relaciji ne može se dedukovati iz ovih projekcija. Anomalije u održavanju su očigledne, na primer, ako se promeni nastavnik koji predaje neki predmet, ažuriranje se mora izvršiti u obe projekcije i to u projekciji PREDAJEST na više mesta.

Očigledno je da dekompozicija na zavisne projekcije nema smisla, jer se takvom dekompozicijom ne ostvaruje osnovni cilj normalizacije - eliminisanje anomalija u održavanju BP. Imajući to u vidu može se reći da se ne može svaka relacija dovesti u BCNF. Međutim svaka se relacija može svesti na manje strogu, 3NF, pa to, u takvim slučajevima treba i učiniti.

### 3.7. Višenacne zavisnosti i Četvrta normalna forma

Do sada smo kao jedinu moguću zavisnost između atributa relacije tretirali razne vrste funkcionalnih zavisnosti. Međutim, postoje i mnoge druge zavisnosti između atributa u relaciji koje takođe mogu dovesti do anomalija u održavanju BP. Najčešće se javljaju tzv. višeznacne zavisnosti.

Posmatrajmo nenormalizovanu relaciju PROGRAM.

PREDMET	NASTAVNIK	KNJIGA
INF-SIST	BRANKO	MARTIN
	KRCA	DATE
	BAJA	
SIST-ANAL	VLADAN	DEMARCO
		SARSON

Semantika sistema je sledeća: Jedan predmet predaje više nastavnika. Za jedan predmet se koristi više knjiga. Ne postoji nikakva veza između nastavnika i knjiga. (Ne zna se koji nastavnik koristi koje knjige, jednu ili više).

Da bi se ova relacija dovela u 1NF i sacuvala semantika problema neophodno je da se u normalizovanoj relaciji nadu, za dati predmet i datog nastavnika, n-torke sa svim mogucim knjigama za taj predmet.

PREDMET	NASTAVNIK	KNJIGA
INF-SIST	BRANKO	MARTIN
INF-SIST	BRANKO	DATE
INF-SIST	KRCA	MARTIN
INF-SIST	KRCA	DATE
INF-SIST	BAJA	MARTIN
INF-SIST	BAJA	DATE
SIST-ANAL	VLADAN	DEMARCO
SIST-ANAL	VLADAN	SARSON

U obliku intenzije relacija PROGRAM se može napisati kao

PROGRAM(PREDMET, NASTAVNIK, KNJIGA)

Relacija PROGRAM je ocigledno u BCNF. Medutim, redundansa podataka je ocigledna, pa samim tim postoje i anomalije u ažuriranju. Na primer, ubacivanje informacije da se za predmet INF-SIST koristi i knjiga ULLMAN, zahtevalo bi ubacivanje tri nove n-torke, po jednu za svakog nastavnika koji predaje taj predmet.

Ocigledno je da relaciju PROGRAM treba dekomponovati na projekcije

RASP(PREDMET, NASTAVNIK)		i	UDŽBENIK(PREDMET, KNJIGA)	
RASP			UDŽBENIK	
PREDMET	NASTAVNIK		PREDMET	KNJIGA
INF-SIST	BRANKO		INF-SIST	MARTIN
INF-SIST	KRCA		INF-SIST	DATE
INF-SIST	BAJA		SIST-ANAL	DEMARCO
SIST-ANAL	VLADAN		SIST-ANAL	SARSON

Dekompozicija je bez gubljenja informacija. Medutim, ona nije izvedena na bazi dosada datih pravila, relacija PROGRAM je u BCNF, u njoj ne postoji ni jedna netrivialna funkcionalna zavisnost. Veze koje postoje izmedu atributa ove relacije nazivaju se višeznacnim vezama.

U relaciji  $R(A, B, C)$  postoji višeznacna zavisnost  $A \twoheadrightarrow B$  ako za datu vrednost A, postoji skup od nula, jedne ili više vrednosti B, a taj skup vrednosti ni na koji nacin ne zavisi od vrednosti atributa C. Atributi A, B i C mogu biti složeni.

Formalnija definicija višeznacnih zavisnosti može se dati na sledeci nacin:

U relaciji  $R(A, B, C)$  postoji višeznacna zavisnost  $A \twoheadrightarrow B$  ako i samo ako kad god u njoj postoje n-torke  $\langle a, b, c \rangle$  i  $\langle a, b', c' \rangle$ , postoje takode i n-torke  $\langle a, b, c' \rangle$  i  $\langle a, b', c \rangle$ . Atributi A, B i C mogu biti složeni.

Iz definicije višeznacne zavisnosti ocigledno je da ako u relaciji  $R(A, B, C)$  postoji višeznacna zavisnost  $A \twoheadrightarrow B$ , tada postoji i višeznacna zavisnost  $A \twoheadrightarrow C$ . Isto tako je ocigledno da se višeznacna zavisnost može definisati u relaciji koja ima najmanje tri atributa.

