

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jenko, D., 2014. Modeliranje vzorca prostorskih interakcij v geografskem informacijskem sistemu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Drobne, S.): 59 str.

Datum arhiviranja: 21-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jenko, D., 2014. Modeliranje vzorca prostorskih interakcij v geografskem informacijskem sistemu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Drobne, S.): 59 pp.

Archiving Date: 21-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE TEHNIČNO  
UPRAVLJANJE  
NEPREMIČNIN**

Kandidat:

**DEJAN JENKO**

**MODELIRANJE VZORCA PROSTORSKIH  
INTERAKCIJ V GEOGRAFSKEM INFORMACIJSKEM  
SISTEMU**

Diplomska naloga št.: 31/TUN

**MODELLING SPATIAL INTERACTION PATTERNS IN  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

Graduation thesis No.: 31/TUN

**Mentor:**  
viš. pred. mag. Samo Drobne

**Predsednik komisije:**  
viš. pred. mag. Samo Drobne

Ljubljana, 01. 07. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVE

Podpisani Dejan Jenko izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Modeliranje vzorca prostorskih interakcij v geografskem informacijskem sistemu«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 10.6.2014.

Dejan Jenko

## **BIBLIOGRAFSKO DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 711.2:659.2:004:91(043.2)  
**Avtor:** Dejan Jenko  
**Mentor:** viš. pred. mag. Samo Drobne  
**Naslov:** Modeliranje vzorca prostorskih interakcij v geografskem informacijskem sistemu  
**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – visokošolski študij  
**Obseg in oprema:** 59 str., 23 sl., 10 en., 9 pril.  
**Ključne besede:** prostorske interakcije, upodobitev prostorskih interakcij, vzorec prostorskih interakcij, funkcionalne povezave, delovna mobilnost

### **Izveček**

V diplomski nalogi smo obravnavali več pristopov modeliranja vzorcev prostorskih interakcij. Pri tem smo preizkusili dva uveljavljena pristopa, sami pa smo zasnovali še tri metode. Metodološko izhodišče je predstavljalo delo Walda Toblerja (1975). Postopke modeliranja in upodobitve prostorskih interakcij smo avtomatizirali. Računske operacije in razvoj skriptnih orodij smo izvedli v programu za matrično računanje MatLab, kartografske prikaze pa smo izdelali v programskem paketu ArcGIS. Obravnavane metode smo preizkusili za primer delovne mobilnosti med statističnimi regijami in občinami Slovenije leta 2011.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 711.2:659.2:004:91(043.2)  
**Author:** Dejan Jenko  
**Supervisor:** Sen. Lect. Samo Drobne, MSc  
**Title:** Modelling spatial interaction patterns in geographic information system  
**Document type:** Graduation thesis – higher education professional study  
**Notes:** 59 p., 23 fig., 10 eq., 9 ann.  
**Keywords:** spatial interactions, modelling spatial interactions, spatial interaction patterns, functional connections, commuters

**Abstract**

In diploma thesis we analysed several approaches of modelling spatial interaction patterns. We thoroughly tested two common approaches and developed three other methods. The basis for our research was presented by Waldo Tobler (Tobler, 1975). Approaches of modelling and cartographically presenting spatial interactions have been automatized. We used MatLab to develop script tools and perform mathematical computations, while ArcGIS was used to create cartographic materials. In the application of the analysed methods, data on commuters between statistical regions and municipalities of Slovenia for 2011 were used.

## ZAHVALA

V prvi vrsti bi se rad zahvalil mentorju diplomske naloge, viš. pred. mag. Samu Drobne za strokovno vodstvo pri izdelavi, neutrudni želji po akademskem raziskovanju in sodelovanju. Njegova zagnanost in vnema sta name vplivali kot dodatna motivacija.

Zahvala gre tudi mentorjema Erasmus študijske izmenjave iz Fakultete znanosti, Karlove Univerze v Pragi, doktorju znanosti profesorju Luděku Sýkora in doktorju znanosti Přemyslu Štych.

Iskreno hvala pa tudi vsem domačim, prijateljem, znancem in ostalim, ki so me podpirali in bodrili med študijem in pri izdelavi zaključne naloge.

Hvala!

## CREDITS

First of all, I would like to say thank you to my mentor Sen. Lect. Samo Drobne, MSc. for his professional guidance, tireless desire for academic researching and cooperation. His enthusiasm was like additional motivation to me.

I would like to pay the credits to the mentors of the Erasmus exchange, Prof. RNDr. Luděk Sýkora, Ph.D. and RNDr. Přemysl Štych, Ph. D. from Faculty of Science, Charles University in Prague.

Last but not least I would like to say thank you, to my family, friends and others who supported and cheered me during my study and completing my diploma thesis.

Thank you!



## KAZALO

<b>STRAN ZA POPRAVKE</b> .....	<b>I</b>
<b>IZJAVE</b> .....	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b> .....	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION</b> .....	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>V</b>
<b>CREDITS</b> .....	<b>VI</b>
<b>KAZALO SLIK</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2 PREGLED LITERATURE</b> .....	<b>13</b>
<b>3 METODOLOGIJA</b> .....	<b>19</b>
3.1 Podatki .....	19
3.2 Metoda dela .....	20
3.2.1 Metoda pajkove mreže.....	20
3.2.2 Modeliranje vektorskih polj.....	21
3.2.3 Metoda globalnega trenda .....	22
3.2.4 Metoda vetrovne rože tokov.....	24
3.2.5 Metoda vpliva razdalje na neto delovno mobilnost .....	26
<b>4 REZULTATI</b> .....	<b>27</b>
4.1 Rezultati metode pajkove mreže .....	27
4.2 Rezultati modeliranja vektorskih polj.....	31
4.3 Rezultati metode globalnega trenda .....	37
4.4 Rezultati metode vetrovne rože tokov.....	41
4.5 Rezultati metode vpliva razdalje na neto delovno mobilnost.....	45
<b>5 VREDNOTENJE REZULTATOV</b> .....	<b>47</b>
5.1 Vrednotenje rezultatov metode pajkove mreže.....	47
5.2 Vrednotenje rezultatov modeliranja vektorskih polj.....	47
5.3 Vrednotenje rezultatov metode globalnega trenda.....	49

5.4 Vrednotenje rezultatov metode vetrovne rože tokov .....	50
5.5 Vrednotenje rezultatov vpliva razdalje na neto delovno mobilnost .....	51
<b>6 SKLEP .....</b>	<b>53</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>55</b>

## **PRILOGE**

## KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Diagram poteka metode globalnega trenda</i> .....	23
<i>Slika 2: Diagram poteka metode vetrovne rože tokov</i> .....	25
<i>Slika 3: Pajkova mreža delovne mobilnosti med statističnimi regijami v letu 2011</i> .....	28
<i>Slika 4: Pajkova mreža delovne mobilnosti med občinami v letu 2011 (brez tokov s 50 ali manj interakcijami)</i> .....	28
<i>Slika 5: Delovna mobilnost med statističnimi regijami v letu 2011 (gostota interakcij)</i> .....	30
<i>Slika 6: Delovna mobilnost med občinami v letu 2011 (gostota interakcij)</i> .....	30
<i>Slika 7: Gravitacijska središča statističnih regij kot ponori in izvori neto delovne mobilnosti v letu 2011</i> .....	32
<i>Slika 8: Gravitacijska središča občin kot ponori in izvori neto delovne mobilnosti v letu 2011</i> .....	32
<i>Slika 9: Vektorji delovne mobilnosti med statističnimi regijami v letu 2011</i> .....	34
<i>Slika 10: Vektorji delovne mobilnosti med občinami v letu 2011</i> .....	34
<i>Slika 11: Vektorsko polje delovne mobilnosti med statističnimi regijami v letu 2011</i> .....	36
<i>Slika 12: Vektorsko polje delovne mobilnosti med občinami v letu 2011</i> .....	36
<i>Slika 13: Vektorji delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med statističnimi regijami v letu 2011</i> .....	38
<i>Slika 14: Vektorji delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med občinami v letu 2011</i> .....	38
<i>Slika 15: Vektorsko polje delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med statističnimi regijami v letu 2011</i> .....	40
<i>Slika 16: Vektorsko polje delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med občinami v letu 2011</i> .....	40
<i>Slika 17: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med statističnimi regijami (upravno središče) v letu 2011</i> .....	42
<i>Slika 18: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med občinami (upravno središče) v letu 2011 (vektorji z več kot 500 interakcijami)</i> .....	42
<i>Slika 19: Vetrovna roža tokov in gostote linije delovne mobilnosti med občinami (upravno središče) v letu 2011</i> .....	43
<i>Slika 20: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med statističnimi regijami (gravitacijsko središče) v letu 2011</i> .....	44
<i>Slika 21: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med občinami (gravitacijsko središče v letu 2011)</i> .....	44

*Slika 22: Neto delovna mobilnost utežena z razdaljo med statističnimi regijami v letu 2011 . 46*

*Slika 23: Neto delovna mobilnost utežena z razdaljo med občinami v letu 2011 ..... 46*

## 1 UVOD

Živimo v času in družbi, v kateri prostorskih omejitev skoraj ne poznamo več. Vsakodnevno potujemo iz kraja v kraj, celo med regijami in med državami, bodisi na delo, v šolo oz. na fakulteto ali po opravkih. Takšne dnevne vožnje imenujemo dnevna mobilnost prebivalstva. Le-ta igra ključno vlogo v vsakodnevnom življenju ljudi in uspešnosti ekonomskega sistema. V porastu sta tako količina dnevne mobilnosti kot tudi število destinacij (Chakraborty in sod., 2013).

Prava mobilnost je ena izmed najočitnejših lastnosti narave ljudi – zmožnost potovanja po zemeljskem površju z namenom izmenjave dobrin ali znanja. Takšni premiki in izmenjave pa so rezultat prostorskih interakcij.

Pojem prostorskih interakcij je širok. S pojmom »prostorska interakcija« opišemo vsak premik v prostoru, ki nastane kot rezultat človeških procesov. Mednje štejemo delovno mobilnost, selitve, tokove informacij in dobrin ter nenazadnje tudi prenos znanja. Z različnimi pristopi modeliranja prostorskih interakcij želimo opisati in ponazoriti osnovne značilnosti premikov današnje družbe (Haynes in Fotheringham, 1984).

Možnosti uporabe rezultatov analiz prostorskih interakcij je več. Pogosto se dogaja, da ljudje potujemo v oddaljen kraj po večjih nakupih ali v službo, saj tam pričakujemo boljše pogoje in priložnosti, medtem ko se, ko gre za manjše nakupe, ne odločamo za tako dolgo vožnjo, temveč raje izberemo lokalno trgovino (Fotheringham in O'Kelly, 1989).

Z analizami tokov v prostoru želimo poiskati odgovore na vprašanje, zakaj se nekateri položaji v prostoru pojavljajo kot »točke zanimanja« (*angl. point of interest*). To je predvsem pomembno za znanstvene vede, ki razvijajo in uporabljajo metode odločanja (*angl. decision making*) ter za analize privlačnosti lokacij (*angl. analysis of attractiveness*). V splošnem, ter najbolj pogosto, pa gre pri analizah interakcij v prostoru za ugotavljanje in razumevanje selitev prebivalstva, službenih in privatnih potovanj ter tokov informacij (Haynes in Fotheringham, 1984).

Rezultati analiz prostorskih interakcij so lahko uporabljeni tudi za razmejevanje funkcionalnih regij. Znano je, da administrativne meje, kot so npr. meje statističnih regij ali občin, v številnih primerih niso primerne geografske enote za izvajanje raziskav, saj ne nudijo pomenskega vpogleda v funkcionalne lastnosti območja (Casado-Diaz, 2003). Funkcionalna regija je teritorialna enota, ki nastane kot odraz družbenih in ekonomskih odnosov. Meje le-teh ne sledijo geografskim ali drugim upravnim mejam. Nastanejo z združevanjem manjših tesno povezanih prostorskih enot. Najpogostejši koncept modeliranja funkcionalnih regij je združevanje osnovnih prostorskih enot v lokalne trge dela (Drobne in Konjar, 2011; Konjar, 2009; OECD, 2002).

Lokalni trgi dela (*angl. local labour markets*) so območja, za katere je značilna visoka gostota notranjih delovnih interakcij; to pomeni, da so meje takšnih območij opredeljene tako, da se čim manj oseb vozi na delo preko mej lokalnih trgov dela (Casado-Diaz, 2003).

Podatki o prostorskih interakcijah so danes dostopni praktično vsem in povsod. Strojna in programska oprema, potrebna za izvajanje analiz, se razvija iz dneva v dan, vendar jo metodologija le težko dohaja (Rae, 2009).

V preteklosti je raziskovalce upodabljanja prostorskih interakcij omejeval predvsem tehnološki napredek strojne in programske opreme, temu pa danes ni več tako. Zmožnosti današnje tehnologije močno prekašajo zahtevnost zapletenih izračunov, oziroma, metodološki pristopi docela ne izkoriščajo sposobnosti programske in strojne opreme (prav tam).

V diplomski nalogi obravnavamo že obstoječo in uveljavljeno metodologijo s področja modeliranja in upodabljanja prostorskih interakcij. Predstavimo tudi lasten doprinos, ki se odraža preko zasnov novih metodologij in predlaganih izboljšav obstoječih metod.

V ta namen smo v diplomskem delu opisali, preizkusili ter delno razvili pet metod modeliranja vzorcev prostorskih interakcij. Imena metod smo prevzeli (za dve že uveljavljeni metodi) oziroma smo predlagali izkustveno (za tri na novo razvite metode). Metode smo preizkusili s podatki o delovni mobilnosti med občinami ter med regijami Slovenije za leto 2011. V diplomski nalogi predstavljene in preizkušene metode izračuna vektorskih in rastrskih podatkov prostorskih interakcij smo tudi avtomatizirali. Programske kode so napisane v obliki skriptnih orodij v programu za matrično računanje MatLab.

Diplomska naloga je strukturirana v več, med seboj tesno povezanih poglavij. Poleg uvoda in zaključka jo sestavljajo še štiri poglavja. Kapitel z naslovom »Pregled literature« je namenjen predstavitvi literature, ki je predstavljala teoretično osnovo pri raziskovalnem delu. V poglavju metodologija opišemo podatke in metode dela. Rezultate predstavimo v ločenem poglavju ter jih v poglavju, ki sledi, tudi komentiramo in ovrednotimo. Nalogo zaključimo s sklepnimi mislimi ter predlogi za nadaljnje delo.

## 2 PREGLED LITERATURE

»Vse stvari v prostoru so povezane, bližnje bolj, bolj oddaljene pa manj.« (Prvi zakon geografije, Tobler, 1970). Ta citat dobro ponazori enega izmed ciljev prostorskih analiz – spoznati, kako so stvari v prostoru povezane med seboj.

V preteklosti je bilo opravljenih že veliko raziskav prostorskih interakcij. Razpon razvitih metodologij sega vse od uporabe vektorskih polj, potencialnih modelov do raznih izpeljank gravitacijskih modelov.

Izrazit razvoj se je začel v 19. stoletju z delom Ernsta Ravensteina (1889), ki nosi naslov »The Laws of Migration«. Avtor detajlno predstavi strukturo selitev v Veliki Britaniji in na podlagi dostopnih podatkov izdela »Karto tokov«, kot jo poimenuje sam. S tem začrta pot razvoja številnim analizam tokov selitev.

Leta 1975 je Waldo Tobler izdal delo z naslovom »Spatial Interaction Patterns« (Tobler, 1975). V njem podrobno razdela pristop vektorskega modeliranja tokov. Pristop modeliranja teče preko izračuna vektorjev tokov na geografskem položaju, kasnejše interpolacije vektorskega polja na pravilno mrežo celic do skalarnega in vektorskega potenciala. Obenem metodologijo aplicira na več različnih podatkov, s čimer pokaže vsestranskost metode (Tobler, 1975, 1976, 1987, 1995).

Modeliranje vzorca prostorskih interakcij z uporabo vektorskih polj neto tokov položaji v prostoru velja za enega izmed bolj uveljavljenih pristopov modeliranja tokov. To potrjujejo tudi algebraične analize prostorskih modelov. Vektorsko polje aproksimira gradient skalarnega potenciala, kar dobro ponazarja tokove v prostoru (Tobler, 1975).

Toblerjev pristop (1975, 1976, 1987, 1995) matematičnega modeliranja in kartiranja prostorskih interakcij s pomočjo vektorjev in vektorskih polj je namenjen upodabljanju neto tokov med izvori in ponori. Neto tok je razlika vsote izvornih in vsote ponornih tokov na izbranem položaju. V primeru, da je neto delovna mobilnost položaja negativna, pravimo takšnemu položaju položaj ponora (»neto ponor«) in obratno, neto delovna mobilnost položaja izvora je pozitivna (»neto izvor«).

Neto tokove (prostorskih interakcij) prikažemo kot polje vektorjev, ki predstavlja gradient skalarnega potenciala izračunanega iz neto razlik obravnavanih tokov.

Toblerjevo metodo modeliranja prostorskih interakcij najlažje razložimo s pomočjo primera izračuna potovalnega časa med dvema položajema. Obravnavajmo primer veslača na reki. Čas  $t_{ij}$ , ki ga potrebuje veslač za pot od položaja  $i$  do položaja  $j$ , izračunamo po enačbi (Tobler, 1975):

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{r + \bar{c}_{ij}}, \quad (1)$$

kjer je  $d_{ij}$  razdalja med položajema  $i$  in  $j$  v metrih,  $r$  predstavlja hitrost veslanja v metrih na sekundo,  $\vec{C}_{ij}$  pa je jakost vodnega toka, prav tako v metrih na sekundo. Zaradi vodnega toka sta potovalna časa od  $i$  proti  $j$  in obratno različna. Pomembna je tudi relacija med tokovoma  $\vec{C}_{ij} = -\vec{C}_{ji}$ , kjer  $\vec{C}_{ij}$  izračunamo (Tobler, 1975):

$$\vec{C}_{ij} = r \frac{t_{ji} - t_{ij}}{t_{ij} + t_{ji}} \quad (2)$$

Model v enačbi (2) apliciramo na splošni problem modeliranja vzorca prostorskih interakcij (prav tam):

$$\vec{C}_{ij} = r \frac{I_{ij} - I_{ji}}{I_{ij} + I_{ji}}, \quad (3)$$

kjer je  $I_{ij}$  vrednost prostorske interakcije iz položaja  $i$  v položaj  $j$ ,  $I_{ji}$  pa je vrednost prostorske interakcije iz položaja  $j$  v položaj  $i$ . Ob primerni uporabi enot, je  $r = 1$ , kar poenostavi enačbo (3).

$\vec{C}_{ij}$  je torej vektor (vodnega) toka v smeri od  $i$  proti  $j$ , in velja; če je vrednost  $\vec{C}_{ij}$  pozitivna, je interakcija v tej smeri lažja. Ker se izračun nanaša na ista geografska položaja z obratnimi vplivi, velja tudi  $\vec{C}_{ij} = -\vec{C}_{ji}$ . Ob predpostavki, da poznamo položaja  $i$  in  $j$  si zaradi dejstva, da je vektor rezultat vplivov na obeh položajih, lahko predstavljamo polovico vektorja od  $i$  proti  $j$ , drugo polovico pa v položaju  $j$  stran od  $i$ . V primeru, da je  $\vec{C}_{ij}$  negativen, pa obratno. Ko izračun ponovimo za vse kombinacije  $i$  in  $j$ , dobimo gručo vektorjev na vsakem položaju. Rezultat vektorskega seštevanja na opazovanem geografskem položaju dá vektor rezultante. Prvi korak analize je določitev »neto izvorov« in »neto ponorov« obravnavanim položajem. Na ta način določimo položaje, kamor interakcije »v splošnem poniknejo« (neto ponori – neto vrednost tokov je negativna) in položaje, od koder interakcije »v splošnem izvirajo« (neto izvori – neto vrednost tokov je pozitivna).

Sledi izračun vektorjev, ki predstavljajo smer in jakost toka na geografskem položaju. Izračunamo jih po enačbi (Tobler, 1975):

$$\vec{C}_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_j \cdot \frac{I_{ij} - I_{ji}}{I_{ij} + I_{ji}} \cdot \frac{1}{d_{ij}} \cdot [(X_j - X_i), (Y_j - Y_i)], \quad (4)$$

kjer je  $d_{ij}$  razdalja med položajema  $i$  in  $j$  in jo izračunamo



$$d_{ij}^2 = (X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2, \quad (5)$$

$W_j$  je utež, ki jo izračunamo

$$W_j = \frac{1}{d_{ij} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{d_{ij}}}, \quad (6)$$

$X_i$  in  $Y_i$  sta koordinati položaja  $i$ ,  $X_j$  in  $Y_j$  pa koordinati položaja  $j$ . Obravnavani položaji, po predlogu avtorja, predstavljajo gravitacijska središča prostorskih enot.

Utež  $W_j$  zagotovi upoštevanje prvega Toblerjevega zakona (citat na 13. strani). Z upoštevanjem le-tega imajo bližnje interakcije večji vpliv, tiste bolj oddaljene pa manjšega.

S pomočjo vektorjev lahko interpoliramo še vektorskega polja – najpogosteje na pravilno gridno mrežo celic izbrane velikosti. Rezultat analize je interpolirano vektorsko polje obravnavanih prostorskih interakcij.

Prav tako, kot ima bogato zgodovino poprej opisani vektorski pristop modeliranja prostorskih interakcij, enako velja za uporabo gravitacijskih modelov. Gravitacijski modeli so med bolj uporabljenimi pristopi modeliranja prostorskih interakcij. So matematični modeli, ki jih uporabljamo za analizo in napovedovanje vzorcev prostorskih interakcij. Nastali so kot izpeljanke planetarnih gravitacijskih vplivov, odlično pa med seboj povezujejo vsaj dva osnovna elementa. Ta elementa sta vpliv merila in vpliv razdalje. Dejstvo je, da večja mesta privabljajo več ljudi kot manjša mesta, in prav tako velja, da z večanjem razdalje pogostost interakcij upada (Haynes in Fotheringham, 1984).

Pomembnost koncepta relativnega položaja in prostorskih interakcij se je odrazila v hitrem razvoju področja gravitacijskih modelov v zadnjih osemdesetih letih. Takšni modeli so bili zelo pogosto uporabljeni med prostorskimi načrtovalci, investitorji, med transportnimi analitiki in ostalimi strokovnjaki. Koncept gravitacijskih modelov je eden izmed prvih apliciranih fizikalnih modelov na področju družbenih ved. Razlogi za tako široko uporabo gotovo izhajajo iz dejstva, da so rezultati preprosto razumljivi, na drugi strani pa nudijo dober teoretični ter praktični vpogled v analizirano področje (Haynes in Fotheringham, 1984).

Haynes in Fotheringham (1984) sta v monografiji z naslovom »Gravity and Spatial Interaction Models« predstavila preprost gravitacijski model za določevanje vplivnih območij med mesti. Velikost posameznega mesta predstavlja populacija  $P$ , razdalja med mestoma pa je predstavljena z  $d$ . Indeksa mest, predstavljata podpisana simbola  $i$  in  $j$ , interakcija med mestoma pa je označena s  $T_{ij}$ . Interakcija je predstavljena kot razmerje množenih populacij mest deljeno z razdaljo med mestoma (prav tam).

$$T_{ij} = \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}} \quad (7)$$

Osnovnemu modelu je potrebno dodati nekaj sprememb, najpomembnejša je bila uvedba potence upada vpliva razdalje  $\beta$  (*angl. distance decay*). Dejstvo je, da ima razdalja vedno negativni vpliv na interakcijo, vendar je ta vpliv v nekaterih primerih močnejši, v drugih pa šibkejši. Vpeljani pa so tudi trije drugi parametri in sicer konstanta  $k$  ter eksponenta  $\alpha_1$  in  $\alpha_2$ . Konstanta služi za primerno povečavo ob primerjavi npr. mesečnih in dnevnih tokov. Eksponenta  $\alpha_1$  in  $\alpha_2$  pa v primeru, da sta pozitivna, zagotavljata, da se z večanjem populacije tudi število interakcij povečuje. Iz enačbe osnovnega modela v (7) torej preidemo v naslednjo enačbo; primerjaj s (Fotheringham, 1981; Haynes in Fotheringham, 1984; Drobne in Bogataj, 2012a, b; Drobne in sod., 2013):

$$T_{ij} = k \frac{P_i^{\alpha_1} \cdot P_j^{\alpha_2}}{d_{ij}^{\beta}} \quad (8)$$

Enačba (8) predstavlja izhodišče za razvoj metode, ki jo predstavimo v kapitelu 3.2.5.

Sodobna GIS programska oprema omogoča le nekatere, redke, pristope modeliranja vzorcev prostorskih interakcij. Ena takšnih metod je metoda pajkove mreže.

Pristop pajkove mreže (*angl. SpiderWeb*) je bil v kombinaciji z drugimi metodami v preteklosti že uporabljen v številnih delih; na primer, Rae (2009), Guo (2009), Landre (2012) ter Chen in sod. (2010). Pri tem pristopu gre za tvorjenje vseh možnih povezav med obravnavanimi položaji, katerim dodamo informacijo o jakosti toka. Omenjene povezave kasneje klasificiramo v izbrano število razredov in oblikujemo končni izgled kartografskega prikaza.

Alasdair Rae (2009) je pristop opredelil kot pregleden pristop modeliranja velike matrike prostorskih interakcij, kar lahko služi kot prvi korak k informacijam, ki jih nudijo takšni podatki. Obenem je poudaril, da je rezultat nazoren, ilustrativen, vendar pa, v kolikor želimo bolj kakovostno prikazati posebnosti tokov, se je potrebno osredotočiti na obravnavo posameznega položaja.

