

Descriptors: PROGRAMMING LANGUAGE, DATA MODELING,
DATA BASES RELATIONAL

Mario Radovan
Sveučilište Rijeka, SET Pula
Univerza v Ljubljani, IJS Ljubljana

Modeliranje podataka temelji na dva osnovna sredstva: ER jeziku i normalizaciji. Dok je prvo relativno jednostavno i široko poznato, prema drugom vlada izvjestan "animozitet", i to zbog njegove "sophisticirane" i strogo formalne prirode. U ovom članku analiziramo neke tipične primjere "nenormalnosti" formi relacija, te pokazujemo da te "nenormalnosti" slijede iz grešaka u ER modelu podataka. Drugim riječima, ovdje pokazujemo da ako je ER model podataka korektno izrađen, sheme relacija koje iz njega slijede redovito već jesu u "optimalnoj (normalnoj) formi".

DATA MODELING: ER LANGUAGE AND NORMAL FORMS Data modeling is based on two principal means: ER language and normalization. While the first one is relatively simple and wide known, the second one undergoes certain "animosity" due to its "sophisticated" and strictly formal nature. In this paper we analyse typical examples of "non-normal" forms of relations, and show that such "non-normalities" derive from errors in the ER data model. In other words, it is shown that if the ER data model is correctly drawn out, the relational schemes deriving from it are already in "an optimal (normal) form".

1. Uvod

ER jezik

Model objekti-veze-svojstva, kao grafički jezik za predstavljanje "strukture svijeta" (ili: forme znanja o njemu) predložen je u <CHE 76>. Taj jezik obično se naziva ER modelom/jezikom (Entity-Relationship), pa ćemo ga ovdje tako i nazivati. Polaznu osnovu ER modela/jezika možemo izreći slijedećim riječima:

Podaci su znanja o objektima, vezama (među tim objektima) i svojstvima (objekata odnosno veza). Stoga, je cilj jezika za modeliranje podataka da omogući precizno i jednostavno predstavljanje forme tih triju temeljnih kategorija znanja.

Na Chenov prijedlog ER modela podataka uslijedilo je više terminoloških i notacijskih nadopuna, kao i proširenja samoga modela. Zbog

ograničenosti prostora, ovdje ne iznosimo eksplicitno sam ER model podataka. Dobar prikaz toga modela/jezika te načina njegova prevodenja na relacijski jezik dat je npr. u <TOR 86>.

Relacijski jezik

Relacija, kao temeljni element relacijskog jezika/modela, ima dva aspekta: značenje i sadržaj. Značenje relacije naziva se intenzijom, a formalno se iskazuje shemom relacije. Sadržaj relacije naziva se ekstenzijom, a iskazuje se naslovljenom tabelom podataka. Tabelu tvore n -torke atomarnih vrijednosti.

Pored "tabelarnog izgleda", relacijski model karakterizira i skup operatora definiranih na skupu tabela-relacija. Ti operatori omogućavaju da se, pored znanja (podataka) eksplicitno datih pojedinim relacijama, deduciraju (izračunaju) i ona znanja koja iz toga skupa relacija

logički slijede. U kontekstu modeliranja podataka bitni su operatori *projekcije* i *spajanja*. Prikaz relacijskog modela dat je npr. u <MAI 83>, <DAT 86>, <KOR 86>, <TKA 88>,

Normalizacija

Neformalno rečeno, (standardnim) procesom normalizacije nastoji se razviti dobar model podataka na taj način da se iz datog modela podataka otklanjaju slabosti. Stoga, prikaz problematike normalizacije otpočnimo analizom slabosti koje mogu karakterizirati neki dati model podataka.

Na slici 1 dat je ilustrativni primjer skupa relacija KUPAC, ARTIKAL i NARUDŽBA.

KUPAC

<u>Š-KUP</u>	IME	SJEDIŠTE
K1	Baleb	Zagreb
K2	Arena	Pula
K3	Mirna	Rovinj
K4	Badel	Zagreb

ARTIKAL

<u>Š-ART</u>	NAZIV	BOJA	CIJENA
A1	olovka	crvena	3
A2	gumica	bijela	7
A3	penkala	plava	8
A4	penkala	crvena	9

NARUDŽBA

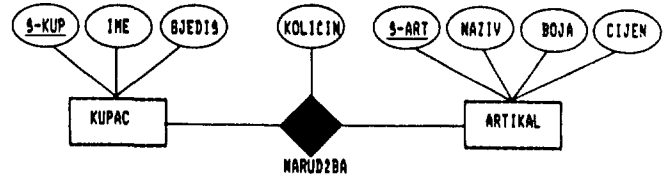
<u>Š-KUP</u>	<u>Š-ART</u>	KOLIČINA
K1	A1	100
K1	A2	200
K2	A1	200
K2	A2	200
K3	A3	100

Slika 1.

Postavlja se pitanje zašto je dati skup podataka (o fragmentu realnog svijeta) razdijeljen upravo u tri zasebne relacije. Eventualni odgo-

vor da to "očito treba biti tako" nije neumjesan. Međutim, kod opsežnijih (kompleksnijih) modela stvari obično nisu toliko očite.

S druge strane, mogli bismo isto tako reći da data podjela podataka slijedi iz ER modela sa slike 2.



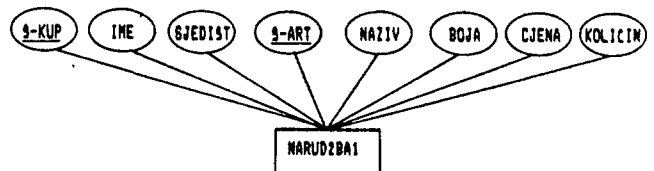
Slika 2.

Naime, prijevod tog ER modela podataka na relacijski jezik daje sheme relacija:

KUPAC(Š-KUP, IME, SJEDIŠTE),
 ARTIKAL(Š-ART, NAZIV, BOJA, CIJENA),
 NARUDŽBA(Š-KUP, Š-ART, KOLIČINA),

tj. točno sheme relacija sa slike 1.

Međutim, to je prije odgovor na pitanje *odakle* nego na pitanje *zašto* tri relacije. Da bi odgovorili na pitanje *zašto*, pokušajmo isti fragment realnog svijeta opisati *nekorektnim* ER modelom podataka datim na slici 3.



Slika 3.

Relacijski zapis ER modela podataka sa slike 3 glasi:

NARUDŽBA1(Š-KUP, IME, SJEDIŠTE, Š-ART,
 NAZIV, CIJENA, KOLIČINA)

Primjer ekstenzija relacije NARUDŽBA1 dat je na slici 4.

