Transportne mreģe in GIS

Osnovne transportnih mreģ

Transportna mreģa je mreģa, ki jo opiġemo kot mnoģico poti (povezav) in mnoģico lokacij (vozliġļ).

Mreģe se razlikujejo po vrsti, tipu, strukturi, geometriji, topologiji, teritorialni razseģnosti itd.

Transportne mreģe so lahko mestne, uliļ ne, medkrajevne, cestne, ģelezniġke, tramvajske, kolesarske, primarne, avtocestne itd.

Orodja za prouļ evanje lastnosti mreģ in optimizacijo na mreģah ponuja teorija grafov.

Transportne mreġe

Prava mreġa

Prikaz z grafom (G)

G = (v, e)

Vsako transportno mreġo lahko prikaġemo kot graf.

Nivo usluge kot osnovni pokazatelj kvalitete transportne mreġe

Transportne mreġe nudijo razliļ ne nivoje usluge (kvaliteto storitve premikanja blaga in potnikov) glede na povpraġevanje.

NU = NU(Q, T, E)

NU...nivo usluge mreže ali dela mreže
Q...obseg prometa (povpraševanje v času)
T...značilnosti mreže ali dela mreže
E...prostorsko, ekonomsko in ekološko okolje v katerem mreža eksistira

Nivo nudene usluge na mreġi *(NU)* vpliva na obseg prometa.

Nivo usluge kot osnovni pokazatelj kvalitete transportne mreģe- nadaljevanje

Lastnosti posameznih parametrov (*Q, T in E*):

Znaļ ilnosti mreģe ali dela mreģe (*T*) se lahko spremenijo:

- Å Ļe se spremeni geometrija mreģe (ģtevilo pasov, radij ovinkov, vzponi ali padci, nove povezave ali kriģiģļ a itd.)
- Å Ļe se spremeni reģim prometnega toka (enosmerne ulice, zaprte cone itd.)
- Å Ļe se spremeni naļ in upravljanja prometa (signalizacija, nadzor itd)

Prostorsko, ekonomsko in ekoloģko okolje v katerem mreģa eksistira (*E*) lahko vpliva na *T* in na *NU*. Obsega naļ in projektiranja, favoriziranje doloļ enega naļ ina prometa, politiko cestnin, dislokacija razliļ nih aktivnosti itd.

Obseg prometa (Q) je odvisen primarno od strukture prostorskih aktivnosti in gospodarske razvitosti okolja. Ravno tako je obseg odvisen od nivoja usluge mreģe (*NU*) in od naļ ina upravljanja s povpraģevanjem.

Nivo usluge kot osnovni pokazatelj kvalitete transportne mreģe- nadaljevanje

OPTIMALNA MREĢA (?) - Staliģļ e lastnika, staliģļ e upravljavca, staliģļ e uporabnika ...

Optimalna mreģa je mreģa z znaļ ilnostmi **"*T*"**, ki za vnaprej definirano povpraģevanje izraģeno z **"*Q*"** pri ***E* = *konstanta***, nudi ģeleni (zahtevani ali projektirani) nivo usluge ***"NU".***

Posamezne karakteristike mreģe se, zaradi svoje kompleksnosti, v modelih optimalnosti zanemarijo. Osnovni kriterij optimizacije je **STROŠEK** ali **ČAS POTOVANJA – C = C(V)**.

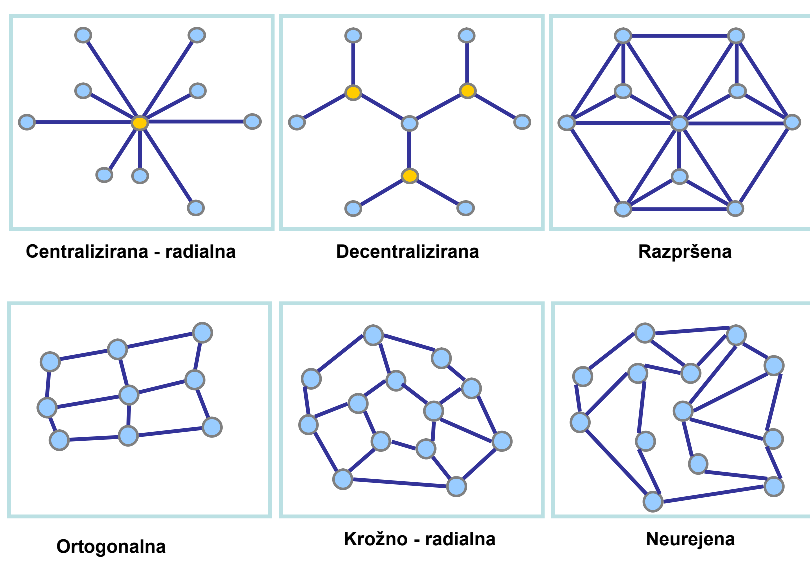
Osnovni podatki o mreġi

Delimo jih v dve skupini:

a) Primarni podatki:
- Ġtevilo in lokacije vozliġļ ;
- Povezanost vozliġļ ;
- Ġtevilo povezav in usmerjenost;
- Relacije C=C(V) za karakteristiļ ne dele mreġe;
- Obseg prometa za karakteristiļ ne ļ asovne periode (izvor-ponor potovanj).

b) Sekundarni podatki:
- Namen posameznih vej;
- Naļ in upravljanja s prometom;
- Reġimi prometa;
- Itd.

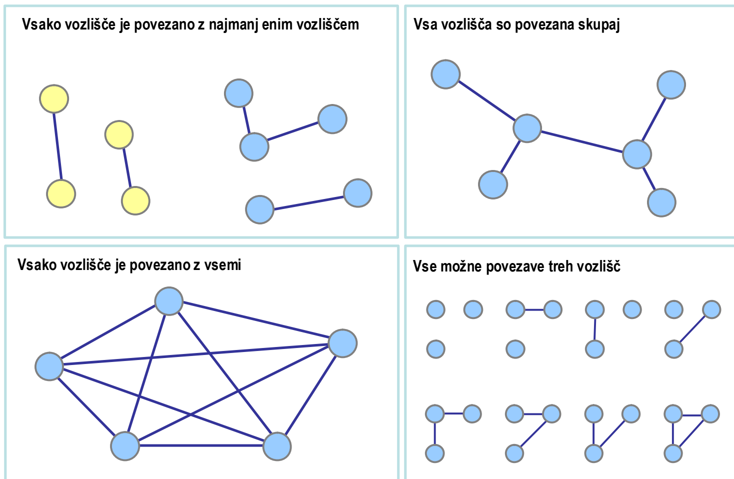
Osnovni tipi transportnih mreġ



Povzeto po viru: http://www1.oecd.org/publications/e-book/7502101E.PDF

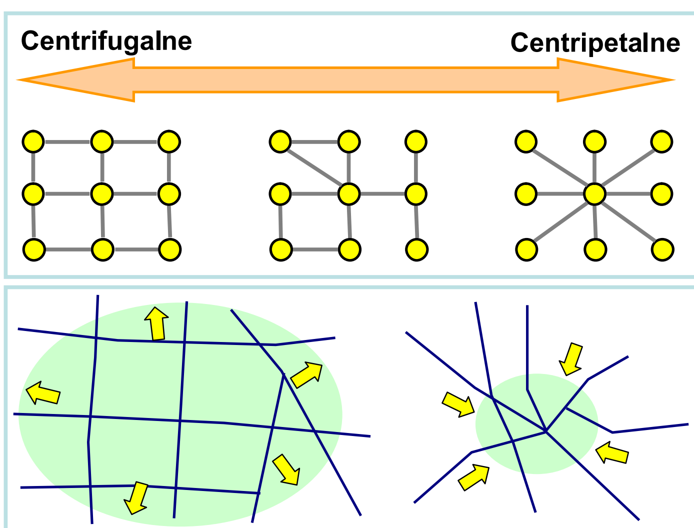
Osnovni tipi transportnih mreģ

Geometrija mreģe in ģtevilo povezav



Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Centrifugalne in centripetalne mreģe



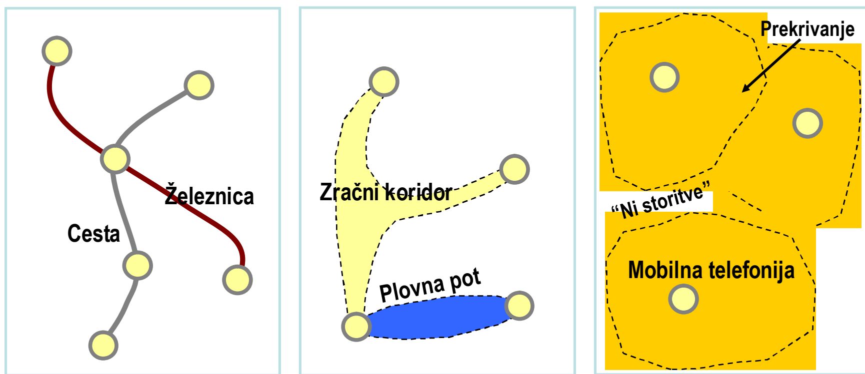
Vir : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Teritorialna razseģnost mreģe

Jasno definirana in razmejena

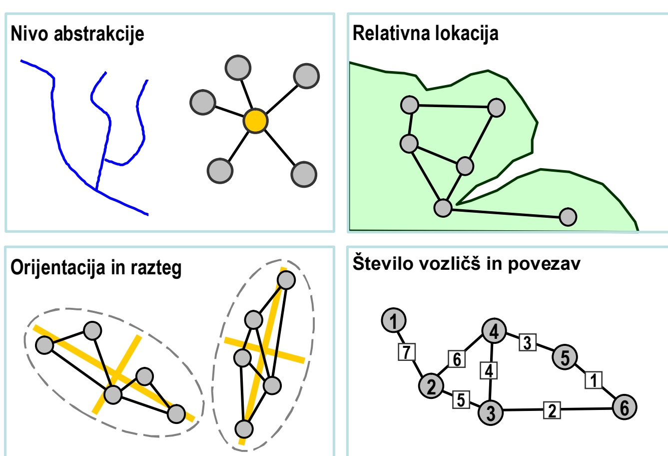
Beģno definirana

Nedefinirana



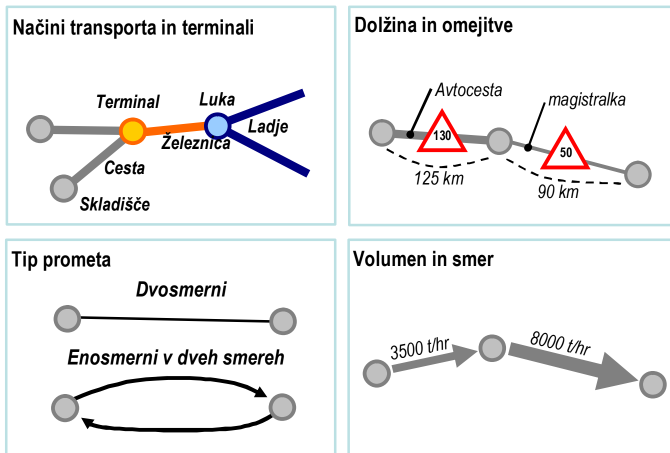
Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Vrste transportnih mreģ