Guo (2009) je pokazal, da pristop pajkove mreže ni primeren za obdelavo velike količine podatkov. Pri tem se opre na karte tokov (*angl. flow maps*), ki jih pogosto uporabljamo za namene upodabljanja prostorskih interakcij. Geografski položaj izvora in ponora na takšni karti sta povezana z ravno linijo (ali krivuljo), medtem ko debelina linije ali barva predstavlja jakost toka. Ker pa lahko karte tokov, ob številčnih podatkih, hitro postanejo nepregledne, predlaga vzorčenje podatkov in nadaljnjo hierarhično obdelavo le-teh.

Landre (2012) je s pomočjo podatkov o delovni mobilnosti izdelal rastrski sloj gostote linije na omrežju cest, s čimer je simuliral zasedenost le-teh ter s kombinacijo z drugimi metodami uspešno razmejil lokalne trge dela.

Chen s sodelavci (2010), je obravnaval spremembe vzorcev tokov delovne mobilnosti v osrednjem Texasu. Analiza je bila sestavljena iz več podanaliz. Med drugim so želeli ugotoviti, kje potekajo glavni potovalni koridorji. Razvili so mrežni model, ki je seštel količino prometa na omrežju cest. Določili so oddaljenost med izvorom in ponorom, vsakemu cestnemu odseku dodelili število vozil in sešteli količino prometa za vsak cestni odsek. V zadnjem koraku so rezultate gostote prometa na cestnih odsekih klasificirali po količini prometa (Chen in sod., 2010).

Kot smo že omenili, analize tokov (prostorskih interakcij) še niso v celoti izvedene v sodobnih GIS programih. Večina razširitev za potrebe analiz in kartiranja tokov je v obliki zunanjih programov. Primer takšnega samostojnega programa je Flowmap. Flowmap je programski paket, namenjen analizi in prikazom prostorskih interakcijskih tokov, mrežnim analizam ter analizam dostopnosti. Zasnovali in razvili so ga na Fakulteti za geo-znanosti, Univerze v Utrechtu na Nizozemskem. Omogoča širok nabor analiz. Omeniti velja analizo Intramax, s katero se pogosto razmejujejo funkcionalne regije, primeri za tujino so v delih Mitchell in Watts (2010), Nel in sod. (2008), za Slovenijo pa v Drobne in Konjar (2011), Drobne in Bogataj (2012a, b). Analiza »Trip End Ranking« omogoča ugotavljanje pomembnosti razdalje, katero je potrebno premagati na poti do cilja. Zanimiva pa je tudi »Flow Assignment to Network« analiza, s katero na obstoječo mrežo povezav med obravnavanimi položaji (ravne linije, mreža cest) pripravo podatke o tokovih.

V Sloveniji so se s tematiko upodabljanja, kartiranja in analiziranja tokov ukvarjali Banovec in sodelavci (1971, 1972, 1975), ki so izdelali analitične karte dnevne delovne mobilnosti z vektorji, Konjar in sodelavci (2010), ki so s pomočjo kart delovne mobilnosti analizirali funkcionalne povezave v Sloveniji, Bole (2011), ki je kartiral spremembe v mobilnosti zaposlenih v večja zaposlitvena središča Slovenije v obdobju 2000-2009 ter Jenko in Drobne (2014), ki sta predstavila pristop modeliranja vektorskih polj ter ga aplicirala na podatke delovne mobilnosti in selitev za leto 2011.

Drobne in Konjar (2011) sta izvedla analizo členitve Slovenije na tri in dvanajst funkcionalnih regij. Problem sta aplicirala na tri različne pristope modeliranja funkcionalnih regij s tokovi delovne mobilnosti. Uporabila sta metodo (lokalnega) trga dela (Karlsson in Olsson, 2006), metodo območij mobilnosti (prav tam) ter metodo Intramax (Van der Zwan in sod., 2005).

Bole (2004) je v članku z naslovom Dnevna mobilnost delavcev v Sloveniji obravnaval pojav delovne mobilnosti. Podatke je podrobno statistično obdelal in opisal. Določil je kriterije, na podlagi katerih je razmejil Slovenijo na štirinajst zaposlitvenih središč. Ugotavlja: »...da ima nadregionalni značaj le Mestna občina Ljubljana, ki je izrazito zaposlitveno središče za celotno osrednjeslovensko regijo (Bole, 2004, 45).« Med občinami z regionalno zaposlitveno privlačnostjo pa velja omeniti Koper, Celje, Novo Mesto, Maribor in nekatere ostale.

Gabrovec in Bole (2009) ter Bole in Gabrovec (2012) sta podrobno obravnavala pojav delovne mobilnosti in vzorcev, ki jih tvori delovna mobilnost v Sloveniji. Ugotovila sta, da se vzorci delovne mobilnosti močno spreminjajo, predvsem na račun upada uporabe javnega prometa, ter naraščanja motorizacije prebivalstva. Na kar pa naj bi bistveno vplivale izboljšane cestne, predvsem avtocestne, povezave v Sloveniji (Kozina 2010a, b).

S kratkim pregledom področja in opravljenega dela je mogoče ugotoviti, da je eden izmed glavnih elementov analiz prostorskih interakcij prav razdalja oz. geografska oddaljenost.

Razdalja, vpliv razdalje ter pojav upada vpliva z razdaljo (*angl. distance decay*) se že dolgo časa uporabljajo kot neodvisne spremenljivke v različnih prostorskih analizah. Ekonomisti so razdaljo uporabili za izračun stroškov transporta, politični analitiki pa celo v namene razlaganja vzorcev glasovanja. Kljub izredno široki uporabi pa je potrebno priznati, da razdalja ni spremenljivka dinamičnega procesa; je le element, značilnost dane situacije, ki neposredno vpliva na številne dinamične procese (Taylor, 1983). Odločitev, v kakšnem odnosu glede na osnovano metodologijo bo razdalja uporabljena, zavisi od uporabnika-raziskovalca, splošno pravilo ne obstaja. Posledično je logično in povsem pravilno pričakovati različne rezultate (de Vries in sod., 2009).

Splošna metoda modeliranja delovne mobilnosti (tudi v funkcionalne regije) ne obstaja. To je posledica dejstva, da so podatki o delovni mobilnosti ter njihovi vzorci posebni za vsako državo. Za celovito analizo vzorcev prostorskih interakcij je zato potrebno kombinirati različne pristope; primera takšnih pristopov sta v (Drobne in Lakner, 2014; Halás in sod., 2014). Le tako lahko prepoznamo prednosti in slabosti posamezne metode modeliranja prostorskih interakcij (Drobne in Konjar, 2011).

Ciljev prihodnjega razvoja področja modeliranja prostorskih interakcij je več. Eden izmed njih je tudi standardizacija oz. razvoj osnov, na podlagi katerih bi lahko primerjali med seboj vzorce prostorskih interakcij različnih držav. S takšnim pristopom bi lahko ugotavljali, kako se tvorijo, na primer, urbane funkcionalne regije in funkcionalne regije ter kako se tvorijo in spreminjajo tokovi delovne mobilnosti v obravnavanih državah (Nielsen in Hovgesen, 2008).

### 3 METODOLOGIJA

V diplomski nalogi smo preizkusili različne tehnike modeliranja prostorskih interakcij ob uporabi podatkov o delovni mobilnosti v Sloveniji. Zasnovali smo več skriptnih orodij. Za lažje razumevanje potekov obdelave podatkov smo programske kode opremili s kratkimi opisi in opombami. Uvažanje in izvažanje podatkovnih datotek poteka v datotečnem formatu .csv, ki je obenem podprt tudi v ArcMap programskem paketu. Oblika podatkovnih datotek je določena in je pogoj za pravilno delovanje skriptnih orodij. Izpisi programskih kod se nahajajo v prilogah.

#### 3.1 Podatki

Podatke, uporabljene v diplomski nalogi, lahko razdelimo na dve vrsti: na atributne ali statistične ter na grafične podatke oz. kartografske podlage.

Osnovo za razvijanje in preizkušanje analiz so predstavljali atributni podatki o delovni mobilnosti med statističnimi regijami in občinami v Sloveniji v letu 2011 (SURSTAT, 2011a, b).

Delavec vozač (ali delovni migrant) je zaposlena oseba, katere teritorialna enota prebivališča in delovnega mesta ni enaka (Drobne in Bogataj, 2012a).

Omejili smo se na dve prostorski ravni:

- raven občin in
- raven statističnih regij Slovenije.

Podatki o delovni mobilnosti v Sloveniji so javno dostopni na spletni strani Statističnega urada Republike Slovenije ([www.stat.si](http://www.stat.si)). Slovenija je bila v letu 2011 razdeljena na 12 statističnih regij ter na 210 občin. Meje statističnih regij sovpadajo z združenimi mejami občin v posamezni statistični regiji, kar prav tako velja za statistične regije - vseh 12 statističnih regij pokriva celotno območje države.

Po izvedeni obdelavi atributnih podatkov smo obdelane podatke, rezultate, predstavili s kartografskimi prikazi. Uporabljene podlage smo pridobili na spletni strani Geodetske uprave Republike Slovenije (<http://www.gu.gov.si/>). Podlage so v obliki .shp datotek, pri čemer prostorske ravni grafičnih ter atributnih podatkov sovpadajo.

Kratek statističen pregled podatkovne matrike delovne mobilnosti med občinami Slovenije razkrije, da je matrika leta 2011 vsebovala 44.100 vnosov. Od tega je 31.557 praznih vnosov (ni toka med občinama), največja tokova pa sta iz Domžal v Ljubljano (6593 delavcev vozačev) ter iz Kranja v Ljubljano (5388 delavcev vozačev), medtem ko se po en vozač pojavlja na 4390 relacijah.

### 3.2 Metoda dela

V diplomski nalogi obravnavana območja, torej statistične regije ali občine, so predstavljena tudi točkovno, preko izbranega položaja. Položaji so lahko v centroidu (gravitacijskem središču) obravnavanega območja (npr. občine ali regije) ali pa v dejanskem (upravnem) središču obravnavanega območja (npr. v občinskem središču oz. v regionalnem središču). Za primeren izbor geografskega položaja smo se, pri nekaterih metodah, odločili na podlagi primerjave rezultatov obeh vrst položajev. Uporabljeni tip položaja smo pri tistih metodah tudi opisno poudarili.

Sledi opis obravnavanih metod in razvitih metodologij upodabljanja prostorskih interakcij. V tem poglavju opišemo dve že uveljavljeni metodi, kateri smo preizkusili na primeru uporabljenih podatkov, ter tri samostojno razvite metode za upodobitev vzorcev prostorskih interakcij.

#### 3.2.1 Metoda pajkove mreže

Z metodo pajkove mreže (*angl. SpiderWeb*) smo preizkusili postopek analize tokov delovne mobilnosti, ki jo lahko izvedemo že danes, z uporabo sodobne programske opreme GIS, brez obsežnejše dodatne obdelave in razvoja nove metodologije.

Pristop v grobem sestoji iz dveh delov. V prvem delu s skriptnim orodjem izvedemo izračun in pripravo podatkov za uvoz v programsko okolje ArcMap. Skriptno orodje je zasnovano v programu za matrično računanje MatLab. Po uvozu v Arcmap, v omenjenem programu z uporabo orodja »XY To Line« generiramo povezave med izbranimi položaji v prostoru. Povezavam dodamo informacijo o jakosti tokov (v našem primeru o delovni mobilnosti). Rezultati prvega dela analize sestojijo iz grafike povezav med geografskimi položaji, ki so klasificirane glede na jakost interakcije (v našem primeru jakost delovne mobilnosti) na dotični povezavi.

Drugi korak predstavlja nadgraditev osnovne analize, kjer z orodjem »Line Density (Spatial Analyst)« v orodju ArcMap izdelamo rastrski sloj gostote linije; pri tem upoštevamo tudi jakost toka na povezavi. Po izvedeni analizi, sledi zadnja faza obdelave, kjer na podlagi lastne presoje (izkustveno) oblikujemo končno upodobitev, torej določimo število razredov ter način klasifikacije rastrskega prikaza gostote linij.

Modelirali smo tokove na ravni statističnih regij in občin Slovenije, kjer smo uporabili dejanska (upravna središča) obravnavanih območij.

Omenjen pristop je bil ob kombinaciji z drugimi metodami že uporabljen v nekaterih analizah (reference so navedene v poglavju »Pregled literature«).

Programska koda skriptnega orodja metode pajkove mreže se nahaja v prilogi A.

### 3.2.2 Modeliranje vektorskih polj

Pri modeliranju vektorskih polj v prvem koraku, določimo položaje »neto ponorov« in »neto izvorov«. Neto ponori so položaji, kamor interakcije v splošnem poniknejo (neto vrednost tokov je negativna), neto izvori pa so položaji, od koder interakcij v splošnem izvirajo (neto vrednost tokov je pozitivna).

Po opravljenih izračunih, ki sledijo iz enačb (4), (5) in (6) se izračunani vektorji prostorskih interakcij izrišejo v primernem merilu na položaj obravnavanega neto izvora ali neto ponora. Vektorska polja smo modelirali s pomočjo interpolacije vektorjev na položajih neto ponorov in neto izvorov.

Interpolacijo smo izvedli ob uporabi metode obratne utežene razdalje (*angl. Inverse Distance Weighted - IDW*). Pomembna je smiselna nastavitve polmera vpliva, s katerim iz obravnave izločimo vplive tistih geografskih položajev, ki so oddaljeni več kot znaša izbrani polmer. S tem poudarimo lokalne vplive. Radij vpliva je bil izbran izkustveno, določen kot polmer povprečne površine slovenske občine, pomnožen s faktorjem 4000, kar znese 22.169 metrov.

Opisano metodo smo aplicirali na tokove delovne mobilnosti med statističnimi regijami in občinami Slovenije.

Nekatere korake analize smo prilagodili oziroma jih spremenili v smislu pridobivanja lažje berljivih in bolj razumljivih rezultatov, sem štejemo manjše izkustveno izbrane premike ter ureditev interpoliranih vektorjev (razloge omenimo v poglavju »Vrednotenje rezultatov modeliranja vektorskih polj«). Vektorje tokov delovne mobilnosti smo računali na položajih gravitacijskih središč statističnih regij in občin, polja vektorjev pa interpolirali na gridno mrežo velikosti 20 kilometrov v naravi.

Programske kode skriptnega orodja za modeliranje vektorskih polj se nahajajo v prilogah B1, B2 in F.

### 3.2.3 Metoda globalnega trenda

Metodo globalnega trenda (*angl. TrendLine*) smo razvili iz Toblerjevega (Tobler, 1975) pristopa modeliranja vektorskih polj. Namesto uporabe koordinatnih razlik smo zasnovali izračun, ki temelji na uporabi smernih kotov. Metoda prikazuje globalne trende prihodov oz. odhodov obravnavanih tokov prostorskih interakcij.

Izračun se izvaja ločeno za prihodne in ločeno za odhodne tokove na obravnavanem položaju. V prvem delu se osredotočimo le na odhodne tokove. Iz podatkov interakcij se izračunajo koordinatne razlike, dolžine, seštevki odhodnih tokov, inverzne dolžine ter pripadajoči smerni koti za posamezni položaj. Iz izračunanih smernih kotov in pripadajočega števila vozačev se izračunata komponenti vektorja ( $\Delta y$  in  $\Delta x$ ) za vse kombinacije obravnavanih položajev z ostalimi. Za posamezni položaj se sešteje vse odhodne komponente vektorjev in se jih pomnoži s faktorjem. Faktor je bil določen izkustveno, in je znašal dvajset za statistične regije in za občine. Izračuna se tudi dolžina vektorja. Izračun se ponovi za prihodne tokove (uporabimo prihodne smerne kote in prihodne vrednosti števila delavcev vozačev).

Zaradi upoštevanja lokalnih posebnosti smo pri tej metodi uporabili enako utež, kot jo predlaga Tobler (1975); enačba za izračun uteži je v (6).

V zadnjem koraku se prihodne in odhodne tokove združi. Dolžini prihodnega vektorja odštejemo dolžino odhodnega, s čimer dobimo njuno razliko. V primeru, da je razlika pozitivna, je vektor s koncem (puščico) postavljen na obravnavani geografski položaj.

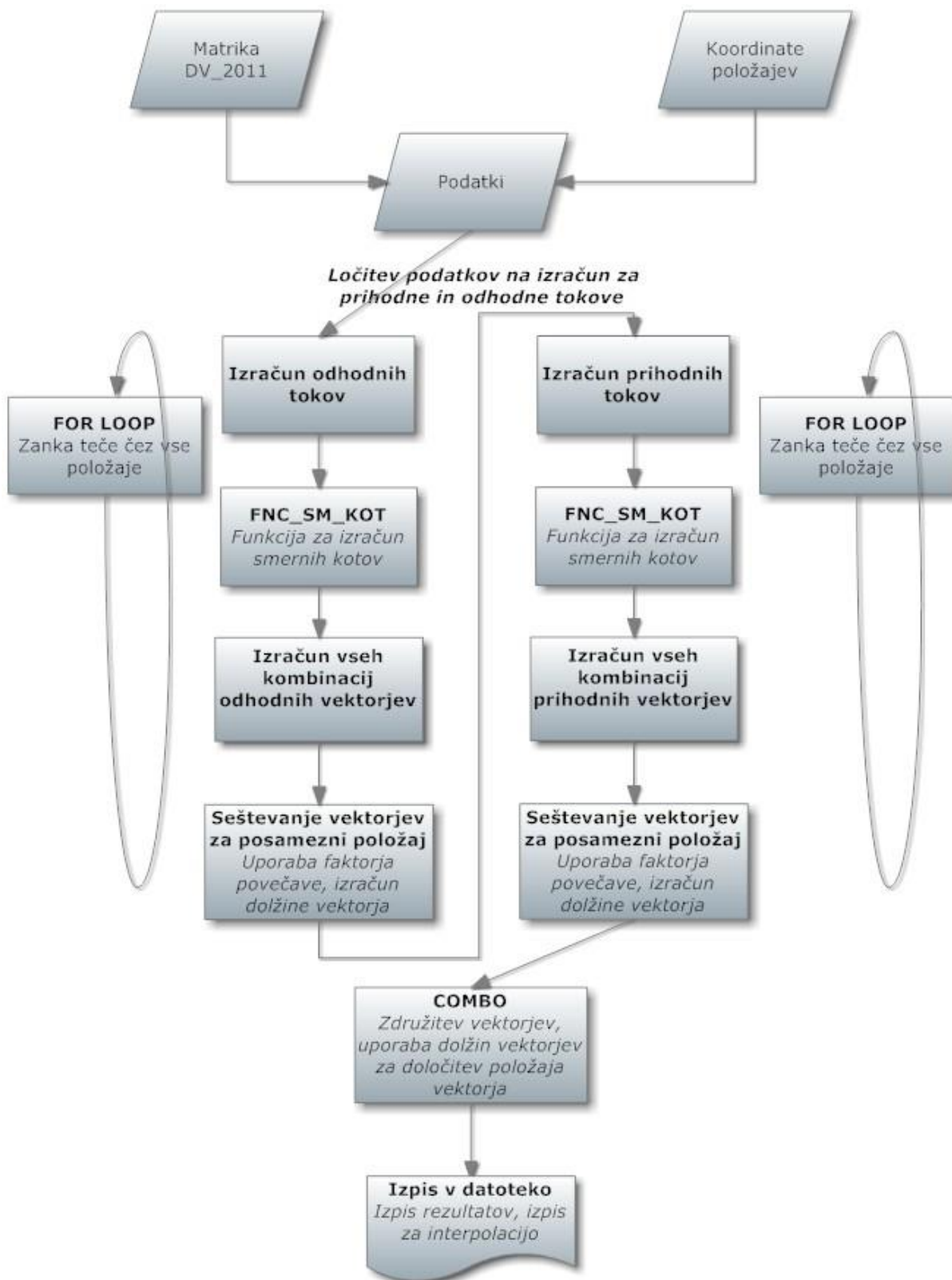
Rezultati se izpišejo v \*.csv datoteko, ki jo uvozimo v programsko okolje ArcMap in z uporabo orodja »XY To Line« izrišemo vektorje. Izberemo kartografski znak prikaza vektorjev.

V zadnjem koraku metode interpoliramo dobljene rezultate na pravilno gridno mrežo velikosti 20 kilometrov v naravi. Podobno kot pri metodi modeliranja vektorskih polj smo tudi tukaj uporabili metodo obratne utežene razdalje (*angl. Inverse Distance Weighted - IDW*), ter enake parametre.

Slika 1 prikazuje diagram poteka metode globalnega trenda.

Programski kodi skriptnega orodja metode globalnega trenda se nahajata v prilogah C in F.





Slika 1: Diagram poteka metode globalnega trenda

### 3.2.4 Metoda vetrovne rože tokov

Najpomembnejši informaciji, ki jih želimo zagotoviti z analizami tokov sta smer (od kod in kam potekajo interakcije) ter jakost le-teh. Pristop po metodi vetrovne rože tokov na svojevrsten način prikazuje ravno omenjeni informaciji. Metodologija izvede analizo, potrebne izračune in na koncu prikaže prihodne in odhodne vektorje tokov za geografske položaje klasificirane po osmih krakih neba. Uporabnik sam določi dodatne parametre, ki so faktor pomanjšave oz. povečave vektorja ter vrednost odmika vektorja od obravnavanega geografskega položaja. Faktorji pomanjšave zavisijo od posameznih prikazov (zato jih komentiramo ob samih rezultatih). Odmik vektorja od geografskega položaja pa v vseh primerih znaša 2000 metrov v naravi, kar služi za boljšo nazornost prikaza. Obravnavali smo tako gravitacijska središča kot tudi upravna središča izbranih prostorskih enot.

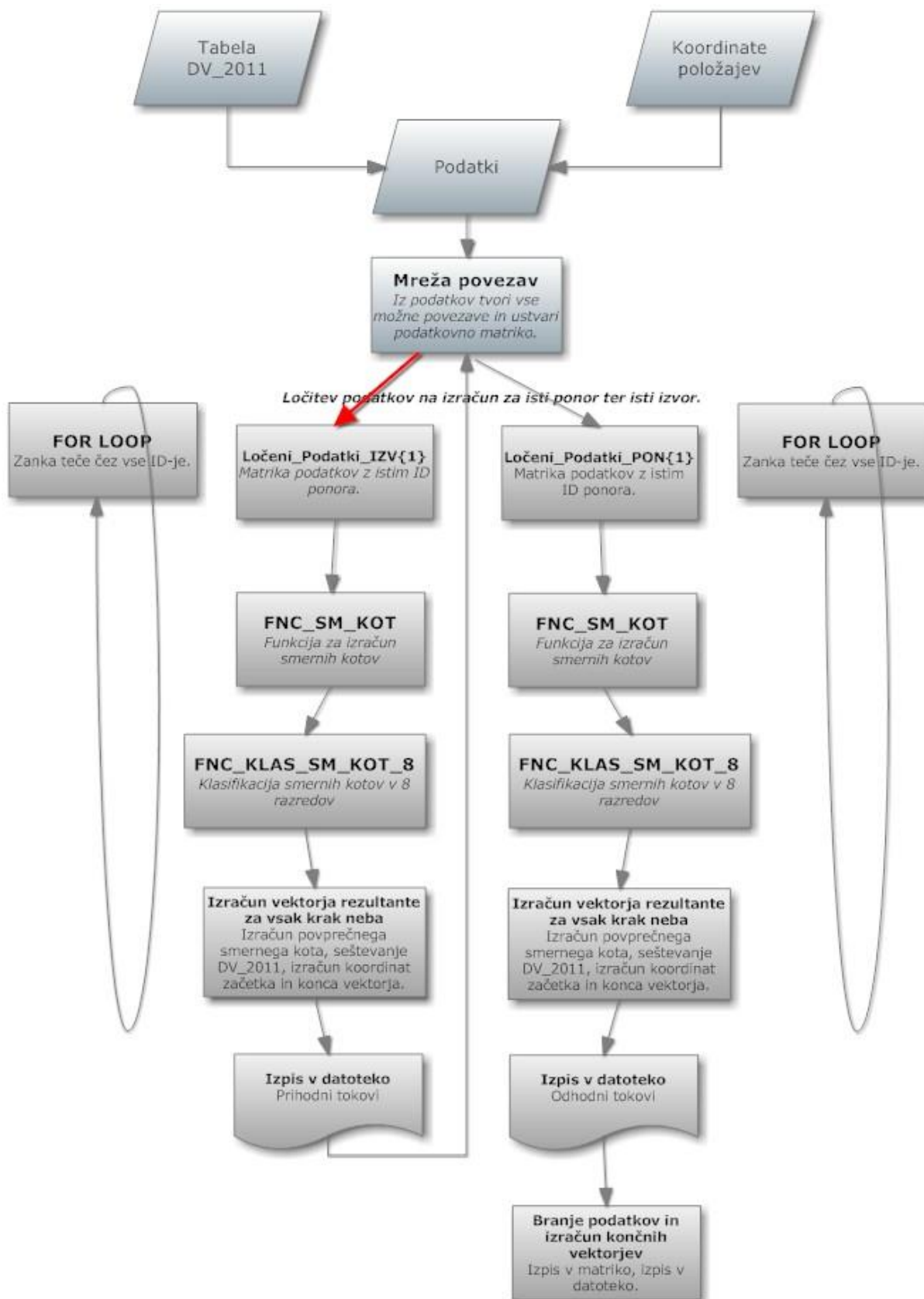
Kljub temu da končni rezultat analize prikazuje tako prihodne kot tudi odhodne tokove na isti karti, pa analiza poteka posebej za prihodne in posebej za odhodne tokove. V prvem delu izvajamo analizo le za prihodne tokove glede na izbran položaj. Skripta najprej izbere podatke, ki so vezani na izbran položaj. Nad izbranimi podatki se nato izvede izračun smernih kotov, klasifikacije smernih kotov, izračun povprečnega smernega kota glede na krak neba ter izračun dolžine vektorja rezultante dotičnega kraka. Dolžina le-tega je določena kot seštevek interakcij na obravnavanem kraku neba.

