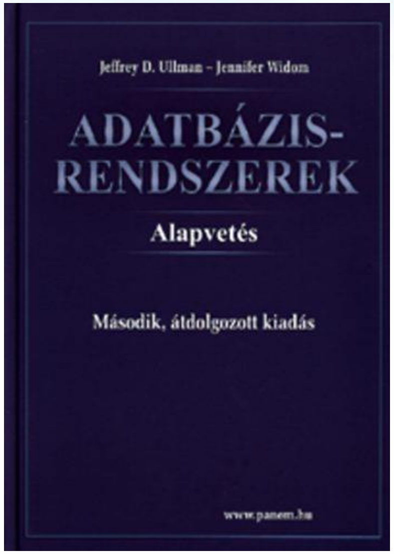
12.előadás: Adatbázisok
dr. Hajas Csilla (ELTE IK)
http://sila.hajas.elte.hu/

3NF, 4NF, magasabb normálformák

A mai témakörök a Tankönyvben:



3.5. A harmadik normálforma

3.6. Többértékű függőségek

Negyedik normálformára bontás

3.7. Többértékű függőségek megkeresése

Magasabb normálformákról áttekintés

Relációs sématervezés (vázlat)

- I. Függőségek: a sématervezésnél használjuk
  - Funkcionális függőség (10ea)
  - **Többértékű függőség (12ea)**
- II. Normalizálás: „jó” sémákra való felbontás
  - Funkcionális függ. -> BCNF (11ea)
  - Funkcionális függ. -> **3NF (12ea)**
  - Többértékű függ. -> **4NF (12ea)**
- III. Felbontás tulajdonságai: „jó” tulajdonságok
  - Veszteségmentesség (11ea)
  - Függőségőrzés (11ea)

A harmadik normálforma (definíció)

- A harmadik normálformában (3NF) úgy módosul a BCNF feltétel, hogy az előbbi esetben már nem kell dekomponálnunk (megőrizzük a függőséget)
- Definíció: Egy attribútum elsődleges attribútum (prímattribútum), ha legalább egy kulcsnak eleme.
- Definíció: Az R reláció 3NF-ban van akkor és csak akkor, ha valahányszor létezik egy *X ->A* nem-triviális függőség, akkor

    vagy *X* szuperkulcs

    vagy *A* prímattribútum.

3NF-szintetizáló algoritmus

- Hogyan bontható fel egy R reláció olyan relációk halmazává, amelyekre teljesülnek az alábbiak:
  - A felbontásban szereplő relációk mindegyike 3NF-ban van
  - A felbontásnak veszteségmentes összekapcsolása van
  - A felbontásnak függőségmegőrző tulajdonsága van.
- Az algoritmushoz ismételjük át a minimális bázis fogalmát és előállítását, mert erre lesz szükség!

(Tk.3.2.7.) Minimális bázis (definíció)

Amikor egy relációhoz választhatunk, hogy milyen ekvivalens funkcionális függőségi hz-t használunk, amelyek reprezentálják egy reláció teljes f.f. hz-t. Az F minimális bázis, ha az olyan f.f.-ekből áll, amelyre három („minimális”) feltétel igaz:

1. F összes függőségének jobb oldalán egy attribútum van.
2. Ha bármelyik F-beli függőséget elhagyjuk, a fennmaradó halmaz már nem bázis.
3. Ha bármelyik F-beli funkcionális függőség bal oldaláról elhagyunk egy vagy több attribútumot, akkor az eredmény már nem marad bázis.

Minimális bázist kiszámító algoritmus

1.) Kezdetben G az üreshalmaz.
Minden $X \rightarrow Y \in F$ helyett vegyük az $X \rightarrow A$ funkcionális függőségeket, ahol $A \in Y - X$).
Megj.: Ekkor minden G-beli függőség $X \rightarrow A$ alakú.

2.) Minden $X \rightarrow A \in$ G-re, ha $X \rightarrow A \in (G - \{ X \rightarrow A \})^{+}$, vagyis ha elhagyjuk az $X \rightarrow A$ függőséget G-ből, az még mindig következik a maradékból, akkor $G:=G - \{X \rightarrow A\}$.
Megj.: Elhagyható függőségeket mind elhagyjuk.

3.) Minden $X \rightarrow A \in$ G-re, amíg van olyan $B \in X$-re $A \in (X - B)^{+}$ a G-szerint, vagyis $(X - B) \rightarrow A$ teljesül, akkor $X := X - B$.
Megj.: E lépés után minden baloldal minimális lesz.