Prva slabost relacije NARUDŽBA1, jeste *prisustvo redundance*. Na primjer, ime i sjedište kupca javljaju se toliko puta koliko artikala je naručio pojedini kupac. Zbog prisustva redundance javljaju se problemi i kod mijenjanja ekstenzije (tj. sadržaja) relacije. Te probleme zajedničkim imenom nazivamo *anomalijama održavanja*.

NARUDŽBA1

Š-KUP	IME	SJEDIŠTE	Š-ART	NAZIV	BOJA	CIJENA	KOLIČINA
K1	Baleb	Zagreb	A1	olovka	crvena	3	100
K1	Baleb	Zagreb	A2	gumica	bijela	7	200
K2	Arena	Pula	A1	olovka	crvena	3	200
K2	Arena	Pula	A2	gumica	bijela	7	200
K3	Mirna	Rovinj	A3	pankala	plava	5	100

Slika 4.

Upis

Podatke o pojedinom kupcu nije moguće upisati u relaciju NARUDŽBA1 sve dok taj kupac nešto ne naruči. Analogno vrijedi i za artikle.

Brisanje

Brisanjem pojedine narudžbe mogu biti izgubljeni i svi podaci o kupcu odnosno artiklu.

Mijenjanje

Ako kupac promjeni ime i/ili sjedište, onda se ta promjena mora provesti na toliko mjesta koliko narudžbi ima za toga kupca. Analogno vrijedi i za artikle.

Primjetimo da se nijedna od iznad navedenih slabosti relacije NARUDŽBA1 ne javlja u skupu relacija sa slike 1, gdje su podaci razdjeljeni u tri zasebne relacije. Stoga, iznijeti primjer navodi na zaključak da je relaciju sa "mnogo atributa" poželjno dekomponirati (razdijeliti) na "više relacija sa manje atributa". Cilj teorije normalizacije jeste da definira kriterije kada i proces kako se dekompozicija date sheme relacije treba izvesti.

Kažemo da se normalizacija date sheme relacije izvodi na temelju dodatnih znanja o odnosima među entitetima realnog svijeta, čiji model podataka oblikujemo. Ta znanja nazivamo *zavisnostima*. Govorimo o tri vrste zavisnosti, i to: *funkcijskoj zavisnosti (FZ)*, *višeznačnoj zavisnosti (VZ)* i *zavisnosti spajanja (ZS)*.

2. Funkcijska zavisnost

Neka bude data shema relacije R sa skupom atributa $A(R)$. Nadalje, neka V i W budu podskupovi od $A(R)$. Na shemi relacije R vrijedi funkcijska zavisnost

$$V \rightarrow W$$

ako i samo ako svakoj instanci od V može biti pridružena točno jedna instanca od W. Tada kažemo da V *funkcijski determinira* W, odnosno da W *funkcijski zavisi* od V.

Za FZ oblika $X \rightarrow Y$ kažemo da je *trivijalna* ako je Y podskup od X.

Zavisnosti ne iskazuju odnose unutar neke date ekstenzije relacije (tj. nekog trenutnog sadržaja relacije), već odnose koji - u datom fragmentu realnog svijeta - uvijek vrijede među promatranim entitetima.

Na temelju zavisnosti, definiran je i pojam *legalne ekstenzije relacije*.

Neka bude data shema relacije R, sa pripadnim skupom funkcijskih zavisnosti F. Ekstenzija relacije R legalna je ako i samo ako su na njoj zadovoljeni svi uvjeti iskazani sa FZ iz skupa F.

Legalnost ekstenzije relacije ne garantira točnost podataka. Međutim nelegalnost garantira da su netočne barem neke od tvrdnji iz date ekstenzije relacije.

Iz datog skupa funkcijskih zavisnosti F mogu logički slijediti i FZ koje u F nisu eksplicitno sadržane. Na primjer, iz skupa FZ koji sadrži zavisnosti $A \rightarrow B$ i $B \rightarrow C$ logički slijedi zavisnost $A \rightarrow C$. Skup svih FZ koje logički slijede iz F naziva se *zatvorenjem od F*, a označava se sa F^+ . Niz pravila koja omogućavaju da se iz datog skupa F izvedu sve i samo FZ koje spadaju u F^+ naziva se *Armstrongovim aksiomima*.

Formalna definicija postupka normalizacije temelji na skupu zavisnosti F^+ . No, radi pojednostavljenja prikaza, ovdje proces normalizacije temeljimo na skupu *eksplicitno datih zavisnosti*, tj. na skupu F. U praktičkim terminima, to ne umanjuje valjanost iznijetih postupaka. Naime, projektant je taj koji - promatranjem odnosa u realnom svijetu - utvrđuje skup eksplicitnih zavisnosti F. Stoga, nema razloga da u taj skup ne uključi sve relevantne FZ, čime skup F^+ postaje praktički beznačajan.

3. Dekompozicija bez gubitka informacija

Neka bude data shema relacije R . Relacijske sheme R_1 i R_2 su *dekompozicija od R* ako i samo ako vrijedi:

$$A(R_1) \text{ unija } A(R_2) = A(R).$$

Dakle, sheme relacija R_1 i R_2 tvore dekompoziciju sheme relacije R ako i samo ako se svaki atribut iz $A(R)$ javlja u barem jednoj od shema relacija R_1 odnosno R_2 .

Dekompozicija (R_1, R_2) sheme relacije R je *bez gubitaka informacija* ako i samo ako se svaku legalnu ekstenziju relacije R daje rekonstruirati spajanjem njenih projekcija na skupove atributa $A(R_1)$ i $A(R_2)$.

Ta definicija ne daje prikladan kriterij za utvrđivanje da li dekompozicija jeste ili nije bez gubitaka informacija. Pogledajmo, stoga, slijedeću definiciju.

Neka bude data shema relacije R i pripadni skup funkcijskih zavisnosti F . Dekompozicija (R_1, R_2) sheme relacije R je *bez gubitaka informacija* ako i samo ako na R vrijedi barem jedna od slijedećih FZ:

$$A(R_1) \text{ presjek } A(R_2) \rightarrow A(R_1)$$

$$A(R_1) \text{ presjek } A(R_2) \rightarrow A(R_2).$$

Drugim riječima, presjek skupova atributa shema relacija R_1 i R_2 mora bit *kandidat ključa* u barem jednoj od tih relacija.