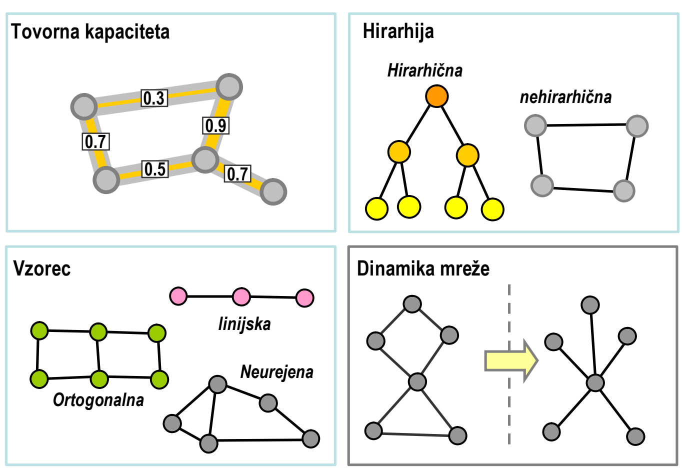
Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Tipi transportnih mreǵ



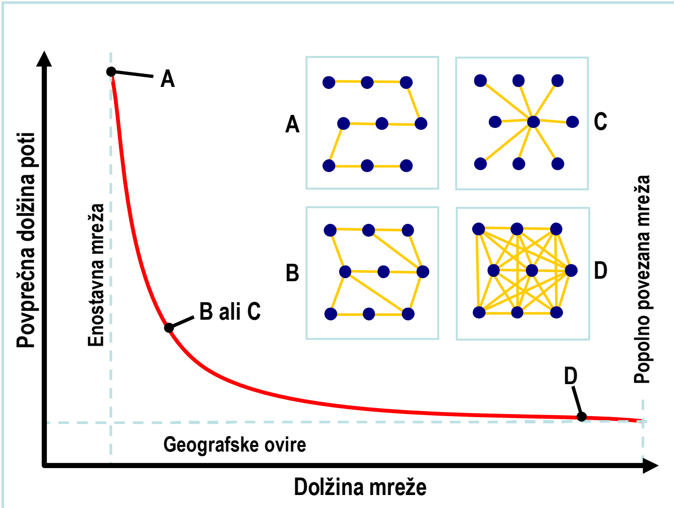
Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Tipi transportnih mreǵ



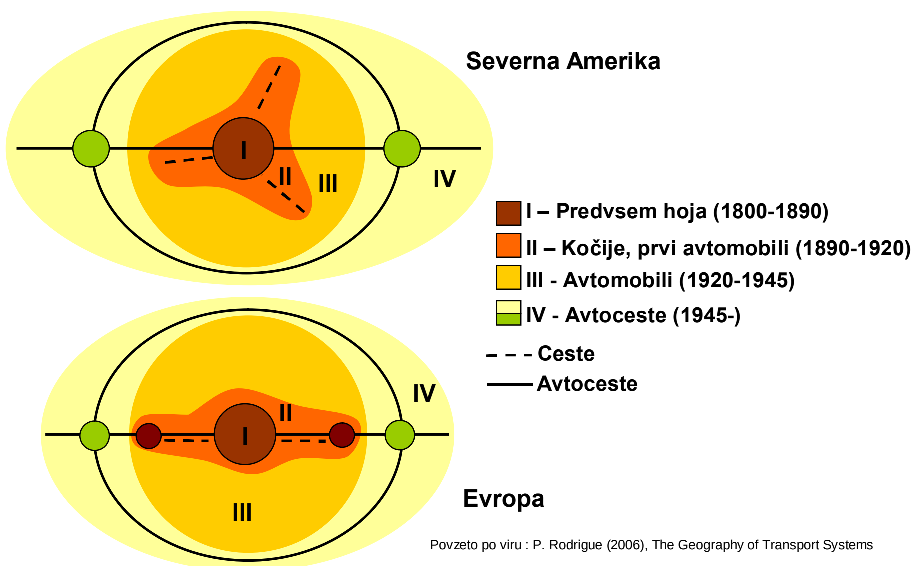
Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Geometrija in povezanost mreže



Povzeto po viru: William Black (2000) "An Unpopular Essay on Transportation"

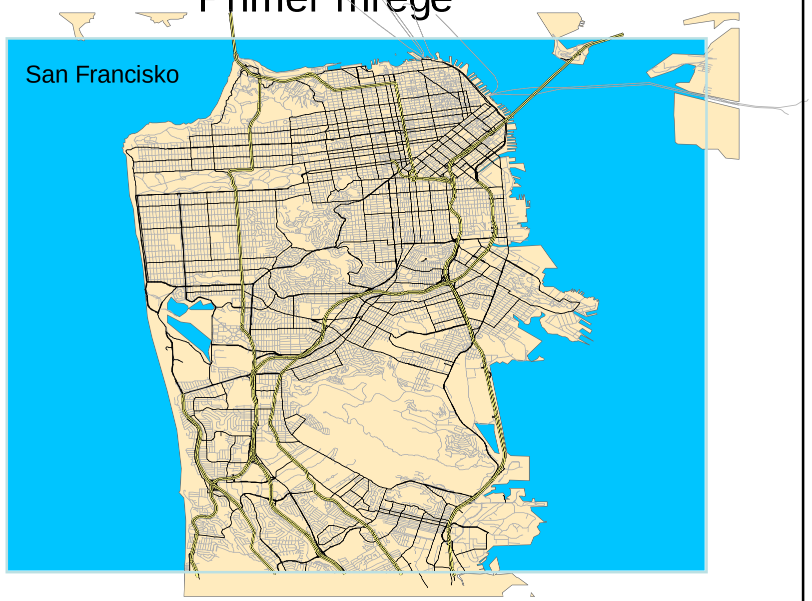
Razvoj transportnih mreg



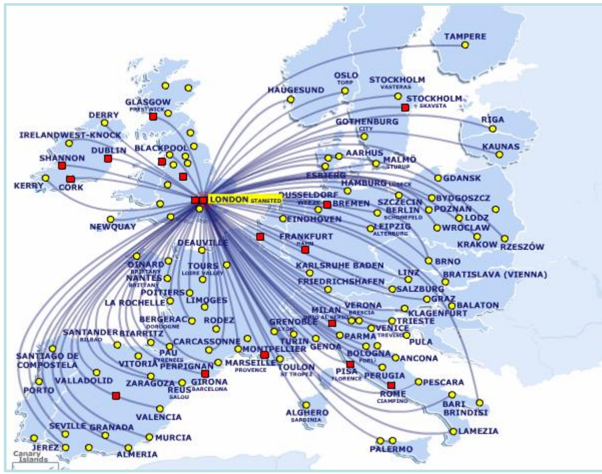
Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Primer mreģe

Primer mreģe



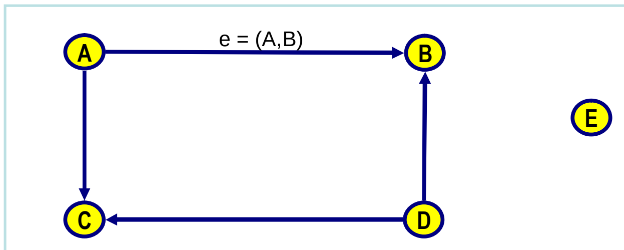
Primer mreģe



Primer mreģe

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

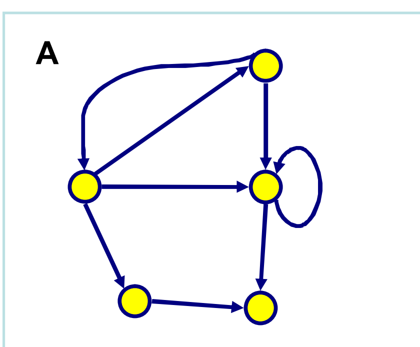
Graf je diagram, ki ga sestavljajo toļ ke ali vozliģļ a *(v)* in povezave ali veje (*e*). Vsaka povezava povezuje dve toļ ki grafa. Povezavo, ki povezuje toļ ki A in B oznaļ imo z ***e** = (A, B)*.



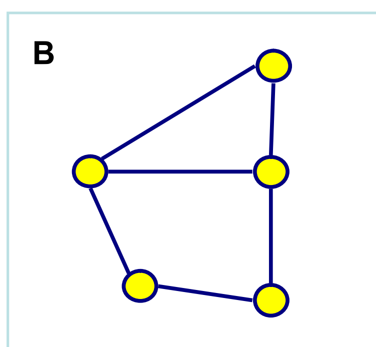
Mnoģico toļ k oznaļ imo z *v,* mnoģico povezav, pa z e. Zapiģemo: *G* **=** *(v, e).* Za toļ ki, ki ju povezuje povezava ***e*** pravimo, da sta sosednji. Toļ ka, ki ni povezana z nobeno drugo toļ ko, se imenuje **izolirana točka**.

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Povezave grafa so lahko **usmerjene** ali **neusmerjene**. Ļ e vsaka povezava povezuje razliļ ni toļ ki - ni zank, in sta poljubni toļ ki povezani kveļ jemu z eno povezavo - ni veļ kratnih povezav, imenujemo graf **enostavni graf**.



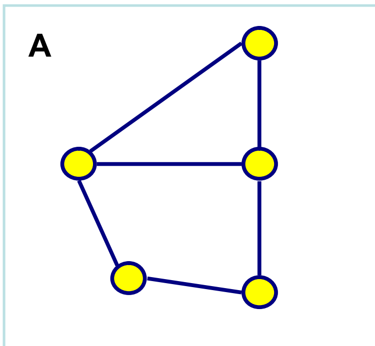
Usmerjen graf

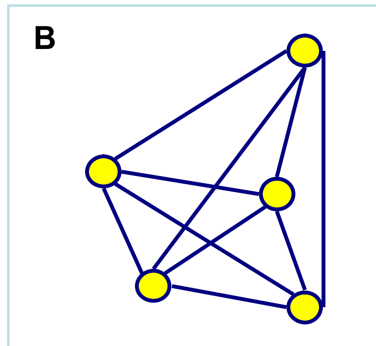


Neusmerjen graf

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Ravninski graf - Graf G je ravninski, ¦ e ga lahko »nariġemo« v dvodimenzionalnem prostoru tako, da se nobeni povezavi ne sekata.