Zanka se ponovi tolikokrat, kolikor je podanih položajev, rezultati pa se zapišejo v datoteko. Po končani zanki skripta prične z drugim delom analize, v katerem izbere vse podatke, ki se tičejo vseh odhodnih tokov glede na izbran položaj. Postopek izračuna in obdelave je enak kot v prvem delu in prav tako se ob koncu izvrši zapis v datoteko.

V zadnji fazi program odpre obe datoteki izpisa in prepíše rezultate v eno samo datoteko, doda pa tudi stolpec s pripono tipa toka (»odhodni« ali »prihodni«). Slika 2 prikazuje diagram poteka metode vetrovne rože tokov.

Po končani obdelavi rezultate uvozimo v programski paket ArcMap ter z uporabo orodja »XY To Line« izrišemo vektorje. Povezavam pripnemo podatek o vrsti toka. Z izbiro »Properties« se odpre novo pogovorno okno, kjer pod zavihkom »Symbology« uredimo kartografski prikaz. Pri »Categories« izberemo »Unique values« ter dodamo vrednosti iz stolpca »TIP«, s čimer ločimo prihodne in odhodne tokove. Izberemo tudi zeleno barvo. Rezultat je sloj klasificiranih tokov z izbranimi barvami.

Programske kode skriptnega orodja metode vetrovne rože tokov in pripadajočih funkcij se nahajajo v prilogah D, G1 in G2.



Slika 2: Diagram poteka metode vetrovne rože tokov

### 3.2.5 Metoda vpliva razdalje na neto delovno mobilnost

Koncept vpliva razdalje na gravitacijski model tokov iz enačbe (8) smo v prilagojeni obliki, aplicirali na obravnavan problem modeliranja tokov delovne mobilnosti, enačba (9). Populacijo smo zamenjali z delovno mobilnostjo  $DM_{ij}$ , kar označuje število delavcev vozačev, ki prebivajo v izvoru  $i$  in delajo v ponoru  $j$ . Vsak par položajev  $i$  in  $j$  ima posledično dva toka, prvi je pravkar opisani  $DM_{ij}$ , drugi pa je nasproten tok  $DM_{ji}$ , kar predstavlja tok v smeri od položaja  $j$  proti položaju  $i$ . Namesto da bi delovno mobilnost med položaji množili, smo se odločili za izračun razlike delovne mobilnosti. Posledično si  $F_{ij}$  intuitivno lahko predstavljamo kot »silo privlačnosti« med paroma geografskih položajev.

$$F_{ij} = \frac{DM_{ij} - DM_{ji}}{d_{ij}^\alpha} \quad (9)$$

V naslednjem koraku seštejemo vrednosti  $F_{ij}$  za vse kombinacije  $i$ -tega proti  $j$ -temu položaju. Obrnili pa smo tudi števec, s čimer zagotovimo pozitivne vrednosti za primer, ko  $i$ -ti položaj predstavlja položaj neto ponora (ko več ljudi prihaja, kot odhaja).  $F_i$  je torej rezultanta privlačnosti sil med vsemi možnimi pari položajev, ki je pozitivna, kadar položaj predstavlja neto ponor in negativna, ko predstavlja neto izvor.

$$F_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{DM_{ji} - DM_{ij}}{d_{ij}^\alpha} \quad (10)$$

Enačba (10) predstavlja postopek izračuna vrednosti  $F$  za posamezni položaj. Vrednosti  $F$  je torej toliko, kolikor imamo obravnavanih položajev. Prostorske interakcije smo modelirali na položajih upravnih središč. Uporabljen eksponent  $\alpha$  je znašal 2, na koncu pa smo rezultate pomnožili s faktorjem 100.000 za regije ter 25.000 za občine. Oba faktorja sta bila izbrana izkustveno.

Naslednji korak v obravnavanem postopku predstavlja interpolacija. Uporabili smo metodo obratne utežene razdalje, ki je vgrajena v orodje ArcMap. Spada med deterministične metode interpolacij, obenem pa omogoča tudi ekstrapolacijo. Rezultat interpolacije je zvezna ploskev (rastrski sloj), ki zajema svoje največje in najmanjše vrednosti v točkah, ki so služile kot podatek za interpolacijo. Rezultat interpolacije je nov sloj, kateremu je potrebno primerno urediti še kartografski izgled. Predvsem pomembna je klasifikacija v razrede. Izkustveno smo se odločili za ročno določitev meja razredov, tako da so meje simetrične glede na vrednost 0. Programska koda skriptnega orodja metode vpliva razdalje na neto delovno mobilnost se nahaja v prilogi E.

## 4 REZULTATI

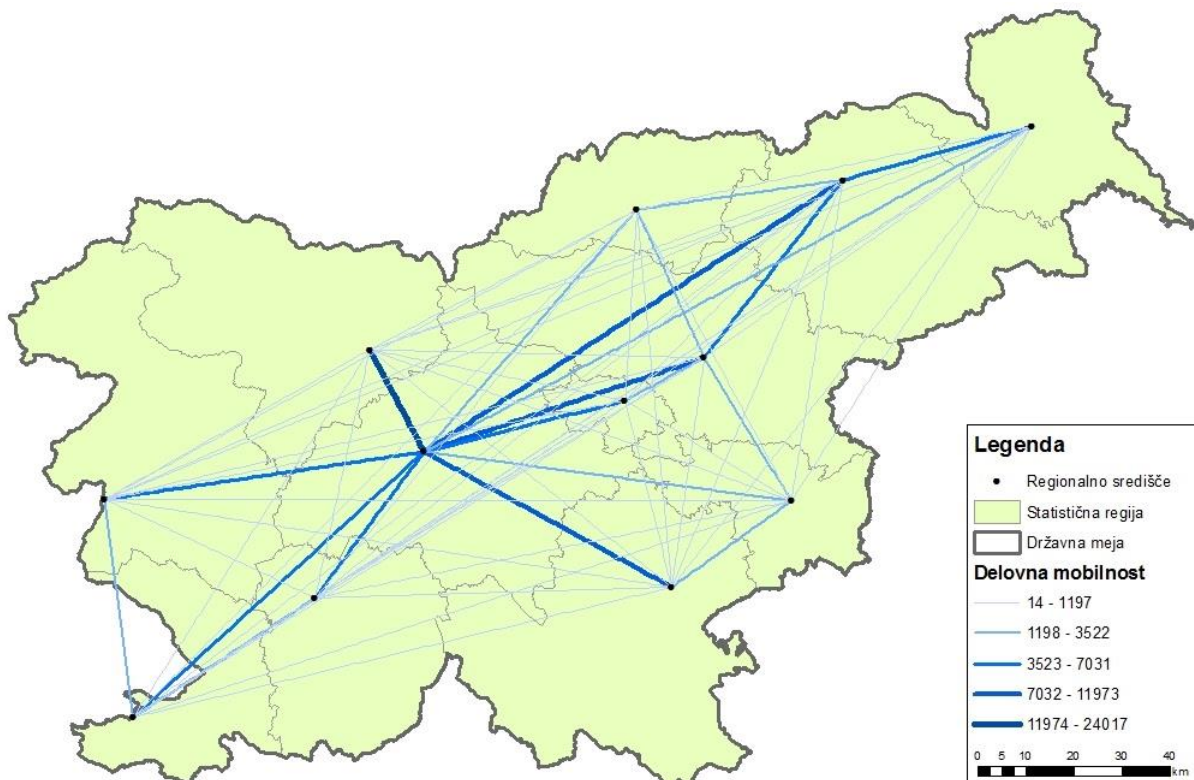
V tem poglavju predstavimo in na kratko komentiramo rezultate modeliranja vzorcev prostorskih interakcij po uporabljenih metodah. Podrobnejše vrednotenje rezultatov sledi v naslednjem poglavju.

### 4.1 Rezultati metode pajkove mreže

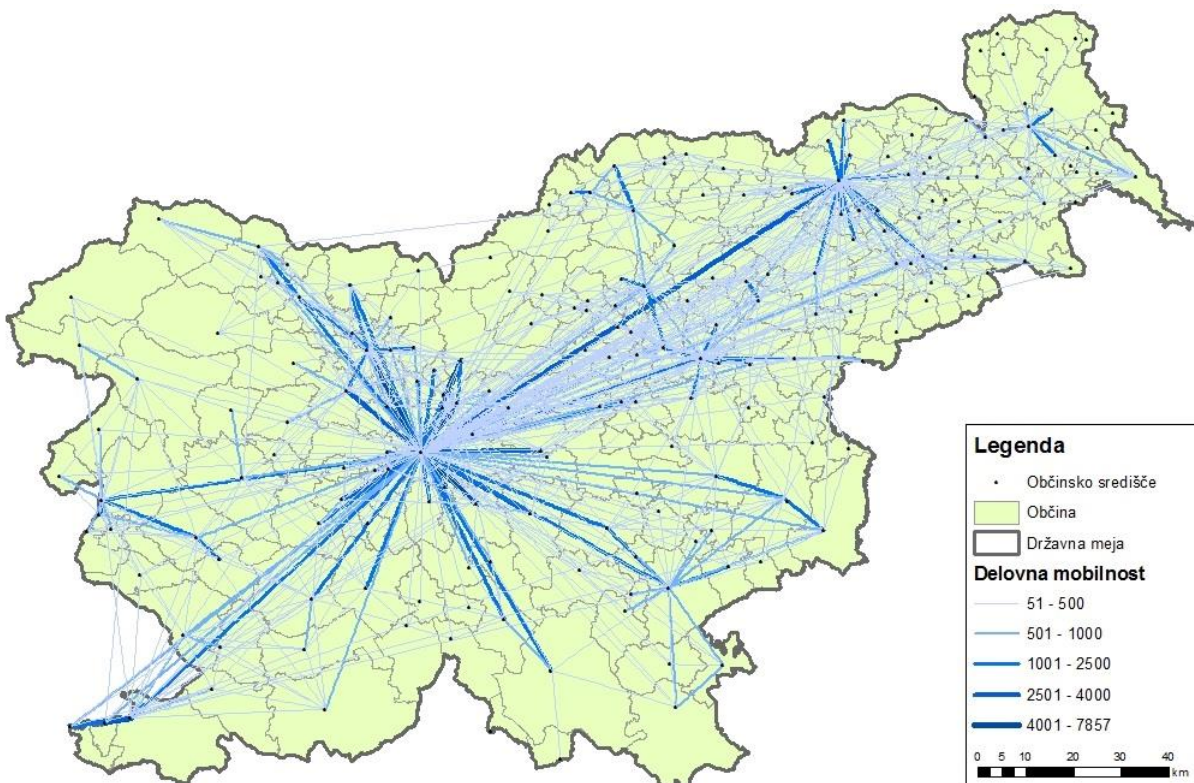
Slika 3 prikazuje rezultat modeliranja tokov med regijami Slovenije po metodi pajkove mreže. Tok z največjo jakostjo, torej največjim številom delavcev vozačev je na povezavi med osrednjeslovensko in gorenjsko regijo, med katerima dnevno potuje kar 24.017 oseb. Poleg para osrednjeslovenske in gorenjske regije, pa izstopata še para osrednjeslovenske in jugovzhodne ter osrednjeslovenske in savinjske regije. Omenjene štiri statistične regije so regije z največjo vrednostjo interakcij, kar jih postavlja v središče dogajanja.

Na drugi strani predstavlja najšibkejši tok, z le štirinajst delavci vozači na dan, povezava med koroško in notranjsko-kraško regijo. Manj kot 100 oseb pa naj bi se dnevno vozilo na povezavah med kar 51, od skupno 66 možnih povezav med statističnimi regijami. To predstavlja več kot 77 % vseh možnih kombinacij povezav.

Na sliki 4 so prikazane interakcije delovne mobilnosti med občinami Slovenije, kjer prikazujemo interakcije z več kot 50 delavci vozači na dan. Kot ponor z največjo gostoto interakcij izstopa občina Ljubljana v kombinaciji z okoliškimi občinami Kranj, Kamnik, Domžale in Grosuplje. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Bole (2004), ko je označil Ljubljano za edino zaposlitveno središče z nadregionalnim pomenom z izjemno močnim zaledjem. Parov povezav med občinami z več kot 1 in manj kot 33 osebami je 7254 od 8433 interakcij, kar predstavlja 86 % vseh povezav.



Slika 3: Pajkova mreža delovne mobilnosti med statističnimi regijami v letu 2011

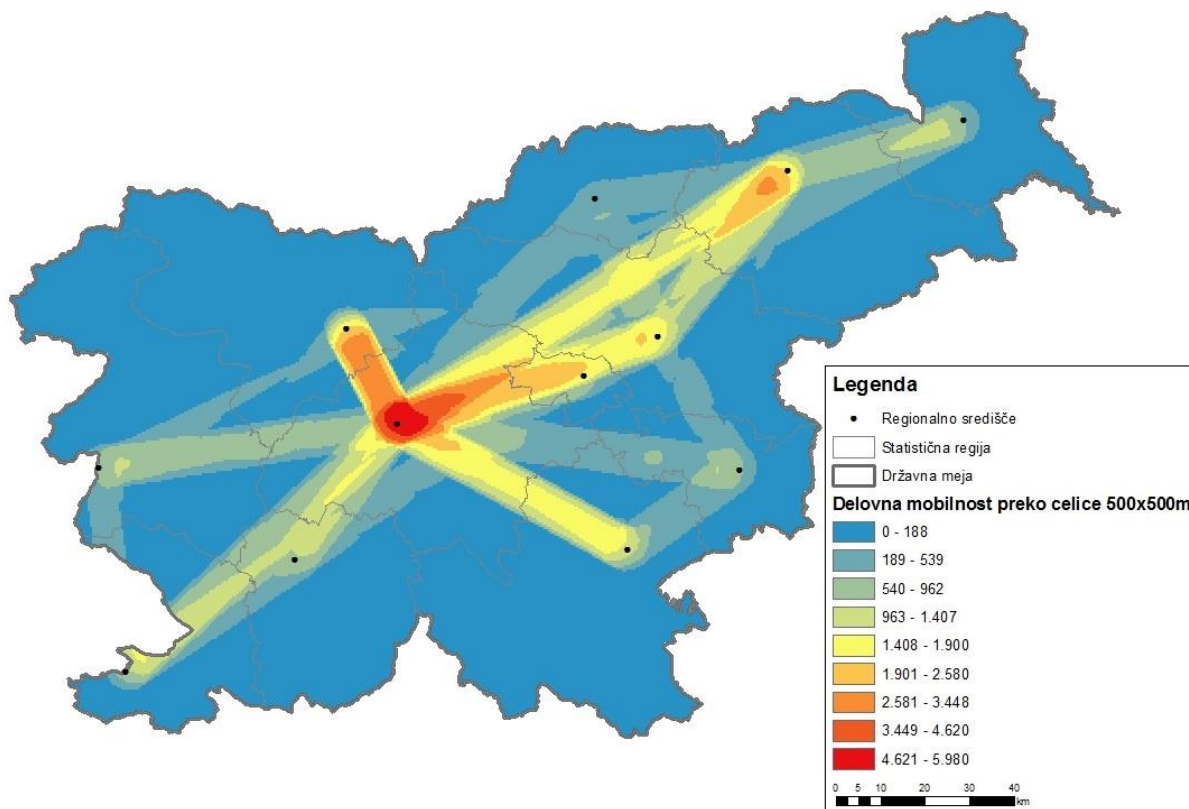


Slika 4: Pajkova mreža delovne mobilnosti med občinami v letu 2011 (brez tokov s 50 ali manj interakcijami)

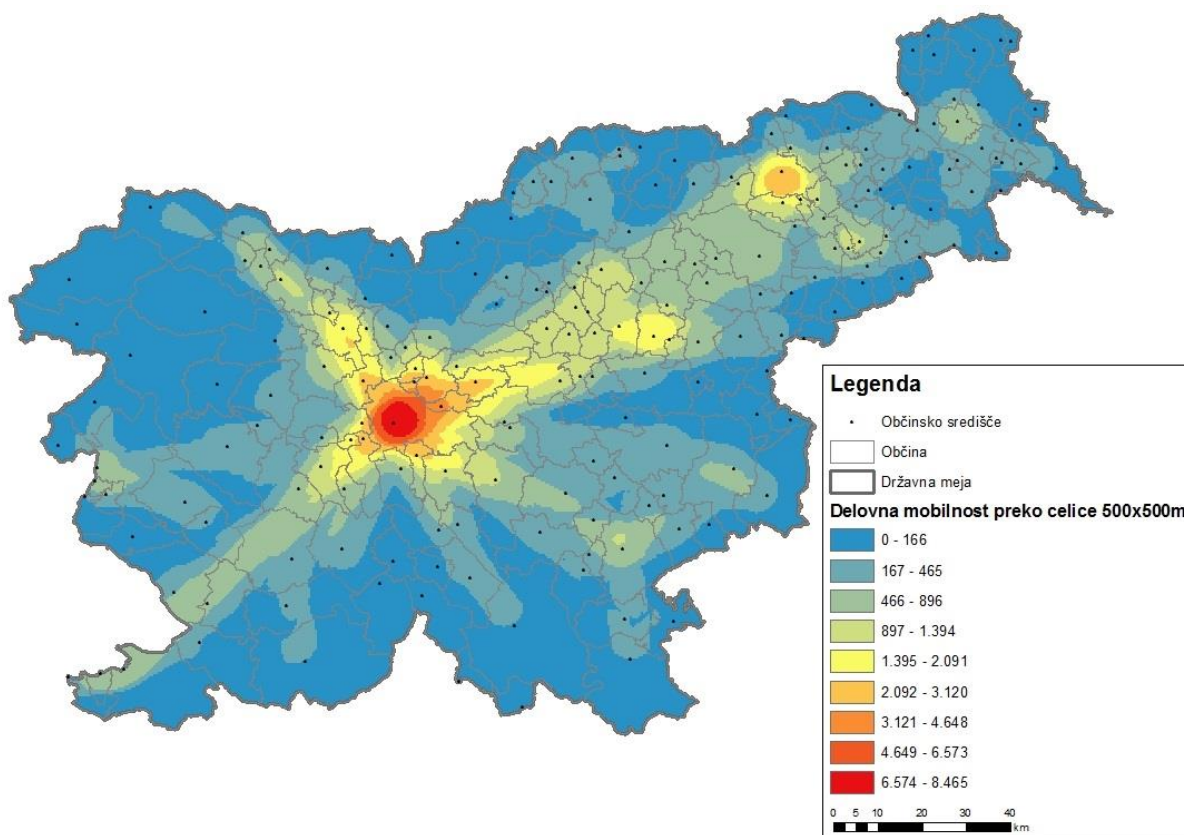
Karta na sliki 5 nastane z obdelavo povezav med statističnimi regijami, ki nosijo podatek o jakosti interakcij (slika 3). Največja gostota povezav se izkaže na mestih, kjer so interakcije najpogostejše in obenem najmočnejše. Vrednosti interpolirane gostote opazovane rastrske celice (prikazane z barvnimi odtenki) si lahko predstavljamo, kot število oseb, ki se vozi preko celice 500x500 metrov v naravi. V primeru, ko smo obravnavali interakcije le med dvanajstimi regijami je raven detajla na karti temu primerno nizka. Največjo gostoto opazimo v okolici dejanskega (upravnega) središča osrednjeslovenske regije ter deloma gorenjske in podravske statistične regije.

Slika 6 prikazuje gostote interakcij delovne mobilnosti na ravni občin. Karti na ravni občin in statističnih regij (slika 5) sta izdelani z enakimi nastavitvami, s čimer zagotovimo karseda kakovostno primerjavo. Primerjava obeh kart (na slikah 5 in 6), razkrije, da vsebuje karta interakcij med občinami več detajla, obenem pa sta karti podobni. Iz tega dejstva lahko zaključimo, da je metodologija stabilna na različnih prostorskih ravneh in zatorej daje podobne rezultate. Prikaz na ravni statističnih regij lahko razumemo tudi kot kartografsko generalizacijo prikaza na ravni občin.





Slika 5: Delovna mobilnost med statističnimi regijami v letu 2011 (gostota interakcij)



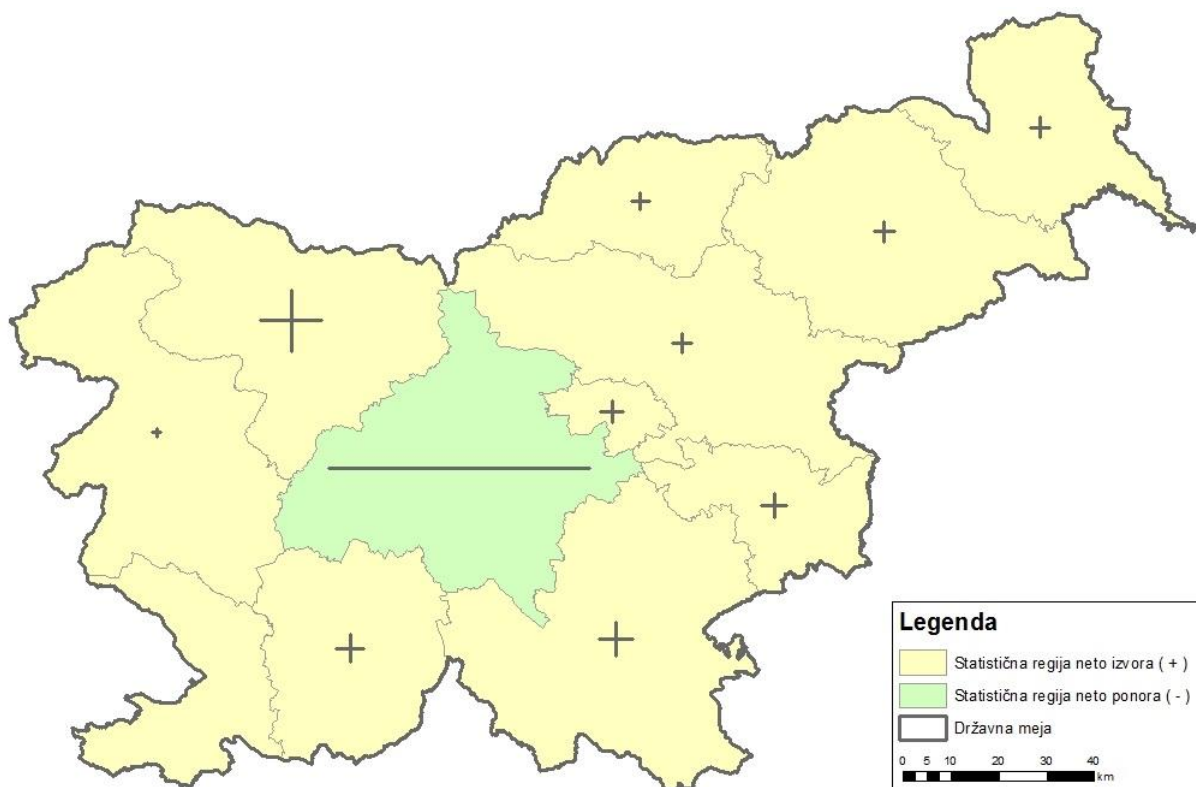
Slika 6: Delovna mobilnost med občinami v letu 2011 (gostota interakcij)



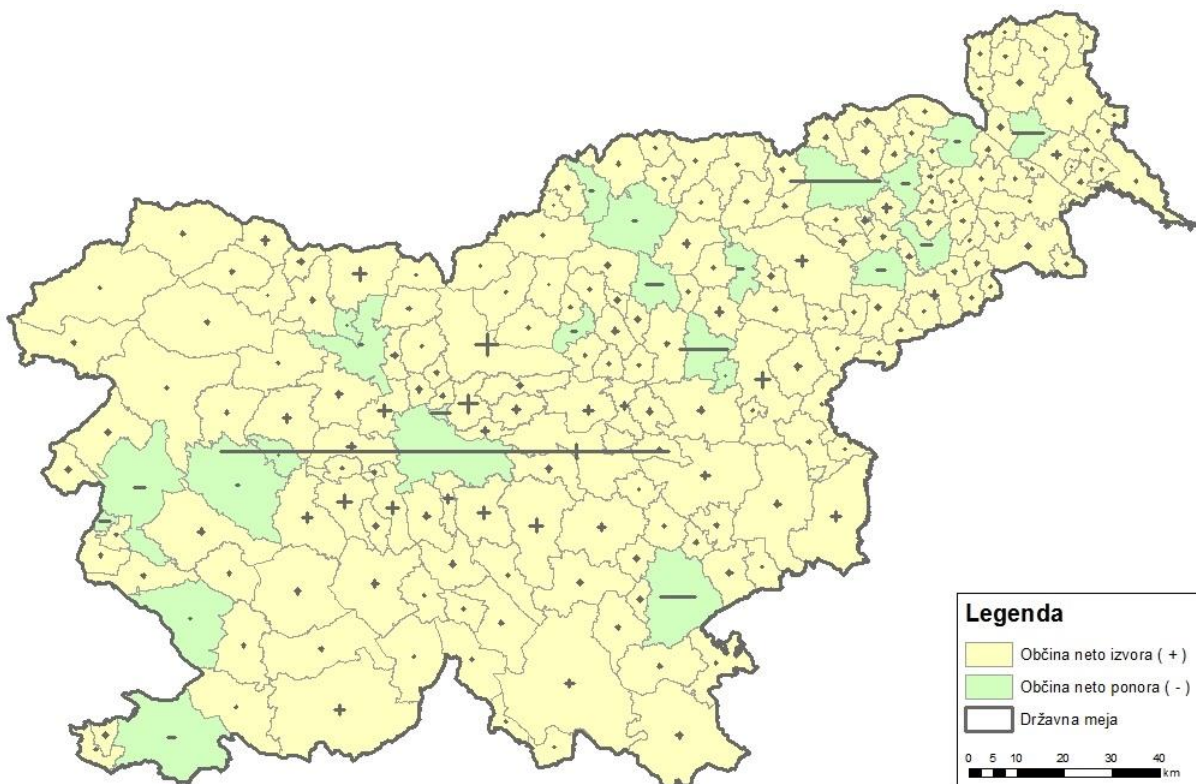
## 4.2 Rezultati modeliranja vektorskih polj

Na sliki 7 prikazujemo gravitacijska središča statističnih regij kot ponore in izvore neto delovne mobilnosti. Kot položaje neto ponorov prikazujemo tiste položaje, katerih neto delovna mobilnost je negativna (več ljudi prihaja kot odhaja iz obravnavane regije). Nasprotno, so položaji neto izvorov tisti, katerih neto delovna mobilnost znaša več kot 0. Velikost znaka odraža vrednost neto delovne mobilnosti. Osrednjeslovenska regija se pokaže kot edina regija ponora, kar pomeni, da ljudje vanjo v splošnem prihajajo na delo. Po statističnih podatkih za leto 2011 naj bi v omenjeno regijo dnevno prišlo na delo kar 54.393 oseb več kot jih iz nje odide. Vse ostale regije predstavljajo neto izvore delovne mobilnosti. Najmočnejši neto izvor predstavlja gorenjska regija, za njo pa se kaže kot močan izvor še jugovzhodna regija.