U navedenom primeru relacije PROGRAM postoje sledece višeznacne zavisnosti:

PREDMET  $\twoheadrightarrow$  NASTAVNIK                      i                      PREDMET  $\twoheadrightarrow$  KNJIGA

Svaka funkcionalna zavisnost je istovremeno i višeznacna zavisnost, odnosno, funkcionalne zavisnosti su specijalan slučaj višeznacne zavisnosti u kome skup vrednosti B za dati skup vrednosti A ima tačno jednu vrednost. Razlika između višeznacne i funkcionalne zavisnosti može se shvatiti i na sledeći način:

- Funkcionalna zavisnost  $A \rightarrow B$  zabranjuje postojanje nekih n-torki u relaciji. Naime, ne mogu postojati n-torke sa istom vrednošću A, a različitim vrednostima B.
- Višeznacna zavisnost  $A \twoheadrightarrow B$  zahteva postojanje nekih n-torki, kao što se to iz definicije i vidi. Zbog toga se ona ponekad naziva i "zavisnost generisanja n-torki" /Korth 86/.

Očigledno je da "prave" višeznacne zavisnosti (višeznacne zavisnosti koje nisu funkcionalne) dovode do anomalija u održavanju BP. Definicija Četvrte normalne forme zabranjuje postojanje ovakvih zavisnosti u relaciji /Date 86/.

Relacija R je u Četvrtoj normalnoj formi (4NF) ako i samo ako kad god postoji višeznacna funkcionalna zavisnost, na primer  $A \twoheadrightarrow B$ , tada svi atributi relacije moraju takođe biti funkcionalno zavisni od A.

Gornja definicija u osnovi kaže da u relaciji u 4NF sve funkcionalne i višeznacne zavisnosti moraju biti funkcionalne zavisnosti atributa od ključa. Ili, drugim rečima, relacija je u 4NF ako je u BCNF i ako su sve višeznacne zavisnosti funkcionalne zavisnost od primarnog ključa.

Može se dati i sledeća definicija 4NF /Ull 88/:

Relacija R je u 4NF ako kad god postoji višeznacna zavisnost  $A \twoheadrightarrow B$ , gde B nije prazno i nije podskup od A i ako  $A \cup B$  ne uključuje sve attribute iz R, A predstavlja nadključ relacije R.

Za praktičnu primenu može se dati i sledeća, neformalna i nedovoljno precizna definicija 4NF:

Relacija R je u 4NF ako u njoj nisu date dve (ili više) nezavisne višeznacne činjenice.

Relacija PROGRAM nije u 4NF, jer u njoj postoje dve nezavisne višeznacne činjenice (jedan predmet predaje jedan nastavnik, za jedan predmet se koristi više knjiga, a ne postoji nikakva veza predmeta i knjiga), ili, formalno, jer u njoj postoji višeznacna zavisnost  $PREDMET \twoheadrightarrow NASTAVNIK$ , a zavisnosti ( $PREDMET, NASTAVNIK$ ) i ( $PREDMET, KNJIGA$ ) nisu funkcionalne, odnosno atribut  $PREDMET$  nije nadključ relacije. Relacije RASPORED i UDŽBENIK su u 4NF jer u njima ne postoje višeznacne zavisnosti samim tim što su obe binarne relacije, odnosno obe sadrže samo po jednu višeznacnu činjenicu.

Kako su višeznacne zavisnosti uopštenje funkcionalnih zavisnosti, svaka relacija koja je u 4NF je istovremeno i u BCNF. Obrnuto ne važi.

Svođenje relacija u kojima postoje višeznacne zavisnosti na 4NF vrši se dekompozicijom ovih relacija bez gubljenja informacija. Fagin je dao uopštenje Heaton-ove teoreme o dekompoziciji bez gubljenja informacija:

Relacija  $R(A, B, C)$  može se bez gubljenja informacija dekomponovati na projekcije  $R_1(A, B)$  i  $R_2(A, C)$  ako i samo ako važi  $A \twoheadrightarrow B$  (što uključuje i  $A \rightarrow C$ ).

### 3.8. Zavisnosti spajanja i Peta normalna forma (5NF)

Receno je da su višeznacne zavisnosti uopštenje funkcionalnih zavisnosti koje omogućuju predstavljanje semantički složenijih koncepata u modelu. Postoji još opštija forma zavisnosti, tzv. "zavisnost spajanja" (join dependency) koja u sebi obuhvata višeznacne, pa samim tim i funkcionalne zavisnosti. Ilustrovacemo je na istom primeru odnosa PREDMET, NASTAVNIK, KNJIGA, ali, sada, sa nešto izmenjenom semantikom.