Shema relacije R na kojoj vrijedi FZ oblika $X \rightarrow Y$ dekomponira se na sheme relacija R_1 i R_2 tako da vrijedi:

$$A(R_1) = X \text{ unija } Y$$

$$A(R_2) = A(R) \text{ minus } Y.$$

Takva dekompozicija očitno jeste bez gubitaka informacija jer je

$$A(R_1) \text{ presjek } A(R_2) = X,$$

a zbog $X \rightarrow Y$, skup atributa X je kandidat ključa u R_1 , tako da vrijedi $X \rightarrow A(R_1)$.

Datu shemu relacije R općenito se dekomponira na proizvoljan broj shema relacija R_1, \dots, R_n . No, radi pojednostavljenja, ovdje se ograničavamo na dekompoziciju na dvije sheme relacija. Proces dekomponiranja može se dalje sukcesivno izvoditi na shemama relacija generiranim u prvom koraku dekompozicije.

4. Prva, druga i treća normalna forma

Prva normalna forma

Shema relacije je u *prvoj normalnoj formi (1NF)* ako i samo ako je domena svakog od njenih atributa skup *atomarnih* vrijednosti.

Shema relacije NARUDZBA1 jeste u 1NF. Međutim, javljanje redundance i anomalija održavanja u relaciji NARUDZBA1 pokazuje da 1NF sheme relacije nije dovoljan uvjet za dobar model podataka.

Druga normalna forma

Definirajmo najprije neke osnovne pojmove.

Neključnim atributom nazivamo atribut koji nije sadržan u kandidatu ključa.

FZ oblika $X \rightarrow Y$ nazivamo *potpunom FZ* ako ne postoji skup V , V pravi podskup od X , za koji vrijedi $V \rightarrow Y$. Tada kažemo da Y *potpuno zavisi* od X .

Funkcijsku zavisnost (od X) koja nije potpuna nazivamo *parcijalnom FZ* (od X).

Shema relacije R nalazi se u 2NF ako je svaki neključni atribut od R *potpuno zavisan* od kandidata ključa.

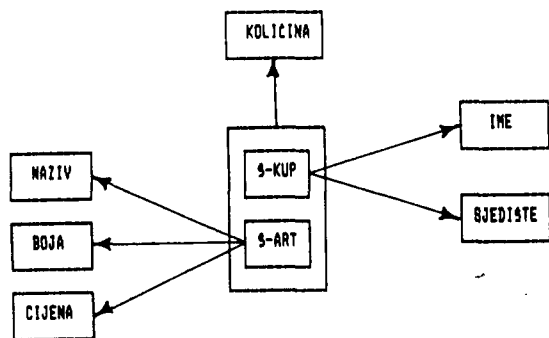
2NF nema većeg praktičkog značaja jer se prevodenjem sheme relacije *samo* u 2NF slabosti modela (tj. redundanca i anomalije) općenito ne otklanjaju. Stoga 2NF možemo smatrati samo "prirodnim prethodnikom" treće normalne forme.

Treća normalna forma

Neka bude data relacija R , i neka X, Y i Z budu podskupovi od $A(R)$. Funkcijska zavisnost $X \rightarrow Y$ je *tranzitivna FZ* na R ako na R vrijede zavisnosti $X \rightarrow Z$ i $Z \rightarrow Y$.

Shema relacije R nalazi se u *trećoj normalnoj formi (3NF)* ako neključni atributi nisu tranzitivno zavisni od kandidata ključa.

Na slici 5 dat je grafički prikaz FZ koje vrijede na shemi relacije NARUDŽBA1. Ta shema relacije nije u 2NF - a time ni u 3NF - jer je parcijalna zavisnost oblik tranzitivne zavisnosti.



Slika 5.

Polazeći od FZ

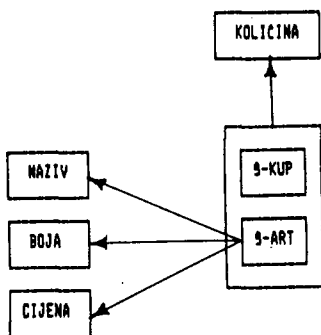
$s\text{-KUP} \rightarrow \text{IME, SJEDIŠTE,}$

shemu relacije NARUDŽBA1 dekomponirajmo na sheme relacija:

$R1(s\text{-KUP, IME, SJEDIŠTE})$

$R2(s\text{-KUP, s-ART, NAZIV, BOJA, CIJENA, KOLIČINA}).$

Schema relacije R1 jeste u 3NF, jer IME ne determinira SJEDIŠTE tako da nema tranzitivnih zavisnosti. Međutim, dijagram FZ za shemu relacije R2, dat na slici 6 pokazuje da ta shema relacije nije u 2NF (a time ni u 3NF).



Slika 6.

Polazeći od FZ

$s\text{-ART} \rightarrow \text{NAZIV, BOJA, CIJENA,}$

shemu relacije R2 dekomponirajmo - prema iznadatom principu - na sheme relacija R3 i R4:

$R3(s\text{-ART, NAZIV, BOJA, CIJENA})$

$R4(s\text{-KUP, s-ART, KOLIČINA}).$

Sheme relacija R3 i R4 jesu u 3NF, jer ne sadrže tranzitivnih zavisnosti.

Dekompozicijom sheme relacije NARUDŽBA1 na relacije R1, R3 i R4 generirane su shema relacija sa slike 1 (ovdje sa drukčijim imenima, naravno). To ujedno pokazuje da proces normalizacije sheme relacije NARUDŽBA1 (koja slijedi iz nekorektnog ER modela podataka sa slike 2) daje one sheme relacija koje daje i sam korektan ER mode podataka sa slike 1! Dakle, normalizacija se ovdje svela na otklanjanje nekorektnosti ER modela podataka. A to sugerira da korektna izrada ER modela podataka dovodi do shema relacija koje već jesu "u optimalnoj (normalnoj) formi", čime se ukida i sama potreba po normalizaciji.

5. Dekompozicija bez gubitka zavisnosti

Funkcijske zavisnosti iskazuju odnose koji vrijede u realnom svijetu. Stoga, ako želimo da ti odnosi vrijede i u modelu podataka (a to je globalni kriterij dobrog modeliranja!), onda prilikom dekomponiranja sheme relacije nijedna FZ ne smije biti ukinuta.

Dekompozicija (R1, R2) sheme relacije R je bez gubitaka funkcijskih zavisnosti ako sve FZ definirane na R logički slijede iz unije skupova FZ definiranih na R1 odnosno R2.

Slijedeća definicija daje operativno pravilo za dekomponiranje bez gubitaka FZ:

Schema relacije R dekomponira se (bez gubitka FZ) ako se dekomponira prema FZ koja nije od kandidata ključa.