Slika 8 prikazuje ponore in izvore neto delovne mobilnosti na ravni občin. Zaradi podrobnosti prikaza je tukaj še posebej pomembno, da ločujemo ponore in izvore ne samo s kartografskim znakom temveč tudi z barvo. Kot največji neto ponor se izkaže občina Ljubljana, v katero dnevno pride 93.857 več delavcev, kot jih iz nje odide. Ostale pomembne občine neto ponora so še (od zahoda proti vzhodu): Koper, Sežana, Nova Gorica, Šempeter-Vrtojba, Idrija, Žiri, Kranj, Naklo, Trzin, Novo Mesto, Nazarje, Štore, Celje, Velenje, Slovenj Gradec, Ravne na Koroškem, Zreče, Maribor, Kidričevo, Ptuj, Lenart, Gornja Radgona in Murska Sobota.



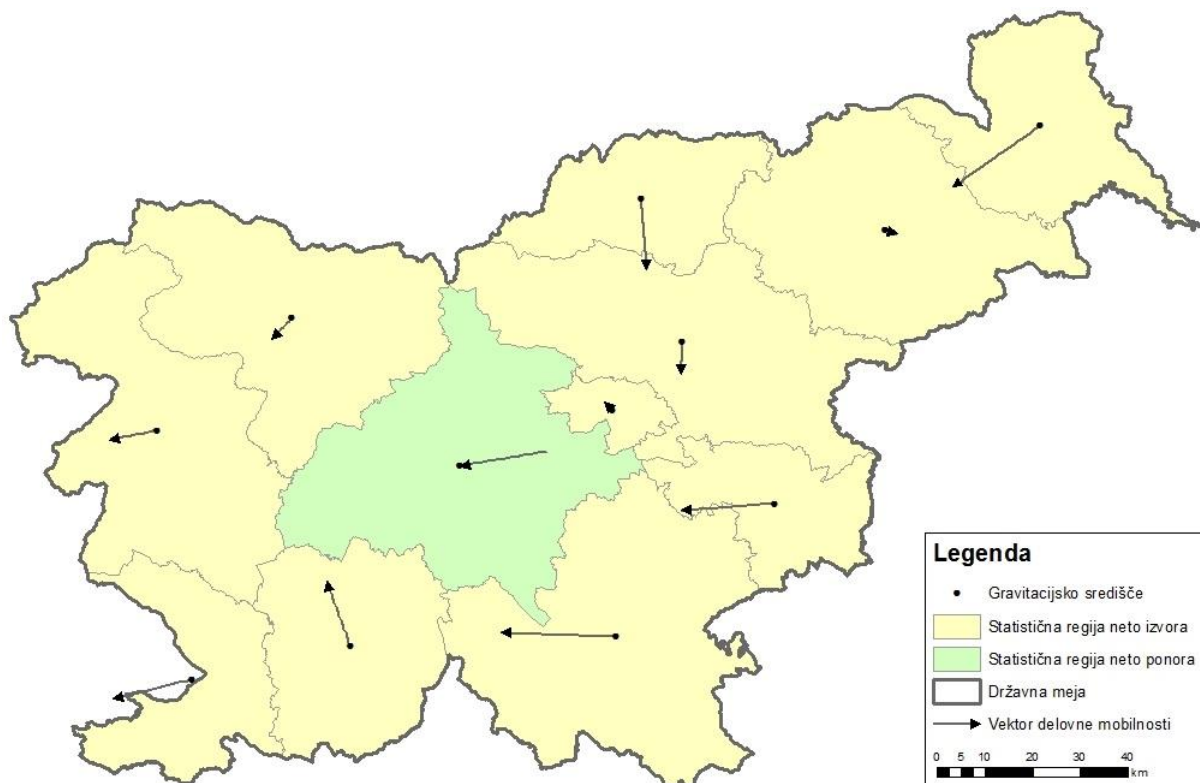
**Slika 7: Gravitacijska središča statističnih regij kot ponori in izvori neto delovne mobilnosti v letu 2011**



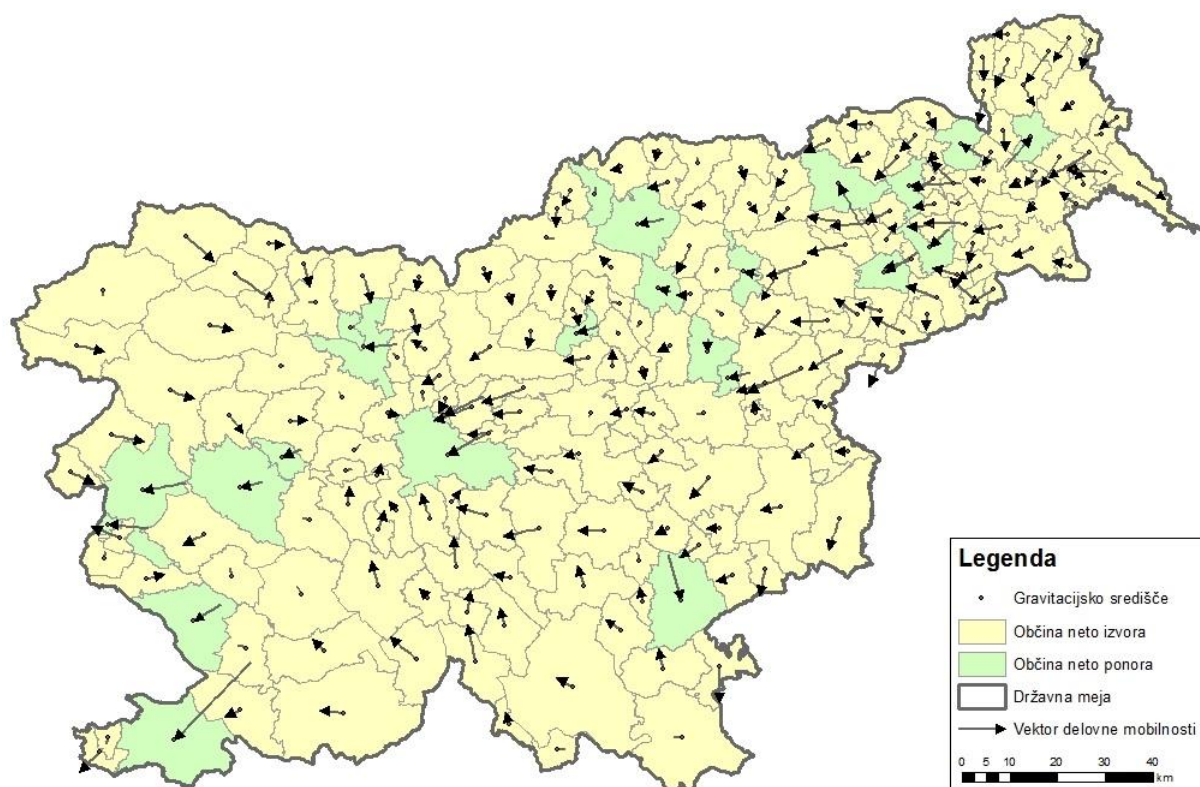
**Slika 8: Gravitacijska središča občin kot ponori in izvori neto delovne mobilnosti v letu 2011**

Na sliki 9 so prikazani vektorji neto delovne mobilnosti za gravitacijska središča statističnih regij v letu 2011, izračunani po pristopu, kot ga obravnava Tobler (1975). Vektorji neto delovne mobilnosti so postavljeni tako, da nakazujejo polnjenje oz. praznjenje prostorske enote. V kolikor v obravnavano območje prihaja več ljudi, kot jih iz nje odhaja, je vektor s puščico postavljen na gravitacijsko središče, kar intuitivno razumemo kot polnjenje. Opazimo globalen trend delovne mobilnosti iz severovzhodne Slovenije proti osrednjeslovenski regiji. Moteča pa je postavitev vektorjev goriške in obalno-kraške regije, ki kažeta proti Italiji (kar je, glede na to da smo obravnavali le delovno mobilnost znotraj države, nemogoče; podrobneje o tem v poglavju 5.2).

Slika 10 prikazuje vektorje neto delovne mobilnosti na nižji prostorski ravni, na ravni občin. Zaradi velikega števila vektorjev je težko opaziti globalne trende, nam pa omogočajo prepoznavo lokalnih vzorcev. Opazimo, da se okoli posameznih občin ponora, vektorji delovne mobilnosti okoliških občin v veliki večini obračajo proti položaju neto ponora, kar smo tudi pričakovali.



Slika 9: Vektorji delovne mobilnosti med statističnimi regijami v letu 2011

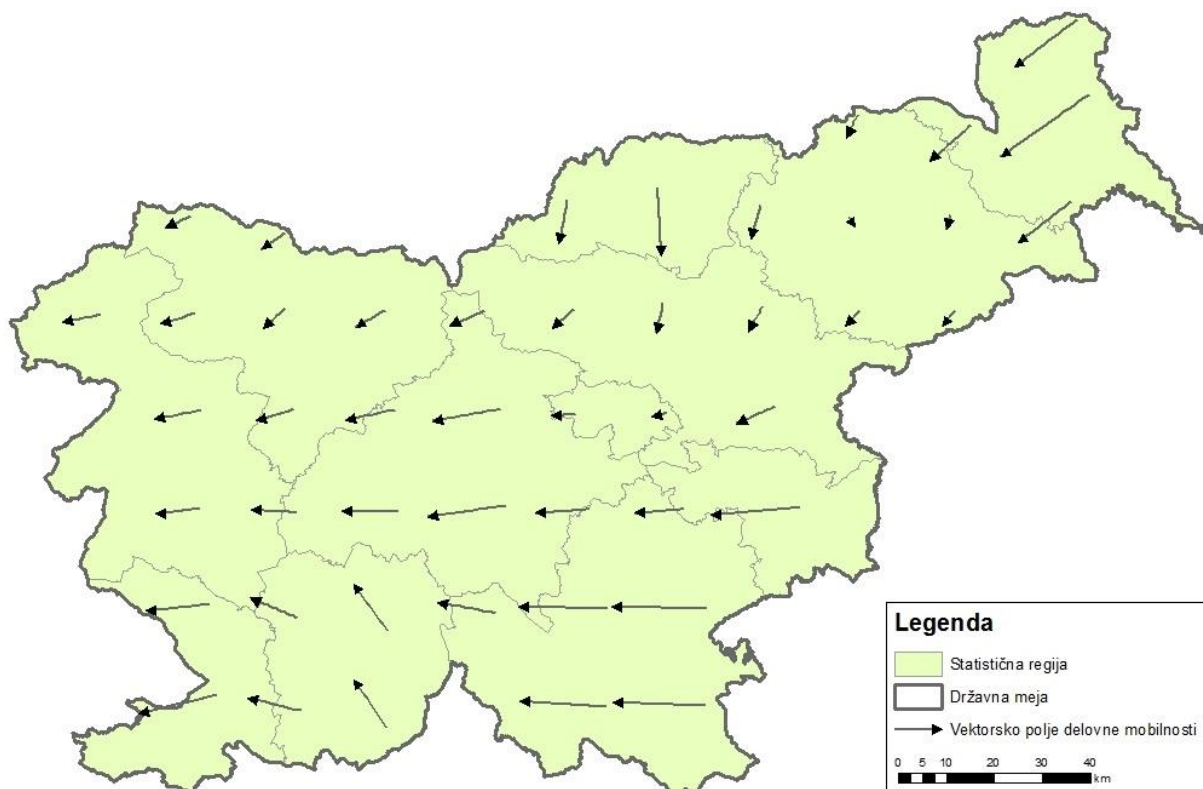


Slika 10: Vektorji delovne mobilnosti med občinami v letu 2011

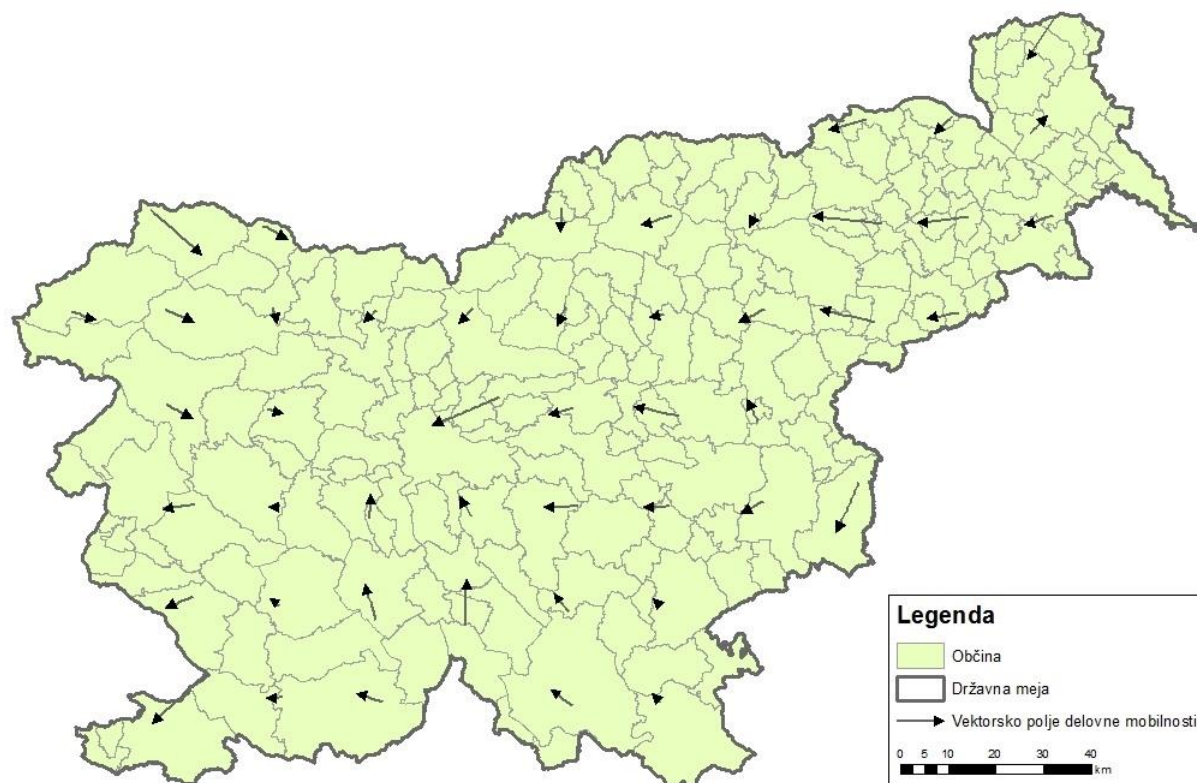
Prikaz na sliki 11 predstavlja interpolirano vektorsko polje delovne mobilnosti. Ob upoštevanju in ne spreminjanju vsebinskega prikaza, smo nekatere vektorje na državni meji ročno nekoliko premaknili, s čimer smo zagotovili boljše razumevanje grafike (velja za slike 11, 12, 15 in 16). Tu, še bolj kot na karti 9, pride do izraza globalen trend delovne mobilnosti iz severovzhodne proti osrednjeslovenski regiji.

Slika 12 prikazuje interpolirano vektorsko polje delovne mobilnosti med občinami Slovenije. Omenimo naj, da je vektor severozahodno od ljubljanske občine zelo majhen, kar je razlog, da na prikazu ni viden. Opazimo, da je veliko vektorjev delovne mobilnosti usmerjenih proti osrednji Sloveniji. Razlog temu je ljubljanska občina, za katero smo že ugotovili, da je po Boletu (2004) zaposlitveno središče nadregionalnega pomena.





Slika 11: Vektorsko polje delovne mobilnosti med statističnimi regijami v letu 2011

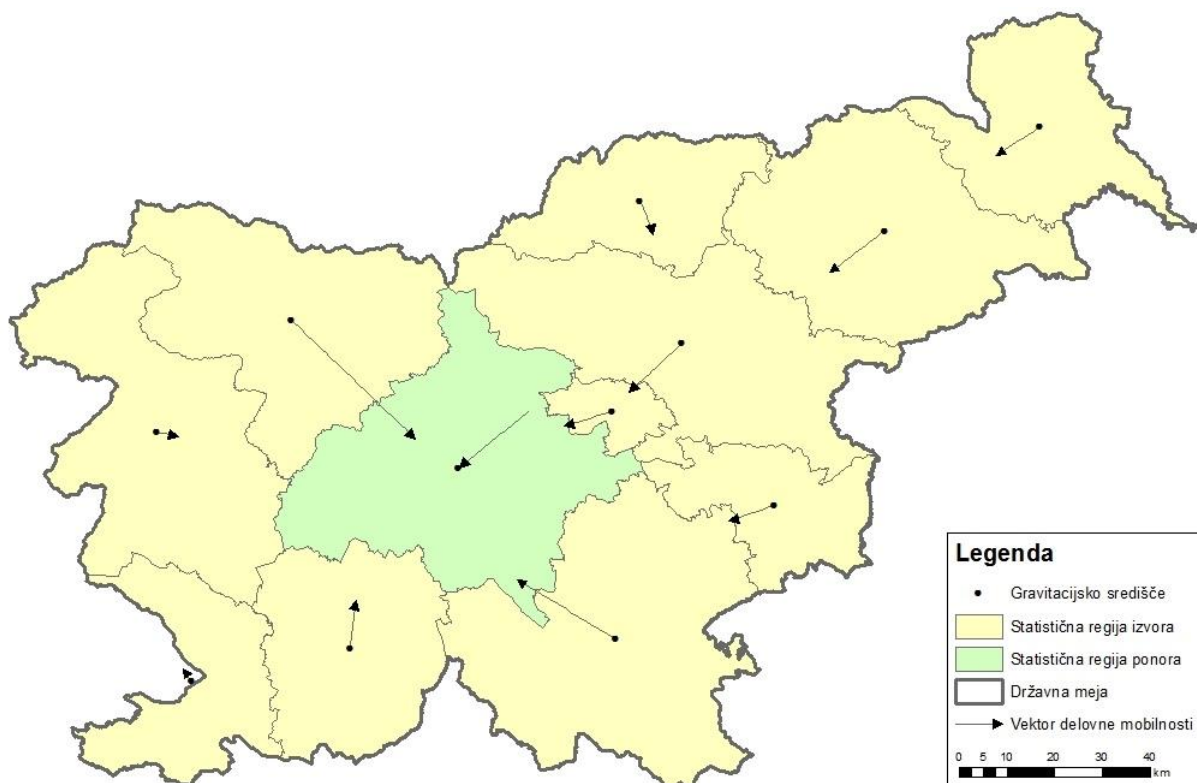


Slika 12: Vektorsko polje delovne mobilnosti med občinami v letu 2011

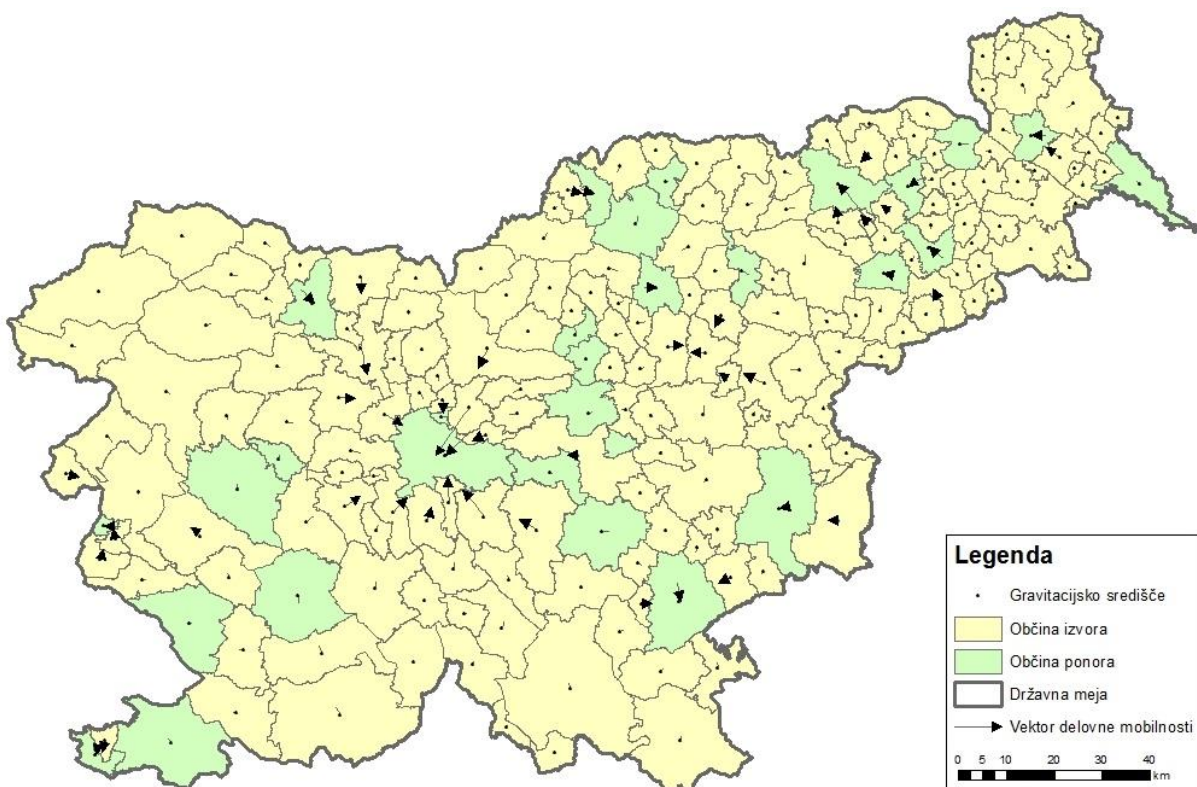
### 4.3 Rezultati metode globalnega trenda

Rezultati metode globalnega trenda (*angl. TrendLine*) delovne mobilnosti med gravitacijskimi središči prikazujejo smeri in jakosti prihodov oz. odhodov delavcev vozačev. Za statistično regijo polnjenja, torej ponora, se izkaže le osrednjeslovenska regija (slika 13). Tudi tu, kot pri Toblerjevem načinu (Tobler, 1975) na sliki 9, opazimo vzorec delovne mobilnosti iz severovzhodne Slovenije proti osrednjeslovenski regiji, hkrati pa so tudi vektorji gorenjske, goriške ter notranjsko-kraške regije obrnjeni s puščico proti osrednjeslovenski regiji.

Na sliki 14 je 29 občin označenih z zeleno barvo (neto ponori), še vedno pa je večina Slovenije pokrite z rumeno barvo, ki prikazuje občine neto izvora. Občine neto ponora so: Piran, Koper, Sežana, Šempeter-Vrtojba, Postojna, Idrija, Žiri, Ljubljana, Trzin, Radovljica, Šmartno pri Litiji, Trebnje, Novo Mesto, Krško, Zagorje ob Savi, Vransko, Nazarje, Velenje, Slovenj Gradec, Prevalje, Vuzenica, Zreče, Kidričevo, Maribor, Ptuj, Lenart, Gornja Radgona, Murska Sobota in Lendava.