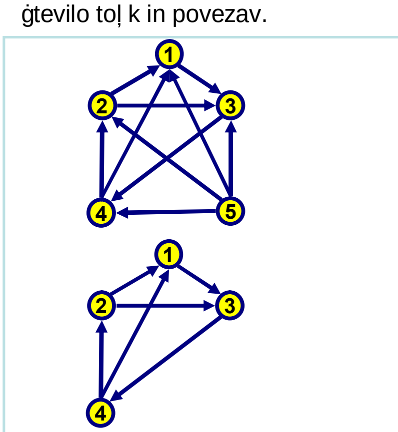
Ravninski ali planarni graf

Neravninski graf

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

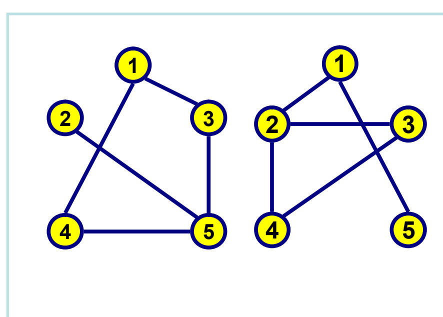
Podgraf

Podgraf danega grafa *G* dobimo tako, da mu odstranimo poljubno ġtevilo toļ k in povezav.



Komplement grafa

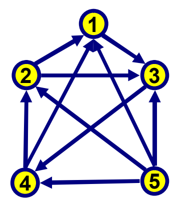
Komplement grafa *G* je graf, ki ga oznaļ imo z *G*, ki ima isto mnoġico toļ k kot graf *G*, povezani pa so natanko tisti pari toļ k, ki niso povezani v grafu *G*.

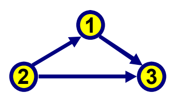


Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Polni graf

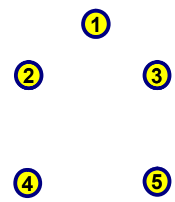
Je graf, v katerem so povezani vsi pari toļ k, označ imo ga s *Kn*.

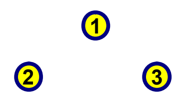




Ničelni graf

Je graf z *n* toļ kami, a brez povezav.

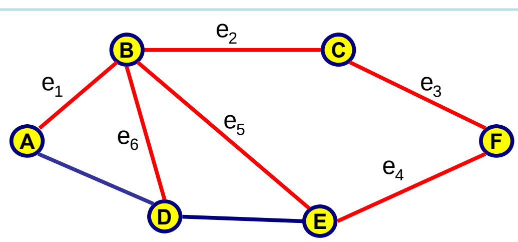




Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Sprehod

Sprehod *S* v grafu *G* = *(v,e)* je konļ no zaporedje vozliģļ $v_0, v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n$ in povezav e_1, e_2, e_n, kjer je v_{i-1} konļ na toļ ka povezave e_i za vsak i. Zaļ etku in koncu pravimo tudi krajiģļ a sprehoda.

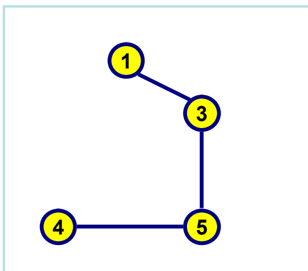


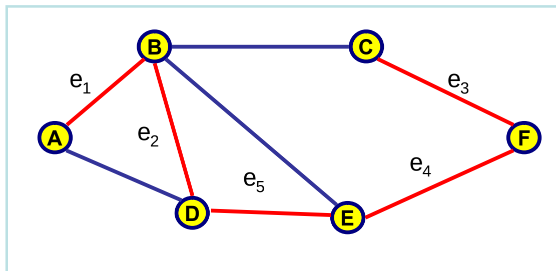
Dolģina sprehoda A,(e_1)B, (e_2)C,(e_3)F, (e_4)E, (e_5)B, (e_6)D je enako ģtevilu povezav v njem.

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Pot

Pot P je sprehod $v_0, v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n$, kjer velja,da se nobeno vozliġļ e ne ponovi.

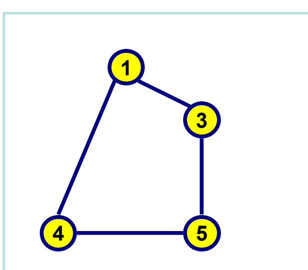


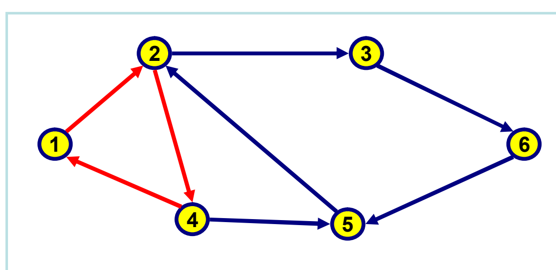


Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Cikel

Cikel je sprehod, v katerem je konļ no vozliġļ e enako zaļ etnemu, ostala vozliġļ a pa se med sabo vsa razlikujejo. Dolġina cikla je veļ ja ali enaka 3. Grafu, ki ne vsebuje ciklov, pravimo acikliļ en garf.



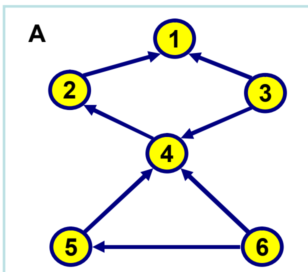


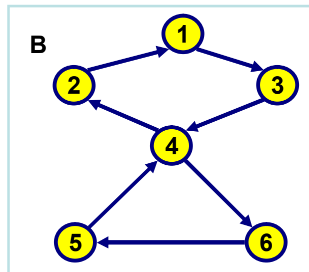
Graf ima lahko veļ ciklov.

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Povezanost grafa

Graf je **povezan** natanko takrat, ko je vsak par vozliģļ v grafu povezan, se pravi, da med njima obstaja sprehod oziroma pot.



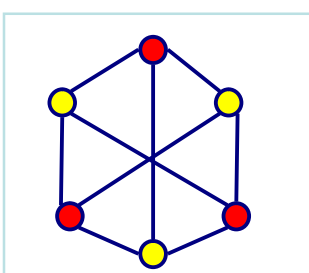


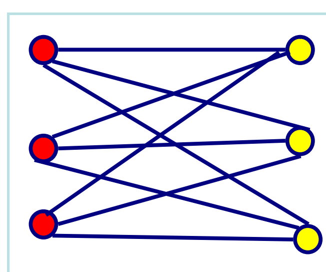
Grafa A in B imata razliļ no stopnjo povezanosti.

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Dvodelni graf

Graf je dvodelen, ļ e lahko mnoģico njegovih toļ k *v* razbijemo v dve disjunktni podmnoģici v_1 in v_2, tako da noben par toļ k, ki pripadata isti podmnoģici, ni povezan. V dvodelnem grafu lahko toļ ko pobarvamo z dvema barvama tako, da nobeni dve sosednji toļ ki nista pobarvani z isto barvo.



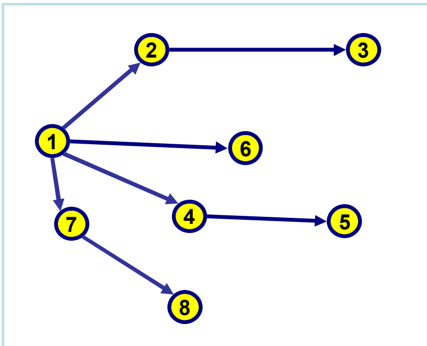


Vsak podgraf dvodelnega grafa je tudi sam dvodeli ngraf. Graf je dvodelen natanko tedaj, ko ne vsebuje lihih ciklov.

Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Drevo in vpeto drevo

Povezan graf brez ciklov imenujemo drevo. Podgraf povezanega grafa *G*, ki vsebuje vsa vozliğ¦ a iz *G*, ne pa nujno tudi vseh povezav, imenujemo **vpeto drevo** grafa *G*.



Graf *G* je drevo:

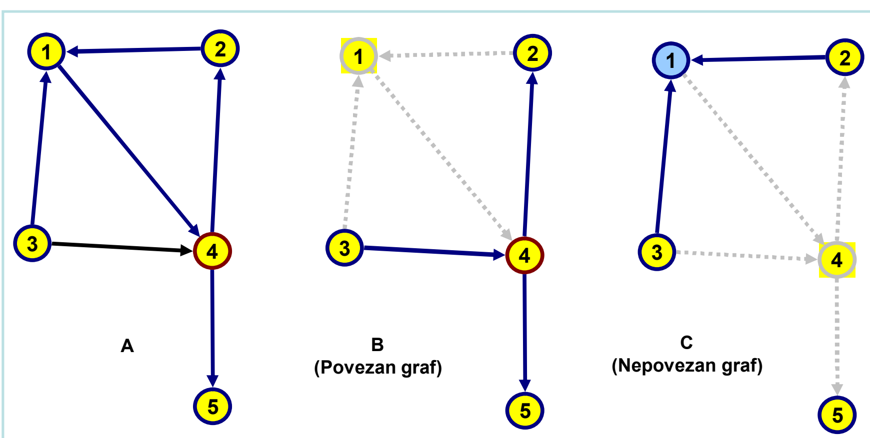
Å graf *G* ima natanko *n* − *1* povezav;

Å¦ e grafu *G* odstranimo katerokoli povezavo, izgubi povezanost;

Å¦ e grafu *G* dodamo katerokoli povezavo, dobimo cikel.