Dosadašnji prikaz procesa modeliranja podataka zaključimo slijedećom tvrdnjom:

Svaka shema relacije R koja nije u 3NF da se - sukcesivnom primjenom ovdje opisanog postupka - dekomponirati na skup shema relacija R_1, \dots, R_n , tako da vrijedi:

- Svaka $R_i, 1 \leq i \leq n$, jeste u 3NF;
- Dekompozicija je bez gubitka informacija;
- Dekompozicija je bez gubitka funkcijskih zavisnosti.

Možemo reći da je 3NF (za praksu) najvažnija normalna forma. Naime, shema relacije koje nije u 3NF redovito dovodi do ranije iznijetih slabosti (redundanca, anomalije održavanja). S druge strane, shemu relacije koja jeste u 3NF ponekad nije moguće dekomponirati bez gubitka FZ.

Iznijetim primjerom ilustrirano je da sam korektan ER model podataka daje sheme relacija koje jesu (barem) u 3NF. Utoliko se i normalne forme mogu ovdje smatrati formalnim kriterijima za kontrolu ispravnosti ER modela podataka.

6. Boyce/Coddova normalna forma

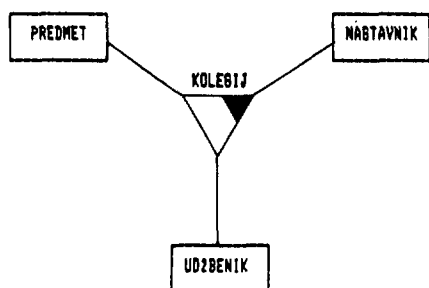
Za Boyce/Coddovu normalnu formu (BCNF) možemo reći da predstavlja stroži oblik 3NF. BCNF je relevantna za one sheme relacija koje imaju više sastavljenih kandidata ključa koji se međusobno djelomično prekrivaju.

Shema relacije je u BCNF ako i samo ako su sve njene netrivialne FZ ujedno FZ od kandidata ključa.

Problematiku vezanu za BCNF iznijeti ćemo na primjeru trojne veze. Najprije je data trojna veza koja - prevedena na relacijski jezik - daje shemu relacije koja je u 3NF, ali i u BCNF. Zatim je taj primjer modificiran tako da shema relacije jeste u 3NF, ali ne i u BCNF.

Na slici 7 dat je ER model podataka koji predstavlja slijedeće tvrdnje:

1. Jedan nastavnik za jedan predmet koristi jedan udžbenik.
2. Jedan predmet prema jednom udžbeniku predaje više nastavnika.
3. Jedan udžbenik jedan nastavnik koristi za jedan predmet.



Slika 7.

Vežu KOLEGIJ zapisujemo na relacijskom jeziku slijedećom shemom relacije:

KOLEGIJ(š-PRED, š-NAST, š-UDŽ)

Da su <š-PRED, š-NAST> i <š-NAST š-UDŽ> kandidati ključa slijedi iz tvrdnje (1) odnosno (3). Odatle slijede i FZ:

FZ1: š-PRED, š-NAST --> š-UDŽ,

FZ2: š-NAST, š-UDŽ --> š-PRED.

Obzirom da shema relacije KOLEGIJ nema neključnih atributa, ne može imati ni tranzitivnih zavisnosti takvih atributa te se stoga nalazi u 3NF. Nadalje, obzirom da su obje iznad date netrivialne FZ od kandidata ključa, shema relacije KOLEGIJ nalazi se i u BCNF.

Izmijenimo sada treću od iznad datih tvrdnji, koja neka glasi:

3'. Jedan udžbenik koristi se samo za jedan predmet.

Tvrdnja (3') implicira tvrdnju (3). Naime, ako se jedan udžbenik koristi samo za jedan predmet (tvrdnja 3'), onda to mora poštivati svaki nastavnik (tvrdnja 3).

Tvrdnju (3') - samu za sebe - predstavili bi u ER modelu podataka binarnom vezom. Međutim, u kontekstu tvrdnji (1) i (2) predstavljamo ju u okviru trojne veze, točno kako je to učinjeno ER modelom podataka na slici 7. Odatle slijedi da je i shema relacije - nazovimo ju KOLEGIJ1 - za vezu datu tvrdnjama (1), (2) i (3') jednaka predašnjoj shemi relacije KOLEGIJ. Dakle,

KOLEGIJ1(š-PRED, š-NAST, š-UDŽ)

Međutim, na tim shemama ne vrijede isti skupovi FZ. Obzirom da je tvrdnja (1) ostala neizmjenjena, očitito ovdje vrijedi FZ1. Nadalje, obzirom da (3') implicira (3) vrijedi i FZ2. No, iz tvrdnje (3') slijedi i

FZ3: š-UDŽ --> š-PRED

koja ne vrijedi na shemi relacije KOLEGIJ.

Na slici 8 dat je primjer legalne ekstenzije relacije KOLEGIJ1.

Ekstenzija je legalna jer su njome zadovoljene sve tri iznad date FZ. Nadalje, obzirom da vrijednost atributa š-UDŽ ne "adresira" samo jednu n-torku iz relacije KOLEGIJ1, taj atribut očitito nije kandidat ključa. A to, nadalje, znači da FZ3 nije funkcijska zavisnost od kandidata ključa, tako da ni shema relacije KOLEGIJ1 nije u BCNF.

KOLEGIJI

S-PRED	S-NAST	S-UDZ
P1	N1	U1
P1	N2	U1
P2	N1	U2
P2	N2	U2

Slika 8.

S druge strane, ta shema relacije jeste u 3NF, jer nema neključnih atributa. Međutim, primjetimo da se u relaciji KOLEGIJI - uprkos 3NF - javlja redundanca (a sa njom i anomalije održavanja). Ta redundanca je posljedica od FZ3. Naime, ako sam udžbenik determinira predmet, onda se podatak o udžbeniku ne bi trebao zapisivati toliko puta koliko nastavnika predaje taj predmet (kako je to slučaj u relaciji KOLEGIJI).

Postavlja se, stoga, pitanje što učiniti sa shemom relacije KOLEGIJI. U datom primjeru, preporučljiv odgovor glasi ništa. Dakle, zadržati ju u modelu podataka takvu kakva jeste. Naime, shemu relacije KOLEGIJI nije moguće dekomponirati bez gubitka FZ. Pogledajmo to.