Mohó algoritmus minimális bázis előállítására

1. Jobb oldalak minimalizálása:

   $X \rightarrow A1, \ldots, Ak$ függőséget cseréljük le az

   $X \rightarrow A1, \ldots, X \rightarrow Ak$ k darab függőségre.

2. A halmaz minimalizálása:

   Hagyjuk el az olyan $X \rightarrow A$ függőségeket, amelyek a bázist nem befolyásolják, azaz

   while F változik

   if $(F-\{X \rightarrow A\})^* = F^*$ then $F := F-\{X \rightarrow A\}$;

3. Bal oldalak minimalizálása:

   Hagyjuk el a bal oldalakból azokat az attribútumokat, amelyek a bázist nem befolyásolják, azaz

   while F változik

   for all $X \rightarrow A \in F$

   for all $B \in X$

   if $((F-\{X \rightarrow A\}) \cup \{(X-\{B\}) \rightarrow A\})^* = F^*$ then $F := (F-\{X \rightarrow A\}) \cup \{X-\{B\}) \rightarrow A\}$

Példa-1: minimális bázis kiszámítása

- Az algoritmusban különböző sorrendben választva a függőségeket, illetve attribútumokat, különböző minimális bázist kaphatunk.
- F={A→B, B→A, B→C, A→C, C→A}
  (F-{B→A})*=F*, mivel F-{B→A} ⊢ B→A
  F:=F-{B→A}
  (F-{A→C})*=F*, mivel F-{A→C} ⊢ A→C
  F:=F-{A→C}= {A→B,B→C,C→A} minimális bázis, mert több függőség és attribútum már nem hagyható el.

- F={A→B, B→A, B→C, A→C, C→A}
  (F-{B→C})*=F*, mivel F-{B→C} ⊢ B→C
  F:=F-{B→C}={A→B,B→A,A→C,C→A} is minimális bázis, mert több függőség és attribútum már nem hagyható el.

Példa-2: minimális bázis kiszámítása

- Az algoritmusban különböző sorrendben választva a függőségeket, illetve attribútumokat, különböző minimális bázist kaphatunk.
- $F=\{AB\rightarrow C,\ A\rightarrow B,\ B\rightarrow A\}$
  $(F-\{AB\rightarrow C\}\cup\{A\rightarrow C\})^*=F^*$, mivel
  $(F-\{AB\rightarrow C\})\cup\{A\rightarrow C\} \vdash AB\rightarrow C$ és $F \vdash A\rightarrow C$.
  $F:=(F-\{AB\rightarrow C\}\cup\{A\rightarrow C\})=\{A\rightarrow C, A\rightarrow B, B\rightarrow A\}$ minimális bázis, mert több függőség és attribútum már nem hagyható el.
- $F=\{AB\rightarrow C,\ A\rightarrow B,\ B\rightarrow A\}$
  $(F-\{AB\rightarrow C\}\cup\{B\rightarrow C\})^*=F^*$, mivel
  $(F-\{AB\rightarrow C\})\cup\{B\rightarrow C\} \vdash AB\rightarrow C$ és $F \vdash B\rightarrow C$.
  $F:=(F-\{AB\rightarrow C\}\cup\{B\rightarrow C\})=\{B\rightarrow C, A\rightarrow B, B\rightarrow A\}$ is minimális bázis, mert több függőség és attribútum már nem hagyható el.

3NF-szintetizáló algoritmus ---1

- Algoritmus függőségőrző 3NF dekompozíció előállítására:
- Input: (R,F)
  - Legyen G:={X→A,X→B,...,Y→C,Y→D,....} az F minimális bázisa.
  - Legyen S az R sémának G-ben nem szereplő attribútumai. Ha van olyan függőség G-ben, amely R összes attribútumát tartalmazza, akkor legyen d:={R}, különben legyen d:={S, XA, XB,...,YC,YD,...} (így ez egy felbontás).
  - Amennyiben a fenti relációk attribútumhalmazának egyike sem szuperkulcs R-ben, adjunk még egy relációt az eredményhez, melynek sémája K legyen az R egy kulcsa, és legyen d:={K, S, XA, XB,...,YC,YD,...} (így VM felbontás)

3NF-szintetizáló algoritmus ---2

- Algoritmus függőségőrző és veszteségmentes 3NF redukált (kevesebb tagból álló) dekompozíció előállítására:
- Input: (R,F)
  - Legyen G:={X→A,X→B,...,Y→C,Y→D,....} az F minimális bázisa.
  - Ha van olyan függőség G-ben, amely R összes attribútumát tartalmazza, akkor legyen d:={R}.
  - Legyen S az R sémának G-ben nem szereplő attribútumai. Legyen K az R egy kulcsa, és legyen

    d:={K, S, XAB...,...,YCD...,...}.