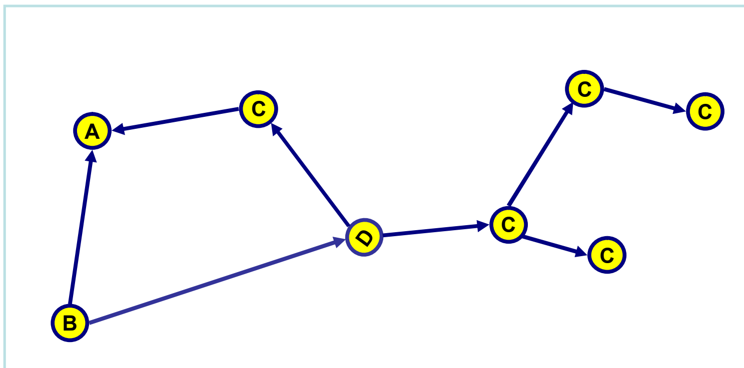
Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Sklepno ï klju¦ no vozliğ¦ e



Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

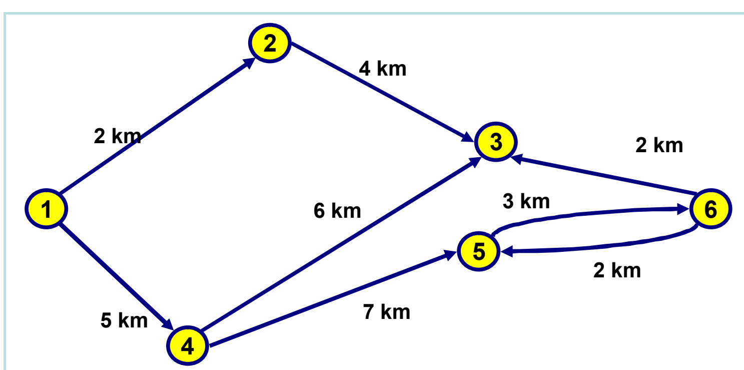
Ozka grla



Teorija Grafov ï osnovni pojmi in lastnosti

Mreža

Mreġa je graf, pri katerem ima vsaka povezava ali vsak vozel svojo uteġ.
Vozliġļ a in povezave imajo lahko tudi veļ uteġi hkrati.



Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

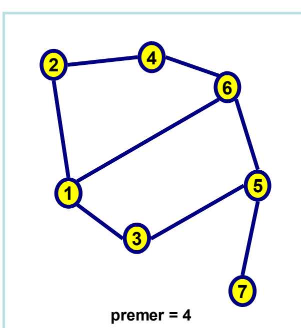
Delimo jih na:

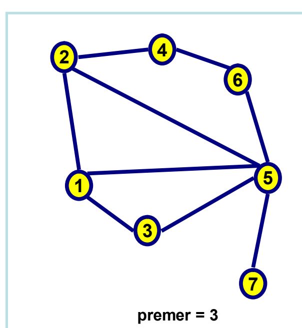
- Merila, ki kaģejo razmerje med posameznimi elementi mreģe;
- Merila, ki kaģejo razmerja med celotnim omreģjem in povezavami v mreģi;
- Merila, ki kaģejo razmerje med celotnim omreģjem in vozliģļ i v mreģi.

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

Premer ali diameter grafa

Dolģino najkrajģe poti med dvema najbolj oddaljenima vozliģļ ema v grafu imenujemo premer grafa.



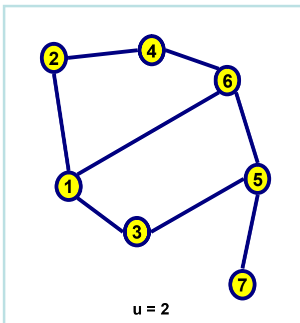


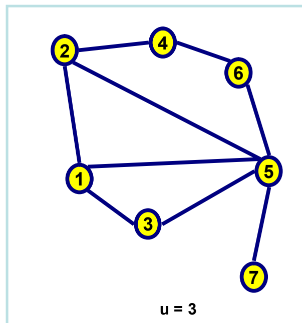
Premer grafa nam omogoļ a merjenje povezanosti grafa. Veļ ji kot je premer, slabģe je graf povezan. Premer transpornih mreģ iģļ emo z matriko minimalnih topoloģkih oddaljenosti med vozliģļ i (Shimbel distance).

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

Število ciklov *(u)*

Ģtevilo neodvisnih ciklov v neusmerjenem grafu izraļ unamo kot *u=e-v+p*, kjer je ***e*** ģtevilo povezav, *v* ģtevilo voģliģļ in *p* ģtevilo podgrafov grafa *G*.





Drevesa nimajo ciklov (u=0). Maksimalno ģtevilo ciklov lahko uporabimo kot indikator kompleksnosti in stopnje razvitosti transportne mreģe.

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

Stopnja vozlišča ali valenca točke *d(v)*

Usmerjen graf

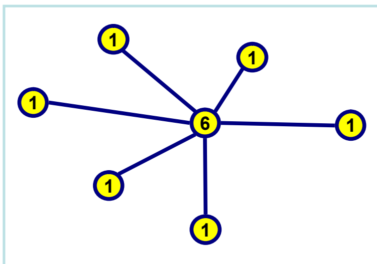
- Vstopna stopnja vozliģļ a *di(v)* - vozliģļ a v je ģtevilo povezav, ki imajo vozliģļ e v za krajiģļ e (konļ no vozliģļ e).
- Izstopna stopnja vozliģļ a *do(v)* - vozliģļ a v je ģtevilo povezav iz vozliģļ a, ki imajo za izhodiģļ e vozliģļ e v.

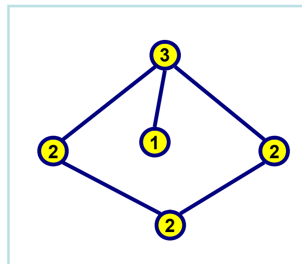
Neusmerjen graf

Stopnja vozliģļ a *d(v)* v neusmerjenem grafu je ģtevilo povezav, ki povezuje vozliģļ e v s sosednjimi vozliģļ i.

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

Valenca toļ ke je enostaven, ampak uļ inkovit indikator pomembnosti vozliģļ a. Prometna vozliģļ a imajo veļ jo valenco toļ ke, terminali, pa imajo lahko valenco toļ ke 1. Popolno prometno vozliģļ e bi imelo valenco toļ ke enako vsoti vseh valenc ostalih toļ k v grafu.

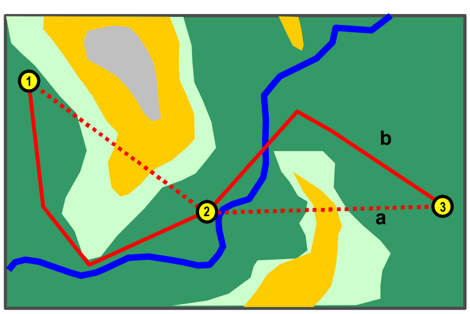




Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

Indeks upora

Meri prostorsko uļ inkovitost transportne mreģe (vpliv topografije na mreģo), v smislu kako v mreģi premagujemo razdalje ali druge upore. Bliģje kot je indeks vrednosti 1, bolj je mreģa prostorsko uļ inkovita.



Pot	Najkrajša povezava	Transportna mreža	Indeks upora
a	20 km	20 km	1.0
c	20 km	30 km	0.666

Teorija Grafov ï merila za doloį anje znaį ilnosti grafov

Gostota mreģe (GM)

S gostoto transportne mreģe merimo koliko kilometrov povezav *(L)* je na kvadratni kilometer povrģine *(S).*

GM = 0.005m/m2

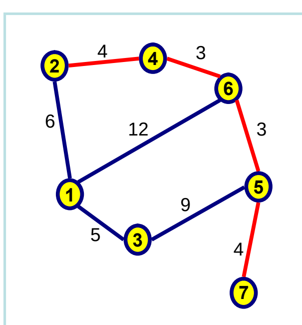
GM = 0.03m/m2

$$GM = \frac{L}{S}$$

Teorija Grafov ï merila za doloį anje znaį ilnosti grafov

Π **Indeks** (pi)

Je razmerje med skupno dolģino povezav v grafu *L(G)* in razdalje premera grafa *D(d)*. Indikator dobro opisuje obliko transportne mreģe.

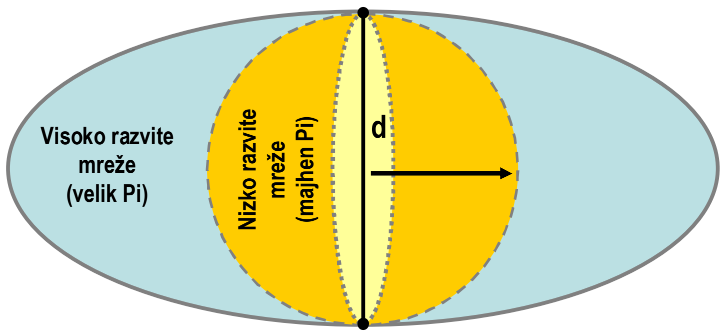


$$\Pi = \frac{L(G)}{D(d)}$$

$$\Pi = \frac{L(G)}{D(d)} = \frac{46}{14} = 3.28$$

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

Π **Indeks**

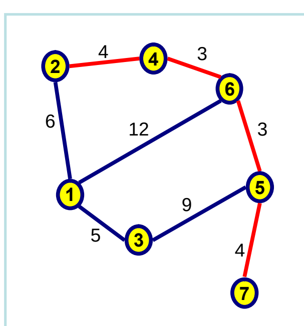


Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

η **Indeks** (eta)

Je povpreļ na dolģina povezav v grafu. Skupno dolģino povezav v grafu *L(G)* delimo z ģtevilom povezav *(e)*. Ļ e v graf dodamo nova voģliģļ a se vrednost indeksa zmanjģuje.

$$\eta = \frac{L(G)}{e}$$



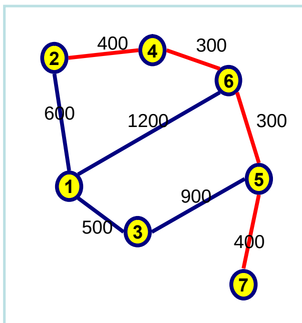
$$\eta = \frac{L(G)}{e} = \frac{46}{8} = 5.57$$

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

θ **Indeks** (theta)

Meri obremenitev vozliġļ , lahko ga uporabimo za izraļ un povpeļ nega ġtevila vozil v kriģiġļ u. Viġja vrednost pomeni veļ jo obremenitev mreģe.

$$\theta = \frac{Q(G)}{v}$$



$$\theta = \frac{Q(G)}{v} = \frac{4600}{7} = 657.14$$

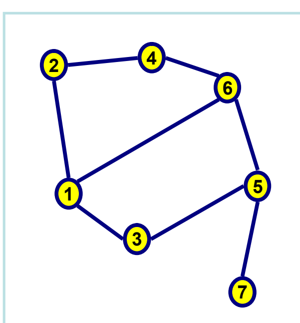
Uteģi na grafu prdstavljajo ġtevilo vozil v uri.