Polazeći od "kritične" FZ3, shemu relacije KOLEGIJI možemo - bez gubitka informacija! - dekomponirati na:

$$R1(\underline{S-UDZ}, S-PRED)$$

$$R2(\underline{S-NAST}, \underline{S-UDZ}).$$

Međutim, tom dekompozicijom izgubljene su FZ1 i FZ2. Naime, od FZ sa sheme relacije KOLEGIJI, ovdje vrijedi samo FZ3 (na R1), iz koje zacjelo ne slijede FZ1 i FZ2. Dakle, takvu dekompoziciju ne valja izvoditi, tako da prikaz veze KOLEGIJI ER modelom sa slike 7 jeste korektan.

Postoje sheme relacija koje jesu u 3NF a nisu u BCNF, i koje se daju prevesti u BCNF bez gubitaka FZ. Pogledajmo primjer. Neka bude data shema relacije

$$NARUDZBA1(\underline{S-KUP}, IME-KUP, \underline{S-ART}, KOLICINA)$$

i neka skup F sadrži slijedeće FZ:

$$S-KUP, S-ART \rightarrow KOLICINA,$$

$$IME-KUP, S-ART \rightarrow KOLICINA,$$

$$IME-KUP \rightarrow S-KUP,$$

$$S-KUP \rightarrow IME-KUP$$

Shema relacije NARUDZBA1 jeste u 3NF jer (jedin) neključni atribut KOLICINA ne zavisi tranzitivno. Međutim, ta shema relacije nije u BCNF

jer sadrži FZ koje nisu od kandidata ključa.

BCNF modela podataka možemo doseći dekompozicijom sheme relacije NARUDZBA1 prema

$$S-KUP \rightarrow IME-KUP$$

koja nije od kandidata ključa) na:

$$R1(\underline{S-KUP}, IME-KUP)$$

$$R2(\underline{S-KUP}, \underline{S-ART}, KOLICINA).$$

Ta dekompozicija je bez gubitaka informacija i bez gubitaka funkcijskih zavisnosti. Naime:

- treća i četvrta FZ iz F definirane su na R1,
- prva FZ iz F definirana je na R2,
- druga FZ iz F logički slijedi iz treće i prve FZ.

Međutim, shema relacije NARUDZBA1 slijedi iz grube greške u ER modelu podataka. Naime, svojstvo IME-KUP očito pripada entitetu KUPAC a ne entitetu NARUDZBA. Dakle, sam korektan ER model podataka doveo bi do shema relacija R1 i R2, a ne do sheme relacije NARUDZBA1. Dakle, sheme relacija R1 i R2 - formirane iz sheme relacije NARUDZBA1 - pokazuju da iz korektno izrađenog ER modela podataka slijede sheme relacija koje nisu samo u 3NF već i u BCNF.

Ako pak ER model podataka ne daje shemu relacije u BCNF (slučaj sheme KOLEGIJI), onda valja provjeriti da li se takva shema uopće daje dekomponirati (bez gubitaka!) na sheme relacija koje jesu u BCNF. Ovdje nemamo formalnog dokaza da takva dekompozicija nije moguća. No, nije nam pošlo za rukom naći primjer u kojem bi takva dekompozicija bila moguća.

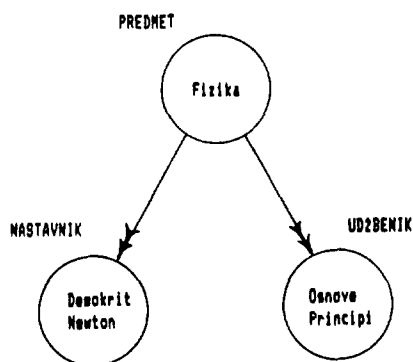
7. Višeznačna zavisnost

Neka bude data shema relacije R i neka X, Y i Z budu podskupovi od A(R). Na shemi relacije R vrijedi VZ

$$X \twoheadrightarrow Y$$

ako i samo ako skup vrijednosti atributa iz Y za dati par vrijednosti atributa iz X i Z zavisi isključivo od vrijednosti atributa iz X, a nezavisan je od vrijednosti atributa iz Z. Kažemo da X višeznačno determinira Y, odnosno da Y višeznačno zavisi od X.

Grafički prikaz VZ dat na slici 9, čini gornju definiciju razumljivijom.



Slika 9.

Na slici 9 date su dvije VZ, i to:

PREDMET --> NASTAVNIK

PREDMET --> UDŽBENIK.

VZ se javljaju u "parovima". Vrijedi slijedeće pravilo:

Ako na shemi relacije R vrijedi VZ

$X \rightarrow Y$

onda vrijedi i VZ

$X \rightarrow R \text{ minus } (X \text{ unija } Y).$

Dakle, ako skup atributa višeznačno determinira skup atributa Y, onda X višeznačno determinira i skup preostalih atributa sheme relacije R. To obično zapisujemo na slijedeći način:

$X \rightarrow Y \mid R \text{ minus } (X \text{ unija } Y)$

VZ koje su zadovoljene u svakoj ekstenziji relacije nazivamo trivijalnim.

Na primjer, u svakoj ekstenziji binarne relacije $R(X, Y)$ zadovoljene su trivijalne VZ $X \rightarrow Y$ i $Y \rightarrow X$. Naime, svakoj vrijednosti atributa X pripada skup (od jedne ili više) vrijednosti atributa Y, i obrnuto.

VZ predstavljaju generalizaciju FZ. Pod time podrazumijevamo da svaka FZ - po definiciji - jeste ujedno i VZ. Naime, FZ oblika $X \rightarrow Y$ je ujedno VZ kod koje skup vrijednosti atributa Y za jednu vrijednost atributa X sadrži samo jedan element.

8. Četvrta normalna forma

Shema relacije koja se nalazi u BCNF i/ili 3NF može svejedno dovesti do javljanja redundance

(u bazi), a time i do anomalija održavanja. Pogledajmo primjer. Na slici 10 dat je primjer ekstenzije relacije KOLEGIJ2, čija shema glasi KOLEGIJ2(S-PRED, S-NAST, S-UDŽ)

<u>S-PRED</u>	<u>S-NAST</u>	<u>S-UDŽ</u>
Fizika	Demokrit	Osnove
Fizika	Demokrit	Principi
Fizika	Newton	Osnove
Fizika	Newton	Principi

Slika 10.

Shema relacije KOLEGIJ2 jeste u BCNF jer na njoj nije definirana nikakva netrivialna FZ. Međutim, relacija KOLEGIJ2 sa slike 10 očito sadrži redundancu: zapis o tome da pojedini nastavnik predaje pojedini predmet javlja se toliko puta koliko udžbenika ima za taj predmet. Analogno vrijedi i za udžbenike.

Kao i FZ, VZ daju osnovu za definiranje (nove) normalne forme, odnosno dekomponiranje shema relacija, u cilju otklanjanja redundance i anomalija održavanja.

