

Razvijenost i povezanost prometne mreže

Predavanje 3

Razvijenost prometne mreže

- ▶ Razvijenost prometne mreže određuje se na temelju duljine prometnih pravaca.

2001. godine duljina cestovne mreže u RH iznosila je 28 123 km

2005. godine duljina cestovne mreže u RH iznosila je 28 436 km

2007. godine duljina cestovne mreže u RH iznosila je 29 039 km

2010. godine duljina cestovne mreže u RH iznosila je 29 333 km

2012. godine duljina cestovne mreže u RH iznosila je 26 690km

2001. godine duljina željezničke mreže u RH iznosila je 2 726 km

2005. godine duljina željezničke mreže u RH iznosila je 2 726 km

2007. godine duljina željezničke mreže u RH iznosila je 2 722 km

2010. godine duljina željezničke mreže u RH iznosila je 2 722 km

2012. godine duljina željezničke mreže u RH iznosila je 2 722 km

► Prostorna gustoća

- Odnos duljine mreže i površine teritorija (km mreže / 100 km²)

za cestovnu mrežu 2001.g.:
g.:

$$G_p = \frac{D \cdot 100}{P} = \frac{28123 \cdot 100}{56610} = 49,7$$

za željezničku mrežu 2001.

$$G_p = \frac{D \cdot 100}{P} = \frac{2726 \cdot 100}{56610} = 4,8$$

za cestovnu mrežu 2012. g.:
g.:

$$G_p = \frac{D \cdot 100}{P} = \frac{26690 \cdot 100}{56610} = 47,1$$

za željezničku mrežu 2012.

$$G_p = \frac{D \cdot 100}{P} = \frac{2722 \cdot 100}{56610} = 4,8$$

► Demografska gustoća

- Odnos duljine mreže i broja stanovnika (km mreže / 10 000 stan.)

za cestovnu mrežu 2001.g.:
g.:

$$G_d = \frac{D \cdot 10000}{S} = \frac{28123 \cdot 10000}{4437460} = 63,4$$

za željezničku mrežu 2001.

$$G_d = \frac{D \cdot 10000}{S} = \frac{2726 \cdot 10000}{4437460} = 6,1$$

za cestovnu mrežu 2007. g.:
g.:

$$G_d = \frac{D \cdot 10000}{S} = \frac{29039 \cdot 10000}{4437460} = 65,4$$

za željezničku mrežu 2007.

$$G_d = \frac{D \cdot 10000}{S} = \frac{2726 \cdot 10000}{4437460} = 6,1$$

- ▶ Pokazatelji razvijenosti za cestovnu mrežu odabranih zemalja 2013. godine:

Država	Duljina cest. mreže (km)	Demografska gustoća	Prostorna gustoća
Austrija	110 206	129,58	131,4
Belgija	154 012	138,34	504,9
Češka	130 671	124,28	165,68
Francuska	1 028 446	155,99	186,48
Njemačka	643 782	79,8	180,3
Island	12 862	394,9	12,48
Norveška	93 509	183,02	24,2
Poljska	406 122	105,47	129,88

Izvor: European union road federation, www.irfnet.eu

▶ Engelov koeficijent

- Opći pokazatelj gustoće prometne mreže
- Sintetički pokazatelj dobiven množenje prostorne i demografske gustoće

$$E = \sqrt{G_p \cdot G_d} = \sqrt{\frac{D \cdot 100}{P}} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot 10000}{S}} = \frac{D \cdot 1000}{\sqrt{P \cdot S}}$$

za cestovnu mrežu RH:
mrežu RH:

$$E = 57,9$$

za željezničku

$$E = 5,4$$

- ▶ Pokazatelji razvijenosti za cestovnu mrežu odabranih zemalja 2013. godine:

Država	Duljina cest. mreže (km)	Demografska gustoća	Prostorna gustoća	Engelov koeficijent
Austrija	110 206	129,58	131,4	130,48
Belgija	154 012	138,34	504,9	264,28
Češka	130 671	124,28	165,68	143,49
Francuska	1 028 446	155,99	186,48	170,55
Njemačka	643 782	79,8	180,3	119,9
Island	12 862	394,9	12,48	70,2
Norveška	93 509	183,02	24,2	66,55
Poljska	406 122	105,47	129,88	117,04

Izvor: European union road federation, www.irfnet.eu

- ▶ Pokazatelji razvijenosti za željezničku mrežu odabranih zemalja 2013. godine:

Država	Duljina želj. mreže (km)	Demografska gustoća	Prostorna gustoća	Engelov koeficijent
Austrija	5066	5,95	6,04	5,8
Belgija	3578	3,2	11,7	6,1
Češka	9569	9,1	12,1	10,4
Francuska	33608	5,09	6,09	5,56
Njemačka	33708	4,18	9,44	6,28
Norveška	4114	8,05	1,06	2,9
Poljska	19702	5,11	6,3	5,7