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

β **Indeks** (beta)

Indeks mere stopnjo povezanosti grafa. Izraġa ga razmerje med skupnim ġtevilom povezav *(e)* in skupnim ġtevilom vozliġļ *(v)*.

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



$$\beta = \frac{8}{7} = 1.14$$

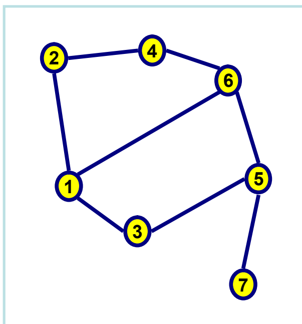
Drevesa in enostavni grafi imajo vrednost indeksa beta manjġo kot 1. Povezan graf z enim ciklom ima vrednost indeksa toļ no 1. Bolj kompleksni grafi pa veļ jo kot 1. Visoko razvite kompleksne mreģe imajo indeks veliko veļ ji kot 1.

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

α **Indeks** (alfa)

Indeks meri stopnjo povezanosti grafa kot razmerje med dejanskim ģtevilom ciklov v grafu in maksimalnim moģnim ģtevilom ciklov.

$$\alpha = \frac{u}{2*v-5}$$



$$\alpha = \frac{2}{2*7-5} = 0.22$$

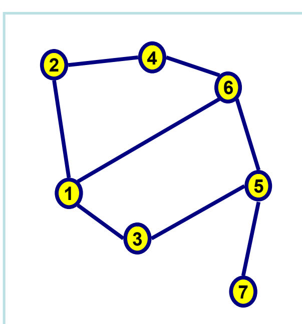
Veļ ja kot jer vrednost indeksa, viģja je stopnja povezanosti grafa. Drevesa in enostavni grafi imajo vrednost indeksa 0. Vrednost 1 dobi popolno povezana mreģa, to je zelo redko, saj je taka mreģa redundantna.

Teorija Grafov ï merila za doloļ anje znaļ ilnosti grafov

γ **Indeks** (gama)

Mere stopnjo povezanosti grafa kot razmerje med ģtevilom dejanskih povezav v grafu in maksimalnuim moģnim ģtevilom povezav.

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



$$\gamma = \frac{8}{3*(7-2)} = 0.53$$

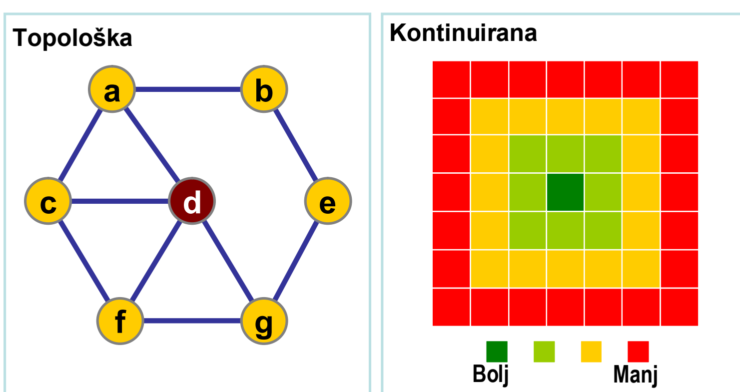
Vrednost indeksa je med 0 in 1, kjer vrednost 1 kaģe na popolno povezano mreģo. Uporablja se predvsem primerjanje uļ inkovitosti mreģe v razliļ nih ļ asovnih obdobjih.

Dostopnost

Dostopnost je kljuļ ni element v transportu, ker je direktno povezana z mobilnostjo ljudi kot tudi blaga in informacij. Poznamo veļ vrst dostopnosti prostorska, naļ inovna, ekonomska, pravno formalna itd. V transportu je odvisna od znaļ ilnosti transportne infrastrukture in suprastrukture (predvsem od transportne mreģe in kapacitete).

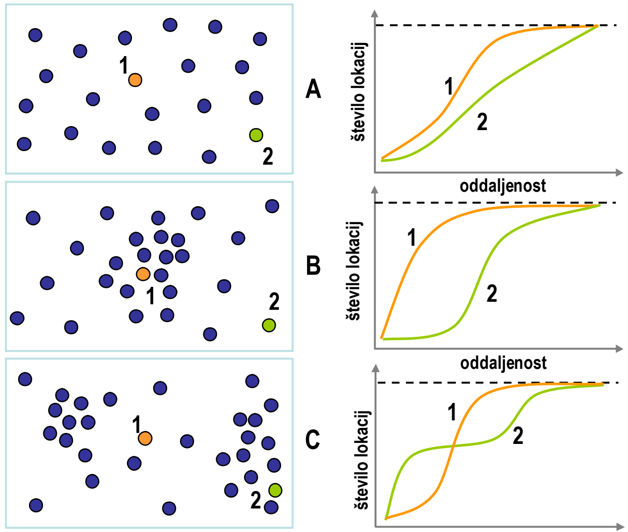
Kljuļ na elementa dostopnosti v transportni mreģi sta lokacija in oddaljenost. Prostor relativno ocenimo v povezavi s transportno infrastrukturo (ali omogoļ a premikanje ljudi, blaga in informacij).Oddaljenost je definirana s povezanostjo med lokacijami. Povezanost obstaja le, ļ e obstaja moģnost, po transportni mreģi povezati dve lokaciji med seboj. Izraģena je z uporom (dolģina, ļ as, poraba energije, stroģki itd).

Prostorska koncepta merjenja dostopnosti



Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

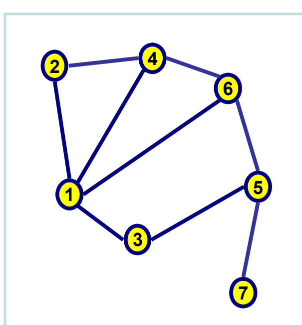
Dostopnost in prostorska razprġenost



Povzeto po viru : P. Rodrigue (2006), The Geography of Transport Systems

Povezanost v transportni mreġi

Prva matrika povezav (L)



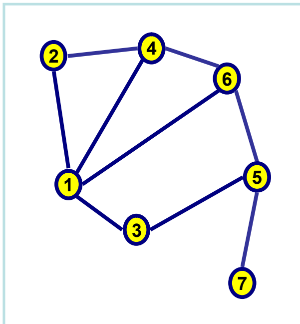
Matrika povezav (L)

	1	2	3	4	5	6	7	sum
1	0	1	1	1	0	1	0	4
2	1	0	0	1	0	0	0	2
3	1	0	0	0	1	0	0	2
4	1	1	0	0	0	1	0	3
5	0	0	1	0	0	1	1	3
6	1	0	0	1	1	0	0	3
7	0	0	0	0	1	0	0	1
sum	4	2	2	3	3	3	1	

Vsota po vrsticah ali stolpcih = valenca toļ ke

Povezanost v transportni mreġi

Druga matrika povezav (L^2=L*L)



Druga matrika povezav (L^2)

	1	2	3	4	5	6	7	sum
1	4	1	0	2	2	1	0	10
2	1	2	1	1	0	2	0	7
3	0	1	2	1	0	2	1	7
4	2	1	1	3	1	1	0	9
5	2	0	0	1	3	0	0	6
6	1	2	2	1	0	3	1	10
7	0	0	1	0	0	1	1	3
sum	10	7	7	9	6	10	3	

Matrika L^2 pove kako je mogoļ e v vozliġļ e priti po poteh dolġine 2 (dveh povezav), L^3 po poti treh povezav itd. Postopek lahko ponavljamo do L^n (n = premer mreġe).

Povezanost v transportni mreġi

Matrika vseh povezav (T ï Matrika)

L^1

0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0

L^2

4	1	0	2	2	1	0
1	2	1	1	0	2	0
0	1	2	1	0	2	1
2	1	1	3	1	1	0
2	0	0	1	3	0	0
1	2	2	1	0	3	1
0	0	1	0	0	1	1

L^3

4	6	6	6	1	8	2
6	2	1	5	3	2	0
6	1	0	3	5	1	0
6	5	3	4	2	6	1
1	3	5	2	0	6	3
8	2	1	6	6	2	0
2	0	0	1	3	0	0

L^4

26	10	5	18	16	11	1
10	11	9	10	3	14	3
5	9	11	8	1	14	5
18	10	8	17	10	12	2
16	3	1	10	14	3	0
11	14	14	12	3	20	6
1	3	5	2	0	6	3

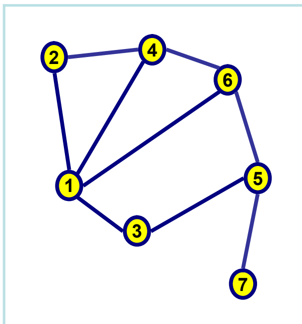
$T = L^1+L^2+L^3+L^4 =$

	1	2	3	4	5	6	7	sum
1	34	18	12	27	19	21	3	134
2	18	15	11	17	6	18	3	88
3	12	11	13	12	7	17	6	78
4	27	17	12	24	13	20	3	116
5	19	6	7	13	17	10	4	76
6	21	18	17	20	10	25	7	118
7	3	3	6	3	4	7	4	30
sum	134	88	78	116	76	118	30	640

V mreġi obstaja 640 moġnih poti med vozliġļ i.

Matrika minimalnih topoloġkih oddaljenosti med vozliġļ i (Shimbel distance matrix - D)

Minimalne oddaljenosti med vozliġļ i so manjġe ali enake premeru mreġe.