**Slika 13: Vektorji delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med statističnimi regijami v letu 2011**

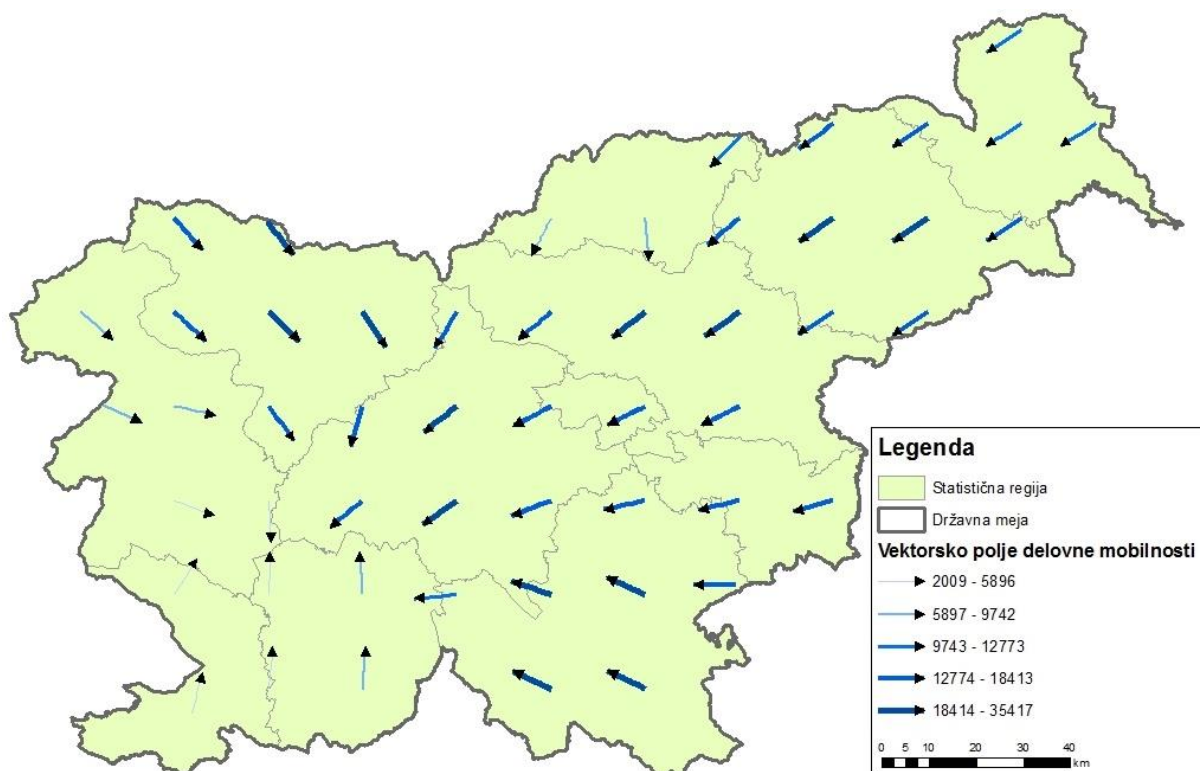


**Slika 14: Vektorji delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med občinami v letu 2011**

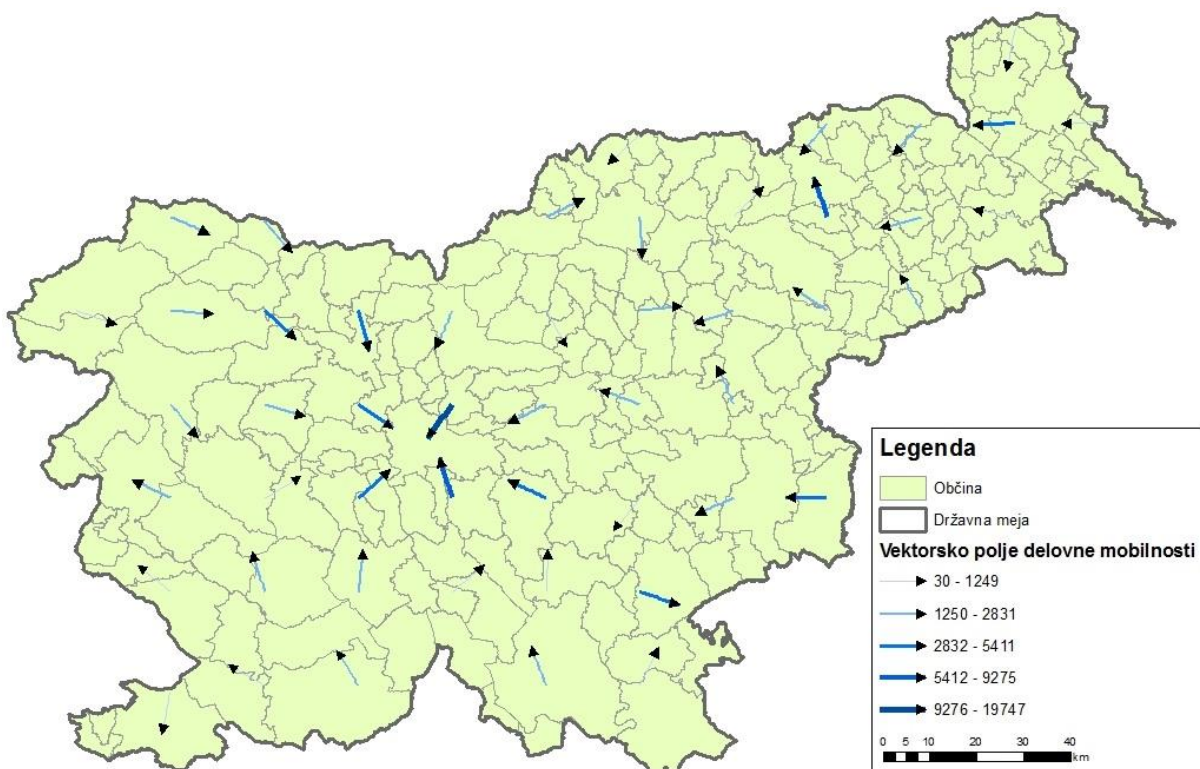


Slika 15 prikazuje interpolirano vektorsko polje delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda. Postopek interpolacije je bil izveden na enak način kot v primeru izdelave vektorskega polja na sliki 11. Zaradi nazornosti prikaza smo jakost vektorjev namesto z njegovo dolžino ponazorili z debelino linije, ki je razvrščena v pet razredov. Opazimo, da je velika večina vektorjev obrnjena proti osrednjeslovenski regiji, kar vsebinsko odgovarja karti na sliki 13 in ponazarja, da je osrednjeslovenska regija izrazit ponor delovne mobilnosti.

Na sliki 16 nam takoj pade v oči izrazit vzorec v okolici občine Ljubljana, ki je izrazit ponor delovne mobilnosti. Opazimo t.i. »lijak«, kar nakazuje na dejstvo, da večina delavcev vozačev izvira iz okoliških občin (pa tudi širše) in prihaja na delo v Ljubljano.



Slika 15: Vektorsko polje delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med statističnimi regijami v letu 2011

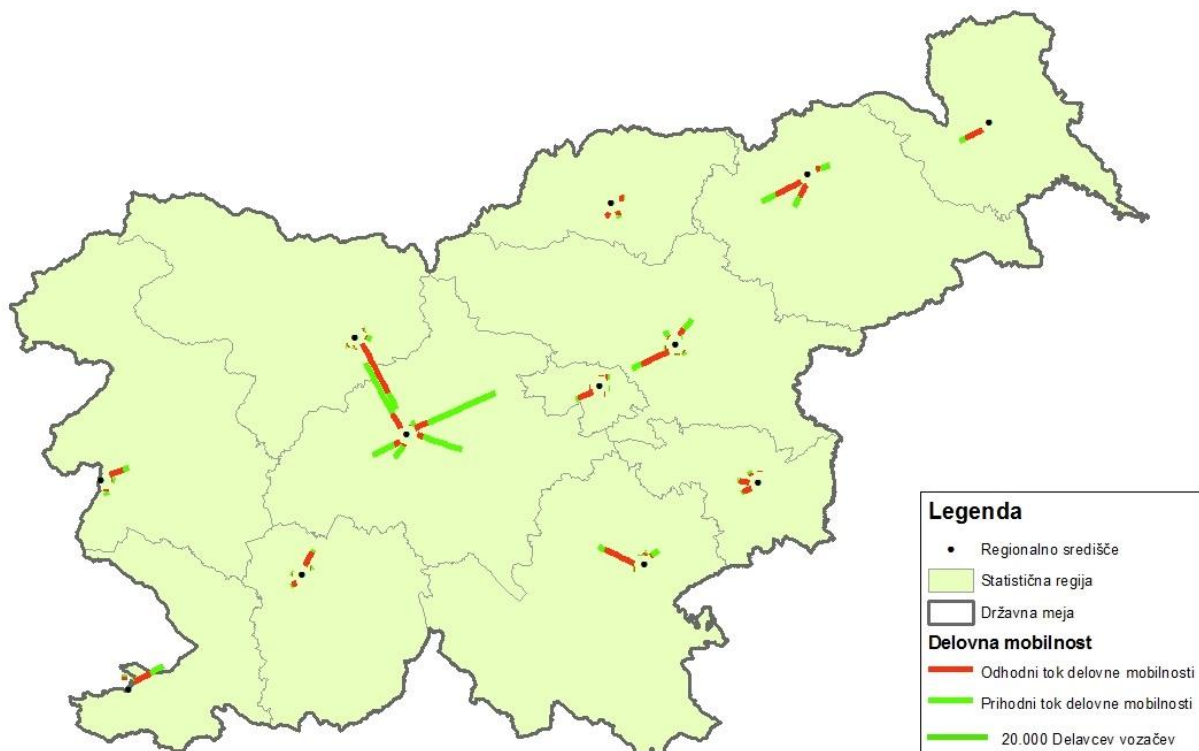


Slika 16: Vektorsko polje delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda med občinami v letu 2011

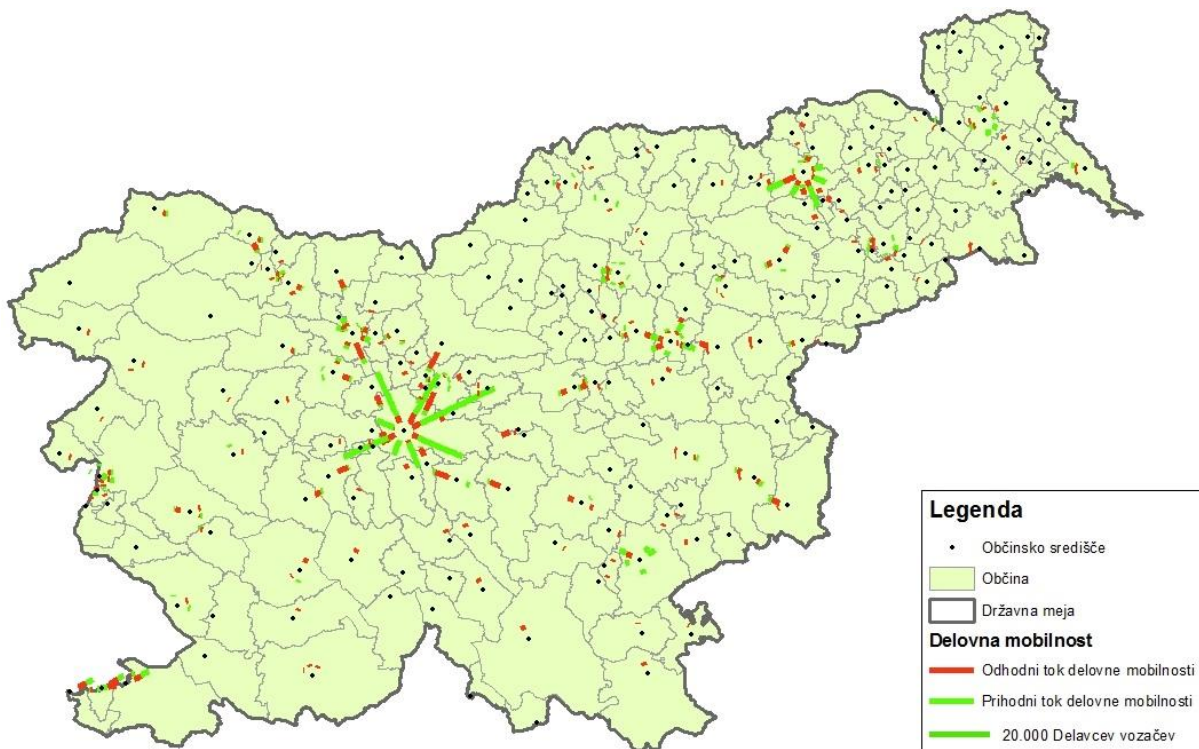
#### **4.4 Rezultati metode vetrovne rože tokov**

Slika 17 prikazuje vetrovne rože tokov delovne mobilnosti za upravna središča statističnih regij. Z ločenima barvama so prikazani prihodni in odhodni vektorji delovne mobilnosti. Vektorji so izkustveno premaknjeni, saj bi se v nasprotnem primeru vektorja med osrednjeslovensko in gorenjsko regijo prekrila. Uporabljen je tudi faktor pomanjšave vektorja, in sicer znaša 1,5. Z njim smo dosegli, da vektorja med osrednjeslovensko in gorenjsko regijo ne segata preko regionalnih središč. Zopet lahko le za osrednjeslovensko regijo z gotovostjo trdimo, da je edina regija ponora.

Na sliki 18 so prikazane vetrovne rože tokov delovne mobilnosti za občinska (upravna) središča. Tudi ta prikaz uporablja faktor pomanjšave, ki znaša 1,5. Z namenom izboljšanja preglednosti prikaza, prikazujemo le vektorje z več kot 500 interakcijami. Kot izrazite občine ponorov lahko označimo občine: Ljubljana, Maribor, Novo Mesto, Celje, Velenje in Murska Sobota.



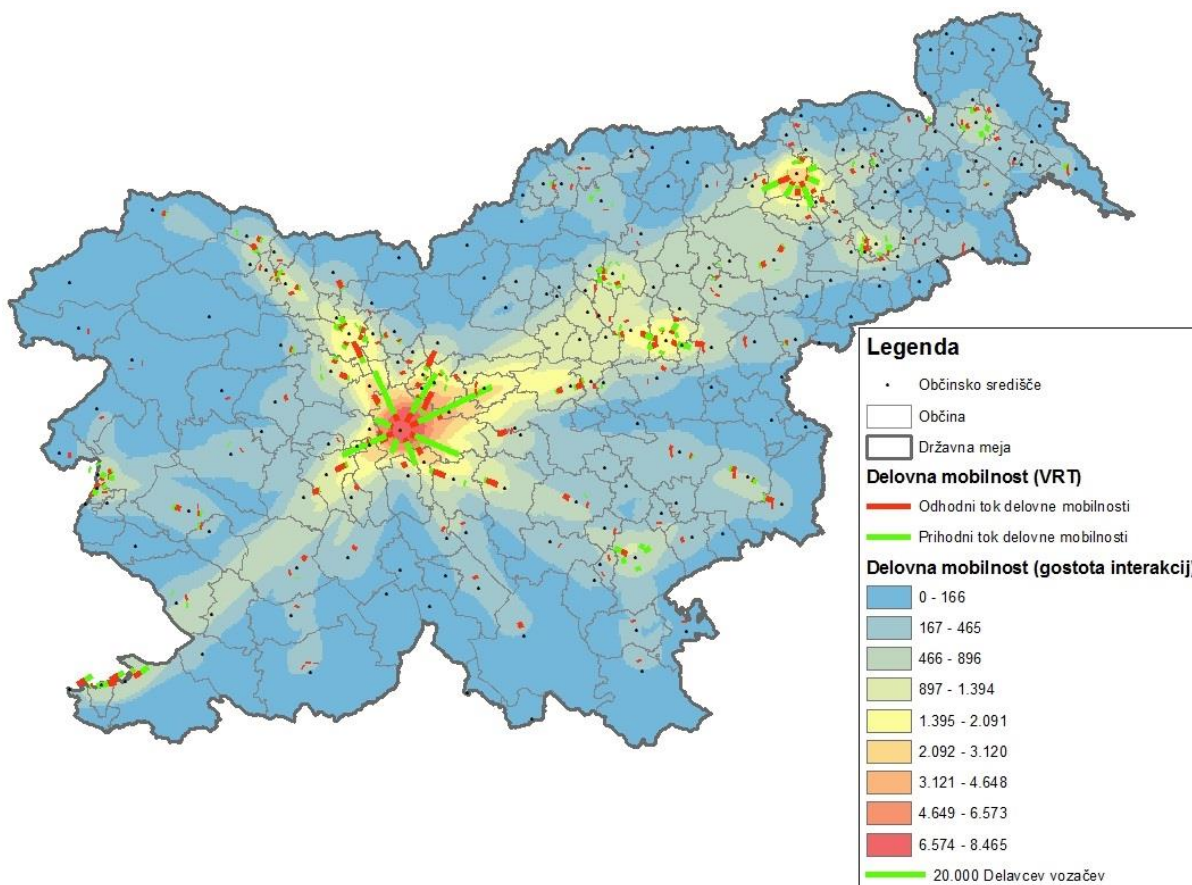
**Slika 17: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med statističnimi regijami (upravno središče) v letu 2011**



**Slika 18: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med občinami (upravno središče) v letu 2011 (vektorji z več kot 500 interakcijami)**



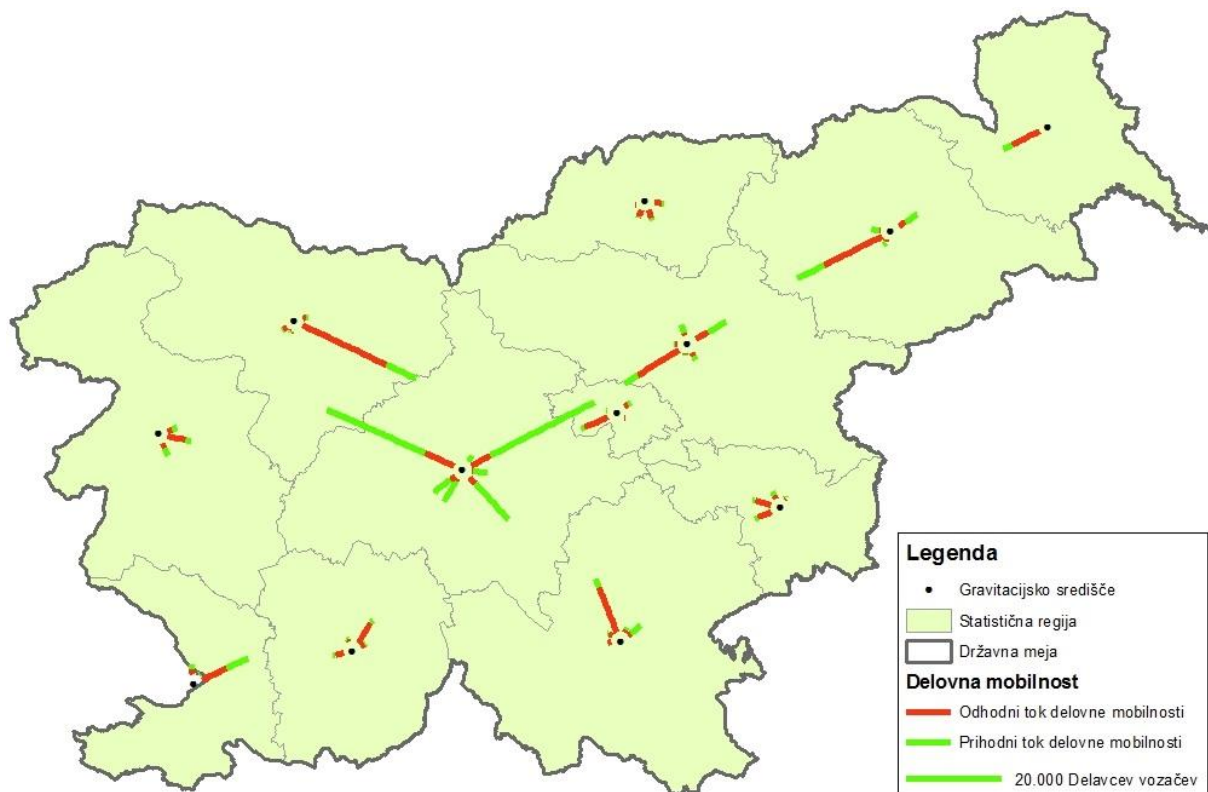
Na sliki 19 prikazujemo kombinacijo dveh obravnavanih metod. Prekrili smo rezultate gostote linije ter rezultate metode vetrovne rože tokov (VRT) na isti prostorski ravni, to je ravni občin. Združitev rezultatov posameznih metod dá dodano vrednost kombiniranemu rezultatu.



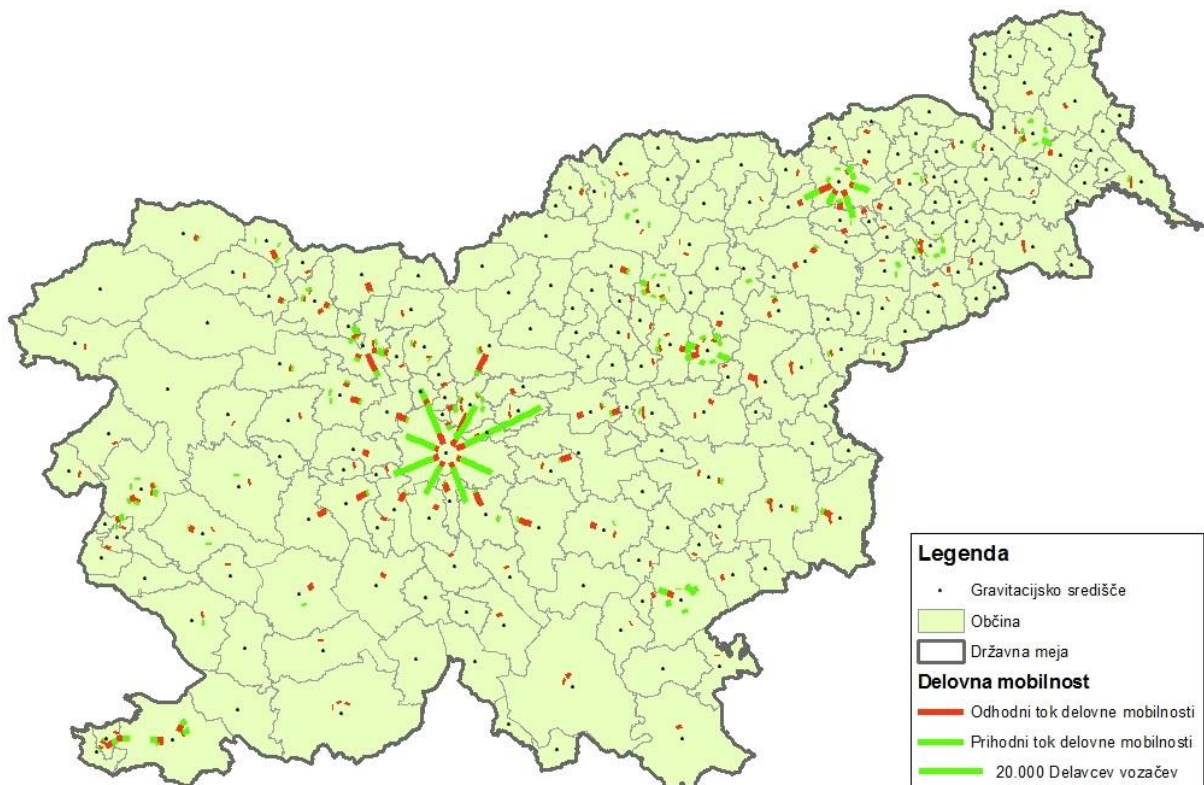
**Slika 19: Vetrovna roža tokov in gostote linije delovne mobilnosti med občinami (upravno središče) v letu 2011**

Slika 20 prikazuje vetrovne rože tokov delovne mobilnosti za gravitacijska središča statističnih regij. Zamik vektorjev in faktor pomanjšave tu nista uporabljena. Karta je nazornejša, kot tista na sliki 17. Ker vektorji na sliki 20 niso pomanjšani z izbranim faktorjem, so dolžine (jakosti interakcij), na sliki 20 in 17 težje primerljive, saj njihovo merilo ne sovпада. Slabost takšne predstavitve pa je v tem, da obravnavani položaji ne predstavljajo upravnega središča, ki ga intuitivno razumemo kot središče statistične regije.

Karta na sliki 21 prikazuje vetrovne rože tokov delovne mobilnosti za gravitacijska središča občin. Uporabljen faktor pomanjšave je 1,5. Rezultati na sliki 21 in 18 vsebinsko praktično ne odstopajo. Razlog za to pripisujemo dejstvu, da so slovenske občine relativno majhne po površini. Posledično velikih razlik med položajem dejanskega upravnega središča in gravitacijskega središča ni.