Shema relacije je u četvrtoj normalnoj formi (4NF) ako i samo ako su sve njene netrivialne VZ ujedno FZ od kandidata ključa.

Jednostavnije rečeno, shema relacije je u 4NF ako je u BCNF i ako nema "pravih VZ". (Dakle, ako nema VZ koje nisu FZ.) Naime, ako shema relacije nema "pravih VZ", onda se zahtjev iskazan samom definicijom 4NF svodi na zahtjev iskazan definicijom BCNF. (Dakle, da sve FZ budu od kandidata ključa.)

Shema relacije KOLEGIJ2 nije u 4NF. Naime, ona očito sadrži VZ

$S\text{-PRED} \rightarrow S\text{-NAST} \mid S\text{-UDŽ},$

koje, nisu FZ (pa ni FZ od kandidata ključa).

U cilju otklanjanja redundance i anomalija održavanja, shemu relacije koja sadrži VZ valja dekomponirati.

Shema relacije na kojoj vrijedi netrivialna VZ oblika

$X \rightarrow Y$

dekomponira se bez gubitaka informacija

na sheme relacija R1 i R2, pri čemu vrijedi:

$$A(R1) = X \text{ unija } Y$$

$$A(R2) = A(R) \text{ minus } Y.$$

Polazeći od datih VZ, shema relacije KOLEGIJ2 dekomponira se na sheme relacija

$$R1(\underline{s-PRED}, \underline{s-NAST})$$

$$R2(\underline{s-PRED}, \underline{s-UDZ}).$$

Na slici 11 date su ekstenzije relacija R1 i R2, dobivene projekcijom ekstenzije relacije KOLEGIJ2 na skupove atributa A(R1) odnosno A(R2).

R1	<u>s-PRED</u>	<u>s-NAST</u>	R2	<u>s-PRED</u>	<u>s-UDZ</u>
	Fizika	Demokrit		Fizika	Osnove
	Fizika	Newton		Fizika	Principi

Slika 11.

Sheme relacija R1 i R2 jesu u 4NF. Naime, na tim shemama vrijede samo trivijalne VZ.

Ranije isticana nužnost očuvanja zavisnosti kod dekompozicije, odnosi se i na višeznačne zavisnosti. Formalni prikaz toga problema prelazi potrebe ovoga prikaza. Stoga, navodimo samo slijedeće (praktičko) načelo:

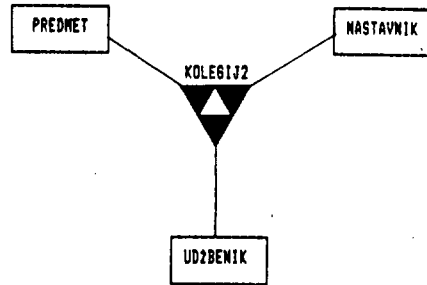
Ako se dekompozicija izvodi polazeći od netrivialne VZ definirane na polaznoj shemi relacije (kako je iznad učinjeno), onda dekompozicija neće dovesti do gubitka VZ.

Činjenica da neka shema relacije jeste u BCNF a nije u 4NF ukazuje na evidentnu grešku u ER modelu podataka, iz kojeg takva shema relacije slijedi. Na primjer, shema relacije KOLEGIJ2 očito slijedi iz ER modela podataka datog na slici 12. Napomenimo da tip povezanosti mnogo svih triju tipova objekata koji tvore vezu slijedi iz toga što je ključ sheme relacije KOLEGIJ2 sastavljen iz identifikatora svih triju tipova objekata.

"Otkriće" VZ

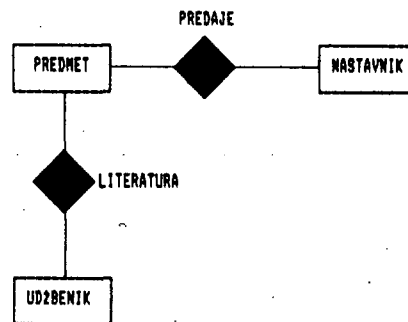
$$\underline{s-PRED} \text{ -->> } \underline{s-NAST} \mid \underline{s-UDZ}$$

na shemi relacije KOLEGIJ2 ukazuje na to da su tipovi objekata NASTAVNIK i UDZBENIK međusobno potpuno nezavisni. A to onda znači da trojna veza KOLEGIJ2, kojom su ti tipovi objekata po-



Slika 12.

vezani u jednu vezu, ne opisuje stvarno stanje stvari u fragmentu realnog svijeta čiju strukturu modeliramo. Drugim riječima, javljanje VZ na shemi relacije je posljedica nekorektnosti ER modela podataka sa slike 12. Naime, ako vrijede iznad date VZ, onda stvarno stanje stvari ne opisuje taj model, već ER model podataka sa slike 13.



Slika 13.

Iz potonjeg ER modela očito direktno slijede sheme relacija R1 i R2 (tj. PREDAJE i LITERATURA), koje su ranije bile generirane dekompozicijom sheme relacije KOLEGIJ2 dobivene iz nekorektnog ER modela podataka. Dakle, normalizacija ima i u ovom slučaju samo ulogu otkrivanja (i/ili otklanjanja) grešaka učinjenih u procesu izrade ER modela podataka.

Naravno, veza KOLEGIJ2 mogla bi biti i trojna. Međutim, u tom slučaju na pripadnoj shemi relacije KOLEGIJ2 ne bi vrijedile iznad date VZ. Dakle, tada bi shema relacije KOLEGIJ2 bila ne samo u BCNF već i u 4NF. A to znači da bi i ER model podataka sa slike 12 tada dao shemu relacije koja jeste "u optimalnoj normalnoj formi".

9. Zavisnost spajanja

Postoje relacije koje se ne mogu dekomponirati bez gubitka informacija na dvije relacije, ali se mogu bez gubitka informacija dekomponirati na tri ili više relacija. Pogledajmo primjer. Neka bude data shema relacije

KOLEGIJ3(S-PRED, S-NAST, S-UDZ)

na kojoj nisu definirane nikakve netrivialne VZ. Dakle, ta shema relacije je u 4NF. Međutim, ekstenzija relacije KOLEGIJ3 data na slici 14 sadrži redundancu.

KOLEGIJ3

S-PRED	S-NAST	S-UDZ
P1	N1	U1
P1	N1	U2
P1	N2	U1
P2	N1	U1

Slika 14.