L^1

0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0

D1

0	1	1	1	0	1	
1	0		1			
1		0		1		
1	1		0		1	
		1		0	1	1
1			1	1	0	
				1		0

L^2

4	1	0	2	2	1	0
1	2	1	1	0	2	0
0	1	2	1	0	2	1
2	1	1	3	1	1	0
2	0	0	1	3	0	0
1	2	2	1	0	3	1
0	0	1	0	0	1	1

D2

0	1	1	1	2	1	
1	0	2	1		2	
1	2	0	2	1	2	2
1	1	2	0	2	1	
2		1	2	0	1	1
1	2	2	1	1	0	2
		2		1	2	0

Matrika minimalnih topoloġkih oddaljenosti med vozliġļ i (Shimbel distance matrix - D)

D2

0	1	1	1	2	1	
1	0	2	1		2	
1	2	0	2	1	2	2
1	1	2	0	2	1	
2		1	2	0	1	1
1	2	2	1	1	0	2
		2		1	2	0

L^4

26	10	5	18	16	11	1
10	11	9	10	3	14	3
5	9	11	8	1	14	5
18	10	8	17	10	12	2
16	3	1	10	14	3	0
11	14	14	12	3	20	6
1	3	5	2	0	6	3

L^3

4	6	6	6	1	8	2
6	2	1	5	3	2	0
6	1	0	3	5	1	0
6	5	3	4	2	6	1
1	3	5	2	0	6	3
8	2	1	6	6	2	0
2	0	0	1	3	0	0

D3

0	1	1	1	2	1	3
1	0	2	1	3	2	
1	2	0	2	1	2	2
1	1	2	0	2	1	3
2	3	1	2	0	1	1
1	2	2	1	1	0	2
3		2	3	1	2	0

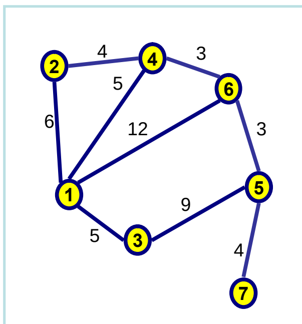
D4

	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	1	1	1	2	1	3	9
2	1	0	2	1	3	2	4	13
3	1	2	0	2	1	2	2	11
4	1	1	2	0	2	1	3	10
5	2	3	1	2	0	1	1	10
6	1	2	2	1	1	0	2	10
7	3	4	2	3	1	2	0	15

= D

Matrika minimalnih oddaljenosti ï mreģa

Prva matrika oddaljenosti L1



L1

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	5	5	Đ	12	Đ
2	6	0	Đ	4	Đ	Đ	Đ
3	5	Đ	0	Đ	9	Đ	Đ
4	5	4	Đ	0	Đ	3	Đ
5	Đ	Đ	9	Đ	0	3	4
6	12	Đ	Đ	3	3	0	Đ
7	Đ	Đ	Đ	Đ	4	Đ	0

Matrika minimalnih oddaljenosti ï mreģa

L1

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	5	5	Đ	12	Đ
2	6	0	Đ	4	Đ	Đ	Đ
3	5	Đ	0	Đ	9	Đ	Đ
4	5	4	Đ	0	Đ	3	Đ
5	Đ	Đ	9	Đ	0	3	4
6	12	Đ	Đ	3	3	0	Đ
7	Đ	Đ	Đ	Đ	4	Đ	0

\+

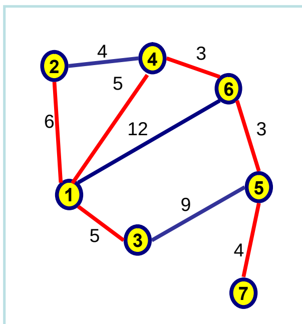
L1

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	5	5	Đ	12	Đ
2	6	0	Đ	4	Đ	Đ	Đ
3	5	Đ	0	Đ	9	Đ	Đ
4	5	4	Đ	0	Đ	3	Đ
5	Đ	Đ	9	Đ	0	3	4
6	12	Đ	Đ	3	3	0	Đ
7	Đ	Đ	Đ	Đ	4	Đ	0

L2 = L1+L1 =

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	5	5	14	8	Đ
2	6	0	11	4	Đ	7	Đ
3	5	11	0	10	9	12	13
4	5	4	10	0	6	3	Đ
5	14	Đ	9	6	0	3	4
6	8	7	12	3	3	0	7
7	Đ	Đ	13	Đ	4	7	0

Matrika minimalnih oddaljenosti ï mreģa



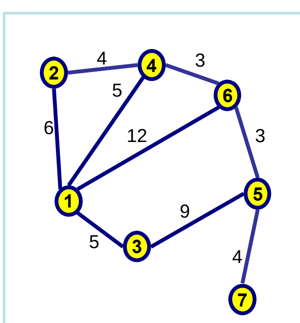
L4=

	1	2	3	4	5	6	7	sum
1	0	6	5	5	11	8	15	50
2	6	0	11	4	10	7	14	52
3	5	11	0	10	9	12	13	60
4	5	4	10	0	6	3	10	38
5	11	10	9	6	0	3	4	43
6	8	7	12	3	3	0	7	40
7	15	14	13	10	4	7	0	63
sum	50	52	60	38	43	40	63	

Matrika minimalnih oddaljenosti med vozliģ¦ i. Vsote po vrsticah povedo minimalno razdaljo od vozliģ¦ a do vseh ostalih vozliģ¦ .

Matrika geografske dostopnosti

Vsote po vrsticah delimo s ģtevilom vozliģ¦ . Najboljģo dostopnost ima vozliģ¦ e 4.



L4=

	1	2	3	4	5	6	7	sum
1	0	6	5	5	11	8	15	50
2	6	0	11	4	10	7	14	52
3	5	11	0	10	9	12	13	60
4	5	4	10	0	6	3	10	38
5	11	10	9	6	0	3	4	43
6	8	7	12	3	3	0	7	40
7	15	14	13	10	4	7	0	63

A(G)=

	1	2	3	4	5	6	7	sum
1	0	6	5	5	11	8	15	7.1
2	6	0	11	4	10	7	14	7.4
3	5	11	0	10	9	12	13	8.6
4	5	4	10	0	6	3	10	5.4
5	11	10	9	6	0	3	4	6.1
6	8	7	12	3	3	0	7	5.7
7	15	14	13	10	4	7	0	9.0

Najkrajġe poti na grafu

Osnovni problem poiskati najkrajġo pot med dvema voliġļ ema v grafu.

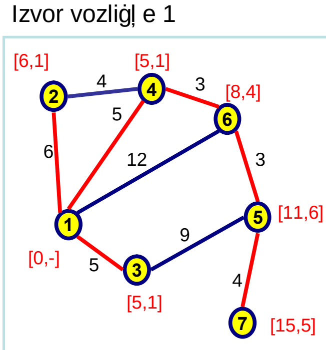
Tipi problemom najkrajġih poti:
Å Iz vozliġļ a v vozliġļ e (one to one),
Å Iz vozliġļ a v vsa ostala vozliġļ a (one to all),
Å Iz vseh vozliġļ v eno vozliġļ e (all to one),
Å Iz vseh vozliġļ do vseh vozliġļ (all to all).

Najkrajġo pot, glede na uteġi na vejah grafa, interpretiramo lahko tudi kot najcenejġo, najhitrejġo, pot z minimalno porabo energije itd.

Poznamo zelo veliko algoritmov za reġevanje problemov najkrajġih poti:
Å Dijsktra algoritem,
Å Floyd algoritem,
Å Moore algoritem.
Å Itd.

Najkrajġe poti na grafu ï primer (Moore)

Izvor vozliġļ e 1



Vozliġļ u izvora dodelimo vrednost 0 in poiġļ emo incidenļ no vejo z najmanjġo vrednostjo. Vozliġļ u, ki ga ta veja povezuje dodelimo vrednost veje.

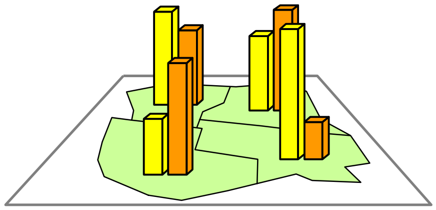
Min (1-3, 1-6, 1-4, 1-2) = 5 (1-3 in 1-4)

Vozliġļ e 4 dobi oceno (5 iz 1).

Poiġļ emo incidenļ no vejo vozliġļ ema 4 in 1 z najmanjġo vrednostjo, vozliġļ u, ki ga veja povezuje dodelimo vrednost incidenļ nega vozliġļ a + vrednost veje. Ģe izbrane veje ne upoġtevamo!

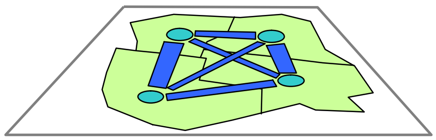
Min (4-2, 4-6,1-2, 1-6, 1-5) = 3 (4-6)
Vozliġļ e 6 dobi oceno (5+3) 8 z 4.
...

Prouļ evanje prometnega toka



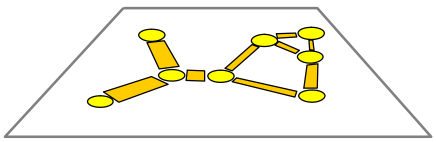
Raba tal

ÅEkonomska teorija
ÅTeorija lokacij
ÅModeli atrakcije in produkcije prometnega toka



Prostorska interakcija

ÅModeli delitve rabe PS
ÅDostopnost
ÅModal split



Transportna mreža

ÅModeli delitve prometa na mrežo
ÅTransportna kapaciteta

Klasiļ ni modeli napovedovanja prometa

ÅPodatki o rabi tal
ÅPodatki o generiranju tokov
ÅFaktorji upora
ÅKalibracijski faktorji
ÅTransportna mreģa

Definiramo cone proučevanja

Generiranje potovanj — Odloļ itev o namenu potovanja (npr. kosilo)

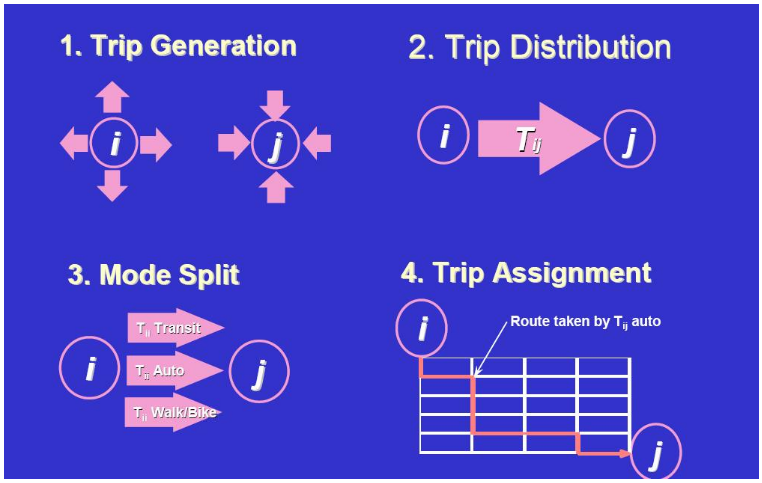
Distribucija potovanj — Odloļ itev o destinaciji (npr. Piran)

Delitev rabe sredstev — Odloļ itev o naļ inu potovanja (peģ, avtobus, kolo)