Izvor: European union road federation, www.irfnet.eu

- ▶ **Pi–indeks (π–indeks)** – predstavlja odnos između ukupne duljine grafa (prometne mreže) i udaljenosti dijametra.. Što je pi–indeks veći to je mreža razvijenija.
 - Pi–indeks ujedno je i indikator oblika mreže te mjera udaljenosti po jedinici dijametra.
 - $L(G)$ – duljina mreže; $D(d)$ – duljina dijametra.

$$pi - indeks = \frac{L(G)}{D(d)}$$

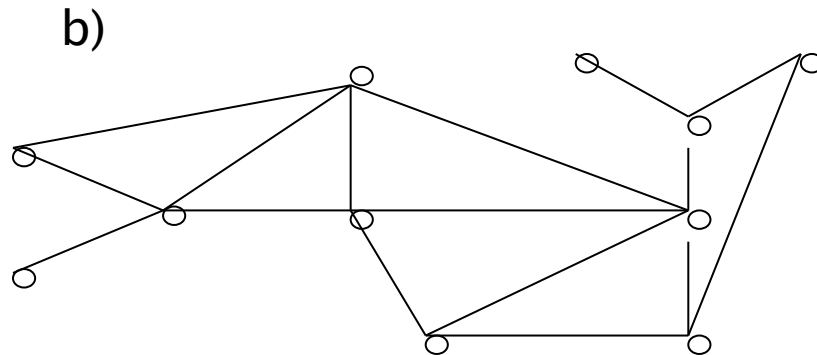
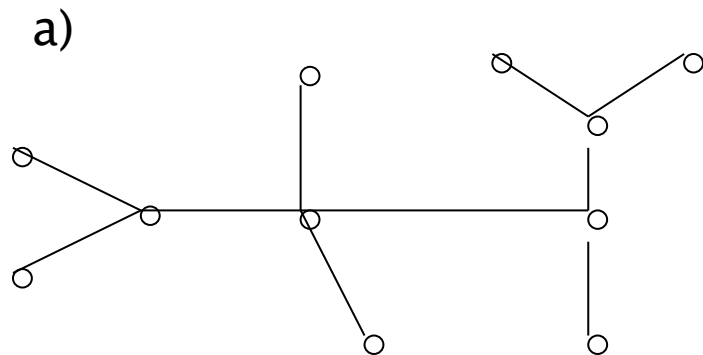
- ▶ **Dijametar (d)** – je udaljenost najkraćeg puta između dvaju najudaljenijih čvorova. Dijametar mjeri razvijenost grafa i topološku udaljenost dva čvora. Što je dijametar veći povezanost mreže je manja. Dijametar se izražava putem Shimbelovog indeksa.
- ▶ **Indeks obilaska ili route indeks**– je mjera efikasnosti prometne mreže i prikazuje na koji način se savladavaju udaljenosti između dvaju čvorova. Što je indeks bliže 1 mreža je efikasnija. DT – stvarna udaljenost; DD – pravocrtna udaljenost.

$$DI = \frac{DT}{DD}$$

$$q = l_{ij} / d_{ij}$$

Povezanost mreže

- ▶ Stupanj povezanosti svih čvorova unutar mreže
- ▶ Pokazuje brojnost veza
- ▶ Pokazuje odnos broja veza i broja čvorova
- ▶ Najjednostavniji pokazatelj i mjera mreže.



a) i b) – imaju po 11 čvorišta i svako je povezano s barem još jednim

a) čvorišta povezana s 10 veza – između bilo kojeg para čvorišta postoji samo 1 put

– minimalno povezana mreža – graf drveće;

$$l_{\min.} = v - 1$$

– micanje bilo koje veze znači raspad mreže

b) čvorišta povezana sa 16 veza – između pojedinih parova čvorišta postoji više putova

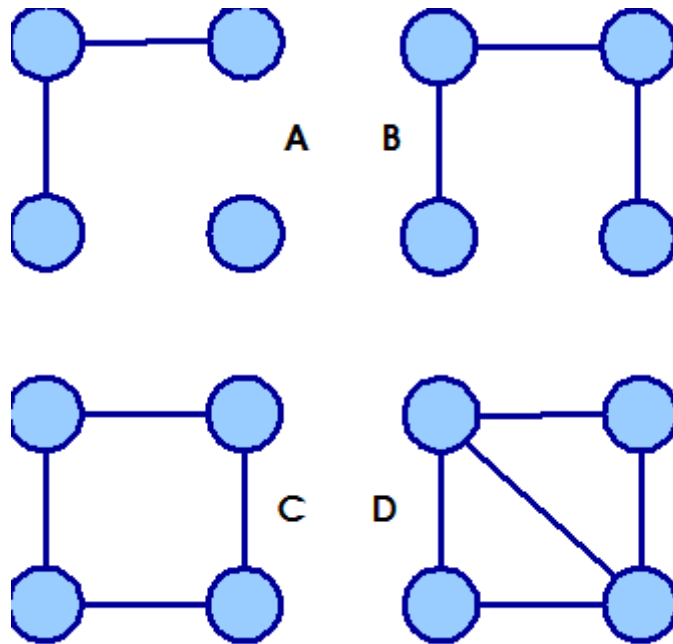
– bolje povezana mreža

– micanje nekih veza ne znači raspad mreže

Indeksi povezanosti

beta indeks (β)

