UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MANAGEMENT KOPER

ZAKLJUČNA PROJEKTNA NALOGA

ADRIJANA KOBOL

KOPER, 2011

2011
ZAKLJUČNA PROJEKTNA NALOGA
ADRIJANA KOBOL

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MANAGEMENT KOPER

Zaključna projektna naloga

OPTIMIZACIJSKI PROBLEM POSIPAVANJA IN PLUŽENJA CEST – ŠTUDIJA PRIMERA

Adrijana Kobol

Koper, 2011

Mentor: izr. prof. dr. Rok Strašek

POVZETEK

V zaključni projektni nalogi je obravnavan optimizacijski problem organiziranja posipavanja in pluženja cest v zimskih razmerah. Opredeljen problem je znan kot »problem kitajskega poštarja«. Za izbrano podjetje smo razvili model za posipanje in pluženje cest ter preverili njegovo uporabnost. Projektna naloga je zasnovana v štirih poglavjih. Uvodnemu poglavju sledi poglavje, v katerem so opredeljeni osnovni pojmi teorije grafov, ki so potrebni za modeliranje problema kitajskega poštarja, ki je predmet podrobnejše obravnave tretjega poglavja. V četrtem poglavju predstavimo podjetje CPG, d. d., katerega del dejavnosti je tudi organiziranje posipavanja in pluženja cest. V zadnjem, petem poglavju se posvetimo izdelavi analize poteka pluženja in posipavanja dela cestnega omrežja obravnavane občine in izdelavi modela, na osnovi katerega bo izvedena optimizacija za najbolj učinkovito in racionalno organiziranost posipavanja in pluženja cest.

Ključne besede: zimska služba, Eulerjev obhod, Fleuryjev algoritem, stopnja točk, pluženje in posipanje cest, poti in cikli.

SUMMARY

In the final assignment I deal with optimization problem of organizing strewing and ploughing roads in winter conditions. Defined problem is known as Chinese postman problem. For the selected company we developed a model for strewing and ploughing roads and verified its usefulness. The project assignment is designed in four sections. After introduction, follows the chapter, which defines the basic concepts of graph theory. Those are necessary for model of Chinese postman problem, which is the subject of detailed consideration of the third chapter. The fourth chapter presents the company CPG, which is also dealing with strewing and ploughing roads. In the last fifth chapter we focus on the analysis of strewing and ploughing of a particular part of road network. We are developing a design based on optimization for the most efficient and rational organization of strewing and ploughing roads.

Key words: Winter service, Euler tour, Fleury algorithm, the level of points, strewing and ploughing roads, paths and cycles.

UDK: 625.76:66.011 (043.2)

VSEBINA

PONAZORILA

KRAJŠAVE

DRSC	Direkcija Republike Slovenije za ceste
ZJC	Zakon o javnih cestah
Ur. l. RS	Uradni list Republike Slovenije
DDC	Družba za državne ceste
OKC	operativno-komunikacijski center
UPB	uradno prečiščeno besedilo

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema in teoretičnih izhodišč

Nepravilno in nepravočasno ukrepanje pooblaščenih služb v zimskem času bi lahko povzročilo veliko gospodarsko škodo, zato je v skladu z določili Zakona o javnih cestah (Ur. l. RS, št. 29/97) in Pravilnika o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest (Ur. l. RS, št. 62/98) nujno organizirati kakovostno službo za zimsko vzdrževanje cest. Za nemoteno izvajanje zimske službe brez večjih zastojev v prometu je treba pripraviti izvedbeni program zimske službe kot osnovni dokument o organiziranosti zimske službe. V smislu izvedbenega programa zimske službe je treba upoštevati številne dejavnike: zagotoviti zadostno količino sredstev in materialov za posipanje, ustrezno usposobiti ljudi, mehanizacijo in vso potrebno opremo, vključno s specialnimi zimskimi stroji za opravljanje del v zimski službi. Hkrati je treba opremiti ceste z ustrezno zimsko signalizacijo in opremo ter organizirati pravočasno obveščanje uporabnikov cest preko sredstev javnega obveščanja.

Sodobni trendi uspešnega poslovanja podjetij temeljijo na stroškovni uspešnosti in učinkovitosti. Ob tem pa nikakor ne moremo mimo stroškov dela in vplivov na okolje. Oboje je v časih, ko se družba vse bolj zavzema za skrb za naravno in čisto okolje, treba obravnavati povezano. Na višino stroškov dela pa pomembno vplivajo tudi vedno bolj raznolike želje in zahteve državljanov po skoraj neomejeni dostopnosti blaga in storitev, ne glede na geografski položaj. Osrednja tema zaključne projektne naloge bo obvladovanje stroškov dela podjetja, ki se ukvarja z vzdrževanjem cest v zimskem času. V zaključni projektni nalogi bo natančneje obravnavan tisti segment organiziranosti zimske službe, ki zadeva zagotavljanje ustrezne prevoznosti cest in zadostne količine sredstev ter materialov za posipanje v zimskem času.

Organiziranost zimske službe v smislu zagotavljanja ustrezne prevoznosti cest je strukturno in tehnološko precej zapleten sistem, ki potrebuje izrazito interdisciplinarno obravnavo, v okviru katere se prepletajo vsebine vsaj dveh ved: matematike (natančneje tistega njenega področja, ki sodi na področje teorije grafov) in mikroekonomike. Pomembne pa so tudi vsebine nekaterih drugih ved, kot na primer managementa in logistike. Predmet proučevanja zaključne projektne naloge bo razvoj enostavnega modela za tehnično in ekonomsko optimizacijo dela podjetja, ki se ukvarja s posipanjem in pluženjem cest. Pri tem je tehnična učinkovitost sistema definirana kot razmerje med dejanskim obsegom uresničenih storitev in potencialnim obsegom storitev glede na dan obseg »enot«. Z ekonomsko učinkovitostjo merimo, za koliko so stroški opravljanja storitve višji od potencialno najnižjih. Če dodamo kriterijema tehnične in ekonomske učinkovitosti različne robne pogoje, izmed katerih je eden pomembnejših zadovoljstvo odjemalcev, lahko z uporabo ustrezne metode optimizacije poiščemo množico rešitev.

V sklopu zaključne projektne naloge bo predmet natančne obravnave Cestno podjetje Nova Gorica, družba za vzdrževanje in gradnjo cest, d. d. (v nadaljevanju CPG). Predstavljena bo zimska služba podjetja oz. sklop dejavnosti in opravil, potrebnih za omogočanje prevoznosti cest in varnosti prometa v zimskih razmerah. Zaradi kompleksnosti obravnave opisanega problema za celotno cestno omrežje se bomo v zaključni projektni nalogi osredotočili zgolj na izbrano delno mrežo ulic. Natančneje na tisto, ki smo jo v pogovoru z odgovornimi v podjetju CPG določili kot še posebno pomembno v zimskem času. Na osnovi podatkov, ki so nam jih posredovali s podjetja CPG, se bomo osredotočili zgolj na en tovornjak oz. sredstvo za pluženje ter podrobneje analizirali način dela v izbranem opazovanem časovnem obdobju (čas trajanja dela, zaporedje prevoženih poti, dolžina prevoženih poti, porabljena količina materiala za posipanje …). Na osnovi oblikovane cestne mreže bomo razvili model za optimizacijo obhodov in določili optimalen obhod posipanja in pluženja. Zasnova modela bo vključevala implementacijo sicer že znane metode problema kitajskega poštarja in algoritmov, v katerih kombiniramo ideje Fleuryjevega algoritma in algoritma za iskanje najkrajše poti.

1.2 Namen in cilji zaključne projektne naloge

Osrednji namen zaključne projektne naloge je razvoj modela za določanje optimalne poti tovornjaka oz. sredstva za pluženje, ki zagotavlja nemoteno prevoznost vseh cest izbranega cestnega omrežja. Na osnovi razvitega modela in podatkov, pridobljenih iz proučevanega podjetja, bo narejena analiza, kako stroškovno uspešno in učinkovito je bilo delovanje sredstva za pluženje v opazovanem časovnem obdobju.

V zaključni projektni nalogi bodo na konkretnem primeru proučevanega podjetja realizirani naslednji cilji:

- predstavitev reševanja problema posipanja in pluženja cestnega omrežja opazovanega podjetja,
- proučitev in predstavitev zakonskih določil, ki urejajo problematiko vzdrževanja cest,
- priprava in analiza podatkov, ki se nanašajo na delo posipanja in pluženja cestnega omrežja za izbrano sredstvo za pluženje v določenem časovnem obdobju,
- priprava modela za optimizacijo obhodov in določitev optimalnega obhoda posipanja in pluženja,
- izvedba stroškovne ocene optimalne rešitve in njena primerjava z dejanskimi stroški za opazovano časovno obdobje.

V zaključku bodo predstavljene ključne ugotovitve in predlagane možnosti optimalne organiziranosti dela z vidika stroškovne učinkovitosti in najmanjših negativnih vplivov na okolje.

1.3 Predvidene metode za doseganje ciljev

Za uresničitev opredeljenega namena in ciljev projektne naloge smo uporabili splet deskriptivnih in analitičnih metod. V prvem, teoretičnem delu smo s pomočjo deskriptivne metode podali osnove teorije grafov in uporabljenih algoritmov ter predstavili podjetje CPG.

V empiričnem delu projektne naloge so predstavljene uporabljene metode s področja teorije grafov in vključujejo uporabo generacije podatkovnih struktur in utežnih grafov. Razvoj samega modela bo vključeval implementacijo in kombinacijo znanih algoritmov za optimizacijo obhodov in iskanje najkrajših poti. Pri obravnavanem problemu optimalnega pluženja in posipanja cest gre namreč za različico znanega problema kitajskega poštarja, katerega rešitev iščemo s pomočjo algoritmov, v katerih kombiniramo ideje Fleuryjevega algoritma in algoritma za iskanje najkrajše poti.

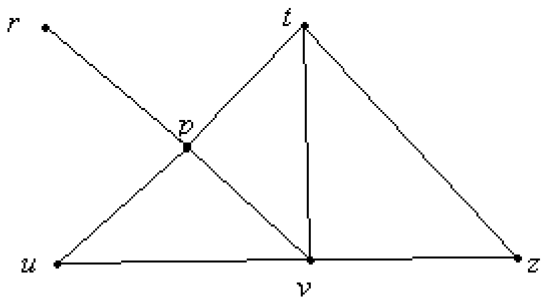
1.4 Predpostavke in omejitve zaključne projektne naloge

Zaradi že omenjene kompleksnosti sistema se bomo v sklopu projektne naloge omejili zgolj na delo enega samega sredstva za pluženje in izbrano cestno mrežo. Sicer bodo omejitve v sklopu projektne naloge lahko: razpoložljivost podatkov o opremi in porabljenih sredstvih, podatkov iz poslovnega informacijskega sistema ter natančnost geografskih podatkov o cestnem omrežju, kot so širina posameznega dela cestišča, gladkost cestišča in naklon cestišča, ki bi lahko vplival na končni rezultat.

2 OSNOVNI POJMI TEORIJE GRAFOV

2.1 Grafi in digrafi

Graf *G* sestavljata neprazna množica elementov, ki jih poimenujemo točke grafa, in seznam (neurejenih) parov teh elementov, ki jih imenujemo povezave grafa. Če sta *v* in *w* točki grafa *G*, potem za povezavi *vw* ali *wv* rečemo, da povezujeta točki *v* in *w*. Dve povezavi ali več povezav, ki povezujejo isti par točk, poimenujemo vzporedne povezave. Povezava, ki povezuje neko točko s seboj, je povratna povezava ali zanka (Wilson in Watkins 1997, 19).