Porazdelitev prometa — Izbira poti

Povratna zanka

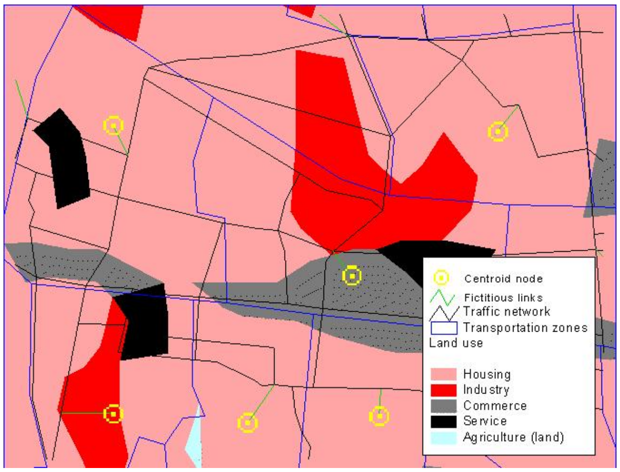
Klasiļ ni modeli napovedovanja prometa



Cone prouļ evanja -TAZ

- Podroļ je prouļ evanja mora biti jasno definirano. Lahko je omejeno z mejami obļ in, regij, drģave, dela mesta ali mestnega jedra, itd.,
- Cone prouļ evanja morajo biti definirane homogeno (generirajo enake tipe potovanj)
  - Stanovanjska cona
  - Komercialno trģna cona
  - Industrijska cona
- Velikosti so lahko razliļ ne ï odvisno od modela in homogenosti,
- Upoģtevajo se lahko naravne in umetne ovire (ceste viģjega reda, reke, pristaniģļ e, itd.)
- Velikosti naj bodo definirane tako, da odstotek potovanj znotraj cone ne presega od 10-15% vseh potovanj.
- Modeli z veļ kot 1000 conami so nerodni in komplicirani

Cone prouļ evanja -TAZ



Å Prometna infrastruktura prikazana z vozliģ i in povezavami,
Å Centroidi con
Å Konektorji centroida cone na prometno infrastrukturo

Generiranje potovanj ï trip generation

Potrebni podatki

Ģtevilo potovanj, ki se zaļ ne ali konļ a v vsaki coni, Vzorec potovanja za tipiļ en dan, Smer potovanja, Namenu potovanja, Ļ as potovanja, itd.

Tri osnovni, merljivi faktorji, ki bistveno vplivajo na izvor in ponor potovanj so:

Å Gostota rabe prostora - Prostorske aktivnosti cone (rabe tal)
- ï Ģtevilo stanovanj, delovnih mest ali zaposlenih na povrģinsko enoto,
- ï Veļ ja gostota = veļ potovanj

Å Socio - ekonomske znaļ ilnosti cone
- ï Povpreļ ni prihodek na gospodinjstvo,
- ï Izobrazba prebivalstva,
- ï Lastniģtvo avtomobila,

Å Lokacija cone
- ï Okoljske znaļ ilnosti cone,
- ï Prometne znaļ ilnosti cone.

Generiranje potovanj ï trip generation

Namen potovanja

Å Znotraj con loļ imo potovanja po namenu:

- ï Ġola,
- ï Delo,
- ï Nakupi,
- ï Rekreacija in zabava.

Namen potovanja je zelo pomemben, saj lahko na podlagi namena doloļ imo potovalne znaļ ilnosti (Potovanja delo dom so predvidljiva in v ļ asu regularna, rekreacija iz zabava pa zelo nepredvidljiva).

Generiranje potovanj ï trip generation

Modeli analize potovanj so veļ inoma zasnovani na nivoju gospodinjstva, nivo posameznika je preveļ kompleksen.

Modele delimo v dve skupini; modele atrakcije potovanj in modele produkcije potovanj. Modeli produkcije potovanj ocenjujejo ģtevilo potovanj na osnovi potovanj dom ï različ ne aktivnosti- dom, modeli atrakcije potovanj pa ocenjujejo ģtevilo potovanj iz cone prebivaliģļ a v druge cone (home-non home end). Uporaba modela je odvisna predvsem od namena potovanja.

Osnovne tehnike generiranja potovanj:

Å Cross ï classification,

Å Multipla regresijaka analiza,

Å Izkustveno

Å ...

Distribucija potovanj - Matrika potovanj O-D

Matrika potovanj je eden osnovnih vhodnih elementov pri modeliranju prometnih tokov na mreģi.

Osnovna matrika vsebuje podatke o:

Å Izvoru in ponoru potovanja,
Å Naļ inu potovanja,
Å Ļ asovnem terminu potovanja,
Å Kriterije naļ ina izbire naļ ina potovanja in poti.

Matrike potovanja najpogosteje sestavljamo na podlagi podatkov pridobljenih iz anket (popisi prebivalstva, ankete o potovalnih vzorcih na populaciji ali vzorcu).

Modeli in algoritmi za doloļ evanje matrik O-D

Sploģno lahko modele razdelimo v tri skupine:

Å **Entropijski modeli** - Predpostavlja poznavanje predhodne bazne matrike, ki se z dokaj kompliciranim postopkom transformirajo v O-D matrike ï ME2 model (Willumsen 1995),

Å **Statistični modeli** - temeljijo na prouļ evanju prometnega toka v daljģih ļ asovnih obdobjih. Podatke prilagodimo bazni matriki potovanj. Metode MRA, Kalmanovi filtri, ML, Cross-Clasification itd.

Å **Model znanih poti** ï Predpostavlja, da so poznane najkrajģe poti med predpostavljenimi generatorji prometnega toka in predpostavljenimi generatorji povpraģevanja. Na podlagi vzorļ nega ģtetja na vejah se definira matrika potovanj od vozliģļ a do vozliģļ a. Postopek je relativno enostaven.

Modele lahko razdelimo tudi v **dinamične** in **statične**.

Prognoza O-D matrik (Trip distribution)

Uporabljamo razliļ ne modele, najbolj poznani so razliļ ni gravitacijski modeli in Logit model. Pri modeliranju tokov na mreği, posebej ģe v primeru prognoze O-D matrik obiļ ajno uporabimo modele povpreļ ne rasti. Ti modeli so predvsem zanesljivi pri kratkoroļ nih napovedovanjih prometa. Delimo jih lahko v tri skupine:

- Å Faktor uniformne rasti,
- Å Enostranske omejitve koeficienta rasti,
- Å Dvostranske omejitve koeficienta rasti.

Sploġna oblika gravitacijskega modela:

Predpostavlja, da je ģtevilo potovanj med dvema conama sorazmerno produkciji in atrakciji potovanj teh dveh con ter obratno sorazmerno njuni medsebojni oddaljenosti.

$$Tij = \frac{Aj * Fij * Kij}{\sum_{zonah} Aj * Fij * Kij} * Pi$$

Kjer je:

Tij...skupno število potovanj iz cone i v j
Pi...skupno število potovanj z izvorom v i
Aj...skupno število potovanj z ponorom v j
Fij...upor (potovalni čas) iz i v j
Kij...socio-ekonomski faktor za par ij (popravek)

Prognoza O-D matrik (Trip distribution)

Gravitacijski model

- Å Ġirok spekter aplikacij, predvsem zaradi enostavnosti modela in zanesljivosti,
- Å Proces gradnje gravitacijskega modela temelji na kalibraciji faktorjev upora (iskanju primerne funkcije upora), ki najbolje opisuje pripravljenost potnikov, da se odloļ ijo za potovanja razliļ nih dolġin,
- Å Model gradimo postopoma iz iteracije v iteracijo, dokler porazdelitev frekvence razliļ nih dolġin potovanj v modelu ne replicira porazdelitve podatkov, ki smo jih zbrali s ģtetjem in anketami,
- Å Ker gre za balansiran model, moramo zagotoviti, da je celotno generiranje potovanj enako celotni atrakciji potovanj za vsak namen potovanja. Vsota vseh potovanj po conah izvora mora biti enaka vsoti vseh potovanj po conah ponora.

Gravitacijski model - primer

Preden model uporabimo za prognozo, ga moramo kalibrirati na izhodiģ¦ no leto. Kalibriramo ga tako, da spreminjamo parametre v modelu dokler model ne replicira rezultatov ģtetja prometa v izhodiģ¦ nem letu (kot izhodiģ¦ no leto izberemo leto v preteklosti).

Cone produkcije in atrakcije potovanj

Cone	1	2	3	Skupaj
Produkcija potovanj	140	330	280	750
Atrakcija potovanj	300	270	180	750

Potovalni | asi med conami (min)

Cone	1	2	3
1	5	2	3
2	2	6	6
3	3	6	5

Gravitacijski model - primer

Faktorji upora

Čas (min)	F
1	82
2	52
3	50
4	41
5	39
6	26
7	20
8	12

Fij – izračunani iz časov vožnje			
Cona	1	2	3
1	39	52	50
2	52	26	26
3	50	26	39

Gravitacijski model - primer

Prva iteracija

Cone	1	2	3	Skupaj
Produkcija potovanj	140	330	280	750
Atrakcija potovanj	300	270	180	750

$$Tij = \frac{Aj * Fij * Kij}{\sum_{zonah} Aj * Fij * Kij} * Pi$$

Uporabimo $K_{ij} = 1$

$$T_{1-1} = 140 \frac{(300 \times 39)}{(300 \times 39) + (270 \times 52) + (180 \times 50)} = 47$$

$$T_{1-2} = 140 \frac{(270 \times 52)}{(300 \times 39) + (270 \times 52) + (180 \times 50)} = 57$$

$$T_{1-3} = 140 \frac{(180 \times 50)}{(300 \times 39) + (270 \times 52) + (180 \times 50)} = 36$$

Gravitacijski model - primer

Prva iteracija ï nadaljevanje

Rezultati za vse ostale cone

P_2 = 330 **P_3 = 280**

$T_{2-1} = 188$ $T_{3-1} = 144$

$T_{2-2} = 85$ $T_{3-2} = 68$

$T_{2-3} = 57$ $T_{3-3} = 68$

Cona	1	2	3	P
1	47	57	36	140
2	188	85	57	330
3	144	68	68	280
Izraļ unana A	379	210	161	750
Podana A	300	270	180	750

Izraļ unana in podana atrakcija po conah nista balansirani

Gravitacijski model - primer

Moramo popraviti K_{jk} $$K_{jk} = \frac{K_j}{C_{j(k-1)}} K_{j(k-1)}$$

K_{jk} = popravljen faktor atrakcije za cono atrakcije j in k iteracijo
C_{jk} = dejanska vrednost skupne atrakcije za cono j, iteracijo k
K_j = ģelena vrednost skupne atrakcije za cono atrakcije j
j = cona atrakcije
k = iteracija

Popravljena A →

For zone 1: $K_{11} = 300 \times \frac{300}{379} = 237$

For zone 2: $K_{21} = 270 \times \frac{270}{210} = 347$

For zone 3: $K_{31} = 180 \times \frac{180}{161} = 201$

Gravitacijski model - primer

Druga iteracija

$$T_{1\text{-}1} = 140 \times \frac{237 \times 39}{(237 \times 39) + (347 \times 52) + (201 \times 50)} = 34$$

$$T_{1\text{-}2} = 140 \times \frac{357 \times 52}{(237 \times 39) + (347 \times 52) + (201 \times 50)} = 68$$

$$T_{1\text{-}3} = 140 \times \frac{201 \times 50}{(237 \times 39) + (347 \times 52) + (201 \times 50)} = 37$$

Za cono 2 in 3

$T_{2\text{-}1} = 153$ $T_{3\text{-}1} = 116$
$T_{2\text{-}2} = 112$ $T_{3\text{-}2} = 88$
$T_{2\text{-}3} = 65$ $T_{3\text{-}3} = 76$

Gravitacijski model - primer

Reğitev

Cona	1	2	3	P
1	34	68	38	140
2	153	112	65	330
3	116	88	76	280
Izraį unan A	303	268	179	
Podan A	300	270	170	

Delitev rabe sredstev ï Modal Choice

Je najbolj kompleksen korak prometnega modela. Model poskuğa napovedati koli potnikov bo uporabilo razliį ne naį ine prevoza iz cone v cono.