Ranije smo pretpostavljali da u relaciji PROGRAM ne postoji nikakva veza između atributa NASTAVNIK i KNJIGA. Pretpostavimo sada da ova veza postoji, da jedan nastavnik može da koristi nula, jednu ili više knjiga i da se zna koji nastavnik koristi koje knjige (BRANKO koristi samo knjigu DATE, BAJA samo MARTIN a KRCA i VLADAN obe). Ekstenzija relacije PROGRAM u tom slučaju bi bila:

PREDMET	NASTAVNIK	KNJIGA
INF-SIST	BRANKO	DATE
INF-SIST	KRCA	MARTIN
INF-SIST	KRCA	DATE
INF-SIST	BAJA	MARTIN
SIST-ANAL	VLADAN	DEMARCO
SIST-ANAL	VLADAN	SARSON

(ne postoje više n-torke <INF-SIST,BRANKO,MARTIN> i <INF-SIST,BAJA,DATE>)

Relacija PROGRAM i sad ima isti oblik intenzije

PROGRAM(PREDMET, NASTAVNIK, KNJIGA)

ali sada jeste u 4NF, jer u njoj ne postoje višeznacne zavisnosti (Jedan PREDMET predaje više NASTAVNIKA, za jedan PREDMET se koristi više KNJIGA, ali sada KNJIGE zavise od NASTAVNIKA). Međutim, redundansa podataka i anomalije u ažuriranju i dalje postoje. Da bi se izbegla redundansa i istovremeno sacuvala nova semantika relacije PROGRAM očigledno je da je treba dekomponovati, bez gubljenja informacija, u sledeće tri projekcije:

RASP(PREDMET, NASTAVNIK)

UDŽBENIK(PREDMET, KNJIGA)

NAST-KNJ(NASTAVNIK, KNJIGA)

PREDMET	NASTAVNIK	PREDMET	KNJIGA
INF-SIST	BRANKO	INF-SIST	MARTIN
INF-SIST	KRCA	INF-SIST	DATE
INF-SIST	BAJA	SIST-ANAL	DEMARCO
SIST-ANAL	VLADAN	SIST-ANAL	SARSON

NASTAVNIK	KNJIGA
BRANKO	DATE
KRCA	DATE
KRCA	MARTIN
BAJA	MARTIN
VLADAN	SARSON
VLADAN	DEMARCO

Specifična vrsta zavisnosti koja postoji u novoj verziji relacije PROGRAM se naziva zavisnost spajanja. Kažemo da su u relaciji PROGRAM atributi PREDMET, NASTAVNIK, KNJIGA vezani preko zavisnosti spajanja.

U relaciji  $R(X, Y, \dots, Z)$  postoji zavisnost spajanja ako i samo ako relacija R rezultuje iz prirodnog spajanja njenih projekcija po  $X, Y, \dots, Z$ , gde su  $X, Y, \dots, Z$  podskupovi atributa relacije R.

Relacija R je u Petoj normalnoj formi ako i samo ako se svaka zavisnost spajanja može pripisati kandidatu za ključ.

Relacija PROGRAM se može rekonstruisati iz njenih projekcija prirodnim spajanjem relacija NAST-KNJ i UDŽBENIK po atributu KNJIGA, a zatim prirodnim spajanjem tako dobijenog rezultata sa relacijom RASP po atributu NASTAVNIK. Kako atributi spajanja KNJIGA i NASTAVNIK nisu i kandidati za ključ relacije PROGRAM ona nije u 5NF.

Praktična, neformalna definicija 5NF može da bude:

Relacija je u 5NF onda kad se njen informacioni sadržaj ne može rekonstruisati iz relacija nižeg stepena, s tim što se slučaj relacija nižeg stepena sa istim ključem isključuje.

Kako je višeznačna zavisnost specijalan slučaj zavisnosti spajanja, ako je relacija u 5NF ona je sigurno i u 4NF, pa samim tim i u svim ostalim. Obrnuto ne važi.

5NF se često naziva i "projekcija-spajanje normalna forma".

Pokažimo na primeru relacije STUDENT1 da se definicija 5NF može primeniti i na relaciju u kojoj postoje samo funkcionalne zavisnosti (koje su poseban slučaj zavisnosti spajanja).

STUDENT1 (BI, IME, SEM, ŠSMER, IMERUK)

Relacija STUDENT1 se može rekonstruisati iz njenih projekcija

STUDENT2(BI, IME, SEM, ŠSMER) i SMER (ŠSMER, IMERUK)

njihovim prirodnim spajanjem po atributu ŠSMER koji nije kandidat za ključ relacije STUDENT1, pa ova relacija nije u 5NF. Međutim relacije STUDENT2 i SMER su u 5NF, SMER zbog toga što je binarna relacija, a STUDENT2 zbog toga što se, bez gubljenja informacija može dekomponovati samo na projekcije P1(BI, IME), P2(BI, SEM) i P3(BI, ŠSMER) iz kojih se ona može rekonstruisati prirodnim spajanjem preko BI koji je njen ključ (zavisnosti spajanja se mogu pripisati samo ključu relacije).