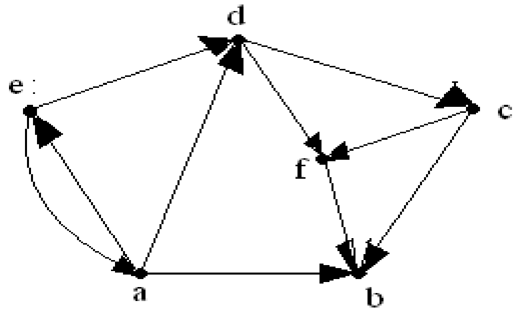


Slika 1: Graf G

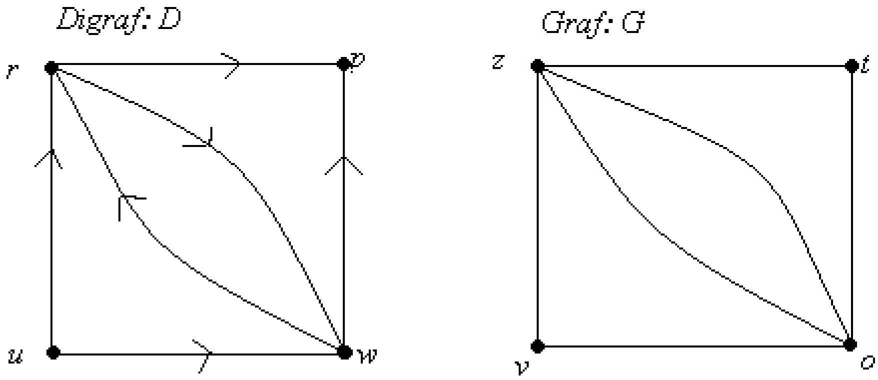
Standardne oznake grafa:

- graf označujemo z *G*,
- množico točk grafa označujemo z *V*(*G*),
- same točke grafa z malimi tiskanimi črkami, npr. *u*, *v*, *z*, *t*, *x*, *y*, *w*,
- množico povezav označujemo z *E*(*G*)={*uv*, *zt*, *vy*, *tt*, *uw* ...}.

Digraf ali usmerjeni graf *D* sestavljata množica elementov, imenovanih točke, in seznam urejenih parov teh elementov, ki jih imenujemo usmerjene povezave. Če sta *u* in *v* točki digrafa *D*, potem rečemo, da je povezava *uv* usmerjena od *u* k *v*. Če dve povezavi ali več povezav povezuje isti par točk, jih imenujemo vzporedne povezave. Usmerjena povezava iz točke vase je zanka. Digraf brez zank in vzporednih povezav je enostavni digraf (Wilson in Watkins 1997, 99).



Slika 2: Primer digrafa ima šest točk



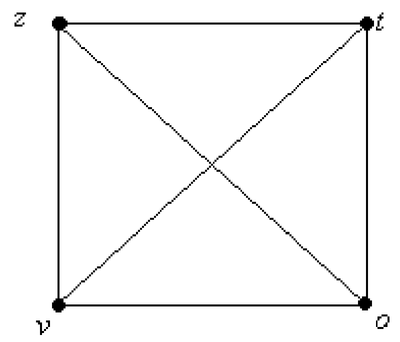
Slika 3: Primer grafa in digrafa na isti množici točk

Standardne oznake:

- digraf označujemo z *D*,
- množico točk označujemo z *V(D)*,
- seznam usmerjenih povezav označujemo z *A(D)*.

2.1.1 Enostavni grafi

Enostavni grafi so grafi brez zank in večkratnih povezav oziroma vzporednih povezav (dve povezavi, ki imata skupno začetno in končno točko).



Slika 4: Primer enostavnega grafa G

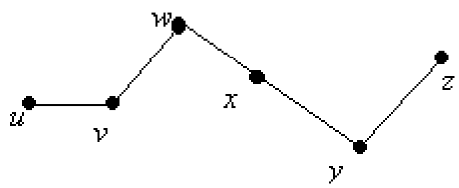
2.1.2 Sprehodi in obhodi

Sprehod lahko opišemo kot zaporedje vozlišč ali zaporedje povezav. Tako lahko na grafu brez vzporednih povezav v opisu sprehoda izpustimo povezave, saj je povezava natanko določena s svojima krajiščema (Žerovnik 2003, 14).

Sprehod dolžine *k* v grafu *G* je zaporedje *k* povezave grafa *G* oblike *uv*, *vw*, *wx*, ..., *yz*. Tak sprehod označimo z *uvwx* ... *yz* in ga poimenujemo sprehod med točkama *u* in *z*. Ker povezave niso usmerjene, lahko tak sprehod razumemo tudi kot potovanje od *z* nazaj proti *y* in tako dalje do točke *x, w, v* in nazadnje do *u*. Isti sprehod bi lahko torej označili tudi z *zy* ... *xwvu* in mu rekli sprehod med *z* in *u* (Wilson in Watkins 1997, 44–45).

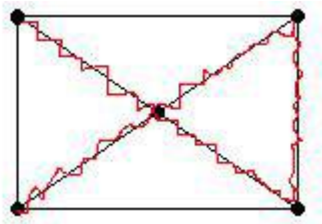
Če so vse povezave sprehoda različne, potem sprehod poimenujemo enostavni sprehod ali sled. Če so v enostavnem sprehodu vse točke različne, potem sprehod poimenujemo pot (Wilson in Watkins 1997, 45).

Sklenjeni sprehod ali obhod v grafu *G* je zaporedje povezave grafa *G* oblike *uv, vw, ..., yz*. Če so vse povezave obhoda različne, potem ga poimenujemo enostavni obhod ali sklenjena sled. Če so v obhodu vse povezave in vse točke različne, potem ga poimenujemo cikel (Wilson in Watkins 1997, 46).



Slika 5: Primer sprehoda po grafu G

Vir: Wilson in Watkins 1997, 45.

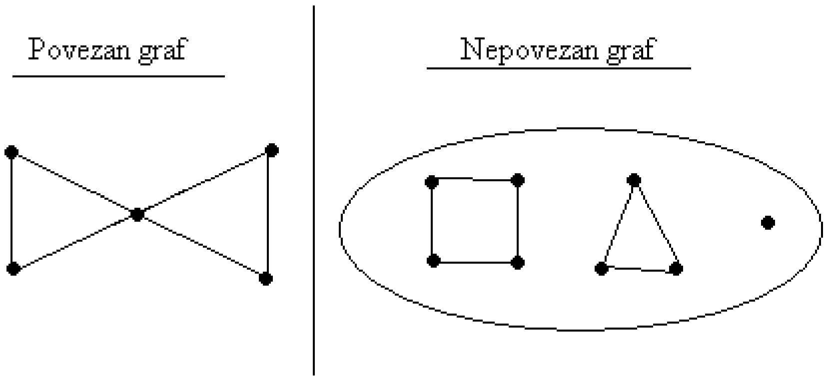


Slika 6: Primer enostavnega sprehoda

Vir: Oblak 2007.

2.1.3 Povezani in nepovezani grafi

Če so vse povezave sprehoda različne, potem sprehod poimenujemo enostavni sprehod ali sled. Če so v enostavnem sprehodu vse točke različne, potem sprehod poimenujemo pot. Če so vse povezave obhoda različne, potem ga poimenujemo enostavni obhod ali sklenjena sled. Če so v obhodu vse povezave in vse točke različne, potem ga poimenujemo cikel. Graf je povezan, če obstaja pot med poljubnim parom točk, sicer je nepovezan (Wilson in Watkins 1997, 45–46).



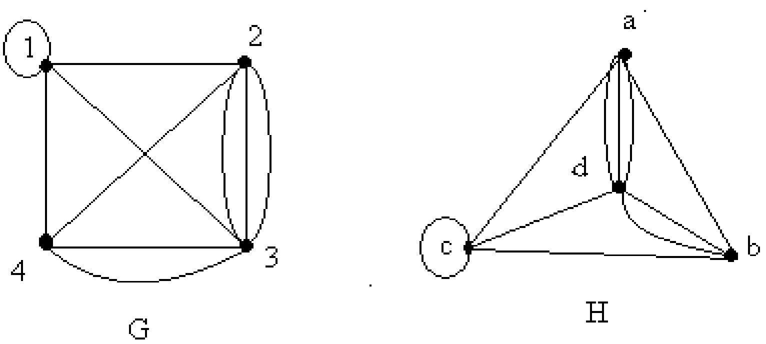
Slika 7: Primer povezanega in nepovezanega grafa

2.1.4 Izomorfni grafi in digrafi

Wilson in Watkins (1997, 25) podata definicijo, ki pravi, da sta dva grafa *G* in *H* izomorfna, če lahko *H* dobimo iz *G* tako, da spremenimo oznake točk – torej, če obstaja povratno enolična preslikava med točkami *G* in točkami *H*, tako da je število povezav, ki povezujejo katerikoli par točk v *G*, enako številu povezav, ki povezujejo pripadajoči par točk v *H*.

Wilson in Watkins (1997, 100) navajata definicijo za izomorfnost digrafa, da sta dva digrafa *C* in *D* izomorfna, če lahko *D* dobimo iz *C* s preimenovanjem točk – to pomeni, če lahko najdemo povratno enolično preslikavo med točkami *C* in *D*, tako da je število usmerjenih povezav, ki povezujejo katerikoli par točk iz *C*, enako številu usmerjenih povezav, ki povezujejo v isti smeri ustrezen par točk iz *D*.

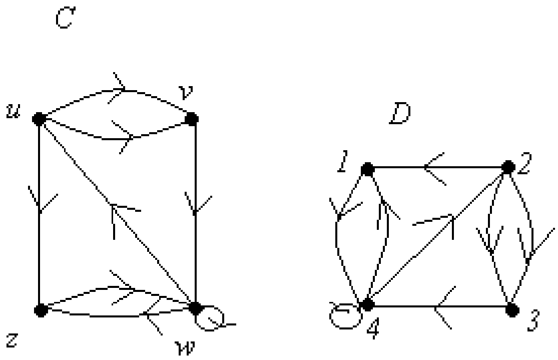
Graf *G* in *H* sta izomorfna. Preslikava: *1-c, 2-a, 3-d, 4-b*.



Slika 8: Primer izomorfnih grafov

Vir: Wilson in Watkins 1997, 25.

Preslikava: 2-u, 3-v, 4-w, 1-z



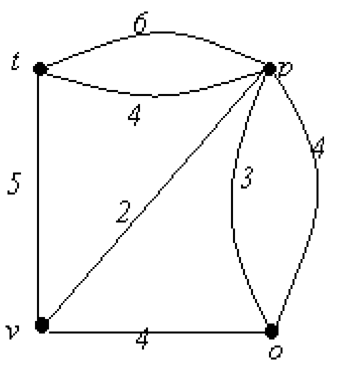
Slika 9: Primer izomorfnih digrafov

Vir: povzeto po Wilson in Watkins 1997, 101.

Digrafa *C* in *D* sta izomorfna.

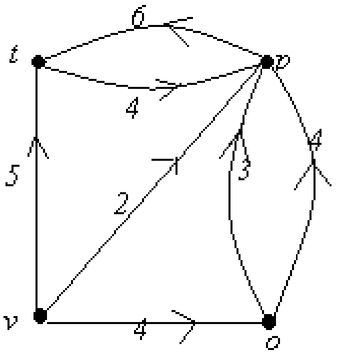
2.1.5 Utežni graf

Utežni graf ali omrežje je graf, v katerem je vsaki povezavi prirejeno pozitivno število, ki ga poimenujemo utež povezave (Wilson in Watkins 1997, 158).



Slika 10: Primer utežnega grafa

V predstavljenem primeru bi uteži lahko predstavljale razdalje med točkami *km, m* …, ceno vozovnice, količino materiala za posip …

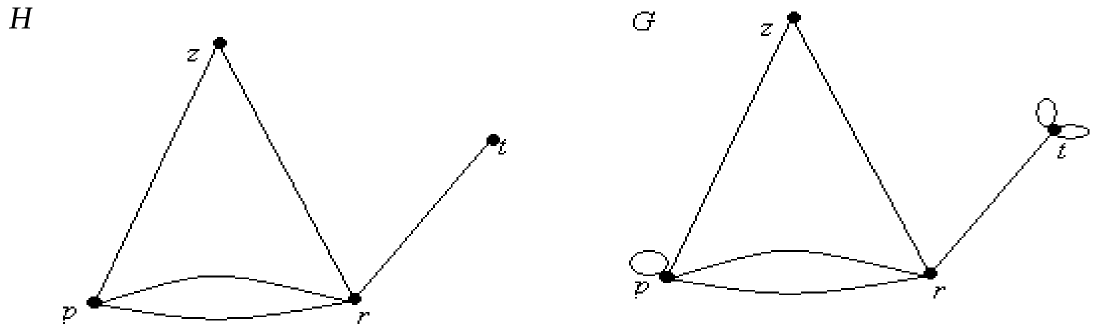


Slika 11: Primer utežnega in usmerjenega grafa

V tem primeru lahko uteži predstavljajo na primer enosmernost cest, smeri toka (relacije odnosov). Smer pa določa, po kateri poti lahko pridemo iz izbrane točke v sosednje točke (enosmernost ulic). V predpostavljenem primeru uteži predstavljajo dolžino ulic v metrih.