  - Ha K része valamelyik sémának, akkor K-t elhagyhatjuk.

Miért működik?

3NF-szintetizáló algoritmus:

- Veszteségmentes összekapcsolás: a Chase algoritmussal ellenőrizhető (a kulcsból létrehozott séma itt lesz fontos).
- Függőségőrzés: minden FF megmarad a minimális bázisból.
- 3NF: a minimális bázis tulajdonságaiból következik.

Többértékű függőségek és a negyedik normálforma (4NF)

Többértékű függőségek és a 4NF

- Hasonló utat járunk be, mint a funkcionális függőségek esetén:
  - Definiáljuk a többértékű függőséget
  - implikációs probléma
  - axiomatizálás
  - levezethető függőségek hatékony meghatározása (lezárás helyett a séma particiója függőségi bázisa)
  - veszteségmentes dekompozíció
  - 4. normálforma
  - veszteségmentes 4NF dekompozíció előállítása

A TÉF definíciója

- A *többértékű függőség* (TÉF): az *R* reláció fölött *X* ->->*Y* teljesül: ha bármely két sorra, amelyek megegyeznek az *X* minden attribútumán, az *Y* attribútumaihoz tartozó értékek felcserélhetőek, azaz a keletkező két új sor R-beli lesz.
- Más szavakkal: *X* minden értéke esetén az *Y* -hoz tartozó értékek függetlenek az

  R-*X*-*Y* értékeitől.

Példa: TÉF

Sörivók(név, cím, tel, kedveltSörök)

- A sörivók telefonszámai függetlenek az általuk kedvelt söröktől.
  - név->->tel és név ->->kedveltSörök.
- Így egy-egy sörivó minden telefonszáma minden általa kedvelt sörrel kombinációban áll.
- Ez a jelenség független a funkcionális függőségektől.
  - itt a név->cím az egyetlen FF.

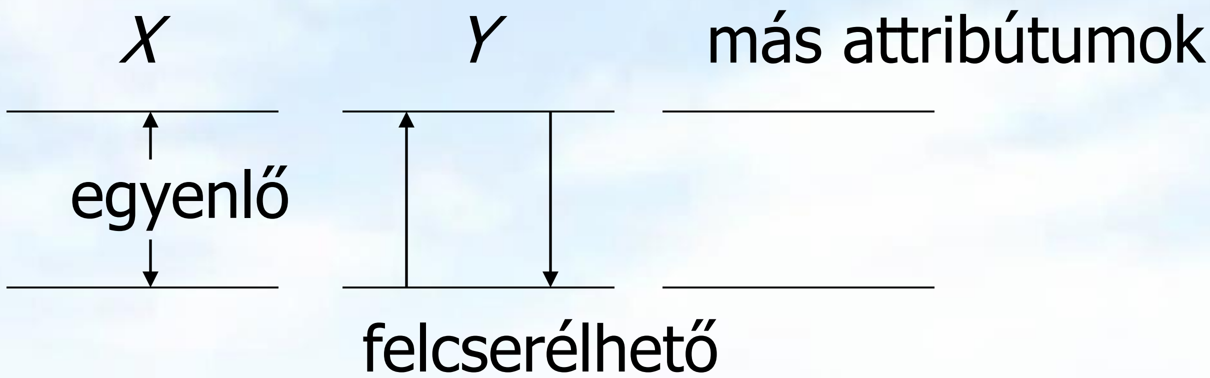
A név->->tel által implikált sorok

Ha ezek a soraink vannak:

név	cím	tel	kedveltSörök
sue	a	p1	b1
sue	a	p2	b2
sue	a	p2	b1
sue	a	p1	b2

Akkor ezeknek a soroknak is szerepelnie kell.