- ▶ Jednostavan odnos broja veza im čvorova



$$\beta = \frac{I}{v}$$

	I	v	Beta
A	2	4	0.5
B	3	4	0.75
C	4	4	1.0
D	5	4	1.25

$\beta < 1$ – minimalno povezana mreža (graf drveća)

$\beta = 1$ – postoji jedna zatvorena kružnica (regija)

$\beta > 1$ – bolje povezana mreža (što veći indeks, bolja povezanost)

gama indeks (γ)

- ▶ odnos broja veza u prometnoj mreži i maksimalno mogućeg broja veza u toj mreži.
- ▶ predstavlja stupanj povezanosti.

$$\gamma = \frac{l}{l_{\max.}}$$

- ▶ Kod neplanarnih grafova maksimalni broj veza izračunava se prema formuli:

$$l_{\max} = v \times (v-1)$$

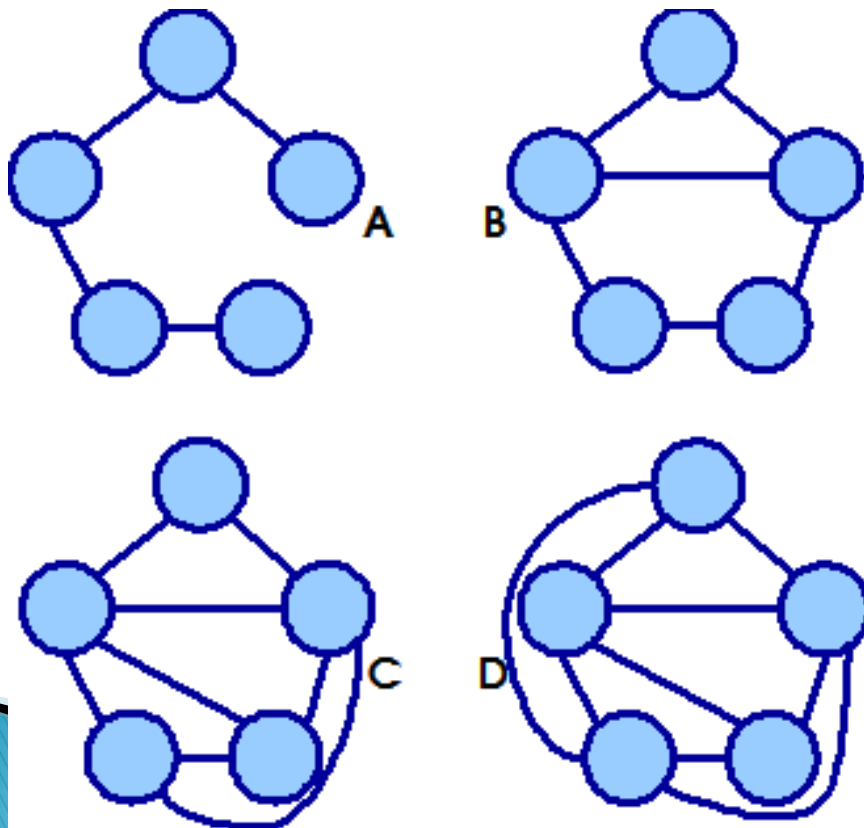
- ▶ Kod planarnih grafova maksimalni broj veza u grafu računa se prema formuli:

$$l_{\max} = 3 \times (v-2)$$

br. čvorova (n)	3	4	5	6	7
broj veza (l)	3	6	9	12	15

$$\gamma = \frac{l}{3 \cdot (v - 2)}$$

- ▶ γ - indeks predstavlja stupanj povezanosti



$$\gamma = \frac{l}{3(v-2)}$$

	l	3(v-2)	γ
A	4	9	0.44
B	6	9	0.66
C	8	9	0.88
D	9	9	1.0

alfa indeks (α)