2.2 Stopnje točke grafa in digrafa

Naj bo *G* graf brez zank, *v* pa točka grafa *G*. Stopnja točke *v* je število povezav, ki vsebujejo *v*. Stopnjo točk označimo z *deg(v)*. Vsaka zanka prispeva *2* k stopnji točk (Wilson in Watkins 1997, 21–22).



Slika 12: Primer grafa in stopnje točk

Vir: povzetopo Wilson in Watkins 1997, 21.

Graf *H* ima stopnje točk:

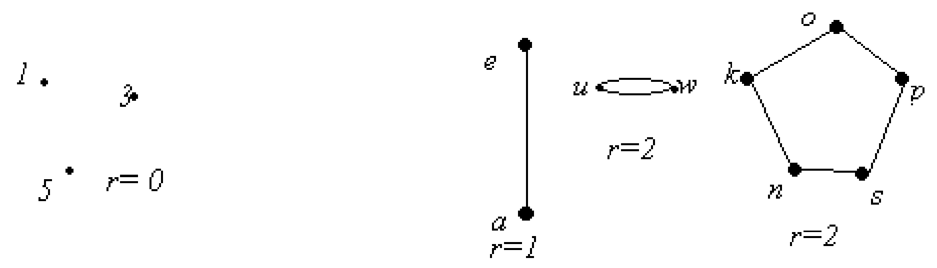
Deg(z)=2, deg(p)=3, deg(r)=4, deg(t)=1

Graf *G* ima naslednje stopnje točk:

Deg(z)=2, deg(p)=5, deg(r)=4, deg(t)=5

Stopnje točk običajno zapišemo v naraščajočem vrstnem redu. Dobljeni seznam imenujemo zaporedje stopenj točk v danem grafu. Zaporedje stopenj grafa *H* je (*1, 2, 3, 4*) in zaporedje stopenj grafa *G* je (*2, 4, 5, 5*).

Graf je regularen, če imajo vse točke grafa enako stopnjo. Če imajo vse točke grafa stopnjo *r,* rečemo, da je graf regularen stopnje r ali r-regularen (Wilson in Watkins 1997, 22).



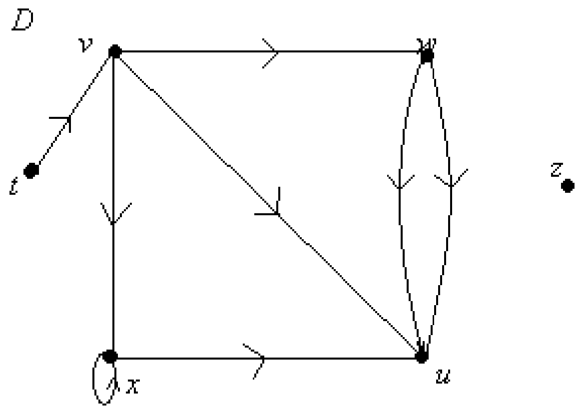
Slika 13: Primer regularnih grafov

Vir: povzeto po Wilson in Watkins 1997, 22.

V digrafu poznamo izhodno in vhodno stopnjo točke.

Izhodna stopnja točke *v* je število usmerjenih povezav, ki gredo iz točke *v*; označujemo jo z *outdeg(v).* Vhodna stopnja točke *v* je število usmerjenih povezav, ki gredo v točko *v;* označujemo jo z *indeg(v).* Zaporedje izhodnih stopenj digrafa *D* in zaporedje vhodnih stopenj digrafa *D* dobimo tako, da zapišemo ustrezne stopnje vseh točk v nepadajočem vrstnem redu.

Če ima digraf zanke, potem vsaka zanka prispeva po *1* k vhodni in k izhodni stopnji ustrezne točke (Wilson in Watkins 1997, 103).



Slika 14: Primer digraf D s stopnjami točk

Digraf *D* ima naslednje stopnje točk:

Outdeg(t)=1, outdeg(v)=3, outdeg(w)=2, outdeg(z)=0, outdeg(u)=0, outdeg(x)=2

Indeg(t)=0, indeg(v)=1, indeg(w)=1, indeg(z)=0, indeg(u)=4, indeg(x)=2

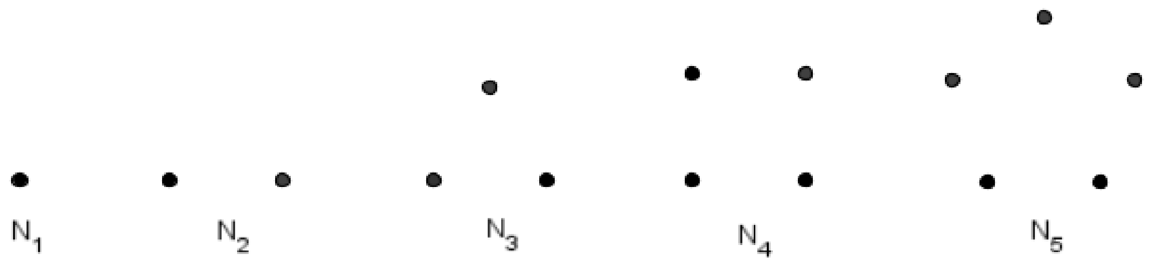
V projektni nalogi bomo uporabljali stopnjo točk na grafu, kjer se na križišču stikajo tri ulice ali več ulic oziroma cest. Točke s stopnjo ena bodo v našem grafu tako imenovana slepa ulica, točke s stopnjo dva bodo prikazale stičišča dveh ulic oziroma cest, točke s stopnjo tri bodo predstavljale T križišča točke s stopnjo štiri pa križna križišča. Točke s stopnjo več kot štiri so redke, saj predstavljajo križišča, kjer se stika več ulic.

2.3 Primeri grafov

Vpeljali bomo nekaj vrst grafov, ki jih bomo uporabljali v nadaljevanju. Nekateri grafi nam bodo služili kot primer za razumevanje projektne naloge.

2.3.1 Prazni graf

Prazni graf je graf brez povezav. To pomeni da med seboj ne povezuje niti dveh točk. Prazne grafe označujemo z *Nn*. Prazni graf *Nn* je regularen stopnje nič (Wilson in Watkins 1997, 47).

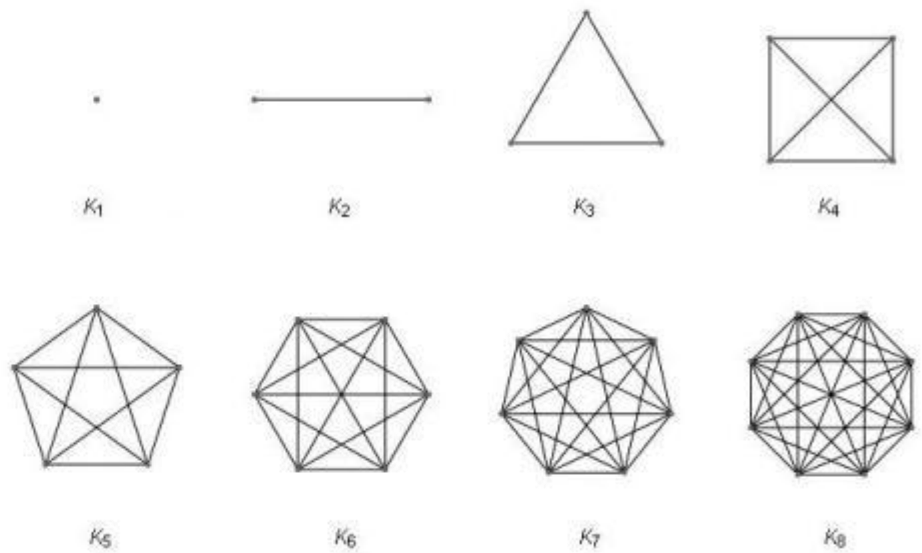


Slika 15: Primer praznega grafa

Vir: Wilson in Watkins 1997, 47.

2.3.2 Polni graf

Polni graf je graf, v katerem je vsak par različnih vozlišč povezan z natanko eno povezavo. Polni graf na *n* vozliščih označimo s *Kn* (Žerovnik 2003, 16). Pri polnem grafu so vse točke povezane vsaka z vsako.

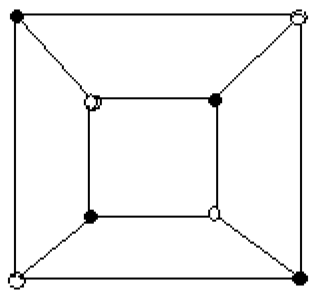


Slika 16: Primer polnih grafov

Vir: Oblak 2007 ter Wilson in Watkins 1997, 47.

2.3.3 Dvodelni graf

Dvodelni graf je graf, pri katerem lahko množico točk razbijemo na podmnožici *A* in *B*, tako, da vsaka povezava grafa *G* povezuje po eno točko iz podmnožice *A* z eno točko iz podmnožice *B*. Točke podmnožic *A* in *B* lahko razločimo na primeru tako, da pobarvamo prve s črno, druge pa z belo barvo. Potem vsaka povezava povezuje po eno črno in eno belo točko (Wilson in Watkins 1997, 48).



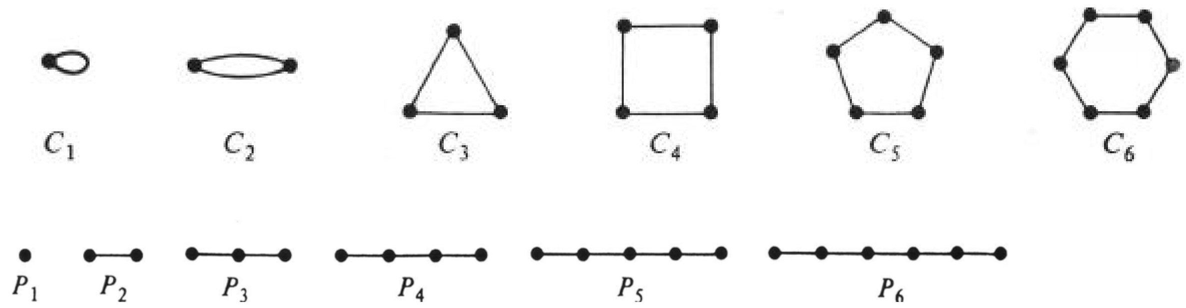
Slika 17: Primer dvodelnega grafa

Vir: povzeto po Wilson in Watkins 1997, 48.

2.3.4 Poti in cikli

Cikel je graf, ki ga sestavlja en sam cikel. Graf označimo s *Cn*. Pot je graf, ki ga sestavlja ena sama pot. Pot na *n* točkah označimo s *Pn* (Wilson in Watkins 1997, 47–48).

Pot je enostavni sprehod, v katerem se niti točke niti povezave ne podvojijo.

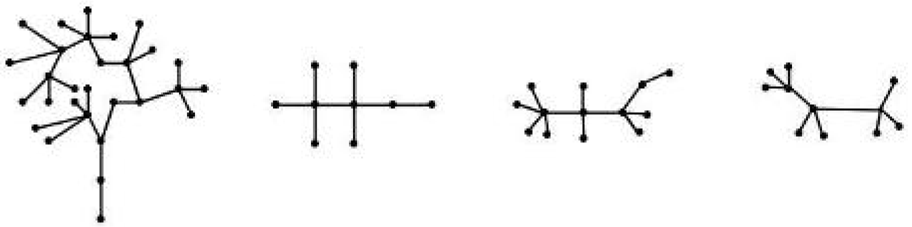


Slika 18: Primeri ciklov in poti

Vir: Wilson in Watkins 1997, 48.

2.3.5 *Drevesa*

Povezan graf brez ciklov imenujemo drevo (Wilson in Watkins 1997, 51). Dve točki v grafu sta povezani s točno eno enostavno potjo.



Slika 19: Primeri dreves

Vir: Wilson in Watkins 1997, 51.