V veį ini primerov se modelira deleğe:

Å Hoje,
Å Javnega potniğkega prometa,
Å Kolesa,
Å Avtomobila.

Tipiį ne spremenljivke, ki jih uporabimo v modelu:

ÅMoğnost parkiranja v coni atrakcije,
ÅMeseį ni prihodek gospodinjstva,
ÅMoğen dostop z JPP,
ÅLastniğtvo avtomobila,
ÅVrsta potovanja,
ÅStarost,
ÅStroğek potovanja (parkiranje, gorivo, voznina)
ÅVarnost,
Å, as potovanja,
ÅUgled
Åtd,

Delitev rabe sredstev ï Modal Choice

LOGIT MODEL

Porazdelitev prometa na mreģo - Trip assignment

Poznamo veliko razliļnih metod in matematiļnih algoritmov, ki omogoļajo doloļitev obsega prometa na razliļnih kriterijev; ļasov potovanja, obsega, kapacitete ali drugih faktorjev upora. Uporaba razliļnih modelov je predvsem odvisna:

- Å od razpoloġljivih podatkov,
- Å cilja prouļevanja
- Å od poznavanja karakteristik transportne mreģe in navad potnikov.

Danaġnje modele lahko, na podlagi Vordropovega principa, razdelimo v dve skupini; **modeli ravnotežja stanja in modeli neravnotežja**.

Vordropov princip (1952) ï Promet na mreġi se razporedi na tak naļin, da so stroġki potovanja na vseh izkoriġļenih poteh med izvorom in ponorom enaki, stroġki na neizkoriġļenih alternativnih poteh pa so veļjiò

Predpostavke:

- da vsi uporabniki enako ocenjujejo stroġke in se odloļajo za pot z minimalnimi stroġki
- Preusmeritev uporabnikov iz ene poti na drugo, pri doloļenih pogojih, ne prinaġa koristi.

Porazdelitev prometa na mreġo (Trip assignment)

Modeli neuravnoteženega stanja

V to skupino sodijo modeli:
ÅVse ali niļ (All or nothing),
Åomejitve kapacitete (Capacity Restraint),
Åkrivulje preusmerjenega prometa,
Åporazdelitev prometa po alternativnih poteh,
Åkombinirani modeli

Modeli uravnoteženega stanja

V to skupino sodijo modeli:
Åporazdelitev na osnovi konstantnih zahtev,
Åporazdelitev na osnovi elastiļ nih zahtev,
Åkombinirani modeli.

Model ñVse ali niļ ò

Zasnovan na poznavanju najkrajġih poti med izvorom in ponorom potnikov. Izbrani najkrajġi poti dodelimo celoten obseg potovanj med dvema conama (iz matrike O-D).

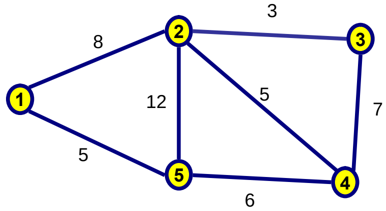
Slabosti modela:
- Zelo obļ utljiv na vhodne podatke,
- Nezanesljiv, ġe posebej takrat ko je parameter izraļ una stroġek,
- Ne upoġteva karakteristike potnikov,
- Ne upoġteva T = T(Q), ko se ļ asi potovanja ali volumen poveļ a postane nezanesljiv.

Model uporabljamo pri prouļ evanju globalnega razvoja transportne mreġe ali osnovnih transportnih koridorjev.

Model ñVse ali niļ ò- primer

O-D matrika:

	Potovanja med conami				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	-	100	100	200	150
2	400	-	200	100	500
3	200	100	-	100	150
4	250	150	300	-	400
5	200	100	50	350	-



Reģitev

Veja	Volumen
1-2	200
2-1	600
1-5	350
5-1	450
2-5	0
5-2	0
2-3	300
3-2	300
2-4	600
4-2	250
3-4	250
4-3	350
4-5	1300
5-4	700

Model ñOmejitve kapaciteteò

Razvitih je veliko razliļ nih modelov. Vsi imajo dve skupni znaļ ilnosti, nelinearnost in upoģtevanje T= T(Q). Slonijo na predpostavki, da je ļ as potovanja na vsaki veji odvisen od obsega prometa na veji.

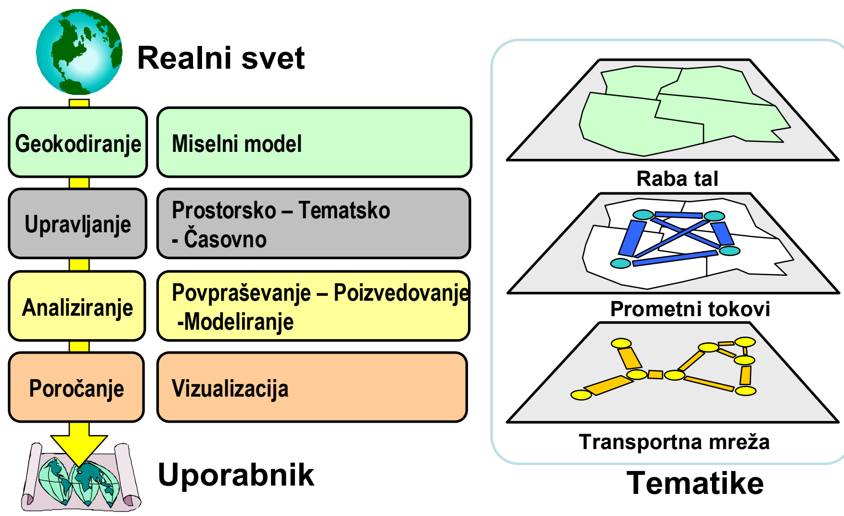
Model dodeli promet posameznim potem v iteracijah:

1. Deleģ (paket 5-10 % iz O-D) se dodeli najkrajģim potem med conami.
2. Ponovno izraļ una potovalne ļ ase za vse veje (v odvisnosti od obsega).
3. Ponovno se dodeli deleģ potovanj med izvorom in ponorom, tokrat novo izraļ unanim najkrajģim potem.
4. Glede na nove obremenitve se ponovno izraļ una potovalne ļ ase za veje.
5. Postopek se nadaljuje dokler se ne dodeli vseh potovanj iz matrike O-D.

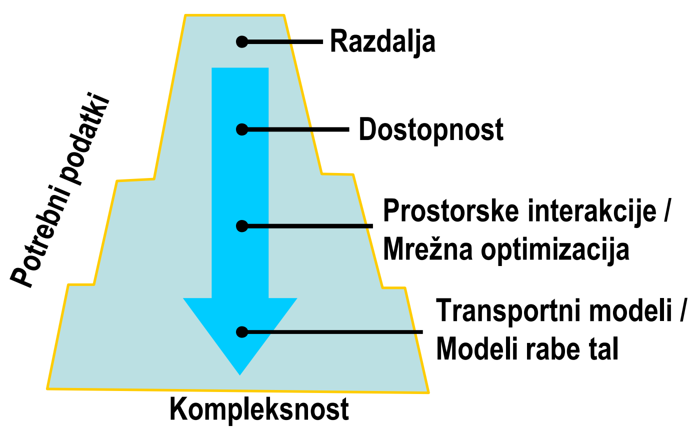
Popravljen ļ as voģnje ali upor na veji se izraļ una po obrazcu:

$$T = T_0 * \left(1 + 0.15 * \left(\frac{Q}{K}\right)^4\right)$$

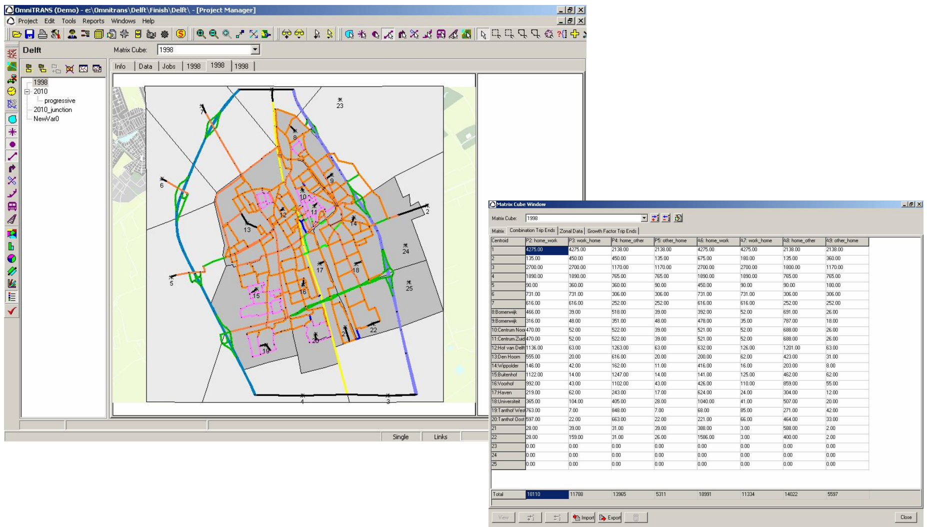
GIS -T



Modeliranje v GIS-u



Primer uporabe programske opreme



Primer uporabe programske opreme