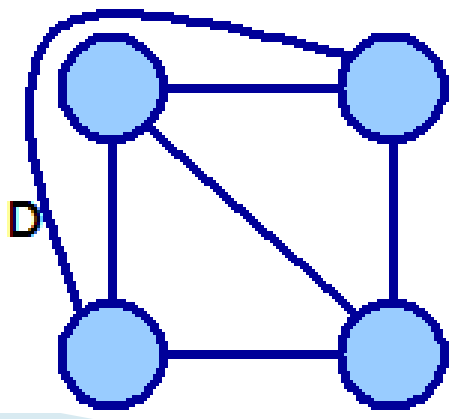
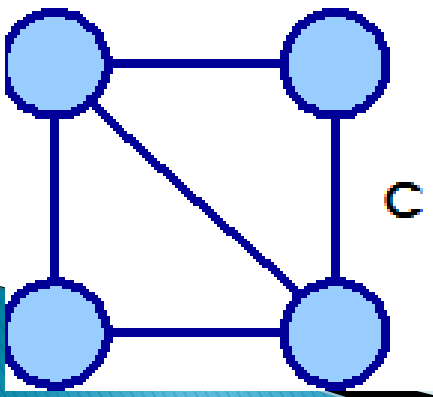
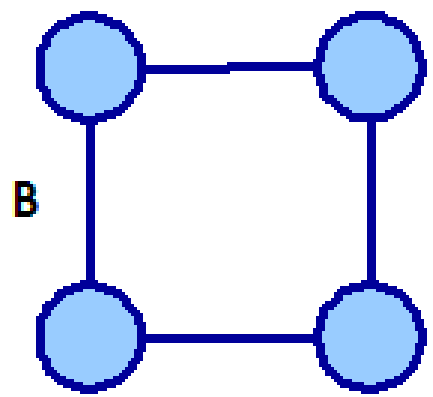
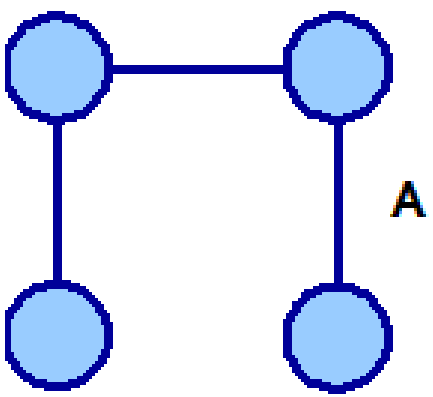
- ▶ odnos postojećeg broja zatvorenih kružnica i maksimalno mogućeg broja zatvorenih kružnica (kružnih puteva, regija).
- ▶ kružna veza = alternativni pravac.
- ▶ broj postojećih alternativnih pravaca (zatvorenih krugova) – od postojećeg broja veza u mreži oduzeti broj veza potrebnih za minimalno povezivanje.
- ▶ razlika između stvarnog i minimalnog broja veza naziva se *ciklomatski broj*
- ▶ *Ciklomatski broj – broj postojećih kružnih putova*

- ▶ Ciklomatski broj izračunavamo prema formuli:

$$c = l - l_{\min} - v + 1$$

$$l_{\min.} = v - 1$$

$$c = l - (v - 1) \quad c = l$$



$$\alpha = \frac{c}{2v - 5}$$

	c	2v-5	α
A	0	3	0.0
B	1	3	0.33
C	2	3	0.66
D	3	3	1.0

- ▶ Maksimalni broj kružnih putova – C_{\max}
- ▶ Maksimalni broj kružnih putova računamo dakle prema formuli:

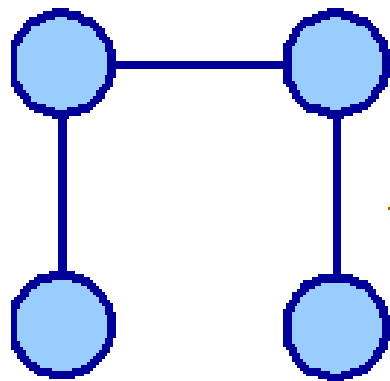
$$C_{\max.} = I_{\max} - I_{\min}$$

$$C_{\max.} = 3(v - 2) - (v - 1) = 2v - 5$$

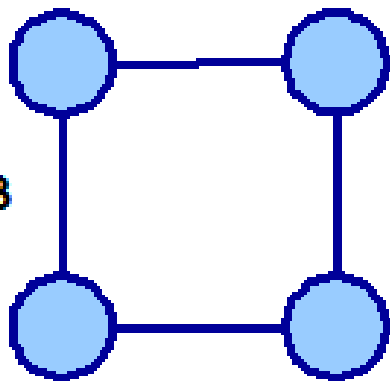
- ▶ α - indeks računa prema formuli:

$$\alpha = \frac{l - v + 1}{2v - 5}$$

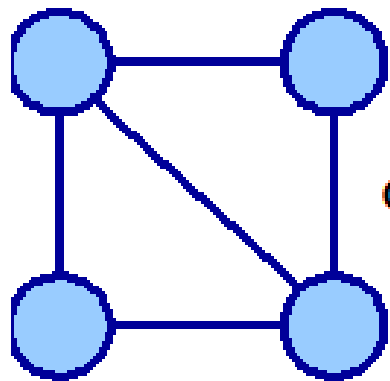
- ▶ dobivamo postotak postojećih alternativnih pravaca od najvećeg mogućeg broja alternativnih pravaca u toj mreži.