2.4 Eulerjev obhod

Povezan graf je Eulerjev, če obstaja enostaven obhod, na katerem so vse povezave grafa. Tak obhod imenujemo Eulerjev obhod (Wilson in Watkins 1997, 146).

Povezani graf je poleulerjev, če obstaja odprti sprehod,[1] na katerem so vse povezave grafa *G*. Odprti sprehod je sprehod, pri katerem sta začetna in končna točka različni (Wilson in Watkins 1997, 152).

[1] Odprti sprehod, na katerem so vse povezave grafa, imenujemo Eulerjev sprehod.

3 PROBLEM KITAJSKEGA POŠTARJA

V projektni nalogi se bomo lotili problema optimizacije pluženja in posipanja ulic, kjer je treba obhode plugov raziskati tako, da bi čim manj ulic plužili oziroma čistili večkrat zapored. Ulice bodo predstavljale omrežje v danem grafu.

V našemu modelu bomo odsekom cest, ki jih je treba splužiti in posipati, priredili povezavo, vsaki povezavi pa utež. Na ta način bomo vsaki točki grafa določili sodo stopnjo, torej je graf Eulerjev in je rešitev tega problema, saj lahko vsako povezavo prehodimo natanko enkrat. V našem primeru pluženja in posipanja cest se težko zgodi, da križišča in ulice mest tvorijo Eulerjev graf. Nekatere povezave je zato treba prehoditi dvakrat – te povezave v grafu podvojimo (s tem se poveča stopnja točk, na katerih so napete te povezave). Optimalna rešitev je tista, pri kateri podvojimo čim krajše povezave in najdemo tak Eulerjev graf *G*.

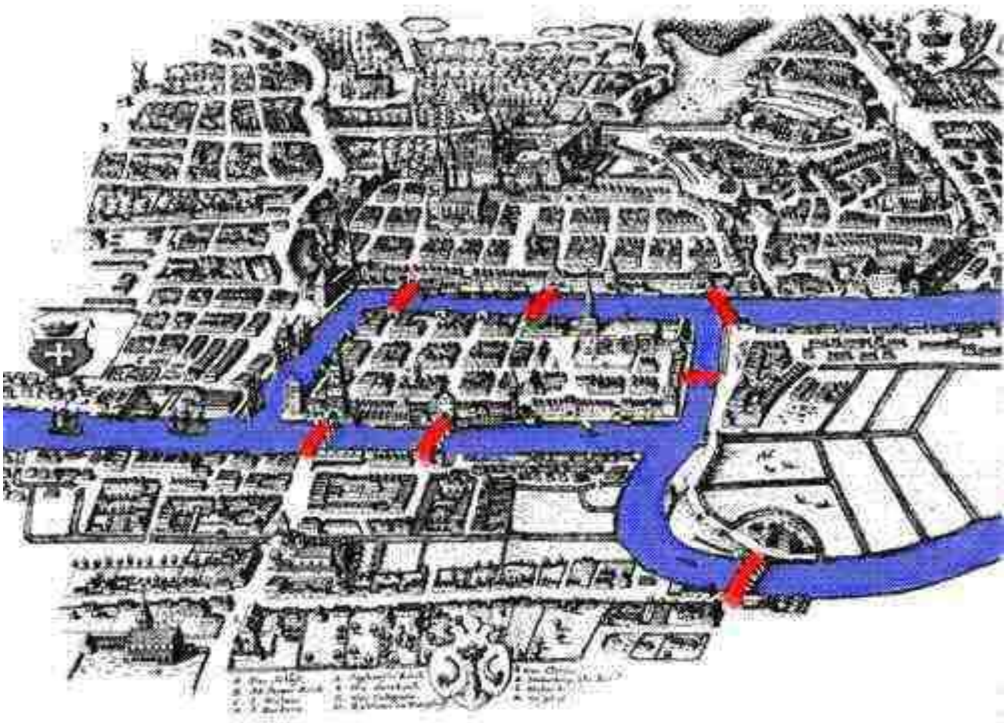
Problem kitajskega poštarja lahko definiramo takole: utežni graf ali omrežje je graf, v katerem je vsaki povezavi prirejeno pozitivno število, ki ga poimenujemo utež. Problem kitajskega poštarja zapišemo takole: poišči zaprt sprehod z najmanjšo skupno težo, na katerem je vsaka povezava grafa vsaj enkrat (Wilson in Watkins 1997, 158).

V preteklosti so se lotevali podobnih primerov tistim, s katerimi se je tudi ukvarjal kitajski matematik Meigu Guan. Leta 1962 je Meigu Guan podal naslednji problem: kako najti najkrajšo pot, po kateri bi prehodili vsako povezavo danega grafa vsaj enkrat. Predstavljal si je poštarja, ki mora raznositi pošto vzdolž vseh ulic svojega rajona.

3.1 Problem königsberških mostov

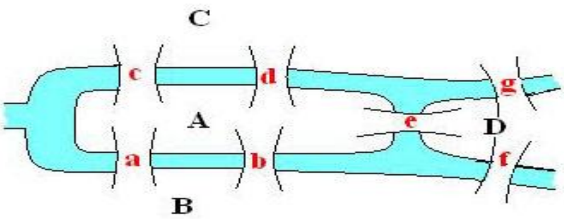
V 18. stoletju je bilo v srednjeveškem mestu Königsberg v vzhodni Prusiji sedem mostov, ki so povezovali štiri dele mesta. Na reki Pregel je bil otok, imenovan Kneiphof. Reka se je, kot kaže slika 20, razcepila v dva rokava. Pravijo, da so se meščani zabavali s poskušanjem, ali bo komu uspelo sprehoditi se po mestu tako, da bo prečkal vsakega od mostov natanko enkrat in se vrnil na začetni breg reke.

Meščani so zaman znova in znova poskušali najti obhod mesta, ki bi prečkal vsakega od mostov natanko enkrat in se vrnili na izhodišče. Začeli so verjeti, da naloga nima rešitve. Tega ni znal dokazati nihče, vse dokler se problema ni lotil Leonard Euler. Eulerjev dokaz je bil objavljen leta 1736 v članku z naslovom Solutio problematis ad geometriam situs pertinensis. Na problem königsberških mostov lahko pogledamo kot na problem iz teorije grafov, pri čemer so vozlišča štirje deli mesta, povezave grafa pa sedem mostov na reki. Problem iskanja obhoda grafa, pri katerem prehodimo vsako povezavo natanko enkrat, imenujemo iskanje Eulerjevega obhoda.



Slika 20: Problem königsberških mostov

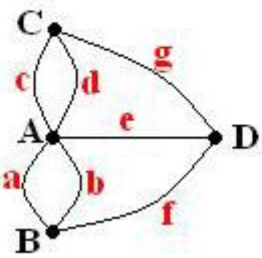
Vir: Wilson in Watkins 1997, 141.



Slika 21: Poenostavljena slika mostov

Vir: Oblak 2007.

Zgornjo sliko lahko prevedemo v graf, prikazan na naslednji sliki.

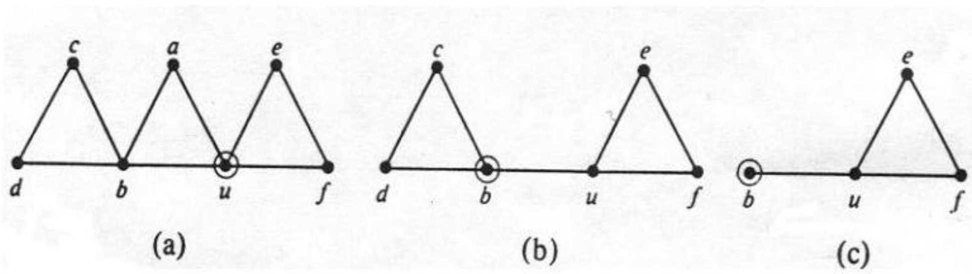


Slika 22: **Graf prirejen problemu königsberških mostov**

Vir: Wilson in Watkins 1997, 148.

3.2 Fleuryjev algoritem

Fleuryjev algoritem je preprost algoritem za iskanje Eulerjevega obhoda v grafu. Preden ga podamo, potrebujemo nov pojem – most. Most je povezava v povezanem grafu, brez katere bi bil graf nepovezan. Naj bo *G* Eulerjev graf. Tedaj naslednji postopek vedno najde Eulerjev obhod v *G*. Začnemo v poljubni točki in se sprehajamo po poljubnih povezavah, ki jih brišemo za seboj, prav tako odstranimo vse točke, ki so postale izolirane. Pri tem pazimo le na to, da gremo na most le v primeru, če ni druge možnosti. Končamo, ko ni nobene povezave več. Fleuryjev algoritem ponazorimo na grafu, ki ga predstavi slika 23. Začnemo v *u*, kjer lahko izberemo povezavo *ua*, potem pa *ab*. Ko odstranimo ti dve povezavi (in izolirano točko *a*), dobimo graf (*b*). Povezave *bu* ne smemo uporabiti, ker je most, zato izberemo povezavo *bc*, potem pa še *cd* in *db*. Odstranimo uporabljene povezave (in točki *c* in *d*) in dobimo graf (*c*). Zdaj nimamo izbire, moramo po mostu *bu*. Prehodimo še cikel *ufeu* in zaključimo. Eulerjev obhod je torej *uabcdbuefu*.

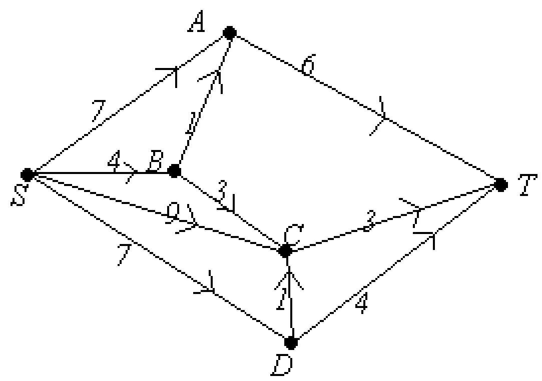


Slika 23: Fleuryjev algoritem

Vir: Wilson in Watkins 1997, 151.

3.3 Iskanje najkrajše poti

Pri algoritmu za iskanje najkrajše poti je naloga poiskati najkrajšo pot od točke *S* do točke *T* v danem omrežju. V omrežju se pomikamo od leve proti desni in računamo razdalje od *S* do vsake od vmesnih točk, ki jih obiščemo. Na vsakem koraku algoritma pregledamo vse točke, ki jih lahko dosežemo preko usmerjene povezave iz točke, v kateri trenutno smo, in ji priredimo začasno razdaljo, ki je najkrajša od *S* do te točke po poteh, ki smo jih obravnavali. To oznako imenujemo tudi potencial. Končno vsaka točka dobi stalno oznako, ki je najkrajša od *S* do točke s potencialom. Ko tudi *T* dobi potencial, smo določili najkrajšo razdaljo od *S* do *T* (Wilson in Watkins 1997, 187).



Slika 24: Utežni graf za iskanje najkrajše poti

Vir: povzeto po Wilson in Watkins 1997, 188.

Na začetku priredimo točki *S* potencial 0, saj je najkrajša razdalja od *S* do *S* enaka 0. Gledamo vse točke, ki jih lahko dosežemo iz točke *S*. Vsaki točki, ki smo jo dosegli iz točke S, določimo začasno oznako. Ta je vsota potenciala v *S* in razdalje od *S* do te točke. Tako dobimo začasne razdalje *7, 4, 9* in *7* od *S* točk *A, B, C* in *D*. Vzamemo najmanjšo začasno razdaljo (točka *B*) in jo proglasimo za potencial (potencial *4*). To je najkrajša razdalja od *S* do *B*. Sedaj lahko gledamo vse točke, ki jih lahko dosežemo iz točke *B* (to sta točki *A* in *C*). Točkama *A* in *C* priredimo novo začasno razdaljo, enako vsoti potenciala v *B* in razdalje od *B* do te točke. Vendar je nova začasna razdalja manjša od oznake, ki jo je točka že prej imela. V tem primeru je to točka *A* z novo oznako *4+1=5*. Točka *C* ima oznako *4+3=7*. Najkrajša razdalja je točka *A*, zato ji določimo potencial 5. Na ta način nadaljujemo in gledamo točke, ki jih lahko dosežemo iz točke *A*. Točki *T* začasno označimo oznako *11* (*5+6=11*). Najkrajši razdalji, ki nista potenciala v točkah *C* in *D*, imata oznako *7*, zato jima določimo potencial *7*. Edina točka brez potenciala je točka *T*. Iz *A* imamo začasno oznako 11, iz *C* bi dobili oznako *7+3=10*, iz *D* bi dobili začasno razdaljo *7+4=11*. Najmanjše od teh števil je *10*, zato dobi točka *T* potencial *10*. Najkrajša razdalja od *S* do *T* je *10* (*enot, km, cm* ...). Pot najkrajše dolžine od *S* do *T* dobimo tako, da potujemo nazaj iz *T* do *S*.