**Slika 20: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med statističnimi regijami (gravitacijsko središče) v letu 2011**



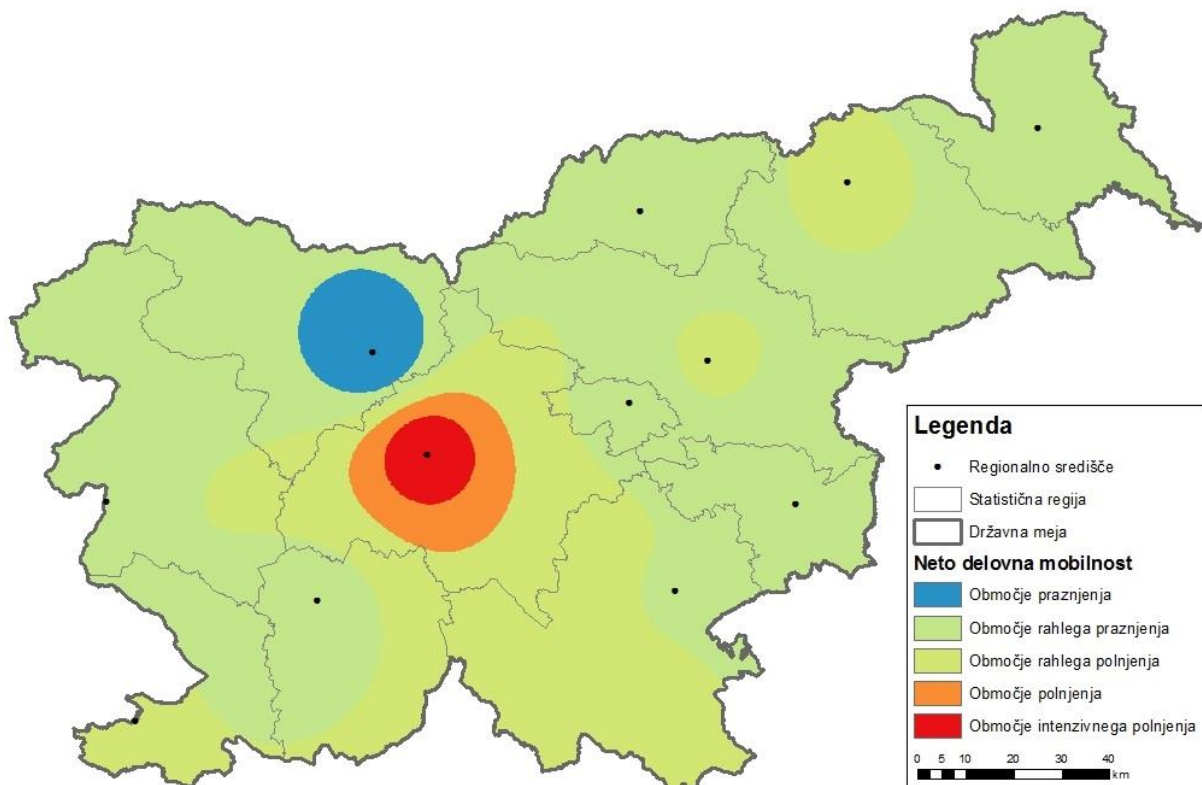
**Slika 21: Vetrovna roža tokov delovne mobilnosti med občinami (gravitacijsko središče v letu 2011)**

#### **4.5 Rezultati metode vpliva razdalje na neto delovno mobilnost**

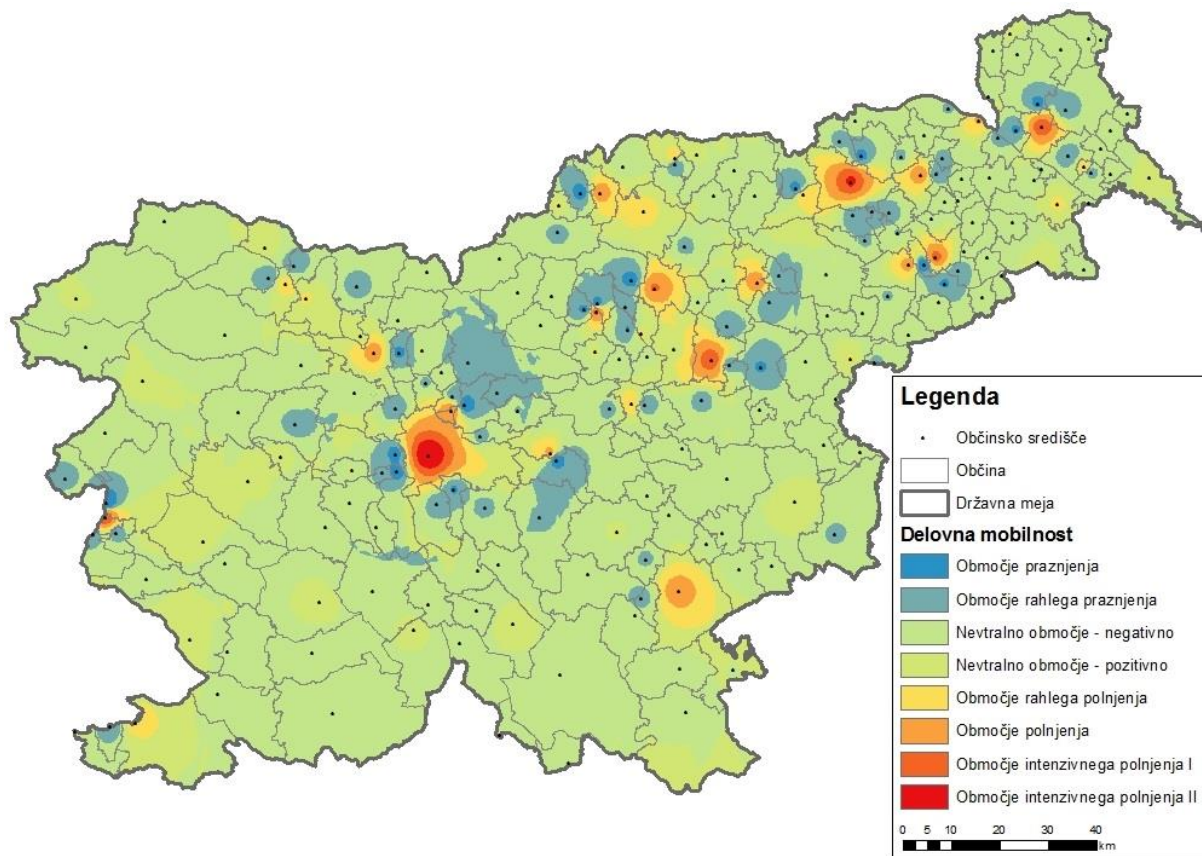
Slika 22 prikazuje »silo privlačnosti« regije po metodi vpliva razdalje na neto delovno mobilnosti. Zaradi majhne prostorske ločljivosti je tudi detajl prikaza relativno slab. Opazimo, da je večji del Slovenije v rumeno-zeleni in zeleni barvi, kar ponazarja območji rahlega praznjenja oz. rahlega polnjenja. Močno izstopata osrednjeslovenska regija – kot ponor, ter gorenjska regija – kot izvor.

Slika 23 prikazuje rezultat modeliranja interakcij po isti metodologiji – vendar na ravni občin. Na račun večje prostorske ločljivosti pridobimo na kvaliteti detajla. Pri tem rezultatu se izkaže več občin ponora, najočitnejše so občine: Ljubljana, Maribor, Šempeter-Vrtojba, Murska Sobota, Celje in Ptuj.





Slika 22: Neto delovna mobilnost utežena z razdaljo med statističnimi regijami v letu 2011



Slika 23: Neto delovna mobilnost utežena z razdaljo med občinami v letu 2011



## 5 VREDNOTENJE REZULTATOV

V tem poglavju podrobno pregledamo, opišemo in ovrednotimo rezultate obravnavanih metodologij.

### 5.1 Vrednotenje rezultatov metode pajkove mreže

Eden izmed pglavitnih ciljev metode je bil prikazati vzorec prostorskih interakcij na način, ki ga omogoča sodobna GIS oprema. Oba prikaza klasificiranih povezav med središči, bodisi regionalnimi (slika 3) ali občinskimi (slika 4) sta nazorna vendar pa jima manjka podrobnosti. Nadgraditev rezultatov osnovne analize je dosežena z uporabo orodja »*Line Density (Spatial Analyst)*«. Prikazana rezultata sta v obliki rastrskega sloja (sliki 5 in 6). Karta na ravni občinskih središč (slika 6) ponuja več podrobnosti, kot karta na ravni regionalnih središč (slika 5).

Slabost prepoznamo v dejstvu, da pristop ne omogoča kvalitetne predstavitve ponorov (središč kamor tokovi poniknejo) in izvorov (središč od koder tokovi izvirajo). Povezave med središči zagotovijo le informacijo o vrednosti bruto toka, torej vsoti obeh tokov med posameznim parom središč. Brez poznavanja družbeno-gospodarskih lastnosti posameznih središč, bi bilo nemogoče sklepati ali je opazovano središče ponor ali izvor. Te informacije izluščimo z nadaljnjo analizo tokov iz matrike delovne mobilnosti: v našem primeru predstavljajo pomembnejše ponore občine Ljubljana, Maribor in Celje, delno pa tudi Murska Sobota.

Med pozitivne lastnosti metode gotovo spada njena preprostost, saj v ozadju ni zapletenih računskih algoritmov.

### 5.2 Vrednotenje rezultatov modeliranja vektorskih polj

Na slikah 7 do 12 so prikazane različne stopnje modeliranja vzorca prostorskih interakcij z vektorskimi polji.

Prikaza 7 in 8 služita za določitev položajev neto ponorov in neto izvorov. S plus znakom in s posebno barvo prikazujemo območja, bodisi statistične regije ali občine, iz katerih ljudje v splošnem izvirajo. To so območja, katerih neto delovna mobilnost je pozitivna. Območja ponorov, prikazana z znakom minus in prav tako s posebno barvo pa so tista, katerih neto delovna mobilnost je negativna.

Kot regija ponora oz. polnjenja se izkaže le osrednjeslovenska regija, v katero dnevno ponikne 54.393 delavcev vozačev več, kot jih iz nje izvira. Ob prehodu na raven občin, pa se

izkaže več neto ponorov; izrazitejše občine neto ponorov, po vrednosti padajoče, so: Ljubljana, Maribor, Celje, Novo Mesto, Murska Sobota, Trzin, Velenje, Ptuj, Šempeter-Vrtojba in Nova Gorica. Še posebej zanimiv je rezultat, da neto delovna mobilnost ljubljanske občine znaša 93.857 prihodov, kar je skoraj dvakrat toliko kolikor znaša neto delovna mobilnost osrednjeslovenske regije, v katero spada Ljubljana. Obrazložitev je naslednja: osrednjeslovensko regijo, poleg ljubljanske občine sestavlja še 25 okoliških občin, katere se v veliki večini pojavljajo kot občine izvora, nekatere pa tudi kot manjše občine ponora. Posledično ob obravnavi na ravni statističnih regij, kljub prevladi ljubljanske občine, ostale občine, ki so prav tako del osrednjeslovenske regije, močno vplivajo na neto delovno mobilnost omenjene regije.

Naslednja slika prikazuje vektorje delovne mobilnosti za gravitacijska središča statističnih regij (slika 9). Opazen je trend delovne mobilnosti iz severovzhoda proti jugozahodu države. Vektorji so postavljeni tako, da nakazujejo na polnjenje (s puščico v središče) ali praznjenje (s puščico stran od središča). Vektorja delovne mobilnosti za goriško in obalno-kraško statistično regijo, sta po našem mnenju postavljena neprimerno. Nakazujeta, da ljudje iz omenjenih regij odhajajo proti zahodu, kar ne drži in je obenem nemogoče, saj smo obravnavali le tokove znotraj države. Kljub temu, da smo iskanju rešitve tega problema posvetili kar nekaj časa, pa nam rešitve v okviru obravnavane metodologije ni uspelo odkriti. Iz obravnavane karte bi bilo nemogoče izluščiti lokalne trende in vplive, saj so območja obravnave bistveno prevelika za takšno analizo.

Nasprotno pa slika 10 (raven občin) omogoča ravno to. Karta na prvi pogled ne nudi prepoznave trendov, vendar ob podrobnejšem ogledu opazimo, da so vektorji neto delovne mobilnosti v okolici občin neto ponorov obrnjeni proti tem občinam.

Ob primerjavi vektorja delovne mobilnosti za občini Koper in Ljubljana, opazimo, da je vektor prve občine bistveno daljši, kar se zdi nelogično, saj je neto delovna mobilnost za Ljubljano kar za faktor 58 večja kot za občino Koper. Ob upoštevanju geografskih položajev obravnavanih občin, pa odkrijemo razlog za takšen rezultat – v koprsko občino delavci vozači prihajajo le iz severovzhodne oz. severne smeri, v ljubljansko občino pa prihajajo iz vseh možnih smeri, kar posledično povzroči, da se vektorji med seboj izničijo in je končni vektor relativno kratek.

Karti na slikah 11 in 12 prikazujeta vektorsko polje delovne mobilnosti na ravni statističnih regij in občin, ki je interpolirano iz vektorjev neto delovne mobilnosti pripadajočih prostorskih ravnih.

Interpolirano vektorsko polje ob izbranem primernem polmeru omejitve vpliva interpolacije dobro ponazarja vektorje delovne mobilnosti izračunane v gravitacijskih središčih. Ob primerjavi slik 11 in 9 ter 12 in 10 lahko trditev podpremo tudi z rezultati. Bistvenih odstopanj v vsebini ne opazimo. Še enkrat želimo poudariti, da je vektor severozahodno od ljubljanske

občine zelo kratek in ga posledično na sliki 12 ne opazimo. Interpolacija na račun preglednosti prikaza izvede kartografsko generalizacijo na gridno mrežo izbrane velikosti, s čimer izgubimo del informacij. Te informacije so predvsem informacije o lastnosti občin ali statističnih regij, torej ali je obravnavano območje ponor ali izvor.

Obravnavana metoda je bila v preteklosti že večkrat preizkušena in uporabljena. Stabilnost metode ob uporabi raznovrstnih podatkov je gotovo ena izmed prednosti. Sama metodologija, si postopkovno primerno sledi, zatorej ni težko slediti procesom in izračunom. Sami prepoznamo slabost v dejstvu, da se nekateri vektorji delovne mobilnosti obračajo v nelogične smeri.

### **5.3 Vrednotenje rezultatov metode globalnega trenda**

Metoda globalnega trenda in modeliranja vektorskih polj (Tobler, 1975) sta podobni. Da bi zagotovili karseda enako obravnavo, smo tudi metodo globalnega trenda aplicirali na isti prostorski ravni in prav tako v izračunu uporabili gravitacijska središča območij.

Karta na sliki 13 prikazuje vektorje globalnega trenda za gravitacijska središča statističnih regij. Takoj opazimo nekatere razlike. Metoda globalnega trenda izraziteje nakazuje na osrednjeslovensko regijo, kot ponor delovne mobilnosti, saj je velika večina vektorjev delovne mobilnosti okoliških regij obrnjena ravno proti njej. Izkaže pa se, da se vektorji izračunani po metodi globalnega trenda na zahodu države ne obračajo v smeri proti Italiji – kar se je dogajalo v primeru Toblerjeve metode.

Na sliki 14 takoj prepoznamo vzorce, ki se tvorijo okoli občin ponorov delovne mobilnosti. Vektorji po metodi globalnega trenda se v okolici teh občin, skorajda kot po pravilu, obračajo proti občini ponora. Takšen rezultat je logičen, saj vektorji teh občin prejmejo največjo utež pri samem izračunu; glej enačbo (6).

Primerjava kart na slikah 14 in 10 predstavi tudi nekatere razlike med metodo globalnega trenda in modeliranjem vektorskih polj. Poleg že poprej omenjenih različnih orientacij in jakosti vektorjev, pa do razlik prihaja tudi pri določitvi občin ponora in izvora. To dejstvo ni presenetljivo, saj metodi uporabljata različna algoritma, s katerima razvrščata območja obravnave. Medtem, ko metoda vektorskih polj (Tobler, 1975) denominira občine ponorov in izvorov na podlagi neto delovne mobilnosti, pa metoda globalnega trenda v ta namen primerja jakost odhodnega in prihodnega vektorja. Občine, katerih klasifikacija po obeh primerjalnih metodah odstopa, so (od zahoda proti vzhodu): Piran, Nova Gorica, Postojna, Radovljica, Naklo, Kranj, Šmartno pri Litiji, Trebnje, Zagorje ob Savi, Vranksko, Krško, Celje, Štore, Vuzenica in Lendava.

Največ težav je povzročala izbira primerne faktorja povečave vektorjev, saj njihove dolžine močno odstopajo. Kljub temu da veliko puščic vektorjev ni vidnih, pa s pomočjo grafične klasifikacije občin ponorov in izvorov brez težav razberemo smeri delovne mobilnosti.

Sliki 15 in 16 prikazujeta končna rezultata analize, torej vektorska polja delovne mobilnosti po metodi globalnega trenda za obe prostorski ravni. Zaradi poprej omenjenega dejstva, da vektorji po jakosti močno odstopajo med seboj, smo se v primeru omenjenih kart odločili za prikazovanje jakosti vektorja z debelino in barvnim tonom linije. Prav tako, kot na sliki 11 tudi na sliki 15 opazimo trend delovne mobilnosti od severovzhoda proti jugozahodu. Najočitnejša razlika med obema kartama se pojavi na območju obalno-kraške, notranjsko-kraške in goriške statistične regije. Na omenjenem območju so interpolirani vektorji globalnega trenda obrnjeni proti notranjosti države, kar vsebinsko odgovarja vektorjem globalnega trenda za statistične regije.

Karti na slikah 16 in 12 vsebinsko sovpadata le na območju osrednje in severozahodne Slovenije. V okolici Ljubljane tvorita t.i. »lijak«, na severozahodu Slovenije pa nakazujeta na smer voženj na delo proti središču Slovenije.

Ugotavljanje, katera izmed primerjanih metod bolje ponazarja značilnosti obravnavanega problema, je brez podrobne nadaljnje analize rezultatov in statistične obdelave le-teh nemogoče.

#### **5.4 Vrednotenje rezultatov metode vetrovne rože tokov**

Metodologija se osredotoča predvsem na smer in jakost obravnavanih tokov. Ločeno obravnava prihodne in odhodne tokove, s čimer nudi informacijo ali je obravnavano središče ponor ali izvor. Metodo smo aplicirali tako na gravitacijska kot na upravna središča.

Sliki 17 in 18 sta prikaza rezultatov analize ob uporabi dejanskih (upravnih) središč. Zlahka opazimo trende prihodov in odhodov med regionalnimi središči. Kot izrazit ponor na ravni statističnih regij prednjači le Ljubljana, medtem, ko za ostala središča lahko rečemo, da se ljudje vozijo na delo drugam (slika 17). Povsem drugačna je situacija na ravni občinskih središč, kjer se kot ponori kažejo Ljubljana, Maribor in Celje, delno tudi Velenje, Murska Sobota in Novo Mesto (slika 18).

Slabost se odrazi predvsem pri večjih količinah podatkov, npr. na ravni občinskih središč, kjer je tokov bistveno preveč za kvaliteten prikaz. Razlog za to pripisujemo dejstvu, da računske operacije, uporabljene v analizi, ne vplivajo kaj dosti na kartografsko generalizacijo. Posledično smo pri prikazu na ravni občinskih središč (slika 18) izločili vektorje z manj kot 500 interakcijami, uporabili pa smo tudi faktor pomanjšave dolžine vektorja, ki znaša 1,5.

Pozitivno lastnost prepoznamo v nezapletenosti in nezahtevnosti analize, kratkem časovnem intervalu potrebnem za izvedbo izračunov in grafični podobi – nazornosti prikazov.

Z željo po zagotavljanju kvalitetnejših informacij smo na sliki 19 združili rezultata metode vetrovne rože tokov in gostote linije. Tako smo iz obeh metodologij izključili nekatere slabosti – zagotovili smo boljši grafičen prikaz (barvni odtenki prikazujejo gostoto delovne mobilnosti), vektorji vetrovne rože tokov pa zagotovijo podatek o smeri in vrsti (ponor ali izvor) obravnavanega občinskega središča. Opazimo, da se glavnina interakcij dogaja v okolici večjih mest, npr. Ljubljane, Maribora, Celja, Velenja, Murske Sobote, Novega mesta, Nove Gorice ter priobalnih občin – Kopra, Izole in Pirana.

Sliki 20 in 21 sta analogni slikam 17 in 18, le da smo namesto upravnih središč analizo izvedli s pomočjo gravitacijskih središč kot ponorov in izvorov analiziranih tokov. Bistvenih razlik med karto 21 in 18 ni. Razlike se pojavljajo le v usmerjenosti vektorjev, med kartama 20 in 18 kar je logična posledica spremembe obravnavanih položajev. Omenjeno dejstvo pride do izraza le na ravni regij, saj so območja bistveno večja kot v primeru občin in so posledično položajne razlike med gravitacijskim in upravnim središčem večje. Izhajajoč iz omenjenih dejstev predlagamo za manjša območja (npr. občine) uporabo tistih središč, pri katerih je kartografski prikaz preglednejši (v našem primeru so to gravitacijska središča). Pri velikih območjih pa predlagamo uporabo dejanskih (upravnih središč), saj so razlike v položajih lahko tudi precejšnje.

## **5.5 Vrednotenje rezultatov vpliva razdalje na neto delovno mobilnost**

Slika 22 prikazuje rezultate vpliva razdalje na neto delovno mobilnost na regionalni ravni. Opazimo, da je velik del Slovenije obarvan z dvema odtenkoma zelene barve, kar predstavlja rahlo praznjenje oz. polnjenje. Izrazito izstopata le predela okrog središč osrednjeslovenske ter gorenjske regije. Opazni sta tudi elipsi okoli podravske ter savinjske regije, vendar ne predstavljata visoke vrednosti neto ponorov tokov.

Že hitra primerjava s sliko 23, prikaže razliko med obema obravnavanima ravnema. Karta na občinski ravni nudi veliko boljši vpogled ter večjo ločljivost prikaza. Pokaže se kar nekaj občin ponora, najizrazitejši sta Ljubljana in Maribor, ki sta tudi edini razvrščeni v najvišji razred polnjenja. Sledijo jima (po vrednostih padajoče): Šempeter-Vrtojba, Murska Sobota, Celje, Ptuj, Nazarje, Velenje, Trzin in Lenart. Med lokalnimi izvori prednjačijo (od najizrazitejšega proti manj): Nova Gorica, Hajdina, Domžale, Brezovica, Šmartno pri Litiji, Mozirje, Prevalje, Šoštanj, Dobrova-Polhov Gradec in Selnica ob Dravi.

Opazovanje položajev ponorov in izvorov nam izkazuje, da se okoli lokalnih zaposlitvenih središč oblikuje več manjših položajev izvorov, kar skupaj tvori sistem povpraševanja in ponudbe zaposlitev oz. tako imenovanih zaposlitvenih sistemov.

Predstavljen način modeliranja prostorskih interakcij ob uporabi gravitacijskih modelov nudi zanesljiv, preprost, a hkrati kvaliteten vpogled v obravnavano področje. Sama metodologija je preprosta in zatorej lahko razumljiva, kar je gotovo njena pozitivna lastnost. Kot omenjeno je za kakovost rezultatov najpomembnejša ločljivost interakcijske matrike. Računalniška podpora, kakršni smo priča danes, je zagotovo več kot dovolj sposobna da poganja orodje, uporabnik pa lahko sam, intuitivno, izbere primerno prostorsko ločljivost.

Stvar diskusije je tudi, ali naj uporabimo gravitacijska središča prostorskih enot, ali dejanska »upravna« središča. V diplomskem delu smo uporabili upravna središča, izhajajoč iz dejstva, da so ravno ta središča tista, ki predstavljajo središče dogajanja oziroma izvor ali ponor tokov delovne mobilnosti.

Bistveni korak, v katerem je potreben premislek in zaradi katerega so lahko rezultati povsem drugačni od pričakovanih, je urejanje vizualizacije. Odločitev, kako in v koliko razredov bomo členili vrednosti, je ključnega pomena. Z njo krojimo končne rezultate, zdi pa se logično, da naj določimo meje razredov z enakimi vrednostmi, tako za razrede, ki predstavljajo ponore, kot za razrede, ki predstavljajo izvore (torej simetrično na izhodiščno vrednost 0).

Slabost prepoznamo v dejstvu, da predstavljen način ne nudi podatka o smeri polnjenja ali praznjenja. Okoli mestnih središč se oblikujejo elipse, ki predstavljajo le vrednosti, pozitivne oziroma negativne.

## 6 SKLEP

V diplomski nalogi smo obravnavali pet različnih pristopov modeliranja prostorskih interakcij. Predstavili smo dve znani in uveljavljeni metodologiji, ki smo ju podrobno analizirali. Samostojno smo razvili tudi tri nove pristope. Pri tem smo obravnavane pristope oziroma metode preizkusili s pomočjo podatkov o delovni mobilnosti med statističnimi regijami in občinami v Sloveniji v letu 2011.

Ugotavljamo, da ima velik pomen izbira primernih prostorskih enot za obravnavo. Omenjeno se je odrazilo skozi primerjave rezultatov na ravni statističnih regij in občin. Zaradi dejstva, da podatki o prostorskih interakcijah odstopajo od države do države, je nemogoče podati smernice, kako obsežna naj bodo območja oz. kakšno površino naj pokrivajo. V prvi vrsti mora prostorska ločljivost podatkovne matrike prostorskih interakcij sovpadati z izbrano geografsko delitvijo prostora. Šele ob izpolnjevanju omenjene postavke lahko razmišljamo o izboru primerne prostorske ločljivosti. Izbor naj temelji na izkustveni presoji, torej izberemo ločljivost, s katero dosežemo željeno raven podrobnosti prikaza. V našem primeru za izvajanje analiz prostorskih interakcij predlagamo obstoječo upravno delitev prostora na občine.

Izluščimo lahko, da nobena izmed obravnavanih metod ni absolutno najboljša. Vsaka izmed njih ima svoje prednosti in, na drugi strani, tudi slabosti. Pogosto težavo, pri grafični predstavitvi, predstavlja prav obseg podatkov prostorskih interakcij. Zavedati se moramo, da pri ustvarjanju novih informacij, torej postavljanju novih domnev ter oblikovanju rezultatov in zaključkov analiz, veliko zavisi tudi od sposobnosti operaterja. Povedano preprosto, najpomembnejša operaterjeva spretnost za pravilno prikazovanje prostorskih interakcij je presoja »kaj izpustiti« in »kaj ohraniti«. Le na ta način lahko iz danih podatkov pridobimo kar največ (Rae, 2009).

Izredno velikega pomena je tudi detajlno poznavanje procesov in lastnosti uporabljene metode. Izbrane metodologije modeliranja prostorskih interakcij (kot tudi katerekoli druge stroke) nikakor ne smemo uporabljati po načelu črne skrinjice (*angl. black box*). Nepoznavanje notranjih procesov in algoritmov lahko vodi v neprimerno uporabo in posledično napačne rezultate. Vsekakor se je potrebno zavedati vsaj osnovnih sposobnosti in omejitev metode ter računskih operacij, ki jih izvaja. Le na ta način lahko iz rezultatov pridobimo kvalitetne informacije.

Obravnavane metodologije se nikakor ne izključujejo med seboj. Kot smo ugotovili tudi sami, lahko s sočasno uporabo dveh različnih metod izboljšamo kakovost rezultatov analize. S takšnim pristopom ustvarjamo dodano vrednost in dobimo drugačen, boljši vpogled v analizirano tematiko.

Med predloge za nadaljnje delo in raziskave gotovo štejemo nekatere možne izboljšave obravnavanih metod.