Na primjer, podatak da nastavnik N1 predaje predmet P1 zapisan je toliko puta koliko udžbenika taj nastavnik koristi za taj predmet. Međutim, obzirom da nastavnik N2 za isti predmet ne koristi isti skup udžbenika kao i nastavnik N1, na shemi relacije KOLEGIJ3 ne vrijedi VZ

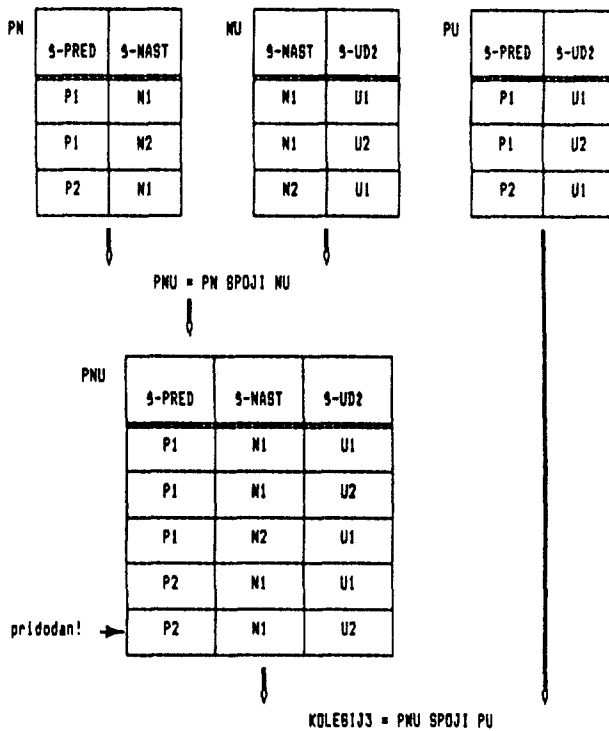
S-PRED -->> S-NAST | S-UDZ.

Odatle slijedi da tu shemu relacije nije moguće dekomponirati na dvije sheme relacija (na temelju VZ), kako je to učinjeno sa shemom relacije KOLEGIJ2.

Međutim, na slici 15 pokazano je da se ta relacija daje dekomponirati na tri relacije, i to bez gubitka informacija.

Relacija PNU, dobivena spajanjem relacija PN i NU sadrži jednu suvišnu n-torku. Drugim riječima, rezultat tog spajanja sadrži i tvrdnju da za predmet P2 nastavnik N1 koristi i udžbenik U2, što - prema relaciji KOLEGIJ3 - nije istina. Dakle, dekompozicija relacije KOLEGIJ3 samo na relacije PN i NU dovela bi do gubitka informacijskog sadržaja relacije KOLEGIJ3. Međutim, spajanje relacije PNU sa relacijom PU daje točno polaznu relaciju KOLEGIJ3.

Obzirom da na shemi relacije KOLEGIJ3 nisu definirane nikakve netrivialne VZ, tro-



KOLEGIJ3

S-PRED	S-NAST	S-UDZ
P1	N1	U1
P1	N1	U2
P1	N2	U1
P2	N1	U1

Slika 15.

dekomponibilnost te relacije ne može biti formalno utemeljena (obrazložena) na osnovu takvih zavisnosti. Stoga je uvedena (definirana) nova vrsta zavisnosti: zavisnost spajanja.

Na shemi relacije R vrijedi zavisnost spajanja (ZS)

$*(R_1, \dots, R_n)$

ako i samo ako je R_1, \dots, R_n dekompozicija od R bez gubitka informacija.

Zavisnost spajanja $*(R_1, \dots, R_n)$ nazivamo trivijalnom ako je R jednaka nekoj od R_i , $1 \leq i \leq n$.

Zavisnost spajanja omogućava da se iznad dato svojstvo tro-dekomponibilnosti (odnosno, općenito n-dekomponibilnosti) definira na razini sheme relacije. Za promatrani primjer to činimo pomoću slijedeće zavisnosti spajanja:

$*(PN, NU, PU)$.

Naravno, time smo ujedno definirali klasu legalnih ekstenzija relacije KOLEGIJ3. Stoga, takvu ZS ne valja definirati samo na temelju jedne ekstenzije relacije, već to smijemo učiniti samo ako ta ZS iskazuje stvarne odnose u realnom svijetu. O tom (problemu!) biti će više riječi u slijedećem odjeljku.

Iz definicije ZS slijedi da su FZ i VZ samo posebni slučajevi ZS. Već je ranije pokazano da je FZ samo poseban slučaj VZ. Nadalje, pokazano je da se shema relacije oblika $R(X, Y, Z)$ može dekomponirati (bez gubitka informacija) na sheme relacija $R_1(X, Y)$ i $R_2(X, Z)$ ako na shemi relacije R vrijedi VZ

$$X \rightarrow Y \mid Z.$$

Prema definiciji ZS, to ujedno znači da na shemi relacije R vrijedi ZS

$$*(XY, XZ).$$

Dakle, gornja VZ daje se na ekvivalentan način izraziti kao ZS.

S druge strane, očito postoje ZS koje nisu VZ. Takva je, na primjer, ZS $*(PN, NU, PU)$, definirana na shemi relacije KOLEGIJ3, na kojoj nije definirana nikakva VZ.

Iz definicije ZS slijedi da je to najopćenitiji mogući oblik zavisnosti, sve dok se sheme relacija dekomponiraju primjenom operacije projekcije i regeneriraju primjenom operacije spajanja.

Kao i prethodne zavisnosti, ZS daje osnovu za definiranje nove (a u kontekstu projekcije-spajanja i najviše moguće) normalne forme.

10. Peta normalna forma

Shema relacije na kojoj su definirane netrivialne ZS može se dalje dekomponirati, i to upravo na one sheme relacija koje su date samim zapisom ZS. Cilj takve dekompozicije jeste doseći petu normalnu formu shema relacija, kao najvišu moguću normalnu formu, koja definitivno ne dovodi do nikakvih redundanci ni anomalija održavanja.

Shema relacije R nalazi se u petoj normalnoj formi (5NF) ako i samo ako za svaku netrivialnu ZS oblika

$$*(R_1, \dots, R_n)$$

definiranu na R vrijedi da je svaki $A(R_i)$, $1 \leq i \leq n$, superključ od R.