(potencial pri T) – (potencial pri C)=(razdalja od C do T),

(potencial pri C) – (potencial pri B)=(razdalja od B do C) in

(potencial pri B) – (potencial pri S)=(razdalja od S do B)

Rešitev: najkrajša pot od *S* do *T* je *SBCT*.

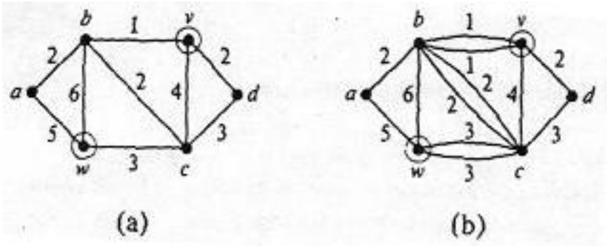
3.4 Reševanje problema v obravnavanem primeru

Pri reševanju problema pluženja in posipanja ulic bi uporabili zgoraj opredeljene algoritme. To sta Fleuryjev algoritem in algoritem za iskanje najkrajših poti.

V prvem koraku pogledamo, ali je dano omrežje Eulerjev graf, če je, naredimo Eulerjev obhod.

V drugem koraku pogledamo, če dani graf ni Eulerjev, grafu dodamo povezave z utežmi med ustreznimi pari točk lihe stopnje, saj te povezave predstavljajo najkrajšo pot med dvema paroma točk lihe stopnje. V tretjem koraku dobimo Eulerjev graf in mu poiščemo njegov obhod z uporabo Fleuryjevega algoritma in algoritma za iskanje najkrajših poti.

V zadnjem koraku dobljene uteži v grafu seštejemo, rezultat pa predstavlja najkrajšo pot.



Slika 25: Problem kitajskega poštarja

Vir: Wilson in Watkins 1997, 158.

K reševanju problema pristopimo z uporabo dveh algoritmov, Fleuryjevega algoritma in algoritma za iskanje najkrajših poti.

- Preverimo, ali je graf Eulerjev. Če ima samo dve točki lihe stopnje, je pol Eulerjev in ni Eulerjev. Ugotovimo, da graf ni Eulerjev, ker sta točki *w* in *v* lihe stopnje. *Deg(v)=3* in *deg(w)=3*.
- Če ni Eulerjev, je treba med ustreznimi pari točk lihe stopnje dodati povezave skupaj z utežmi. Njena skupna teža je *1+2+3=6* na najkrajših poteh. Poiščemo najkrajšo pot med točkama *w* in *v* (dobimo povezavo *wcbv* – to prikazuje graf *b*), nato to povezavo vrišemo v graf in njihove uteži podvojimo. Te povezave predstavljajo najkrajšo pot med *w* in *v*).
- Na dobljenem Eulerjevem grafu poiščemo Eulerjev obhod. V tem primeru je lahko tak obhod: *abvdcvbcbwcwa*. Edine povezave, ki smo jih uporabili dvakrat, so povezave na poti *vbcw*.
- Dobljen obhod je rešitev, ki jo seštejemo in dobimo najkrajšo pot 34 enot.

4 PREDSTAVITEV PODJETJA CPG, D. D.

4.1 Poslanstvo, vizija in strateški cilji podjetja

Poslanstvo

Podjetje CPG je družba s skoraj petdesetletno tradicijo na področju vzdrževanja in gradnje cest ter vseh vrst infrastrukturnih objektov. Družba v svojih strateških aktih opredeli svoje poslanstvo, da so nenehno posodabljanje tehnološke opremljenosti ter izkušnje in strokovnost zaposlenih zagotovilo poslovnim partnerjem in uporabnikom za varne ceste, za kakovost storitev in za prijazno ravnanje z okoljem. Tržne razmere zahtevajo jasno vizijo vodenja in strateške cilje, s katerimi zagotovijo zadovoljstvo odjemalcev, lastnikom ohranjanje in plemenitenje vloženega kapitala, zaposlenim pa varno prihodnost (CPG 2010).

Vizija

V prihodnosti želijo z ostalimi družbami v Skupini Primorje ostati najmočnejši poslovni sistem za gradbeništvo v državi, biti izbran in kvaliteten izvajalec, ki povečuje svojo konkurenčnost z nižanjem stroškov in povečevanjem storilnosti na podlagi novih organizacijskih in tehnoloških rešitev s spodbujanjem podjetniškega duha in inovativnosti vseh zaposlenih (CPG 2010).

Strateški cilji

Družba bo v letu 2010 sledila spremembam v poslovnem okolju in se usmerjala v (CPG 2010):

- razvoj vseh elementov ter vzdrževanja in varstva cest,
- pridobivanje in izvajanje koncesij za izvajanje vzdrževanja in varstva državnih in lokalnih cest,
- kakovostno uresničevanje pogodbenih obveznostih v zvezi z investicijami naročnikov,
- uvajanje novih tehnologij z namenom ustvarjanja nove dodane vrednosti in čim večjega izkoristka zaposlenih v družbi, zadovoljstvo potreb naročnikov,
- povečanje konkurenčnosti z nižanjem stroškov s čim boljšo izrabo delovnih sredstev in zaposlenih,
- izobraževanje lastnih kadrov na tehnološkem področju, na področju okoljske osveščenosti ter spreminjanju in prilagajanju zakonodaje evropskim smernicam,
- povečanje obsega vzdrževanja državnih cest s sprotnimi in stalnimi zahtevami za izvajanje ukrepov za izboljšanje prometne varnosti do upravljavca,
- izkoriščanje možnosti uporabe opreme, materiala in kadra v skupini,

- razvoj in poslovanje v skladu s standardi ISO 9001:2000 in ISO 14001:2004,
- izvedbo posodobitve tehnologij v proizvodnji z namenom zmanjšanja škodljivih vplivov na okolje.

Poglavitni cilji delovanja družbe so (CPG 2010):

- realno povečanje produktivnosti zaposlenih,
- ohranitev donosnosti kapitala na sedanji ravni,
- ohranitev gospodarnosti poslovanja na sedanji ravni,
- obvladovanje materialnih gradbenih resursov na severnem Primorskem.

4.2 Obrazložitev izvedbenega programa zimske službe

Izvedbeni program zimske službe je izdelan v skladu z določili Zakona o javnih cestah (ZJC – UPB1, Ur. l. RS, št. 33/2006, 45/2008, 57/2008 – ZLDUVCP), Pravilnikom o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest (Ur. l. RS, št. 62 z dne 11. 9. 1998), Uredbe o kategorizaciji državnih cest (Ur. l. RS, št. 33 z dne 24. 4. 1998) ter Odredbi o omejitvi prometa na cestah v Republiki Sloveniji (Ur. l. RS, št. 63/2006, 73/2006, 5/2007, 57/2007).

V sklopu CPG je zimska služba samo eden od segmentov rednega vzdrževanja cest zaradi izjemnih razmer, ki nastajajo na cestah, predvsem ob poledici, snegu, sodri, žledu in drugih razmerah. Je najtežja in tudi najbolj zahtevna aktivnost.

Vse ukrepe v zvezi z zimsko službo je treba opraviti pravočasno, v skladu s Pravilnikom o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest.

K delu je namreč treba pristopiti s pravočasnim in preventivnim posipanjem in odstranjevanjem snega z vozišč. Ko se zimsko obdobje konča, je treba čiščenje cest zaključiti z odstranjevanjem dopolnilne signalizacije, opreme in cestnih naprav za zimsko službo in ureditvi okolice cestišča.

Odstranjevanje snega z voznih površin glavnih cest se prične takrat, ko višina snega na cestah še ne presega 10 cm, na regionalnih in drugih cestah ter na pasovih, namenjenih izločanju vozil, pa takrat, ko zapade 15 cm snega. Promet je možen z uporabo zimske opreme. Vzdrževanje prevoznosti cest traja toliko časa, kolikor je to smiselno, v nasprotnem primeru se ceste zaprejo.

Največji strošek zimske službe predstavlja poledica. Največja pogostost poledice nastopi ob pogojih, ko je podnevi toplo (taljenje snega), ponoči pa zmrzuje. Zato morajo dežurne ekipe stalno opravljati nadzor o stanju vozišč, posebej kritičnejših odsekov. To velja predvsem za ostre krivine, večje strmine, mostove, senčne odseke (posebej v gozdovih in ob vodotokih), cestne prehode preko železnice, cestna križišča in podobno.

Posipanje se začne takoj, ko se na cestišču pojavi poledica. Na cestnih odsekih, kjer se pogosto pojavlja poledica in je to glede na splošne značilnosti ceste posebno nevarno za promet, je treba postaviti dodatne prometne znake kot opozorilo udeležencem v prometu. Na cestah oziroma daljših cestnih odsekih, za katere je v programu zimske službe predvideno tudi preventivno posipanje, se posip izvrši že ob sami napovedi možnosti nastanka poledice.

Materiali za posipanje so ob pripravi programa zimske službe delno že na zalogi, manjkajoči so dostavljeni postopno, vendar praviloma pravočasno. Dostava se uravnava s porabo.

Delavci v zimski službi imajo s poslovnikom za delo in poslovanje v zimski službi opredeljene tudi obveznosti. Praviloma mora vodja posameznega območja o obveznostih poučiti razporejene delavce v zimski službi na sestanku pred zimsko službo. Glede na pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest (Ur. l. RS, št. 62 z dne 11. 9. 1998) bodo vodje operativnih sektorjev na navedenem sestanku seznanjali delavce z obvezami, ki izhajajo iz pravilnika zimske službe.

4.3 Način izvajanja zimske službe

Za zagotavljanje prevoznosti cest in varnosti cestnega prometa ter pravočasnega ukrepanja je v času zimske službe od 15. novembra do 15. marca, po potrebi pa tudi izven tega obdobja, izvajanje zimske službe razdeljeno na več faz:

Faza 1 predstavlja ekipo na vsaki zimski bazi, ki obsega dežurnega voznika 24 ur na delovnem mestu ter cestarja in strojnika v pripravljenosti na domu. Pripravljeni morajo biti poltovorno pregledniško vozilo, tovorno vozilo, opremljeno z avtomatskim ali vlečnim posipalcem in čelnim snežnim plugom, ter rovokopač. V primeru izrednih razmer (sneženje, splošna poledica) je ekipa vključena v zimsko akcijo kot enota za posipnanje ali pluženje.

Faza 2 nastopi ob vremenski napovedi Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije (pričetek sneženja, poledica). Po odredbi strokovne službe DRSC Ljubljana izvajanje zimske službe preide v fazo 2, kar pomeni vključitev vozil z vozniki in cestarji k vsaki dežurni ekipi, ki se jih po potrebi pokliče na delovno mesto. Uvede se pripravljenost na domu še dodatnih ekip. Pričetek druge faze pripravljenosti pisno odredi odgovorni vodja zimske službe po telefaksu, posredovanem glavnemu dežurnemu na DRSC in nadzoru DDC, ki stanje pisno potrdi ali prekliče. Pričetek, konec in stopnjo pripravljenosti odreja strokovna služba upravljavca cest DRSC Ljubljana z uradnim pisnim obvestilom (telefaksom), prispelim na sedež posameznih cestnih podjetij Slovenije, najkasneje do 12. ure tistega dne ob delavnikih oziroma najmanj 24 ur pred veljavnostjo odredbe v dela prostih dneh.

Faza 3 nastopi ob nadaljnjem poslabšanju vremenskih razmer (sneženja ali nastanek poledice). V tej fazi morajo vključiti dodatne, s planom predvidene mehanizacije in delovne sile v neposredno izvajanje zimske službe. Če s planom predvidena mehanizacija in delovna sila ne zadoščata za obvladovanje razmer (vzdrževanje stalne prevoznosti na državnih cestah), se v izvajanje zimske službe vključi dodatna mehanizacija (vozila in stroji) in nujno potrebna delovna sila (izredne razmere).