Metoda pajkove mreže, navkljub preprostosti, obljublja zanimive rezultate, v kolikor bi uspeli agregirati gostoto interakcij na obstoječe omrežje cest. V prvi vrsti je potrebno, namesto tvorbe ravnih linij med položaji, ustvariti mrežo povezav obstoječih cest in posameznemu odseku dodati število interakcij. Kasneje pa bi brez težav lahko simulirali gostoto zasedenosti cestnega omrežja s pomočjo gostote linij. Del opisanega postopka med drugim že omogoča programska oprema Flowmap.

Pri metodi vpliva razdalje na neto delovno mobilnost bi bilo zanimivo raziskati različne vrednosti potence upada vpliva razdalje in kako se sprememba vrednosti potence odraža na rezultatih.

Z vidika analiziranja časovni sprememb vzorcev prostorskih interakcij pa bi lahko periodično izvajali analize z enakimi parametri nad različnimi (na primer vsakoletnimi) podatki.



## VIRI

Banovec, T., Podobnikar, M., Svetik, P., Mandelj, F., Prosen, A. 1971. Zasnova študije o prostorskih dokumentacijskih sistemih. Ljubljana, Inštitut Geodetskega zavoda SRS: 79 str.

Banovec, T., Naprudnik, M., Svetik, P. 1972: Zasnova študije o prostorskih dokumentacijskih sistemih. Ljubljana, Zavod SRS za regionalno prostorsko planiranje: 59 str.

Banovec, T., Breška, V., Jenko, M., Kmet, A., Kozak, J., Kristan, B., Peterca, M., Svetik, P., Zupan, K. 1975. Avtomatizirana kartografija za potrebe prostorskih informacijskih sistemov: izvleček. Ljubljana, Zavod SRS za regionalno prostorsko planiranje: 82 str.

Bole, D. 2004. Dnevna mobilnost delavcev v Sloveniji = Daily Mobility of Workers in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 44, 1: 25–45.

Bole, D. 2011. Spremembe v mobilnosti zaposlenih: primerjalna analiza mobilnosti delavcev v največja zaposlitvena središča Slovenije med letoma 2000 in 2009 = Changes in employee commuting: a comparative analysis of employee commuting to major Slovenian employment centers from 2000 to 2009. *Acta geographica Slovenica* 51, 1: 93–108.

Bole, D., Gabrovec, M. 2012. Dnevna mobilnost zaposlenih v Sloveniji = Daily Commuters in Slovenia. *Geografski vestnik* 84, 1: 171–185.

Casado-Diaz, J. M., 2003. The use of commuting data to define local labour market areas and urban areas in Spain. 7th NECTAR Conference 'A New Millenium. Are Things The Same?'. Umea, Sweden: 28 str.

Chakraborty, A., Beamonte, M. A., Gelfand, A. E., Alonso, M. P., Gargallo, P., Salvador, M. 2013. Spatial interaction models with individual-level data for explaining labor flows and developing local labor markets. *Computational Statistics and Data Analysis* 58: 292–307.

Chen, X., Benjamin Zhan, F., Wu, G. 2010. A spatial and temporal analysis of commute pattern changes in Central Texas. *Annals of GIS* 16, 4: 255–267.

De Vries, J. J., Nijkamp, P., Ritveld, P. 2009. Exponential or power distance-decay for commuting? An alternative specification. *Environmental Planning A* 41, 2: 461–480.

Drobne, S., Bogataj, M. 2012a. Metoda opredelitve števila funkcionalnih regij: aplikacija na ravneh NUTS 2 in NUTS 3 v Sloveniji = A method to define number of functional regions: an application to NUTS 2 and NUTS 3 levels in Slovenia. *Geodetski vestnik* 56, 1: 105–127.

Drobne, S., Bogataj, M. 2012b. Evaluating functional regions V. 14th International conference on operational research, Trogir, Croatia, September 26 – 28, 2012.

Drobne, S., Bogataj, M. 2013. Vpliv recesije na parametre kakovosti regionalnih središč in njihovo privlačnost. *Revija za univerzalno odličnost* 2, 2: A25–A42.

Drobne, S., Konjar, M. 2011. Modeliranje funkcionalnih regij Slovenije s tokovi delavcev vozačev. V: Zavodnik Lamovšek, A. (ur.). *Funkcionalne regije – izziv prihodnjega razvoja Slovenije*. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za politike prostora, OIKOS – svetovanje za razvoj: str. 37–52.

Drobne, S., Lakner, M. 2014. Model vpliva razdalje na delovno mobilnost v regionalna središča Slovenije. Neobjavljeno gradivo: 10 str.

Drobne, S., Rajar, T., Liseč, A. 2013. Dinamika selitev in delovne mobilnosti v urbana središča Slovenije, 2000-2011 = Dynamics of migration and commuting to the urban centres of Slovenia, 2000-2011. *Geodetski vestnik* 57, 2: 313–331.

Fotheringham, A. S. 1981. Spatial structure and distance-decay parameters. *Annals of the Association for American Geographers* 71: 425–436.

Fotheringham, A. S., O'Kelly, M. E. 1989 *Spatial Interaction Models: Formulations and Applications*. Dordrecht, Kluwer academic publishers: 224 str.

Gabrovec, M., Bole, D. 2009. Dnevna mobilnost v Sloveniji. Geografski inštitut Antona Melika. ZRC SAZU: 102 str.

Guo, D. 2009. Flow Mapping and Multivariate Visualization of Large Spatial Interaction Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 15, 6: 1041–1048.

GURS. 2011. Geodetska uprava Republike Slovenije. <http://www.gu.gov.si/>. (pridobljeno 15. 9. 2013).

Halás, M., Klapka, P., Kladivo, P. 2014. Distance-decay functions for daily travel-to-work flows. *Journal of Transport Geography* 35: 107–119.

Haynes, K. E., Fotheringham, A. S. 1984. *Gravity and spatial interaction models*. Beverly Hills, Sage: 88 str.

Jenko, D., Drobne, S. 2014. Modeliranje prostorskih vzorcev delovne mobilnosti in selitev z vektorskimi polji. Neobjavljeno gradivo: 7 str.

Karlsson, C., Olsson, M. 2006. The identification of functional regions: theory, methods, and applications. *Ann Reg Sci* 40: 1–18.

Konjar, M. 2009. Modeliranje zaposlitvenih sistemov Slovenije na osnovi dnevne mobilnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, (samozaložba M. Konjar): 126 f.

Konjar, M., Boyandin, I., Lalanne, D., Lisec, A., Drobne, S. 2010: Using Flow Maps to Explore Functional Regions in Slovenia. The proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Information Society and Information Technologies - ISIT 2010. Dolenjske Toplice: 8 str.

Kozina, J. 2010a. Prometna dostopnost v Sloveniji. *Georitem* 14. Ljubljana, Založba ZRC: 86 str.

Kozina, J. 2010b. Transport Accessibility to Regional Centres in Slovenia=Prometna dostopnost regionalnih središč v Sloveniji. *Acta Geographica Slovenica* 50, 2: 231–251.

Landré, M. 2012. Geoprocessing Journey-to-Work Data: Delineating Commuting Regions in Dalarna, Sweden. *ISPRS International Journal of Geo-Information*: 294–314.

Mitchell, W.F., Watts, M.J. 2010. Identifying functional regions in Australia using hierarchical aggregate techniques. *Geographical Research* 48, 1: 24–41.

Nel, J. H., Krygsman, S. C., De Jong, T. 2008. The identification of possible future provincial boundaries for South Africa based on an Intramax analysis of journey-to-work data. *Orion* 24, 2: 131–156.

Nielsen, T. A. S., Hovgesen, H. H. 2008. Exploratory mapping of commuter flows in England and Wales. *Journal of Transport Geography* 16, 90–99.

OECD. 2002. *Redefining Territories – The functional regions*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development: 130 str.

Rae, A. 2009. From spatial interaction data to spatial interaction information? Geovisualisation and spatial structures of migration from the 2001 UK census. *Computers, Environment and Urban Systems* 33: 161–178.

Ravenstein, E. 1889. The Laws of Migration: Second Paper. *Journal of the Royal Statistical Society* 52: 241–305.

SURS 2011a. SI-STAT. Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po občinah prebivališča in občinah delovnega mesta, po spolu.  
[http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0723405S&ti=&path=../Database/Dem\\_soc/07\\_trg\\_dela/05\\_akt\\_preb\\_po\\_regis\\_virih/10\\_07234\\_delovne\\_migracije/&lang=2](http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0723405S&ti=&path=../Database/Dem_soc/07_trg_dela/05_akt_preb_po_regis_virih/10_07234_delovne_migracije/&lang=2) (pridobljeno 15. 9. 2013).

SURS 2011b. SI-STAT. Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po statističnih regijah prebivališča in statističnih regijah delovnega mesta, po spolu.  
[http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0723410S&ti=&path=../Database/Dem\\_soc/07\\_trg\\_dela/05\\_akt\\_preb\\_po\\_regis\\_virih/10\\_07234\\_delovne\\_migracije/&lang=2](http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0723410S&ti=&path=../Database/Dem_soc/07_trg_dela/05_akt_preb_po_regis_virih/10_07234_delovne_migracije/&lang=2) (pridobljeno 15. 9. 2013).

Taylor, P. J. 1983. *Distance Decay in Spatial Interactions*. CATMOG 2, Geo Books, Norwich: 35 str.

Tobler, W. 1970. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography* 46, 234–240.

Tobler, W. 1975. Spatial interaction patterns. Research Reports, International Institute for Applied Systems Analysis, RR-75-19. Laxenburg: 35 str.

Tobler, W. 1976. Spatial Interaction Patterns. *Journal of Environmental Systems* 6: 271–301.

Tobler, W. 1987. Experiments in Migration Mapping by Computer. *The American Cartographer* 14: 155–163.

Tobler, W. 1995. Migration: Ravenstein, Thorntwaite, and Beyond. *Urban Geography* 16: 327–343.

Van der Zwan, J., Van der Wel, R., Ritsema Van Eck, J., De Jong, T., Floor, H. 2005. *Flowmap version 7.4.2 Manual*. Utrecht, Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands. <http://flowmap.geog.uu.nl/> (pridobljeno 20. 5. 2014).

## **PRILOGE**

- Priloga A: Programska koda metode pajkove mreže
- Priloga B1: Programska koda modeliranja vektorskih polj – določitev neto ponorov in neto izvorov
- Priloga B2: Programska koda modeliranja vektorskih polj – izračun vektorjev delovne mobilnosti
- Priloga C: Programska koda metode globalnega trenda
- Priloga D: Programska koda metode vetrovne rože tokov
- Priloga E: Programska koda metode vpliva razdalje na neto delovno mobilnost
- Priloga F: Programska koda interpolacije z obratno uteženo razdaljo
- Priloga G1: Programska koda funkcije izračuna smernega kota
- Priloga G2: Programska koda funkcije klasifikacije smernih kotov

## PRILOGA A: Programska koda metode pajkove mreže

```
%% PODATKI
clc;
clear all;

% Podaj vrednost faktorja za tvorbo šifranta IZV_PON!
fak_sif = ;

% Podaj ime matrike središč z IDji in koordinatami (Y,X)!
Pod = csvread('*.csv');

% Podaj ime tabele delavcev vozačev s šiframi IZV_PON in številom vozačev!
M = csvread('*.csv');
siz = size(Pod);

% Podaj datoteko za izpis rezultatov
datoteka_out = '*.csv';

%% IZRAČUN
global st_cen
st_cen = (siz(1,1)); % Globalna spremenljivka

for i = 1 : st_cen
    POD_ID(i) = Pod(i,1);
    Y(i) = Pod(i,2);
    X(i) = Pod(i,3);
end

for i = 1 : st_cen
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
            SUM_DV(i,j) = M(i,j) + M(j,i);
        end
    end
end

m=1;
k=1;
for i = 1 : st_cen
    for j = i+1 : st_cen
        if i ~= j & SUM_DV(i,j) > 0
            REZ(k,1) = POD_ID(i); % IZV
            REZ(k,2) = POD_ID(j); % PON
            REZ(k,3) = POD_ID(i)*fak_sif + POD_ID(j); % IZV_PON
            REZ(k,4) = Y(i); % Y_IZV
            REZ(k,5) = X(i); % X_IZV
            REZ(k,6) = Y(j); % Y_PON
            REZ(k,7) = X(j); % X_PON
            REZ(k,8) = SUM_DV(i,j);
            k = k + 1; % Indeks vrstice
        end
    end
end

%% IZPIS
dat1 = fopen(datoteka_out,'a');
fprintf(dat1,'IZV;PON;IZV_PON;Y_IZV;X_IZV;Y_PON;X_PON;DV_2011\n'); % Glava datoteke izpisa

size_REZ = size(REZ);
len = size_REZ(1,1);
for i = 1 : len
    dlmwrite(datoteka_out, REZ(i,:), '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 8)
end

close all;
disp('Izračun končan!')
```

## PRILOGA B1: Programska koda modeliranja vektorskih polj – določitev neto ponorov in neto izvorov

```
clc;
clear all;

%% POTREBNI PODATKI

% M je matrika delavcev vozačev, indeks vrstice(i) predstavlja
% prebivališče, indeks stolpca(j) lokacijo dela.
M = dlmread('*.csv', ':');

% Cen je tabela z IDji in koordinatami lokacij (Y, X)
Cen = dlmread('*.csv', ':');

% Podaj datoteko za izpis
datoteka_out = '*.csv';

% Podaj datoteko za izpis NDM
datoteka_NDM = '*.csv';

% Podaj faktor povečave
fak = ;

%% IZRAČUN
st_cen = length(Cen);

for i = 1 : st_cen;
    ID(i) = Cen(i,1);
    Y(i) = Cen(i,2);
    X(i) = Cen(i,3);
end

for i = 1 : st_cen;
    out(i) = sum(M(i,:)) - M(i,i);
    in(i) = sum(M(:,i)) - M(i,i);

    raz(i) = out(i) - in(i);
    NDM(i) = out(i) - in(i);
end

%% IZRIS ZNAKOV - plus/minus
k = 1;
for i = 1 : st_cen;
    if raz(i) <= 0
        Zx(i) = X(i);
        Zy(i) = Y(i) + raz(i)/2;

        Vx(i) = X(i);
        Vy(i) = Y(i) - raz(i)/2;

        REZ(k,1) = k;
        REZ(k,2) = Zy(i);
        REZ(k,3) = Zx(i);
        REZ(k,4) = Vy(i);
        REZ(k,5) = Vx(i);

        k = k + 1;
    end
    if raz(i) > 0
        Sx(i) = X(i) + raz(i)/2;
        Sy(i) = Y(i);

        Vx(i) = X(i);
        Vy(i) = Y(i) + raz(i)/2;

        Jx(i) = X(i) - raz(i)/2;
        Jy(i) = Y(i);

        Zx(i) = X(i);
        Zy(i) = Y(i) - raz(i)/2;
```



»...nadaljevanje«

```
    REZ(k,1) = k;
    REZ(k,2) = Zy(i);
    REZ(k,3) = Zx(i);
    REZ(k,4) = Vy(i);
    REZ(k,5) = Vx(i);

    k = k + 1;
    REZ(k,1) = k;
    REZ(k,2) = Sy(i);
    REZ(k,3) = Sx(i);
    REZ(k,4) = Jy(i);
    REZ(k,5) = Jx(i);

    k = k + 1;
end
end
REZ;
REZ_NDM = [ID' NDM'];

%% IZPIS REZULTATOV

dat1 = fopen(datoteka_out, 'w');
fprintf(dat1,'ID;Y_ZAC;X_ZAC;Y_KON;X_KON\n');
dlnwrite(datoteka_out, REZ, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 8) % Glava datoteke izpisa

dat2 = fopen(datoteka_NDM, 'w');
fprintf(dat2,'ID;NDM\n');
dlnwrite(datoteka_NDM, REZ_NDM, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 6) % Glava datoteke izpisa

close all;
disp('Izračun končan!')
```

## PRILOGA B2: Programska koda modeliranja vektorskih polj – izračun vektorjev delovne mobilnosti

```
clc;
clear all;
%% POTREBNI PODATKI IN KONSTANTE

% M je matrika delavcev vozačev, indeks vrstice(i) predstavlja
% prebivališče, indeks stolpca(j) lokacijo dela.
M = dlmread('*.csv', ',');

% Cen je tabela z IDji in koordinatami lokacij (Y,X)
Cen = dlmread('*.csv', ',');

% Podaj faktor povečave
scale = ;

global st_cen
siz = size(Cen);
st_cen = siz(1,1);

% Podaj datoteko za izpis
datoteka_out = '*.csv';

% Podaj datoteko za izpis podatkov za interpolacijo
datoteka_interp = '*.csv';

%% IZVEDENI PODATKI
% Izračun dolžin med centri.

for i = 1 : st_cen
    ID(i) = Cen(i,1);
    Y(i) = Cen(i,2);
    X(i) = Cen(i,3);
end

for i = 1 : st_cen
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
            d(i,j) = sqrt((Y(j)-Y(i))^2 + (X(j)-X(i))^2);
            inv_d(i,j) = 1/d(i,j);
        end
    end
end

%% IZRAČUN VEKTORJA C
for i = 1 : st_cen
    sum_inv_d(i) = sum(inv_d(i,:));

    Mij(i) = sum(M(i,:)) - M(i,i);
    Mji(i) = sum(M(:,i)) - M(i,i);
    raz(i) = Mij(i) - Mji(i);
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
            W(j) = 1 / (d(i,j)*sum_inv_d(i));

            if M(i,j) - M(j,i) ~= 0
                CLEN_A_Y(i,j) = W(j)*(M(i,j) - M(j,i)) / (M(i,j) + M(j,i)) * (1 / d(i,j)) * (Y(j) - Y(i));
                CLEN_A_X(i,j) = W(j)*(M(i,j) - M(j,i)) / (M(i,j) + M(j,i)) * (1 / d(i,j)) * (X(j) - X(i));
            end
        end
    end
    sumY(i)=sum(CLEN_A_Y(i,:));
    sumX(i)=sum(CLEN_A_X(i,:));

    C_Y(i) = 1/(st_cen-1)* sumY(i);
    C_X(i) = 1/(st_cen-1)* sumX(i);
end
```

»...nadaljevanje«

```
C = [C_Y' C_X'];
```

```
C_Y = C_Y * scale;  
C_X = C_X * scale;
```

```
C = [C_Y' C_X'];
```

```
for i = 1 : st_cen  
    C_jakost(i) = sqrt(C_Y(i)^2 + C_X(i)^2);  
end
```

```
%% IZRAČUN ZAČETKA IN KONCA VEKTORJA
```

```
for i = 1 : st_cen  
    if raz(i) > 0  
        Y_ZAC(i) = Y(i);  
        X_ZAC(i) = X(i);  
  
        Y_KON(i) = Y_ZAC(i) + C_Y(i);  
        X_KON(i) = X_ZAC(i) + C_X(i);  
    else  
        Y_KON(i) = Y(i);  
        X_KON(i) = X(i);  
  
        Y_ZAC(i) = Y_KON(i) - C_Y(i);  
        X_ZAC(i) = X_KON(i) - C_X(i);  
    end  
end
```

```
REZ = [ID' Y_ZAC' X_ZAC' Y_KON' X_KON'];  
INTERP = [ID' Y' X' C_Y' C_X'];
```

```
%% IZPIS REZULTATOV
```

```
dat1 = fopen(datoteka_out, 'w');  
fprintf(dat1, 'ID;Y_ZAC;X_ZAC;Y_KON;X_KON\n');  
dlmwrite(datoteka_out, REZ, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 8) % Glava datoteke izpisa
```

```
%% IZPIS ZA INTERPOLACIJO  
dlmwrite(datoteka_interp, INTERP, 'delimiter', ';', 'precision', 8)
```

```
close all;  
disp('Izračun končan!')
```

## PRILOGA C: Programska koda metode globalnega trenda

```
clc;
clear all;
%%% PODATKI

% Matrika delavcev vozačev
M = dlmread('*.csv', ':');

% Tabela IDji in koordinatami lokacij
Cen = dlmread('*.csv', ':');

% Podaj datoteko za izpis
datoteka_out = '*.csv';

% Podaj datoteko za interpolacijo
datoteka_int = '*.csv';

% Podaj faktor povečave!
faktor = ;

siz = size(Cen);
st_cen = siz(1,1);

for i = 1 : st_cen
    ID(i) = Cen(i,1);
    Y(i) = Cen(i,2);
    X(i) = Cen(i,3);
end

%%% IZRAČUN ODHODNIH TOKOV

for i = 1 : st_cen
    sum_M_odh(i) = sum(M(i,:)) - M(i,i);
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
            dy(i,j) = Y(j) - Y(i);
            dx(i,j) = X(j) - X(i);
            d(i,j) = sqrt(dy(i,j)^2 + dx(i,j)^2);
            inv_d(i,j) = 1/d(i,j);
            SM_KOT_odh(i,j) = FNC_SM_KOT(dx(i,j), dy(i,j));
        end
    end
end

for i = 1 : st_cen
    for j = 1 : st_cen
        if i~=j
            dy_vek_odh(i,j) = sin(SM_KOT_odh(i,j))*M(i,j);
            dx_vek_odh(i,j) = cos(SM_KOT_odh(i,j))*M(i,j);
        end
    end
    sum_dy_vek_odh(i) = sum(dy_vek_odh(i,:))*faktor;
    sum_dx_vek_odh(i) = sum(dx_vek_odh(i,:))*faktor;
    d_odh(i) = sqrt(sum_dy_vek_odh(i)^2 + sum_dx_vek_odh(i)^2);
end

for i = 1 : st_cen
    Y_ZAC_odh(i) = Y(i) + sum_dy_vek_odh(i);
    X_ZAC_odh(i) = X(i) + sum_dx_vek_odh(i);
    Y_KON_odh(i) = Y(i);
    X_KON_odh(i) = X(i);
end
ODH = [ID' Y_ZAC_odh' X_ZAC_odh' Y_KON_odh' X_KON_odh'];

%%% IZRAČUN PRIHODNIH TOKOV

for i = 1 : st_cen
    sum_M_prih(i) = sum(M(:,i)) - M(i,i);
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
```

»...nadaljevanje«

```
dy(i,j) = Y(j) - Y(i);
dx(i,j) = X(j) - X(i);

d(i,j) = sqrt(dy(i,j)^2 + dx(i,j)^2);
inv_d(i,j) = 1/d(i,j);
SM_KOT_prih(i,j) = FNC_SM_KOT(dx(i,j), dy(i,j));
end
end
end

for i = 1 : st_cen
    for j = 1 : st_cen
        if i~=j
            dy_vek_prih(i,j) = sin(SM_KOT_prih(j,i))*M(j,i);
            dx_vek_prih(i,j) = cos(SM_KOT_prih(j,i))*M(j,i);
        end
    end
    sum_dy_vek_prih(i) = sum(dy_vek_prih(i,:))*faktor;
    sum_dx_vek_prih(i) = sum(dx_vek_prih(i,:))*faktor;
    d_prih(i) = sqrt(sum_dy_vek_prih(i)^2 + sum_dx_vek_prih(i)^2);
end

for i = 1 : st_cen
    Y_ZAC_prih(i) = Y(i);
    X_ZAC_prih(i) = X(i);
    Y_KON_prih(i) = Y(i) - sum_dy_vek_prih(i);
    X_KON_prih(i) = X(i) - sum_dx_vek_prih(i);
end
PRIH = [ID' Y_ZAC_prih' X_ZAC_prih' Y_KON_prih' X_KON_prih'];

%% IZRAČUN COMBO

for i = 1 : st_cen
    if d_odh(i) > d_prih(i)
        Y_ZAC(i) = Y(i);
        X_ZAC(i) = X(i);
        Y_KON(i) = Y(i) + sum_dy_vek_odh(i) + sum_dy_vek_prih(i);
        X_KON(i) = X(i) + sum_dx_vek_odh(i) + sum_dx_vek_prih(i);
        TIP(i) = 2;
    else
        Y_KON(i) = Y(i);
        X_KON(i) = X(i);
        Y_ZAC(i) = Y(i) - sum_dy_vek_odh(i) - sum_dy_vek_prih(i);
        X_ZAC(i) = X(i) - sum_dx_vek_odh(i) - sum_dx_vek_prih(i);
        TIP(i) = 1;
    end
end

Y_VEK = Y_KON - Y_ZAC;
X_VEK = X_KON - X_ZAC;

for i = 1 : st_cen
    TL_jakost(i) = sqrt(Y_VEK(i)^2 + X_VEK(i)^2);
end

INT = [ID' Y' X' Y_VEK' X_VEK'];
COMBO = [ID' Y_ZAC' X_ZAC' Y_KON' X_KON' TIP'];
%% IZPIS REZULTATOV
dat1 = fopen(datoteka_out, 'w');
fprintf(dat1, 'ID;Y_ZAC;X_ZAC;Y_KON;X_KON; TIP\n');
dlmwrite(datoteka_out, COMBO, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 8) % dodam glavo

%% IZPIS ZA INTERPOLACIJO
dat2 = fopen(datoteka_int, 'w');
dlmwrite(datoteka_int, INT, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 8)

disp('Izračun končan!')
```