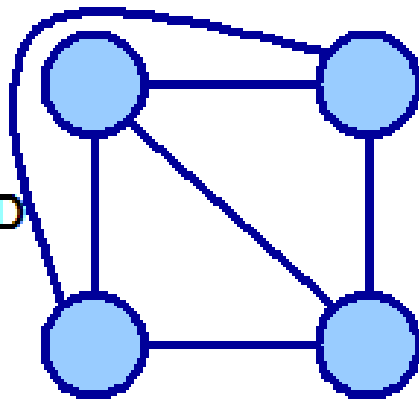
A



B



C



D

$$\alpha = \frac{c}{2v - 5}$$

	c	2v-5	α
A	0	3	0.0
B	1	3	0.33
C	2	3	0.66
D	3	3	1.0

Zadaci za vježbu

- ▶ Odredite efikasnost prometne mreže ukoliko stvarna udaljenost iznosi 59 km, a pravocrtna udaljenost 35 km.
- ▶ Odredite broj postojećih kružnih putova u planarnoj mreži koju čini 20 čvorova povezanih sa 39 pravaca.
- ▶ Koliko je maksimalni broj veza u mreži koju čini 25 čvorova u planarnoj , a koliko u neplanarnoj mreži.
- ▶ Izračunajte α β γ indeks za neplanarnu mrežu koju čini 20 čvorova i 35 veza.

Razvijenost i povezanost prometne mreže

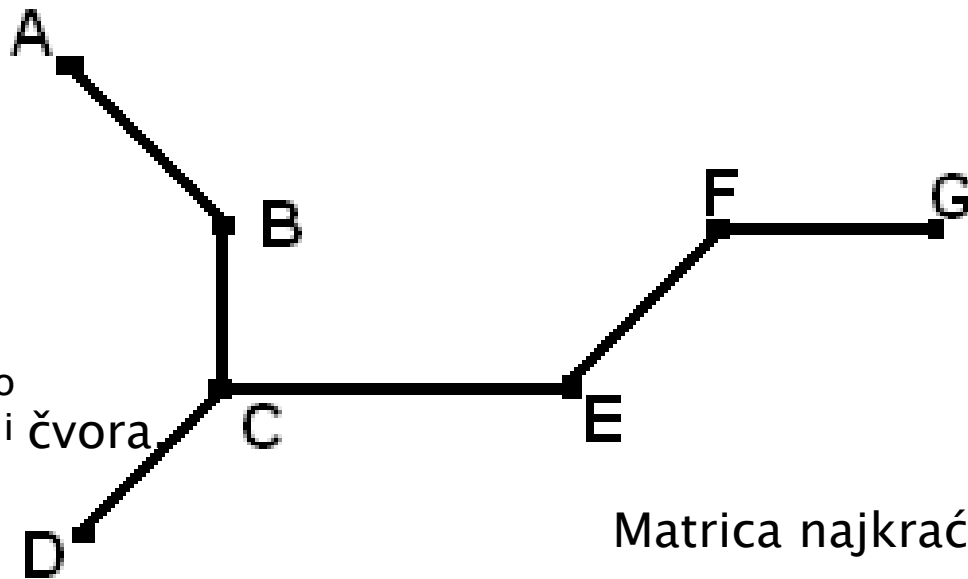
- ▶ Predavanje 4

Analiza prometnih čvorova

- ▶ Čvor – mjesto povezivanja dvaju ili više prometnih pravaca iste vrste prometa ili mjesto povezivanja različitih vrsta prometa.
- ▶ *Krajnji, slijepi ili rubni čvor* – čvor na kojemu završava prometni pravac.

- ▶ Značenje čvora:
 - broj pravaca koji vode prema određenom čvoru – problem glavnog čvora (the problem of the leader)
 - značenja prometnih pravaca
 - veličina gravitacijskog područja (zaleđa)

- ▶ **Dostupnost čvora** – udaljenost određenog čvora od ostalih čvorova izražena u određenim jedinicama.
- ▶ Dostupnost može biti:
 - teorijska ili topološka – izražena na bazi broja potrebnih veza da se dođe do određenog čvora
 - stvarna ili realna dostupnost
- ▶ **Matrica susjedstva** – matrica u koju unosimo podatke o postojanju ili nepostojanju veza između dva čvora
- ▶ **Matrica najkraćeg puta** – matrica koja prikazuje broj veza potreban da bi se iz jednog čvora došlo do nekog drugog čvora.



Matrica susjedstva – matrica u koju unosimo podatke o postojanju ili nepostojanju veza između dva čvora

Matrica najkraćeg puta – matrica koja prikazuje broj veza potreban da bi se iz jednog čvora došlo do nekog drugog

Matrica susjedstva

	A	B	C	D	E	F	G	Σ
A	0	1	0	0	0	0	0	1
B	1	0	1	0	0	0	0	2
C	0	1	0	1	1	0	0	3
D	0	0	1	0	0	0	0	1
E	0	0	1	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	1	0	1	2
G	0	0	0	0	0	1	0	1