4.4 Materiali za posipanje cest

Za posipanje cest se uporablja morska ali kamena sol. Zadoščati mora vsem razpisanim pogojem DRSC glede granulometrijske sestave, dovoljene vsebnosti vlage in primesi (nečistoč). Uporablja se granulacija soli 0–4 mm za posip z vlečnimi posipalci, sama ali kot mešanica soli in gramoza v določenem razmerju. Granulacija 0-2 mm se uporablja za posip z avtomatskimi posipalci, sama ali kot mešanica soli (NaCl) in raztopine $CaCl_2$ oz. $MgCl_2$. Pri skladiščenju se sol rada strdi, zato ji morajo dodati sredstva proti strjevanju. Skladiščijo jo v urejenih pokritih skladiščih v razsutem stanju ali v vrečah.

Drobljenec je drobljeni material iz apnenčeve kamnine – naplavine, ki se pridobiva v separaciji Volče pri Tolminu, frakcij 4–8 mm in 8–16 mm. Drobljenec mora ustrezati zahtevanim atestom. Za posipanje asfaltnih vozišč uporabljajo frakcijo 4–8 mm samo ali kot mešanico s soljo v določenem razmerju. Za posip makadamskih vozišč uporabljajo frakcijo 8–16 mm. Urejena imajo pokrita odprta skladišča oz. ga skladiščijo v deponijah na prostem.

$CaCl_2$ je 20 % raztopina kalcijevega klorida, uporabljajo jo za posip asfaltnih vozišč v kombinaciji s suho soljo v različnih razmerjih mešanja glede na dane vremenske pogoje. Raztopino skladiščijo v cisternah.

$MgCl_2$ je raztopina z enakimi lastnostmi kot $CaCl_2$. Raztopino skladiščijo v cisternah.

4.5 Okvirne količine posipa

Iz ekoloških razlogov je treba količino porabe materialov za posipanje optimizirati. Poraba je torej omejena na najmanjšo možno mejo, ki še zagotavlja učinkovito odpravo poledice. Pri posameznih posipalcih za mokro ali suho posipanje, ki so opremljeni z napravami za nastavitev doziranja, so deklarirane količine naslednje:

Tabela 1: Količine materiala za posipanje

Vrsta posipalca	Vrsta sredstva	Količina
Arvel Gilette	Poraba soli	5–50 g/m^2
	Poraba gramoznega materiala	30–200 g/m^2
Kupper Weisser	Poraba soli	5–40 g/m^2
	Poraba gramoznega materiala	25–200 g/m^2
Epoke	Poraba soli	5–50 g/m^2
	Poraba gramoznega materiala	30–200 g/m^2

Vir: CPG 2009.

Pri mokrem posipanju je normalno doziranje suhe snovi in raztopine v masnem razmerju 70:30.

4.6 Osnove za določitev števila enot za posipanje in pluženje

Osnova za določitev in izračun števila enot za posipanje in pluženje je stanje in dolžina cestnega odseka. Pri posipanju je treba upoštevati naslednje:

– Na vzdolžnih naklonih cest, ki znašajo 4 % ali več, gladkost vozišča še posebej vpliva na propustnost in varnost prometa. Take cestne odseke je treba večkrat posipati.
– Pri širinah vozišč 7 m ali več je potrebnih za enakomerno posutje materiala za posipanje več prehodov.
– Mestne relacije zahtevajo zaradi mestnega javnega prometa, vpliva križišč ter drugih okoliščin pogostejše in temeljitejše posipanje.
– Če na enem odseku nastopa več parametrov, se upoštevajo vsi, ki nastopajo.

Pri pluženju je treba upoštevati naslednje:

– Na vzdolžnih naklonih cest, ki znašajo 4 % ali več, se vozi počasneje, uporabljajo se težji tovornjaki, kar povzroča veliko zamudo ob uporabi verig.
– Če je širina vozišča pri dvosmernem prometu enaka 6 m ali več, ena plužna enota ne zmore splužiti celotne širine; v takem primeru naj plužno enoto tvorita dva pluga. Pri več prometnih pasovih v eno smer naj plužno enoto tvorijo trije plugi.
– Mestne relacije so zaradi mestnega prometa, robnikov in križišč zamudnejše za pluženje.

Če na enem odseku nastopa več parametrov, se upoštevajo vsi.

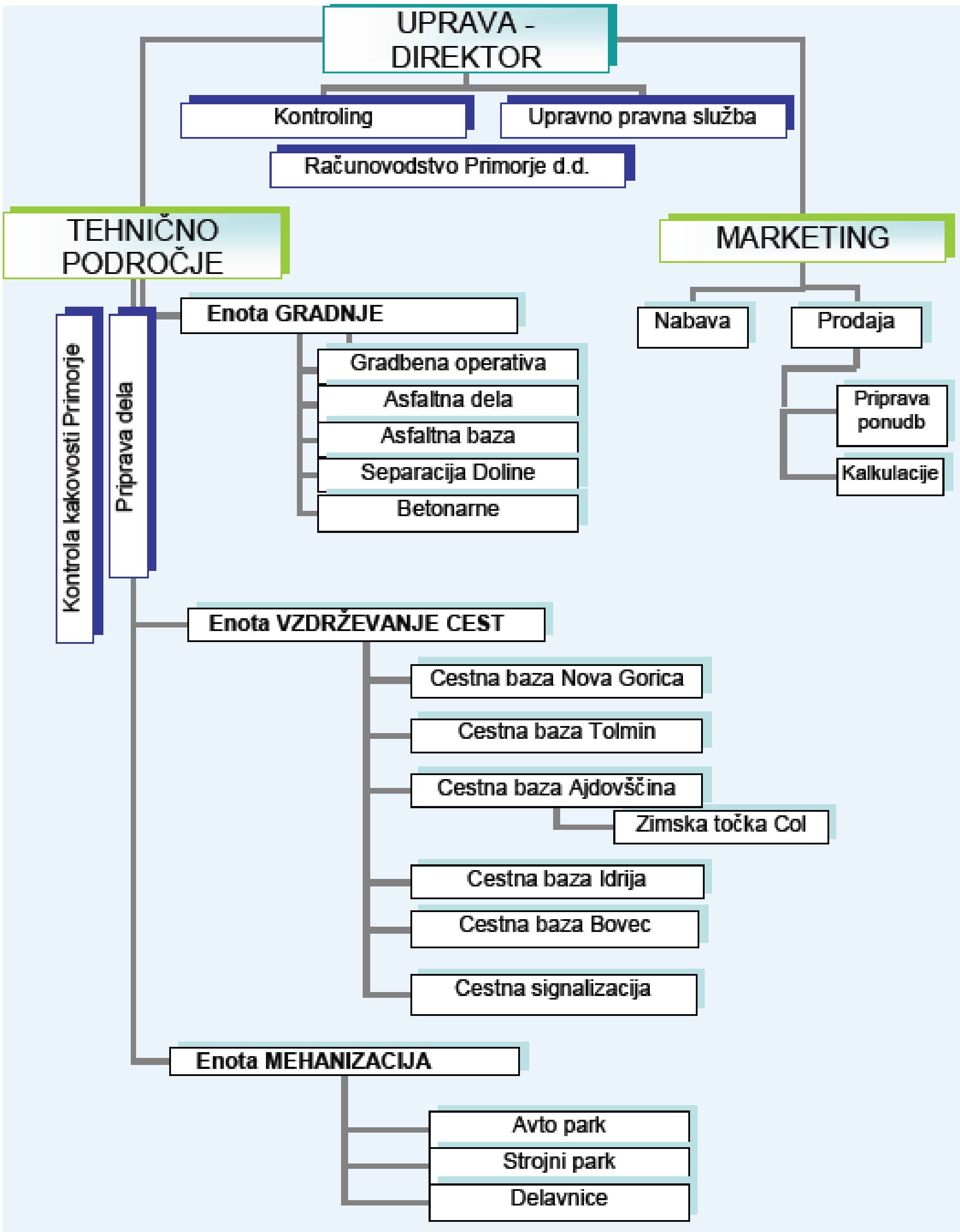
4.7 Naloge dežurnega v zimski službi na cestni bazi

Naloge glavnega dežurnega v zimski službi opravljajo delavci CPG s srednjo strokovno izobrazbo, ki so za ta dela dovolj poučeni in usposobljeni. Dežurstvo opravljajo 24 ur dnevno neprekinjeno po razporedu dežurstva od dneva uvedbe nepretrganega dežurstva (načeloma od 15. novembra do 15. marca) do končanja zimske službe. Dejanski začetek oz. konec zimske službe lahko nastopi tudi prej ali pozneje, kar je odvisno od vremenskih razmer (CPG 2009).

Glavni dežurni opravlja naslednje naloge (CPG 2009):
- organizira in spremlja pluženje in posipanje po posameznih cestnih bazah,
- koordinira dela dežurnih po cestnih bazah,
- spremlja stanje in prevoznost po posameznih cestnih odsekih ter pošilja tako dobljene podatke na DRSC oziroma nadzoru DDC,
- vrši stike s predstavniki DRSC oziroma nadzorom DDC v Ljubljani, področnim OKC, AMZS Ljubljana, področnim centrom za obveščanje in ostalimi mediji ter jih stalno obvešča o razmerah na cesti v pisni in ustni obliki preko faksa, telefona, radio zvez in elektronske pošte,
- spremlja vremenske razmere in napoved (višino padavin, temperaturo, zračni tlak ...),
- vodi evidence o zaporah cest, prometnih nezgodah, ovirah na cestah in o tem sproti obvešča,
- organizira zapore cest in obvozov ter postavitev ustrezne cestno-prometne signalizacije,
- pomaga pri odpravljanju okvar mehanizacije in opreme v zimski službi,
- v primeru obilnih snežnih padavin organizira štab zimske službe,
- v času potrebe vrši pregled kritičnih odsekov in nadzor nad stanjem na terenu,
- obvešča svojega naslednika o pomembnih dogodkih in stanju cest v času svojega dežurstva,
- o svojem delu v času dežurstva vodi kronološko knjigo dežurstva na predpisanih obrazcih ter vreme, stanje in prevoznost cest,
- vrši vsa ostala nepredvidena dela.

4.8 Organizacijska shema družbe CPG, d. d.

Družba CPG, d. d., je vključena v poslovni sistem Skupine Primorje, ki deluje v skladu z opredeljenimi smernicami nadaljnjega strateškega razvoja. Delovanje skupine Primorje je organizirano v petih osnovnih dejavnostih (CPG 2010):
- visoke gradnje,
- nizke gradnje,
- strojna dejavnost,
- tržna gradnja,
- dela v tujini.



Slika 26: Organizacijska shema

Vir: CPG 2010.

Družba CPG, d. d., je po naravi svoje dejavnosti uvrščena v dejavnost nizke gradnje. Tovrstna organiziranost predstavlja lažjo koordinacijo pri oskrbi z viri, pri osvajanju novih tehnologij ter izvedbi del v zadovoljstvo končnega kupca. Vsekakor predstavlja racionalnejše poslovanje vseh družb z medsebojno izmenjavo delovne opreme, znanja in usposobljenega osebja. Svojo dejavnost družba združuje v na področju tehnike, ki se deli na tri proizvodne enote glede na naravo njihove dejavnosti:

- enota Gradnje deluje za izvedbo gradbenih in asfalterskih del ter proizvodnjo gradbenih materialov v asfaltni bazi;
- enota Vzdrževanje cest skrbi za izvedbo del rednega vzdrževanja državnih in lokalnih cest, zimske službe in izvedbe manjših gradbenih del preko petih cestnih baz na celotnem območju severne Primorske;
- enota Mehanizacija skrbi za podporo enotama Gradnje in Vzdrževanje cest z gradbeno mehanizacijo in vozili ter z mehaničnimi delavnicami za vzdrževanje mehanizacije in storitev ključavničarskih ter ličarskih del

Dejavnost družbe obsega tudi dejavnost marketinga, ki združuje procesa prodaje in nabave. Področje prodaje zajema kalkulacije in pripravo ponudb ter urejanje pogodbenih odnosov s kupci njihovega proizvodnega programa. Področje nabave zagotavlja potrebne zunanje vire (material in storitve) za delovanje proizvodnih procesov.