## PRILOGA D: Programska koda metode vetrovne rože tokov

```
clc;
clear all;

%% PODATKI IN POTREBNE KONSTANTE

% Podaj vrednost faktorja za tvorbo šifranta IZV_PON!
fak_sif = ;

% Podaj faktor pomanjšave! Če ne želiš pomanjšave, vnesi 1!
scale = ;

% Podaj odmik od obravnavane lokacije!
d = ;

% Tabela lokacij z IDji in koordinatami(Y,X)!
Pod = csvread('*.csv');

% Tabela delavcev vozačev s stolpci: IZV, PON, IZV_PON, DV!
M = csvread('*.csv');

% Podaj imena datotek za izpis
datoteka_prih = '*.csv'; % Prihodni tokovi
datoteka_odh = '*.csv'; % Odhodni tokovi
datoteka_combo = '*.csv'; % Kombinacija tokov

%% Ustvari vse možne povezave med centri

siz = size(M);
global st_cen % Globalna spremenljivka
st_cen = sqrt(siz(1,1));

for i = 1 : st_cen
    POD_ID(i) = Pod(i,1);
    Y(i) = Pod(i,2);
    X(i) = Pod(i,3);
end

for k = 1 : st_cen^2
    M_ID(k) = M(k,3);
    DV_2011(k) = M(k,4);
end

k = 1;
m = 1;
for i = 1 : st_cen
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
            REZ(k,1) = POD_ID(i); % IZV
            REZ(k,2) = POD_ID(j); % PON
            REZ(k,3) = POD_ID(i)*fak_sif + POD_ID(j); % IZV_PON
            REZ(k,4) = Y(i); % Y_IZV
            REZ(k,5) = X(i); % X_IZV
            REZ(k,6) = Y(j); % Y_PON
            REZ(k,7) = X(j); % X_PON

            k = k + 1; % Indeks vrstice
        end
    end
end

for k = 1 : st_cen^2
    if M(k,1) ~= M(k,2)
        REZ(m,8) = DV_2011(k);
        m = m + 1;
    end
end

%% IZRAČUN ZA ISTI PONOR
% Ločim podatke v n ločenih tabel, vse imajo isto šifro PONORA!
% (samo prihodni tokovi)
```

»...nadaljevanje«

```
dat1 = fopen(datoteka_prih,'a'); % odprem datoteko za izpis

Ponor = unique(REZ(:,2));
n = length(Ponor);

Loceni_Podatki_PON = cell(n,1);

for st = 1 : n
    Loceni_Podatki_PON{st} = REZ(REZ(:,2)==Ponor(st),:);
end
m=1; % števec rezultatov(enolični identifikator)

for ixPod = 1 : st_cen
    Podatki = Loceni_Podatki_PON{ixPod};
    for i = 1 : st_cen-1
        Y_IZV(i) = Podatki(i,4);
        X_IZV(i) = Podatki(i,5);
        Y_PON(i) = Podatki(i,6);
        X_PON(i) = Podatki(i,7);
        DV_2011(i) = Podatki(i,8)/scale;

        dx(i) = X_PON(i) - X_IZV(i); % Izračun dx in dy
        dy(i) = Y_PON(i) - Y_IZV(i);

        SM_KOT(i) = FNC_SM_KOT(dx(i),dy(i)); % Izračun smernih kotov
    end

    % KLASIFIKACIJA SMERNIH KOTOV PO SMEREH NEBA
    % Klasifikacija smernih kotov po smereh neba s funkcijo, 8 razredov;

    KLAS = FNC_KLAS_SM_KOT_8(SM_KOT');
    matrika_SM_KOT = [SM_KOT' KLAS];

    % IZRAČUN VEKTORJA REZULTANTE ZA VSAKO STRAN NEBA
    SUMA_1 = 0; st_Klas1 = 0; dolz_1 = 0; % vsote sm. kotov,števci vektorjev
    SUMA_2 = 0; st_Klas2 = 0; dolz_2 = 0; % in jakosti vektorjev po straneh neba
    SUMA_3 = 0; st_Klas3 = 0; dolz_3 = 0;
    SUMA_4 = 0; st_Klas4 = 0; dolz_4 = 0;
    SUMA_5 = 0; st_Klas5 = 0; dolz_5 = 0;
    SUMA_6 = 0; st_Klas6 = 0; dolz_6 = 0;
    SUMA_7 = 0; st_Klas7 = 0; dolz_7 = 0;
    SUMA_8 = 0; st_Klas8 = 0; dolz_8 = 0;

    for i = 1 : st_cen-1
        if KLAS(i) == 1;
            SUMA_1 = SUMA_1 + SM_KOT(i);
            st_Klas1 = st_Klas1 + 1;
            dolz_1 = dolz_1 + DV_2011(i);
        end
        if KLAS(i) == 2;
            SUMA_2 = SUMA_2 + SM_KOT(i);
            st_Klas2 = st_Klas2 + 1;
            dolz_2 = dolz_2 + DV_2011(i);
        end
        if KLAS(i) == 3;
            SUMA_3 = SUMA_3 + SM_KOT(i);
            st_Klas3 = st_Klas3 + 1;
            dolz_3 = dolz_3 + DV_2011(i);
        end
        if KLAS(i) == 4;
            SUMA_4 = SUMA_4 + SM_KOT(i);
            st_Klas4 = st_Klas4 + 1;
            dolz_4 = dolz_4 + DV_2011(i);
        end
        if KLAS(i) == 5;
            SUMA_5 = SUMA_5 + SM_KOT(i);
            st_Klas5 = st_Klas5 + 1;
            dolz_5 = dolz_5 + DV_2011(i);
        end
        if KLAS(i) == 6;
            SUMA_6 = SUMA_6 + SM_KOT(i);
            st_Klas6 = st_Klas6 + 1;
        end
    end
end
```

»se nadaljuje...«

»nadaljevanje...«

```
dolz_6 = dolz_6 + DV_2011(i);
end
if KLAS(i) == 7;
    SUMA_7 = SUMA_7 + SM_KOT(i);
    st_Klas7 = st_Klas7 + 1;
    dolz_7 = dolz_7 + DV_2011(i);
end
if KLAS(i) == 8;
    SUMA_8 = SUMA_8 + SM_KOT(i);
    st_Klas8 = st_Klas8 + 1;
    dolz_8 = dolz_8 + DV_2011(i);
end
end

Povp_SM_KOT_1 = SUMA_1 / st_Klas1;
Povp_SM_KOT_2 = SUMA_2 / st_Klas2;
Povp_SM_KOT_3 = SUMA_3 / st_Klas3;
Povp_SM_KOT_4 = SUMA_4 / st_Klas4;
Povp_SM_KOT_5 = SUMA_5 / st_Klas5;
Povp_SM_KOT_6 = SUMA_6 / st_Klas6;
Povp_SM_KOT_7 = SUMA_7 / st_Klas7;
Povp_SM_KOT_8 = SUMA_8 / st_Klas8;

% smerni koti za 8 rezultat vektorjev,
% ki naj se stikajo v lokaciji ponora

Povp_SM_KOT = [Povp_SM_KOT_1 Povp_SM_KOT_2 Povp_SM_KOT_3 Povp_SM_KOT_4 Povp_SM_KOT_5
Povp_SM_KOT_6 Povp_SM_KOT_7 Povp_SM_KOT_8];
Dolz = [dolz_1 dolz_2 dolz_3 dolz_4 dolz_5 dolz_6 dolz_7 dolz_8];
ST_KLAS = [st_Klas1 st_Klas2 st_Klas3 st_Klas4 st_Klas5 st_Klas6 st_Klas7 st_Klas8];

% ZAMIK VEKTORJA REZULTANTE
X_IZH = Podatki(1,7);
Y_IZH = Podatki(1,6);
% Koordinate ciljne lokacije

for i = 1 : 8
    if ST_KLAS(i) > 0
        zamik_y(i) = d * sin(Povp_SM_KOT(i));
        zamik_x(i) = d * cos(Povp_SM_KOT(i));

        Y_KON(i) = Y_IZH - zamik_y(i);
        X_KON(i) = X_IZH - zamik_x(i);
        Y_ZAC(i) = Y_KON(i) - sin(Povp_SM_KOT(i)) * Dolz(i);
        X_ZAC(i) = X_KON(i) - cos(Povp_SM_KOT(i)) * Dolz(i);
    end
end
ixRez = 1;

for k = 1:8
    if ST_KLAS(k) > 0
        Rezultati(ixRez,1) = m;
        Rezultati(ixRez,2) = Y_ZAC(k);
        Rezultati(ixRez,3) = X_ZAC(k);
        Rezultati(ixRez,4) = Y_KON(k);
        Rezultati(ixRez,5) = X_KON(k);
        Rezultati(ixRez,6) = Dolz(k)*scale;
        Rezultati(ixRez,7) = Povp_SM_KOT(k);

        dlmwrite(datoteka_prih, Rezultati(ixRez,:), '-append', 'delimiter', ',', 'precision', 8)
        ixRez = ixRez + 1;
        m = m+1;
    end
end
end
Rezultati;
close all;

%% IZRAČUN ZA ISTI IZVOR
% Ločim podatke v n ločenih tabel, vse imajo isto šifro PONORA!
% (samo odhodni tokovi)

dat2 = fopen(datoteka_odh, 'a');
% odprem datoteko za izpis

»se nadaljuje...«
```



»...nadaljevanje«

```
Izvor = unique(REZ(:,1));

n = length(Izvor);
Loceni_Podatki_IZV = cell(n,1);

for i = 1 : length(Izvor)
    ID_IZV(i) = Izvor(i,1);
end

for st = 1: n
    Loceni_Podatki_IZV{st} = REZ(REZ(:,1)==Izvor(st),:);
end
m=1;

% števec rezultatov(enolični identifikator)

for ixPod = 1 : st_cen
    Podatki = Loceni_Podatki_IZV{ixPod};
    for i = 1 : st_cen-1
        Y_IZV(i) = Podatki(i,4);
        X_IZV(i) = Podatki(i,5);
        Y_PON(i) = Podatki(i,6);
        X_PON(i) = Podatki(i,7);
        DV_2011(i) = Podatki(i,8)/scale;

        dx(i) = X_PON(i) - X_IZV(i);
        dy(i) = Y_PON(i) - Y_IZV(i);

        SM_KOT(i) = FNC_SM_KOT(dx(i),dy(i));
    end

% KLASIFIKACIJA SMERNIH KOTOV PO SMEREH NEBA
% Klasifikacija smernih kotov po smereh neba s funkcijo, 8 razredov;

KLAS = FNC_KLAS_SM_KOT_8(SM_KOT');
matrika_SM_KOT = [SM_KOT' KLAS];

% IZRAČUN VEKTORJA REZULTANTE ZA VSAKO STRAN NEBA
SUMA_1 = 0; st_Klas1 = 0; dolz_1 = 0;
SUMA_2 = 0; st_Klas2 = 0; dolz_2 = 0;
SUMA_3 = 0; st_Klas3 = 0; dolz_3 = 0;
SUMA_4 = 0; st_Klas4 = 0; dolz_4 = 0;
SUMA_5 = 0; st_Klas5 = 0; dolz_5 = 0;
SUMA_6 = 0; st_Klas6 = 0; dolz_6 = 0;
SUMA_7 = 0; st_Klas7 = 0; dolz_7 = 0;
SUMA_8 = 0; st_Klas8 = 0; dolz_8 = 0;

% vsote sm. kotov,števci vektorjev
% in jakosti vektorjev po straneh neba

for i = 1 : st_cen-1
    if KLAS(i) == 1;
        SUMA_1 = SUMA_1 + SM_KOT(i);
        st_Klas1 = st_Klas1 + 1;
        dolz_1 = dolz_1 + DV_2011(i);
    end
    if KLAS(i) == 2;
        SUMA_2 = SUMA_2 + SM_KOT(i);
        st_Klas2 = st_Klas2 + 1;
        dolz_2 = dolz_2 + DV_2011(i);
    end
    if KLAS(i) == 3;
        SUMA_3 = SUMA_3 + SM_KOT(i);
        st_Klas3 = st_Klas3 + 1;
        dolz_3 = dolz_3 + DV_2011(i);
    end
    if KLAS(i) == 4;
        SUMA_4 = SUMA_4 + SM_KOT(i);
        st_Klas4 = st_Klas4 + 1;
        dolz_4 = dolz_4 + DV_2011(i);
    end
    if KLAS(i) == 5;
        SUMA_5 = SUMA_5 + SM_KOT(i);
        st_Klas5 = st_Klas5 + 1;
        dolz_5 = dolz_5 + DV_2011(i);
    end
end
```

»se nadaljuje...«

»...nadaljevanje«

```
if KLAS(i) == 6;
    SUMA_6 = SUMA_6 + SM_KOT(i);
    st_Klas6 = st_Klas6 + 1;
    dolz_6 = dolz_6 + DV_2011(i);
end
if KLAS(i) == 7;
    SUMA_7 = SUMA_7 + SM_KOT(i);
    st_Klas7 = st_Klas7 + 1;
    dolz_7 = dolz_7 + DV_2011(i);
end
if KLAS(i) == 8;
    SUMA_8 = SUMA_8 + SM_KOT(i);
    st_Klas8 = st_Klas8 + 1;
    dolz_8 = dolz_8 + DV_2011(i);
end
end

Povp_SM_KOT_1 = SUMA_1 / st_Klas1;
Povp_SM_KOT_2 = SUMA_2 / st_Klas2;
Povp_SM_KOT_3 = SUMA_3 / st_Klas3;
Povp_SM_KOT_4 = SUMA_4 / st_Klas4;
Povp_SM_KOT_5 = SUMA_5 / st_Klas5;
Povp_SM_KOT_6 = SUMA_6 / st_Klas6;
Povp_SM_KOT_7 = SUMA_7 / st_Klas7;
Povp_SM_KOT_8 = SUMA_8 / st_Klas8;

Povp_SM_KOT = [Povp_SM_KOT_1 Povp_SM_KOT_2 Povp_SM_KOT_3 Povp_SM_KOT_4 Povp_SM_KOT_5
Povp_SM_KOT_6 Povp_SM_KOT_7 Povp_SM_KOT_8];
Dolz = [dolz_1 dolz_2 dolz_3 dolz_4 dolz_5 dolz_6 dolz_7 dolz_8];
ST_KLAS = [st_Klas1 st_Klas2 st_Klas3 st_Klas4 st_Klas5 st_Klas6 st_Klas7 st_Klas8];

X_IZH = Podatki(1,5);
Y_IZH = Podatki(1,4);
for i = 1 : 8
    if ST_KLAS(i) > 0
        zamik_y(i) = d * sin(Povp_SM_KOT(i));
        zamik_x(i) = d * cos(Povp_SM_KOT(i));

        Y_ZAC(i) = Y_IZH + zamik_y(i);
        X_ZAC(i) = X_IZH + zamik_x(i);
        Y_KON(i) = Y_ZAC(i) + sin(Povp_SM_KOT(i)) * Dolz(i);
        X_KON(i) = X_ZAC(i) + cos(Povp_SM_KOT(i)) * Dolz(i);
    end
end

ixRez = 1;
for k = 1:8
    if ST_KLAS(k) > 0
        Rezultati(ixRez,1) = m;
        Rezultati(ixRez,2) = Y_ZAC(k);
        Rezultati(ixRez,3) = X_ZAC(k);
        Rezultati(ixRez,4) = Y_KON(k);
        Rezultati(ixRez,5) = X_KON(k);
        Rezultati(ixRez,6) = Dolz(k) * scale;
        Rezultati(ixRez,7) = Povp_SM_KOT(k);

        dlmwrite(datoteka_odh, Rezultati(ixRez,:), '-append', 'delimiter', ',', 'precision', 8)

        m=m+1;
        ixRez = ixRez + 1;
    end
end
end
Rezultati;

close all

%% KOMBINACIJA OBEH TOKOV

Odhodni = csvread(datoteka_odh);
Prihodni = csvread(datoteka_prih);
```

»se nadaljuje...«

»...nadaljevanje«

```
siz_odh = size(Odhodni);

siz_prih = size(Prihodni);

length = siz_odh(1) + siz_prih(1);

COMBO = zeros(length,8);
ID = 1;
for i = 1 : 1 : length
    COMBO(i,1) = ID;
    ID = ID + 1;
end

k = 1;
for i = 1 : siz_odh
    COMBO(k,2) = Odhodni(i,2);
    COMBO(k,3) = Odhodni(i,3);
    COMBO(k,4) = Odhodni(i,4);
    COMBO(k,5) = Odhodni(i,5);
    COMBO(k,6) = Odhodni(i,6);
    COMBO(k,7) = Odhodni(i,7);
    COMBO(k,8) = 1;
    k = k + 1;

for j = 1 : siz_prih
    if Odhodni(i,2) == Prihodni(j,4) & Odhodni(i,3) == Prihodni(j,5)
        dolzina = Prihodni(j,6)/scale;
        SM_KOT = Prihodni(j,7);

        COMBO(k,2) = Odhodni(i,4);
        COMBO(k,3) = Odhodni(i,5);
        COMBO(k,4) = Odhodni(i,4) - sin(SM_KOT) * dolzina;
        COMBO(k,5) = Odhodni(i,5) - cos(SM_KOT) * dolzina;
        COMBO(k,6) = Prihodni(j,6);
        COMBO(k,7) = Prihodni(j,7);
        COMBO(k,8) = 2;
        k = k + 1;
    end
end
end
COMBO;

%% IZPIS ZA KOMBINACIJO OBEH TOKOV
% V TXT
dat3 = fopen(datoteka_combo,'a');
fprintf(dat3,'ID,Y_ZAC,X_ZAC,Y_KON,X_KON,DV_2011,SM_KOT,TIP\n');

for i = 1 : length
    dlmwrite(datoteka_combo, COMBO(i,:),'-append', 'delimiter', ',', 'precision', 8)
end

close all;
disp('Izračun izveden!')
```

## PRILOGA E: Programska koda metode vpliva razdalje na neto delovno mobilnost

```
clc;
clear all;
%% OSNOVNI PODATKI IN KONSTANTE

% M je matrika dnevni migrantov na delo, indeks vrstice(i) predstavlja
% prebivališče, indeks stolpca(j) lokacijo dela.
M = csvread('*.csv');

% Cen je matrika z IDji in koordinatami lokacij(Y,X)
Cen = csvread('*.csv');

% Določi število centroidov
Siz = size(Cen);
st_cen = Siz(1,1);

% Podaj faktor in "power value"
faktor = ; % faktor povečave jakosti
a = ; % vrednost potence upada vpliva razdalje

% Podaj datoteko za izpis
datoteka_out = '*.csv';

for i = 1 : st_cen
    ID(i) = Cen(i,1);
    Y(i) = Cen(i,2);
    X(i) = Cen(i,3);
end

%% IZRAČUN

for i = 1 : st_cen
    for j = 1 : st_cen
        if i ~= j
            d(i,j) = sqrt((Y(j)-Y(i))^2 + (X(j)-X(i))^2);
            F(i,j) = (M(j,i)-M(i,j)) / (d(i,j))^a;
        end
    end
    SUM_F(i) = sum(F(i,:));
end
Z_VAL = SUM_F * faktor; % rezultat; Z vrednost za pripadajočo lokacijo

HEAD = 'ID,Y,X,Z_VAL';
REZ = [ID' Y' X' Z_VAL'];

%% IZPIS

dat = fopen(datoteka_out,'w');
fprintf(dat,'ID,Y,X,Z_VAL\n'); % Glava datoteke izpisa
dlimwrite(datoteka_out, REZ,'-append', 'delimiter', ',', 'precision', 8)

close all;

disp('Izračun končan!')
```

## PRILOGA F: Programska koda interpolacije z obratno uteženo razdaljo

```
clc;
clear all;
%% POTREBNI PODATKI, KONSTANTE IN DATOTEKE

% Datoteka podatkov; izpis iz Matlab skripte
Podatki = dlmread('*.csv', ',');

% Podaj povprečno površino občine/regije in faktor
povp_vel_obc = ; % v kilometrih^2
faktor = ; % faktor množenja

% Podaj faktor povečave končne dolžine vektorja
scale = ;

% Določi razpon podatkov po x in y osi
% dx in dy definirata gostoto gridne mreže
yA = 370000; yZ = 630000; dy = 20000;
xA = 30000; xZ = 210000; dx = 20000;

% Podaj datoteko za izpis
datoteka_out = '*.csv';

%% BRANJE PODATKOV
% Določitev števila centroidov
siz = size(Podatki);
st_cen = siz(1,1);

for i = 1 : st_cen
    ID(i) = Podatki(i,1);
    Y(i) = Podatki(i,2);
    X(i) = Podatki(i,3);
    C_Y(i) = Podatki(i,4);
    C_X(i) = Podatki(i,5);
end

%% IZDELAVA GRIDNE MREŽE

% Sestava gridnih matrik po x in y osi
[YI,XI] = meshgrid(yA:dy:yZ,xA:dx:xZ);

velikost = size(YI);
vrstice = velikost(1);
stolpci = velikost(2);

k = 1; % Indeks vrstice tabele GRID
for i = 1 : vrstice
    for j = 1 : stolpci
        X_GRID(k) = XI(i,j);
        Y_GRID(k) = YI(i,j);

        k = k + 1;
    end
end
GRID = [Y_GRID' X_GRID'];
size(GRID);

d = zeros(length(X_GRID), st_cen);
inv_d2 = zeros(length(X_GRID), st_cen);
sum_inv_d2 = zeros(1,st_cen);

for i = 1 : size(X_GRID')
    for j = 1 : st_cen
        d(i,j) = sqrt((X_GRID(i) - X(j))^2 + (Y_GRID(i)-Y(j))^2);
        inv_d2(i,j) = 1/(d(i,j)^2);
    end
end

for i = 1 : size(X_GRID')
    sum_inv_d2(i) = sum(inv_d2(i,:));
```

»se nadaljuje...«

»...nadaljevanje«

```
for j = 1 : st_cen
    W(i,j) = inv_d2(i,j)/sum_inv_d2(i);

end
end

%% INTERPOLACIJA VEKTORSKEGA POLJA - Inverse Distance

R_kroga = sqrt(povp_vel_obc/pi);
R = R_kroga * faktor; % Določitev "search radius-a"

for i = 1 : size(X_GRID') % števec za element GRIDa
    for j = 1 : st_cen % števec za centroide
        if d(i,j) < R
            C_X_int(i,j) = W(i,j) * C_X(j);
            C_Y_int(i,j) = W(i,j) * C_Y(j);
        else
            C_X_int(i,j) = 0;
            C_Y_int(i,j) = 0;
        end
    end
end

for i = 1 : size(X_GRID')
    C_X_GRID(i) = (sum(C_X_int(i,:)))*scale;
    C_Y_GRID(i) = (sum(C_Y_int(i,:)))*scale;
end

C = [C_Y_GRID' C_X_GRID'];

max(C_X_GRID)
max(C_Y_GRID)
min(C_X_GRID)
min(C_Y_GRID)

for i = 1 : size(X_GRID')
    X_ZAC(i) = X_GRID(i) - 1/2* C_X_GRID(i);
    Y_ZAC(i) = Y_GRID(i) - 1/2* C_Y_GRID(i);
    X_KON(i) = X_ZAC(i) + C_X_GRID(i);
    Y_KON(i) = Y_ZAC(i) + C_Y_GRID(i);
end

ID_REZ = [1:size(X_GRID')]
REZ = [ID_REZ' Y_ZAC' X_ZAC' Y_KON' X_KON']
size(REZ);

%% IZPIS

dat1 = fopen(datoteka_out,'w');
fprintf(dat1,'ID;Y_ZAC;X_ZAC;Y_KON;X_KON\n'); % Glava datoteke izpisa
dlmwrite(datoteka_out, REZ,'-append', 'delimiter', ',', 'precision', 8)

close all
disp('Izračun končan!')
```

## PRILOGA G1: Programska koda funkcije izračuna smernega kota

```
function [ SM_KOT ] = FNC_SM_KOT( dx, dy )
% FUNKCIJA IZRAČUNA SMERNEGA KOTA
% Na podlagi dx in dy izračuna smerni kot
if dx == 0 & dy == 0;
    SM_KOT = 0;
end
if dx == 0 & dy > 0;
    SM_KOT = pi/2;
end
if dx == 0 & dy < 0;
    SM_KOT = 3*pi/2;
end
if dy == 0 & dx > 0;
    SM_KOT = 0;
end
if dy == 0 & dx < 0;
    SM_KOT = pi;
end
if dy > 0 & dx > 0;
    SM_KOT = atan(dy/dx);
end
if dy < 0 & dx > 0;
    SM_KOT = (atan(dy/dx)) + 2*pi;
end
if dy < 0 & dx < 0;
    SM_KOT = (atan(dy/dx)) + pi;
end
if dy > 0 & dx < 0;
    SM_KOT = (atan(dy/dx)) + pi;
end
```

## PRILOGA G2: Programska koda funkcije klasifikacije smernih kotov

```
function [ KLAS ] = FNS_KLAS_SM_KOT( SM_KOT )
global st_cen
% KLASIFIKACIJA SMERNIH KOTOV PO SMEREH NEBA

KLAS = zeros(1,st_cen-1); % ustvarim prazen stolpičen vektor

for i = 1 : st_cen-1;
    if SM_KOT(i) > 0 & SM_KOT(i) <= pi/4;
        KLAS(i) = 1;
    end
    if SM_KOT(i) > pi/4 & SM_KOT(i) <= pi/2;
        KLAS(i) = 2;
    end
    if SM_KOT(i) > pi/2 & SM_KOT(i) <= 3*pi/4;
        KLAS(i) = 3;
    end
    if SM_KOT(i) > (3*pi/4) & SM_KOT(i) <= pi;
        KLAS(i) = 4;
    end
    if SM_KOT(i) > pi & SM_KOT(i) <= (5*pi/4);
        KLAS(i) = 5;
    end
    if SM_KOT(i) > (5*pi/4) & SM_KOT(i) <= (3*pi/2);
        KLAS(i) = 6;
    end
    if SM_KOT(i) > (3*pi/2) & SM_KOT(i) <= (7*pi/4);
        KLAS(i) = 7;
    end
    if SM_KOT(i) > (7*pi/4) & SM_KOT(i) <= (2*pi) | SM_KOT(i) == 0;
        KLAS(i) = 8;
    end
end
end
```