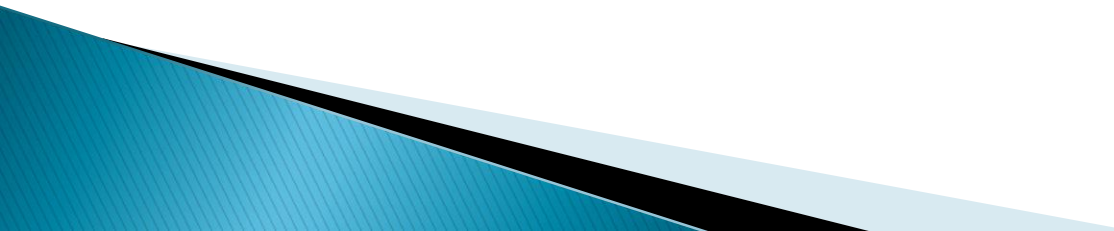
Matrica najkraćeg puta

	A	B	C	D	E	F	G	X	Y
A	0	1	2	3	3	4	5	5	18
B	1	0	1	2	2	3	4	4	13
C	2	1	0	1	1	2	3	3	10
D	3	2	1	0	2	3	4	4	15
E	3	2	1	2	0	1	2	3	11
F	4	3	2	3	1	0	1	4	14
G	5	4	3	4	2	1	0	5	19

X-vezni broj

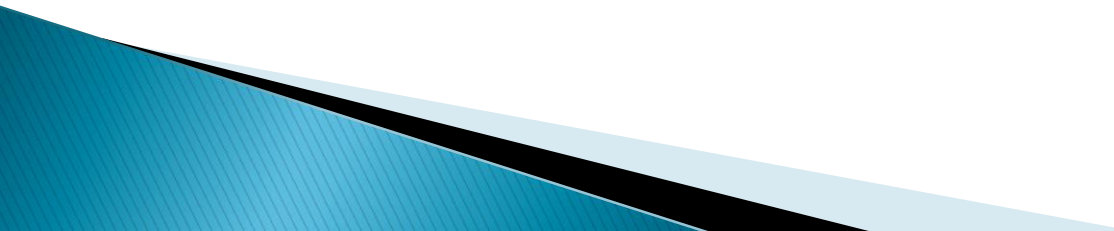
Y - Shimbelov indeks

▶ Vezni broj

- prikazuje kolika je udaljenost (koliko veza moramo koristiti) do topološki najudaljenijeg čvorišta.
 - Što je vezni broj manji čvor ima bolju dostupnost.
 - Opća dostupnost prometne mreže izračunava se kao prosječan vezni broj svih čvorišta.
 - Na temelju prosječnog vезnog broja određuju se čvorovi s boljom i slabijom dostupnosti.
- 

▶ Shimbellov indeks

- mjera dostupnosti koja pokazuje koliko je veza potrebno da se neko čvorište poveže sa svim ostalim čvorištima u mreži
- dobiva se zbrajanjem broja veza između pojedinih čvorova.
- Najbolju dostupnost ima čvor s najmanje veza.

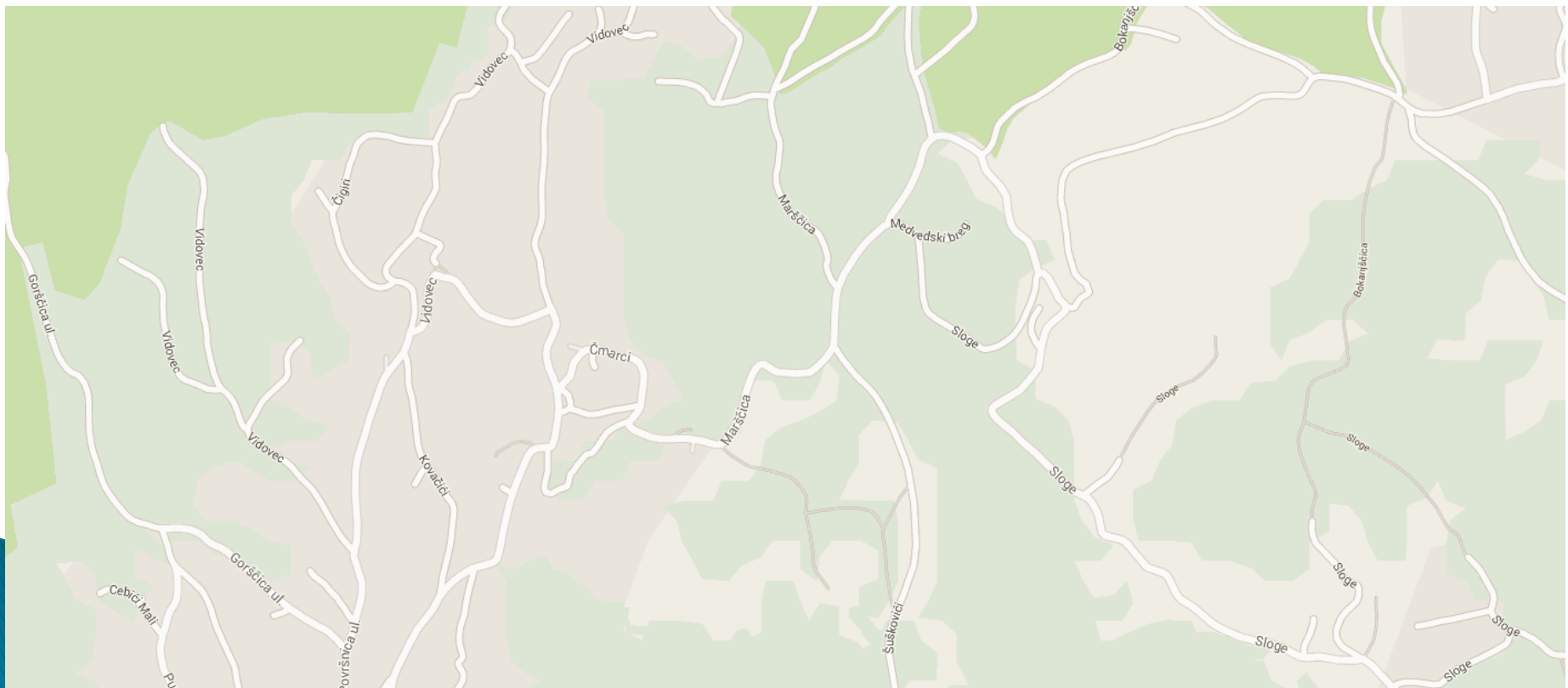
- ▶ Dijametar mreže određujemo uz pomoć topološke dostupnosti.
 - ▶ **Dijametar (d)** – je udaljenost najkraćeg puta između dvaju najudaljenijih čvorova. Dijametar mjeri razvijenost grafa i topološku udaljenost dva čvora. Što je dijametar veći povezanost mreže je manja. Dijametar se izražava putem Shimbellovog indeksa.
- 