Ekonomsko tehnične službe pod okriljem uprave družbe skrbijo za nemoteno delovanje proizvodnih enot. Služba 'Priprava dela in projektiva' pripravlja elaborate pred izvedbo del, projektiranje za potrebe kalkulacij in izvedbene projekte po dokončanju del. Izdelava projektne dokumentacije in prometnih elaboratov se izvaja tudi za zunanje naročnike. Znotraj upravno-pravne službe se izvajajo vsa opravila kadrovske narave in priprava pravnih postopkov, pa tudi vodenje evidence prijavljenih prometnih nesreč na območju delovanja družbe, kjer kot možni vzrok nesreče obstaja stanje vozišča. Službe v podpornih procesih Skupine Primorje so organizirane znotraj obvladujoče družbe in so pooblaščene, da določajo načine delovanja ostalih družb v skupini ter tako zagotavljajo enoten način dela v Skupini. S tem določilom in pogodbo o strokovnem sodelovanju med družbama Primorje in CPG, d. d., obvladujoča družba zagotavlja odvisni storitve računovodstva, delno pa tudi kadrovske in pravne storitve ter vse storitve, povezane z informacijsko tehnologijo.

5 MODEL ZA DOLOČITEV OPTIMALNE ORGANIZIRANOSTI PLUŽENJA IN POSIPANJA CEST

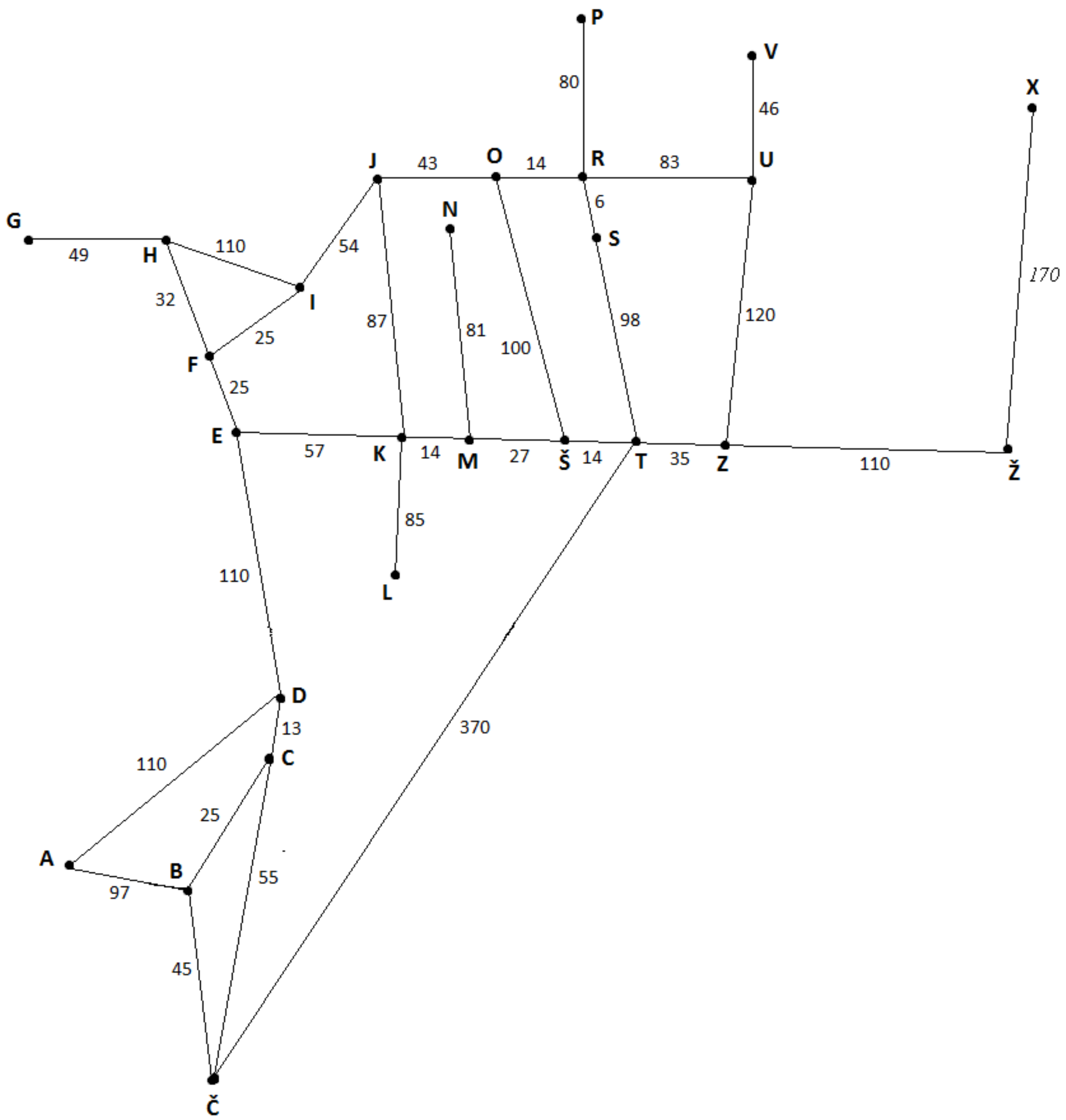
5.1 Uporaba teorije grafov pri reševanju problema posipanja in pluženja cest

V skladu z opredelitvijo problema, predstavljenega v uvodnem poglavju, je osrednji namen projektne naloge zasnovati model za reševanje optimizacijskega problema organiziranja posipanja in pluženja cest v zimskih razmerah. Tako zastavljen problem predstavlja izpeljanko znanega problema kitajskega poštarja. V smislu prilagoditve modela za obravnavo izvajanja zimske službe je treba upoštevati več dejavnikov. Zima namreč ni predvidljiva z več vidikov; natančno oz. zanesljivo ni mogoče predvideti, koliko snega bo zapadlo ter za koliko se bodo temperature spustile oziroma dvignile. Zato mora odgovorni v zimski službi stalno spremljati vremenske razmere in cestišča. V modelu bomo obravnavali kritičen odsek 1034 glavne ceste 102 II. reda Marof–Godovič, dolžina odseka je 13.277 m, ter nekatere ulice v Spodnji Idriji. Kritičen odsek je poseben prav zaradi tega, ker ima pozimi zimska služba veliko dela zaradi velikih, okrog 300 m višinskih razlik. V Marofu sneži, v Idriji so dežne plohe in nevarnost poledice, zato morajo biti tu še posebno previdni, kakšno mešanico materiala za posipanje bodo uporabili. Ker bi bil problem optimizacije celotne mreže preveč kompleksen in bi presegel okvir projektne naloge, smo se omejili na nekatere ulice v Spodnji Idriji, ki zajemajo 26 točk, od tega 20 točk predstavljajo križišča, 6 točk predstavlja konec slepe ulice, 33 povezav pa ustreza ulicam.

V nadaljevanju bomo v smislu manjše kompleksnosti navedli predpostavke našega problema:
- na cestišču je 10 cm snega in ni snežnih padavin,
- omejili se bomo na eno vozilo, ki je hkrati sredstvo za pluženje in za posipanje,
- omejili se bomo na naslednji optimizacijski problem: najmanj opravljenih metrov za opravljeno delo, saj je v interesu podjetja opraviti čim manj metrov in posledično porabiti čim manj materiala za posip,
- skupna dolžina ulic je 2390 m,
- količina materiala za posipanje je različna, zato smo se opredelili na material za posipanje samo na ulicah, kjer bo količina materiala razporejena enako po vseh ulicah,
- po vseh ulicah enaka količina materiala za posipanje: vsi odseki cestnega omrežja so enako široki ter imajo enak naklon in enako gladko cestišče.

5.2 Analiza postopka pluženja, ki ga izvaja CPG, d. d.

Oblikovan bo model, ki bo temeljil na prej navedenih predpostavkah. Pod drobnogled smo vzeli nekatere ulice v Spodnji Idriji. Začetna oziroma končna točka je v našem primeru točka *A*, saj tu baza podjetja CPG začne s pluženjem in posipanjem. V nadaljevanju bomo predstavili potek po modelu problema kitajskega poštarja.



Slika 27: Graf ulic v Spodnji Idriji

V nadaljevanju bomo predstavili potek pluženja in posipanja, ki ga na izbranem sistemu mreže ulic v Spodnji Idriji izvaja eno sredstvo za pluženje podjetja CPG, d. d. Izbrani sistem mreže ulic zajema 20 križišč ter šest končnih točk, ki predstavljajo slepo ulico, in 33 povezav oziroma ulic v skupni dolžini 2390 metrov. Sistem mreže ulic, ki jih bomo vključili v naš model, lahko ponazorimo z grafom, ki je predstavljen na sliki 27. Utežen graf vključuje 26 vozlišč, ki ustrezajo križiščem, in 33 utežnih povezav, ki pripadajo ulicam in njihovim dolžinam. Posebej velja omeniti, da nobena izmed ulic v modelu ni enosmerna. V primeru enosmernih ulic bi bil namreč pripadajoči graf tudi usmerjen, kar bi dodatno zapletlo algoritem iskanja najkrajše poti. V konkretnem primeru pluženja in posipanja sistema mreže ulic bi vozilo podjetja CPG, d. d., ki bi obhod začelo in končalo v točki *A*, slednjega opravilo v naslednjem zaporedju:

a, d, e, f, h, g, h, i, f, e, k, j, i, j, o, r, p, r, u, v, u, z, ž, x, ž, z, t, s, r, o, š, t, č, c, d, e, k, l, k, m, š, m, n, m, k, e, d, c, b, č, b, a.

V sklopu opravljenega obhoda bi vozilo prevozilo 51 povezav oz. opravilo obhod v skupni dolžini 3537 metrov. Če predpostavimo, da prevozno sredstvo ves čas pluženja in posipanja vozi z enakomerno hitrostjo (za res realno oceno bi bilo treba upoštevati tudi čas obračanja, ustavljanja v križiščih, izogibanja nasproti vozečim vozilom, izmikanja posebnim oviram) 15 km/h, bi za ta obhod potrebovalo 14 minut.

Če predpostavimo iz tabele 1 srednjo količino soli 15 g/m^2 in ravno tako srednjo količino 90 g/m^2 gramoznega materiala, bi za ta obhod, če imamo 3537 metrov dolge in 4 m široke ulice, podjetje porabilo približno 212.220 g soli in 1.273.320 g gramoznega materiala. Predpostavimo, da posipajo tudi tiste povezave, ki so jih že prevozili. Skupna količina vsega porabljenega materiala za posip predstavlja 1.485.540 g.

5.3 Analiza modela s pomočjo problema kitajskega poštarja

V nadaljevanju bomo za izbrani nabor cest oziroma za mrežo izračunali optimalno pot v skladu z zapisano metodo za določitev najkrajšega obhoda oziroma njene organiziranosti:

Prvi korak. Začeli bomo v točki *A*, ki je naša začetna in hkrati končna točka. Pogledamo, če je graf Eulerjev, če je, bi obstajal Eulerjev obhod, ko ima vsaka točka v grafu sodo stopnjo, česar v našem primeru ne moremo trditi.

Drugi korak. Ugotovimo, da naš graf ni Eulerjev, ker imamo točke *b, c, č, d, e, f, g, h, i, j, l, m, n, o, p, š, u,v, z* in *x* lihe stopnje točk.

Stopnje točk: deg(*b)=3, deg(c)=3, deg(č)=3, deg(d)=3, deg(e)=3, deg(f)=3, deg(g)=1, deg(h)=3, deg(i)=3, deg(j)=3, deg(l)=1, deg(m)=3, deg(n)=1, deg(o)=3, deg(p)=1, deg(š)=3, deg(u)=3, deg(v)=1, deg(z)=3* in *deg(x)=1.*

Tretji korak. Med ustreznimi pari točk lihe stopnje jim podvojimo povezave skupaj s pripadajočimi utežmi. V našem primeru so pari točk prikazani na sliki 28.

Pari točk so naslednji: *bč, cd, ef, gh, ij, kl, km, mn, mš, or, rp, uv, zž in žx*.