Az *X* ->-> *Y* TÉF képe



Többértékű függőségek

- **Definíció:** X,Y⊆R, Z:=R–XY esetén **X→→Y többértékű függőség. (tf)**
- A függőség akkor teljesül egy táblában, ha bizonyos mintájú sorok létezése garantálja más sorok létezését.
- A formális definiciót az alábbi ábra szemlélteti.
- Ha létezik **t** és **s** sor, akkor **u** és **v** soroknak is létezniük kell, ahol az azonos szimbólumok azonos értékeket jelölnek.

	X	Y	Z
t	x	y1	z1
s	x	y2	z2
∃ u	x	y1	z2
∃ v	x	y2	z1

Többértékű függőségek

Definíció (Formálisan): Egy R sémájú r reláció kielégíti az $X \rightarrow\rightarrow Y$ függőséget, ha $t,s \in r$ és $t[X]=s[X]$ esetén létezik olyan $u,v \in r$, amelyre $u[X]=v[X]=t[X]=s[X]$, $u[Y]=t[Y]$, $u[Z]=s[Z]$, $v[Y]=s[Y]$, $v[Z]=t[Z]$.

Állítás: Elég az u,v közül csak az egyik létezését megkövetelni.

	X	Y	Z
t	x	y1	z1
s	x	y2	z2
∃ u	x	y1	z2

TÉF szabályok

- Minden FF TÉF.
  - Ha *X ->Y* és két sor megegyezik X-en, Y-on is megegyezik, emiatt ha ezeket felcseréljük, az eredeti sorokat kapjuk vissza, azaz: *X ->->Y*.
- *Komplementálás* : Ha *X ->->Y* és *Z* jelöli az összes többi attribútum halmazát, akkor

  X ->->Z.

Nem tudunk darabolni

- Ugyanúgy, mint az FF-ek esetében, a baloldalakat nem „bánthatjuk” általában.
- Az FF-ek esetében a jobboldalakt felbonthattuk, míg ebben az esetben ez sem tehető meg.

Példa: többattribútumos jobboldal

Sörivók(név, tTársaság, tel, kedveltSörök, gyártó)

- Egy sörivónak több telefonja lehet, minden számot két részre otsztunk: tTársaság (pl. Vodafone) és a maradék hét számjegy.
- Egy sörivó több sört is kedvelhet, mindegyikhez egy-egy gyártó tartozik.

Példa folytatás

- Mivel a tTársaság-tel kombinációk függetlenek a kedveltSörök-gyártó kombinációtól, azt várjuk, hogy a következő FÉK-ek teljesülnek:

    név ->-> tTársaság tel

    név ->-> kedveltSörök gyártó

Példa adat

Egy lehetséges előfordulás, ami teljesíti az iménti FÉK-et:

név	tTásasság	tel	kedveltS	gyártó
Sue	30	555-1111	Bud	A.B.
Sue	20	555-1111	WickedAle	Pete’s
Sue	70	555-9999	Bud	A.B.
Sue	70	555-9999	WickedAle	Pete’s

Ugyanakkor sem a név->->tTársaság sem a név->->tel függőségek nem teljesülnek.

Többértékű függőségek

- Axiomatizálás

Funkcionális függőségek	Többértékű függőségek	Vegyes függőségek
A1 (reflexivitás): $Y \subseteq X$ esetén $X \rightarrow Y$.	A4 (komplementer): $X \rightarrow\rightarrow Y$ és $Z=R-XY$ esetén $X \rightarrow\rightarrow Z$.	A7 (funkcionálisból többértékű): $X \rightarrow Y$ esetén $X \rightarrow\rightarrow Y$.
A2 (tranzitivitás): $X \rightarrow Y$ és $Y \rightarrow Z$ esetén $X \rightarrow Z$.	A5 (tranzivitás): $X \rightarrow\rightarrow Y$ és $Y \rightarrow\rightarrow S$ esetén $X \rightarrow\rightarrow S-Y$.	A8 (többértékűből és funcionálisból funkcionális): $X \rightarrow\rightarrow Y$ és $W \rightarrow S$, ahol $S \subseteq Y$, $W \cap Y = \emptyset$ esetén $X \rightarrow S$.
A3 (bővíthetőség): $X \rightarrow Y$ és tetszőleges Z esetén $XZ \rightarrow YZ$.	A6 (bővíthetőség): $X \rightarrow\rightarrow Y$ és tetszőleges $V \subseteq W$ esetén $XW \rightarrow\rightarrow YV$.	