- ▶ Nemaju sve veze jednako značenje.
- ▶ Shimbel (1953.) i Katz (1953). Predlažu modifikaciju matrice susjedstva i matrice najkraćeg puta dodavanjem težinskog faktora. Što je veza izravnija težinski faktor je veći – **Shimbel-Katzova modifikacija.**

$$T = \underbrace{sG}_{\text{Shimbel}} + s^2 G^2 + s^3 G^3 + \dots = \sum_{k=1}^N s^k G^k$$

Zadaci za vježbu

- ▶ Izradite matricu susjedstva i matricu najkraćeg puta za isječak karte u prilogu te iskažite vezni broj i Shimbelov indeks.

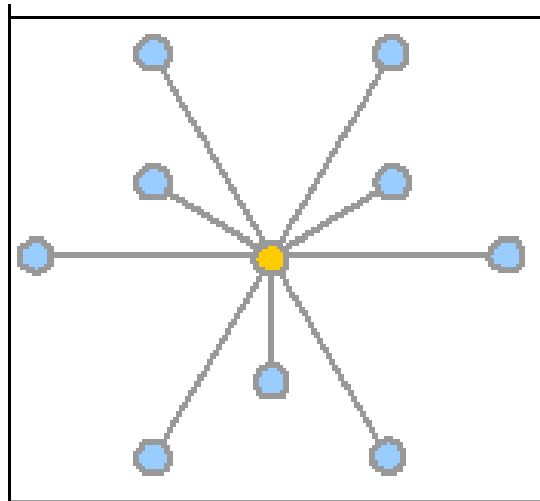


- ▶ Svi čvorovi u mreži nemaju jednako značenje
- ▶ **Gravitacijski model**
 - Primjenjuje se u analizi značenja (privlačnosti) prometnih čvorova.
 - Temelji se Newtonovom zakonu gravitacije
 - Gravitacija označava jačinu interakcije.

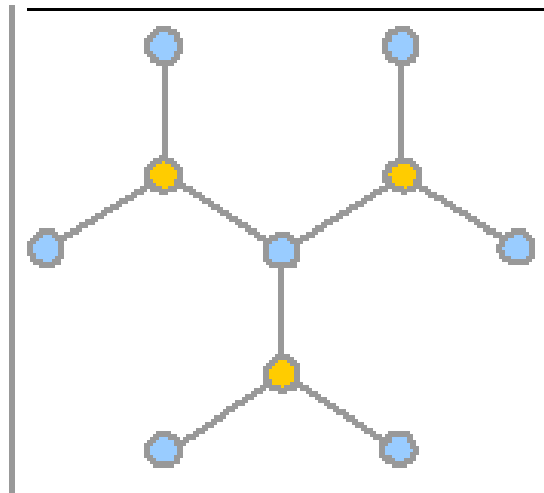
$$G = \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

- ▶ S obzirom na značenje prometnog čvora u prostoru prometne mreže se mogu podijeliti na:

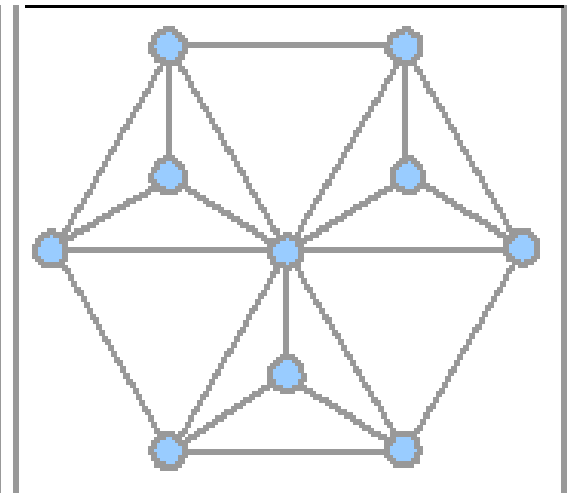
1. centralizirane
2. decentralizirane
3. distribuirane



centralizirana



decentralizirana



distribuirana

Podjela prometnih čvorova

1. Podjela prometnih čvorova na temelju vrste prometnih veza:

=> jednostavni čvorovi

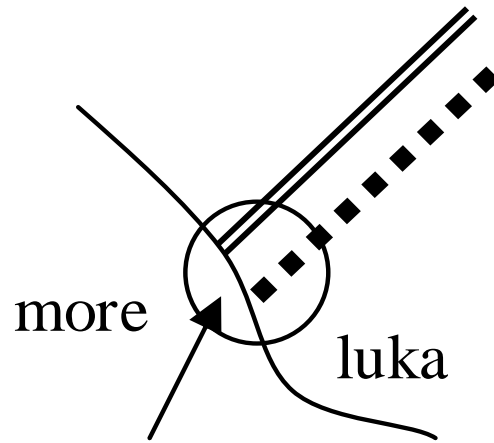
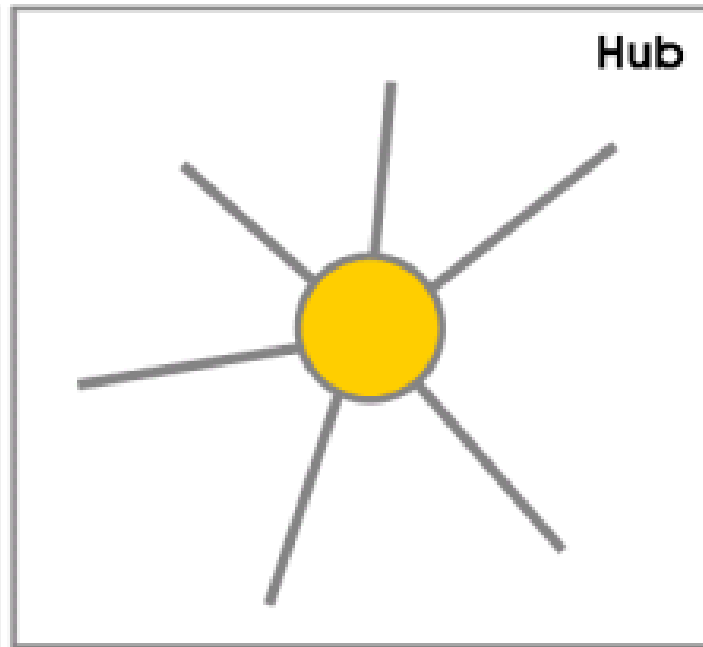
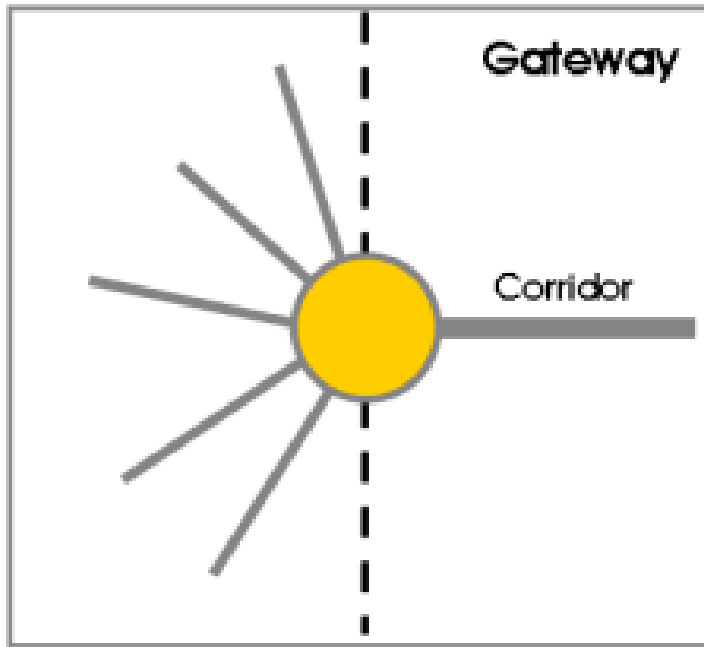
=> multimodalni ili složeni čvorovi

=> trinomni čvorovi

2. Podjela prometnih čvorova na temelju funkcija:

=> gateways čvorovi ili čvorovi tipa vrata

=> refrakcijski čvorovi.



Analiza zaleđa

- ▶ **Zaleđe u užem smislu**
 - areal, hinterland, gravitacijsko područje

- ▶ **Zaleđe u širem smislu**