Jednostavnije rečeno, shema relacije je u 5NF ako se ne da "suvislo dekomponirati". Pokušajmo to ilustrirati na primjeru sheme relacije

$$OSOBA(\underline{MAT-BROJ}, IME, GOD-ROD).$$

Takvom shemom relacije može u relacijskom jeziku biti predstavljen objekt OSOBA iz ER modela podataka. Obzirom da je MAT-BROJ ključ sheme relacije OSOBA, na toj shemi relacije zacijelo vrijedi FZ

$$MAT-BROJ \rightarrow IME.$$

Polazeći od te FZ, shemu relacije OSOBA može se dekomponirati (prema ranije iznijetom principu) na sheme relacija

$$OSOBA_1(\underline{MAT-BROJ}, IME),$$

$$OSOBA_2(\underline{MAT-BROJ}, DAT-ROD).$$

Prema definiciji ZS, to ujedno znači da na shemi relacije OSOBA vrijedi ZS

$$*((MAT-BROJ, IME), (MAT-BROJ, DAT-ROD)).$$

Međutim, primjetimo da je ključ sheme relacije OSOBA (tj. MAT-BROJ) sadržan u obje sheme relacija generirane dekompozicijom. Dakle, $A(OSOBA_1)$ i $A(OSOBA_2)$ jesu superključevi sheme relacije OSOBA. A, prema definiciji 5NF, to znači da relacija OSOBA jeste u 5NF. Dakle, kao što je objekt OSOBA jedan entitet ER modela podataka, tako je i shema relacije OSOBA u 5NF, te ne postoje formalni razlozi za njeno daljnje dekomponiranje.

S druge strane, shema relacije KOLEGIJ3, uz pretpostavku da na njoj vrijedi ZS

$$*(PN, NU, PU),$$

nije u 5NF. Naime, ključ sheme relacije KOLEGIJ3 je trojka atributa

$$\langle s-PRED, s-NAST, s-UD2 \rangle,$$

tako da $A(PN)$, $A(NU)$ i $A(PU)$ nisu superključevi sheme relacije KOLEGIJ3. Stoga je ta shema relacije mogla biti "suvislo dekomponirana" na sheme relacija PN, NU i PU.

Sheme relacija PN, NU i PU jesu u 5NF jer se binarne relacije ne da netrivialno dekomponirati, tako da na njima nema netrivialnih ZS. Stoga, svaka binarna relacija jeste u 5NF.

Postavlja se pitanje da li bi (i na temelju čega) i iz ER modela podataka slijedile sheme relacija PN, NU i PU, a ne shema relacije KOLEGIJ3. Prije odgovora, iznesimo slijedeća činjenice o 5NF.

Obzirom da je ZS najopćenitiji oblik zavisnosti, i 5NF najviša normalna forma, mogli bismo zaključiti da ZS i 5NF imaju dominantnu ulogu u

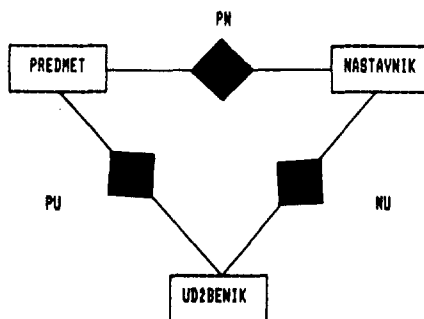
oblikovanju modela podataka. No, tome nije baš tako. Na primjer, u <BRA 87> nalazimo tvrdnju da se 5NF (a time ni ZS) u praksi "općenito ne koriste". Razlog za to iznosi Date:

"... dok je otkrivanje FZ i VZ relativno jednostavno, ..., isto se ne bi moglo reći za ZS (koje nisu VZ), jer je intuitivno značenje ZS daleko od jednostavnog. Stoga je i postupak utvrđivanja kada data relacija jeste u 4NF ali nije u 5NF (te bi mogla biti dalje dekomponirana) još uvijek nejasan."

(Podcrtao M.R.)

Napomenimo da je u <DAT 86> gornja tvrdnja (iz prethodnog izdanja iste knjige) nešto ublažena: umjesto "daleko od jednostavnog" nalazimo "može ne biti očito". Međutim, zaključak o nejasnoći postupka otkrivanja ZS ostaje neizmjenjen. Date, nadalje, sugerira mogućnost da su relacije koje jesu u 4NF a nisu u 5NF "patološki slučajevi" koji se, izgleda, rijetko javljaju u praksi. Taj stav, zajedno sa ranije rečenim o BCNF i 4NF, potkrepljuje ocjenu da je sa praktičkog aspekta 3NF najvažnija. Naime, ako je ER model podataka korektno izrađen (i ako relacija nije "patološka"), onda će sheme relacija generirane iz tog ER modela koje jesu u 3NF biti ujedno i u BCNF, 4NF i 5NF. Stoga, ne izgleda primjerenim reći da se 5NF "u praksi općenito ne koristi", već da se (u praksi) ne pokušava eksplicitno doseći. Međutim, to ne znači da sheme relacije generirane iz dobro oblikovanih ER modela podataka nisu i u 5NF.

Iznad rečeno ujedno ukazuje na odnos ER modela i 5NF. Naime, ako se uspije otkriti zavisnost spajanja poput *(PN, NU, PU) onda ista može biti iskazana tako da se umjesto trojne veze KOLEGIJ3 (koja je po formi jednaka vezi KOLEGIJ2 sa slike 12), ER modelom iskažu tri binarne veze, kako je to učinjeno na slici 16.



Slika 16.

Odatle direktno slijede i sheme relacija PN, NU i PU. Međutim, problem 5NF je u njenom otkrivanju. Točnije: u otkrivanju ZS koje nisu VZ. A taj problem je jednako prisutan u formalizmu normalnih formi kao i u (bitno) jednostavnijem ER jeziku. Dakle, i s tog aspekta, ER jezik nudi mogućnost izrade jednako kvalitetnog modela podataka kao i "sophisticirani" proces normalizacije.

REFERENCE

- <BRA 87> Brackett, H.M.:
Developing Data Structured Databases, Prentice-Hall, 1987.
- <CHE 76> Chen, P.P.:
The Entity-Relationship Model - Toward a unified View of Data, *ACM Trans. on Database S.*, No.1, 1976.
- <DAT 86> Date, C.J.:
Introduction to Database Systems, Vol I, Addison-Wesley, 1986.
- <KOR 86> Korth, F.H., Silberschatz, A.:
Database System Concepts, McGraw-Hill, 1986.
- <MAI 83> Maier, D.:
The Theory of Relational Databases, Comp. Sci. Press, 1983.
- <NAV 86> Navathe, S., Elmasri, R., Larson, J.:
Integrating Users Views in Database Design, *IEEE Computer*, No. 1, 1986.
- <TKA 88> Tkalac, S.:
Relacijski model podataka, Informator (u tisku).
- <TOR 86> Toney, J.T., Yang, D., Fry, P.J.:
A Logical Design Methodology for Relational Databases Using the Extended Entity-Relationship Model, *ACM Computing Surveys*, No. 2, 1986.