Többértékű függőségek

- Jelölés a továbbiakban:
  - F funkcionális függőségek halmaza
  - M többértékű függőségek halmaza
  - D vegyes függőségek (funkcionális és többértékű függőségek) halmaza
- Tétel (helyes és teljes axiómarendszerek):
  - A1,A2,A3 helyes és teljes a funkcionális függőségekre,
  - A4,A5,A6 helyes és teljes a többértékű függőségekre,
  - A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8 helyes és teljes a vegyes függőségekre.

Többértékű függőségek

- Állítás: $X \rightarrow\rightarrow Y$-ből nem következik, hogy $X \rightarrow\rightarrow A$, ha $A \in Y$. (A jobb oldalak nem szedhetők szét!)
- Bizonyítás: A következő r tábla kielégíti az $X \rightarrow\rightarrow AB$-t, de nem elégíti ki az $X \rightarrow\rightarrow A$-t. q.e.d.

X	A	B	C
x	a	b	c
x	e	f	g
x	a	b	g
x	e	f	c

$X \rightarrow\rightarrow A$ esetén ennek a sornak is benne kellene lenni a táblában.

x	a	f	g

Többértékű függőségek

- Állítás: X→→Y és Y→→V-ből nem következik, hogy X→→V. (A szokásos tranzitivitás nem igaz általában!)
- Bizonyítás: A következő r tábla kielégíti az X→→AB-t, AB→→BC-t, de nem elégíti ki az X→→BC-t. q.e.d.

X	A	B	C
x	a	b	c
x	e	f	g
x	a	b	g
x	e	f	c

X→→BC esetén ennek a sornak is benne kellene lenni a táblában.

x	e	b	c

Többértékű függőségek

- A veszteségmentesség, függőségőrzés definíciójában most F funkcionális függőségi halmaz helyett D függőségi halmaz többértékű függőségeket is tartalmazhat.
- Így például d=(R1,...,Rk) veszteségmentes dekompozíciója R-nek D-re nézve, akkor és csak akkor, ha minden D-t kielégítő r tábla esetén $r=\Pi_{R1}(r)|><|...|><|\Pi_{Rk}(r)$
- A következő tétel miatt a veszteségmentesség implikációs problémára vezethető vissza, így hatékonyan eldönthető.
- Tétel: A d=(R1,R2) akkor és csak akkor veszteségmentes dekompozíciója R-nek, ha
$D \vdash R1 \cap R2 \to\to R1-R2$.

Többértékű függőségek

- A 4.normálforma definiálása előtt foglaljuk össze, hogy melyek a triviális többértékű függőségek, vagyis amelyek minden relációban teljesülnek.
- Mivel minden funkcionális függőség többértékű függőség is, így a triviális funkcionális egyben triviális többértékű függőség is.

1. $Y \subseteq X$ esetén $X \rightarrow\rightarrow Y$ triviális többértékű függőség.

- Speciálisan $Y=\emptyset$ választással $X \rightarrow\rightarrow \emptyset$ függőséget kapjuk, és alkalmazzuk a komplementer szabályt, azaz $Z=R-X\emptyset$, így az $X \rightarrow\rightarrow R-X$ függőség is mindig teljesül, azaz:

2. $XY=R$ esetén $X \rightarrow\rightarrow Y$ triviális többértékű függőség.

- A szuperkulcs, kulcs definíciója változatlan, azaz X szuperkulcsa R-nek D-re nézve, ha $D \models X \rightarrow R$.
- A minimális szuperkulcsot kulcsnak hívjuk.

Többértékű függőségek

- A 4.normálforma hasonlít a BCNF-re, azaz minden nem triviális többértékű függőség bal oldala szuperkulcs.
- Definíció: R 4NF-ben van D-re nézve, ha $XY \neq R$, $Y \not\subset X$, és

  $$D \models X \to\to Y \text{ esetén } D \models X \to R.$$

- Definíció: d={R1,...,Rk} dekompozíció 4NF-ben van D-re nézve, ha minden Ri 4NF-ben van $\Pi_{Ri}(D)$-re nézve.
- Állítás: Ha R 4NF-ben van, akkor BCNF-ben is van.
- Bizonyítás. Vegyünk egy nem triviális $D \models X \to A$ funkcionális függőséget. Ha $XA=R$, akkor $D \models X \to R$, ha $XA \neq R$, akkor a $D \models X \to\to A$ nem triviális többértékű függőség és a 4NF miatt $D \models X \to R$. q.e.d.
- Következmény: Nincs mindig függőségőrző és veszteségmentes 4NF dekompozíció.