Parom točk podvojimo uteži, in sicer: *bč=45, cd=13, ef=25, gh=49, ij=54, kl=85, km=14, mn=81, mš=27, or=14, rp=80, uv=46, zž=110,* in *žx=170.*

Četrti korak. V našem primeru so točke *g, l, n, p, v* in točka *x* na grafu, ki se končajo s stopnjo ena (*deg=1*) slepe ulice, povezave in uteži jim enostavno podvojimo, ker se moramo iz te točke po isti poti vrniti na križišče. Povezave, ki jim podvojimo, so *gh, kl, mn, rp, vu,* in *xž,* kot prikazuje slika 28. Povezavam moramo podvojiti tudi stopnjo točk, ki so naslednje: za točke deg(*g)=2, deg(l)=2, deg(n)=2, deg(p)=2, deg(v)=2* in *deg(x)=2.* Točkam *h, k, m, r, u* in *ž* podvojimo stopnjo točk *deg=4.*

Peti korak. Točke *b, c, č* in *d* rešimo tako, da poiščemo vse možne pare točk in njihovo najkrajšo razdaljo med paroma točk.

Razdalja med paroma točk:
- *bč=45,*
- *bc=25,*
- *bd=38* (povezava *b,c,d*),
- *čc=55,*
- *čd=68* (povezava *č,c,d*),
- *cd=13.*

Seštejemo vse možne kombinacije parov točk in poiščemo najkrajšo razdaljo med njimi:
- *bč+cd=45+13=58,*
- *bc+čd=25+68=93,*
- *bd+čc=38+55=93.*

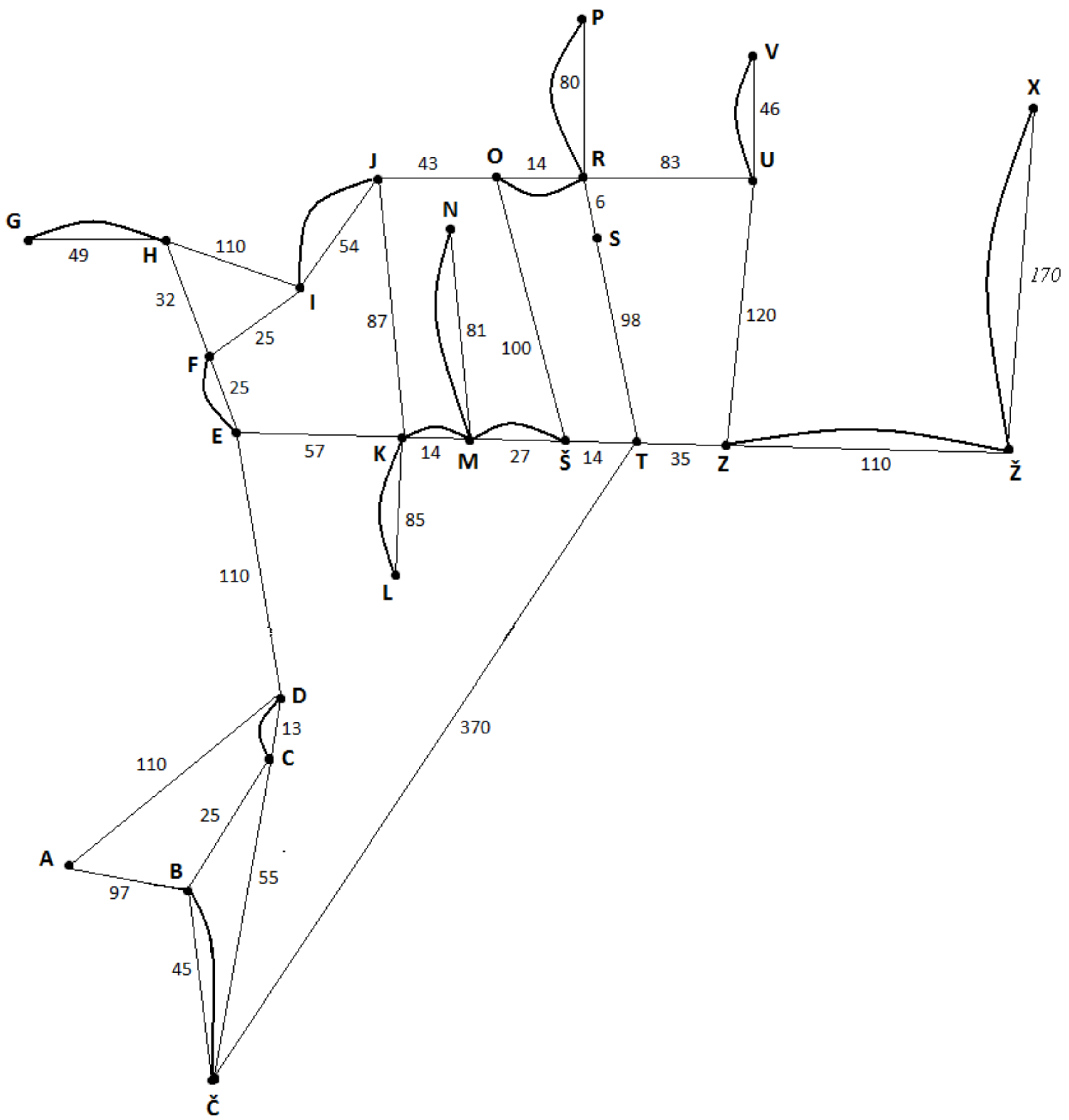
Najkrajši seštevek parov toč je *58,* in sicer med pari točk *bč* in *cd* podvojimo stopnjo točk, da postanejo sode stopnje s stopnjo *deg=4.*

Šesti korak. Točke, ki imajo stopnjo *deg=3,* so še: *i, j, e* in *f,* ki jima dodamo še eno povezavo, da postaneta sodi točki s stopnjo *deg=4.*

Točki *k*, ki je pred povezavo s stopnjo točke *l* imela sodo *deg=4,* smo dodali povezavo z *l,* ima sedaj *deg=5,* zato jo moramo povezati s točko *m.* Točko *m* pa povežemo s točko *š,* da vsaka točka dobi sodo stopnjo. Točki *k* in *m* imata sedaj *deg=6,* ter točka *š deg=4.* Zaradi povezave s točko *x* in *ž* ima točka *ž deg=3,* zato jo povežemo še z edino točko lihe stopnje, točko *z,* in ji dodelimo povezavo in nato dobita točki z in *ž deg=4.* Ko smo vsem točkam lihe stopnje podvojili povezavo na našem grafu, imajo točke sedaj sodo stopnjo, zato rečemo, da je sedaj ta graf Eulerjev.

Sedmi korak. Ko imajo vse točke v danem grafu sodo stopnjo, lahko naredimo obhod z naslednjim zaporedjem:

a, b, č, t, z, ž, x, ž, z, u, v, u, r, p, r, s, t, š, o, r, o, j, k, m, n, m, š, m, k, l, k, e, f, i, j, i, h, g, h, f, e, d, c, č, b, c, d, a.



Slika 28: Optimalna rešitev v izbrani mreži ulic

- Zaporedje z Eulerjevim algoritmom ima 47 povezav, kar pomeni štiri povezave manj kot jih ima podjetje CPG.
- Vsota vseh spluženih in posipanih ulic je 3203 m, kar je za 334 m krajša razdalja od obravnavanega podjetja.
- Dobili smo optimalno pot od začetne do končne točke.
- V primeru optimalne rešitve bi za obhod razdalje 3203 metrov ob povprečni hitrosti 15 km/h potrebovali 12 minut. Izkaže se, da je podjetje CPG, d. d., po nepotrebnem naredilo več povezav in s tem porabilo več časa.
- Sicer je vsota vseh dolžin povezav teh ulic 2390 m. Celotna teža optimalne rešitve povezav je 3203 metrov. To pomeni, da smo prevozili 813 m več zaradi točk, ki so imele liho stopnjo in smo jim dodali povezavo.

- Predpostavimo, da v našem primeru uporabimo podatke iz tabele 1, in sicer srednjo količino soli 15 g/m^2 in ravno tako srednjo količino 90 g/m^2 gramoznega materiala. Za Eulerjev obhod dolžine 3203 metrov in 4 metre široke ulice bi porabili približno 192.180 g soli in 1.153.080 g gramoznega materiala, pri tem posipamo tudi tiste povezave, ki smo jih že prevozili. Skupna količina materiala za posipanje predstavlja 1.345.260 g.

5.4 Predlog podjetju CPG, d. d.

S predstavljenim modelom, ki temelji na algoritmu iskanja najkrajše poti, smo določili optimalno rešitev problema organiziranja pluženja ulic v Spodnji Idriji.

Omeniti je treba omejitve, ki jih v modelu nismo upoštevali. Upoštevati bi morali tudi osemurni delovni čas, polnjenje sredstva za posip, ko se le-to izprazni, umikanje oviram na cesti, umikanje drugim prevoznim sredstvom, polnjenje goriva prevoznemu sredstvu, temperature, spremembo vremenskih razmer ...

Na podoben način bi lahko rešili bolj zapletene mreže, ki se jih lotevamo z več sredstvi, vendar bi bil model bolj kompleksen.

Za uporabnike oziroma voznike cest oziroma ulic je najbolj optimalno, da so cestišča hitreje očiščena. Podjetje ima dobro organizacijo dela, saj v večini pluži samo glavne in regionalne ceste, kjer je drugačna strategija kot pri ulicah. Podjetju bi predlagala, naj za vsak svoj graf ulic oziroma cest uporablja problem kitajskega poštarja, saj enote za pluženje in posipanje v krajšem času prej posipajo in splužijo vse ulice svojega rajona ter ob tem porabijo manj materiala.

6 SKLEP

V zaključni projektni nalogi smo prikazali praktični primer rešitve znanega problema kitajskega poštarja, ki smo ga rešili z algoritmom najkrajše poti, Fleuryjevega algoritma in Eulerjevega obhoda za nekatere ulice v Spodnji Idriji. Predstavili smo pripadajoči utežni graf, ki je predstavljal mrežo ulic z njihovimi razdaljami ter točkami, ki so predstavljale križišča. Glede na naravo problema je cilj oblikovati najkrajši obhod.

Ugotovili smo, da smo s pomočjo Eulerjevega obhoda naredili 47 povezav oziroma prevozili 3203 metre, porabili 12 minut ter porabili skupne količine soli in gramoznega materiala za posipanje 1.345.260 g.

Podjetje CPG, d. d., je obhod med točkami *d, e, k* podvojilo in ravno te povezave so jim povzročile višje stroške porabljenega materiala, daljšo obhodno pot in tudi večjo porabo časa. Podjetje je prevozilo 51 povezav oz. opravilo obhod v skupni dolžini 3537 metrov. Za ta obhod so potrebovali 14 minut ter porabili v skupni količini 1.485.540 g materiala za posipanje.

Pri Eulerjevem obhodu smo predvideli štiri povezave oziroma 334 metrov manj, kot jih izvaja podjetje CPG, d. d. Pri tem smo porabili bistveno manj materiala za posipanje, in sicer za kar 140.280 g. Pri tem smo porabili 20.040 g manj soli ter 120.240 g manj gramoznega materiala. Podjetje bi za enako količino opravljenega dela porabilo v tem primeru tudi več časa.

LITERATURA

CPG 2009 – Cestno podjetje Nova Gorica, družba za vzdrževanje in gradnjo cest, d. d. 2009. *Izvedbeni program zimske službe 2009–2010*. Interno gradivo, CPG, d. d.

CPG 2010 – Cestno podjetje Nova Gorica, družba za vzdrževanje in gradnjo cest, d. d. 2010. *Letno poročilo 2009*. Poslovni dokument, Cestno podjetje Nova Gorica, družba za vzdrževanje in gradnjo cest, d. d.

Oblak, Ana. 2007. *Teorija grafov*. Http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2006/ura/oblak/html/index.html (december 2010).

Odredba o omejitvi prometa na cestah v Republiki Sloveniji. *Uradni list RS*, št. št. 63/2006, 73/2006, 5/2007 in 57/2007.

Pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest. *Uradni list RS*, št. 62/98.

Uredba o kategorizaciji državnih cest. *Uradni list RS*, št. 33/98.

Wilson, Robin J. in John J. Watkins. 1997. *Uvod v teorijo grafov*. Ljubljana: Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije.

Zakona o javnih cestah. *Uradni list RS*, št. 29/97.

Žerovnik, Janez. 2003. *Osnove teorije grafov in diskretne optimizacije*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.