Többértékű függőségek

- Veszteségmentes 4NF dekompozíciót mindig tudunk készíteni a naiv BCNF dekomponáló algoritmushoz hasonlóan.
- Naiv algoritmus veszteségmentes 4NF dekompozíció előállítására:

  Ha R 4NF-ben van, akkor <u>megállunk</u>, egyébként

  van olyan nem triviális X→→Y, amely R-ben teljesül, de megsérti a 4NF-et, azaz X nem szuperkulcs.

  Ekkor R helyett vegyük az (XY,R-Y) dekompozíciót.

  A kettévágásokat addig hajtjuk végre, <u>amíg minden tag 4NF-ben nem lesz</u>.

  ALGORITMUS VÉGE.

Többértékű függőségek

- Az is feltehető, hogy X és Y diszjunkt, mert különben Y helyett az Y-X-et vehettük volna jobb oldalnak.
- $XY \neq R$, így *mindkét tagban csökken az attribútumok száma.*
- $XY \cap (R-Y) = X \rightarrow\rightarrow Y = XY-(R-Y)$, azaz a kéttagú dekompozícióknál bizonyított állítás miatt *veszteségmentes kettévágást kaptunk*.
- Legrosszabb esetben a 2 oszlopos sémákig kell szétbontani, amelyek mindig 4NF-ben vannak, mivel nem lehet bennük nem triviális többértékű függőség.

Negyedik normálforma

- A TÉF-ek okozta redundanciát a BCNF nem szünteti meg.
- A megoldás: a negyedik normálforma!
- A negyedik normálformában (4NF), amikor dekomponálunk, a TÉF-eket úgy kezeljük, mint az FF-eket, a kulcsok megtalálásánál azonban nem számítanak.

4NF definíció

- Egy *R* reláció *4NF* -ben van ha: minden *X* ->->*Y* nemtriviális FÉK esetén *X* szuperkulcs.
  - *Nemtriviális TÉF* :
    1. *Y* nem részhalmaza *X*-nek,
    2. *X* és *Y* együtt nem adják ki az összes attribútumot.
  - A szuperkulcs definíciója ugyanaz marad, azaz csak az FF-ektől függ.

BCNF versus 4NF

- Kiderült, hogy minden *X* ->*Y* FF
  X ->->*Y* TÉF is.
- Így, ha *R* 4NF-ben van, akkor BCNF-ben is.
  - Mert minden olyan FF, ami megsérti a BCNF-t, a 4NF-t is megsérti.
- De *R* lehet úgy BCNF-ben, hogy közben nincs 4NF-ben.

Dekompozíció és 4NF

- H *X* ->->*Y* megsérti a 4NF-t, akkor *R*-t ugyanúgy dekomponáljuk, mint a BCNF esetén.

1. *XY* az egyik dekomponált reláció.
2. Az *Y* – *X*-be nem tartozó attribútumok a másik.

Példa: 4NF dekompozíció

Sörivók(<u>név</u>, cím, <u>tel</u>, <u>kedveltSörök</u>)

FF: név -> cím

FÉK-ek: név ->-> tel

név ->-> kedveltSörök

- Kulcs {név, tel, kedveltSörök}.
- Az összes függőség megsérti 4NF-et.

Példa folytatás

- Dekompozíció név -> cím szerint:

1. Sörivók1(<u>név</u>, cím)
   - Ez 4NF-beli; az egyetlen függőség név-> cím.
2. Sörivók2(<u>név</u>, <u>tel</u>, <u>kedveltSörök</u>)
   - Nincs 4NF-ben. A név ->-> tel és név ->-> kedveltSörök függőségek teljesülnek. A három attribútum együtt kulcs (mivel nincs nemtriviális FF).

Példa: Sörivók2 dekompozíciója

- Mind a név ->-> tel, mind a név ->-> kedveltSörök szerinti dekompozíció ugyanazt eredményezi:
  - Sörivók3(<u>név</u>, <u>tel</u>)
  - Sörivók4(<u>név</u>, <u>kedveltSörök</u>)

Kérdés/Válasz

- Köszönöm a figyelmet! Kérdés/Válasz?
- Feladatok: Tankönyv 3.fejezetében az egyes szakaszok után található gyakorló feladatok