

»Mladi za napredek Maribora 2019«  
36. srečanje

## Prostorsko modeliranje izbire modalitete prevoza dijakov v šolo

Raziskovalno področje: Trajnostna mobilnost in promet

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtor: MIHA KRAMBERGER

Mentor: KATJA HOLNTHANER ZOREC, SIMONA ŠINKO

Šola: II. GIMNAZIJA MARIBOR

Število točk: 168

Mesto: 1

Priznanje: zlato

Maribor, 2019

»Mladi za napredek Maribora 2019«  
36. srečanje

## **Prostorsko modeliranje izbire modalitete prevoza dijakov v šolo**

Raziskovalno področje: Trajnostna mobilnost in promet

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO



Maribor, 2019

## Kazalo vsebine

<b>1</b>	<b>Uvod in predstavitev problema .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Pregled literature.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Definicija problema, predpostavke in hipoteze .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Teoretične osnove in metodologija raziskovanja.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>Teoretične osnove .....</b>	<b>10</b>
4.1.1	Geografski informacijski sistem .....	10
4.1.2	Opis GIS modela.....	11
<b>4.2</b>	<b>AHP analiza .....</b>	<b>15</b>
4.2.1	Teoretični opis metode .....	16
4.2.2	Anketa .....	17
<b>5</b>	<b>Praktični del naloge .....</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>Opis realnega GIS modela .....</b>	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>AHP .....</b>	<b>22</b>
5.2.1	Interpretacija rezultatov AHP analize.....	24
<b>5.3</b>	<b>Končni izračun.....</b>	<b>26</b>
<b>5.4</b>	<b>Prikaz izračunov AHP analize v Geografskem informacijskem sistemu .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Zaključki in razprava .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1</b>	<b>Interpretacija rezultatov in potrditev hipotez.....</b>	<b>29</b>
<b>6.2</b>	<b>Družbena odgovornost .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Viri in literatura .....</b>	<b>31</b>

## Kazalo slik

Slika 1:	Kompromis med objektivnimi utežmi $t'$ in subjektivnimi odločitvenimi faktorji $PR$ .....	10
Slika 2:	Primer izgradnje linije.....	13
Slika 3:	Orodje "Point distance".....	14
Slika 4:	Primer uporabe orodja "OD cost matrix" in "Closest facility" .....	15
Slika 5:	Primer anketnega vprašanja.....	17
Slika 6:	Sloj cestnega omrežja in navideznih domov.....	19
Slika 7:	Sloj avtobusnih postajališč .....	20
Slika 8:	Sloj avtobusnih linij. ....	21
Slika 9:	Primer vnosa AHP analize.....	24
Slika 10:	Sloj izbranih alternativ prevoza. ....	28

## **Kazalo tabel**

Tabela 1: Primer ocenjevalne lestvice .....	16
Tabela 2: Izračunane razdalje. ....	22
Tabela 3: Povprečne vrednosti primerjave karakteristik prevoza.....	23
Tabela 4: Izbira alternative.....	25
Tabela 5: Pomembnost kriterija.....	25
Tabela 6: Vpliv kriterija na posamezno alternativo .....	25

## Povzetek

V nalogi bomo z metodologijo, ki je bila prvotno razvita za izbiro pristanišč ali letališč in modeliranje njihovih zaledij, prostorsko modelirali izbiro modalitete prevoza dijakov v šolo. Analiza se od večine drugih študij te vrste razlikuje po tem, da združuje objektivno merljive podatke (potreben čas in opravljeno razdaljo) in subjektivne podatke o privlačnosti uporabe različnih vrst prevozov do šole pridobljene iz anket.

Rezultate pridobljene iz anket bomo kvantificirali s pomočjo AHP (analitični hierarhični proces) metode in jih združili z merljivimi podatki o časih prevozov pridobljenih z meritvami in s pomočjo GIS-a (Geografski Informacijski sistem).

Rezultati bodo v obliki poligonov - prostorsko modeliranih območjih, v katerih si učenci najverjetneje izbirajo določeno modaliteto prevoza v šolo.

# 1 Uvod in predstavitev problema

Delež prebivalcev, ki živi v mestih, je v nekaterih manjših državah in azijskih mestnih državah (npr. Hongkong) že dosegel skoraj polnih 100 % (United nation, 2017). V Veliki Britaniji in zahodno evropskih državah se ta delež giblje okoli 80 %, v Sloveniji pa je nekje med 50 % in 60 % (Wikipedia, 2013). Velika nasičenost prebivalstva v mestih, predvsem v velikih mestih z več stotisoč ali celo milijoni prebivalcev, povzroča veliko potrebo po njihovi mobilnosti. Zaradi dnevnih migracij iz različnih vzrokov je potreba po potovanjih po mestu, v ali iz njega, izredno velika. V veliki večini velikih mest se za večino dnevnih migracij uporabi osebno vozilo (Epomm). Delež potovanj, narejenih z osebnim avtomobilom, se v nekaterih ameriških in avstralskih mestih povzpne čez 85 %, medtem ko se v evropskih mestih giblje med 30 % in 60 % (Wikipedia, 2011).

Kot je danes splošno znano, so potovanja opravljena z osebnim avtomobilom v neposredni povezavi s hitrostjo podnebnih sprememb, stopnjo odvisnosti od fosilnih goriv in s pogostostjo prometnih zastojev. V ZDA je leta 2006 približno 30 % vseh emisij toplogrednih plinov nastalo v prometnem sektorju; večinoma v obliki emisij CO<sub>2</sub> zaradi izgorevanja fosilnih goriv. Navkljub vsem ukrepom in sprejetim strategijam so se skupne emisije CO<sub>2</sub> v prometnem sektorju od leta 1990 znatno povečale, medtem pa so se emisije v stanovanjskih in industrijskih sektorjih nekoliko zmanjšale (Future Science, 2011).

Politika in ostali odločevalci na ravni države, mesta ali ostalih lokalnih skupnosti svoje cilje in strategije, kako urejati promet v mestih, zapišejo v t. i. celostne prometne strategije. Glavni cilj celostnih prometnih strategij je zagotoviti trajnostno mobilnost za vse prebivalce in obiskovalce mest. Na njihovih podlagah želijo oblast izboljšati dostopnost storitev in zagotavljati visoke standarde kakovosti trajnostne mobilnosti. Za oblikovanje trajnostne mobilnosti je treba upoštevati več različnih pristopov in načel, med katera uvrščamo tudi transparentnost in vključevanje javnosti (Topolšek in drugi, 2017).

V nasprotju s tradicionalnimi pristopi načrtovanja prometa, kjer so v ospredju infrastrukturni ukrepi, je nov koncept načrtovanja usmerjen k vključevanju državljanov in zainteresiranih strani, usklajevanju politik med različnimi ravnimi oblasti, sektorji in sosednjimi občinami. Izgradnja nove prometne infrastrukture, ki naj bi reševala težave prometnih zastojev, povzroči pojav začaranega kroga. Nova infrastruktura privlači uporabnike avtomobilov, kar ponovno privede do izhodiščne točke (Topolšek, in drugi, 2017). Izgradnja nove infrastrukture rešuje problem zastojev le začasno, kajti zaradi zgoraj omenjenega paradoksa se promet spet poveča, po navadi še na višjo raven kot prej, in povzroča še hujše prometne zastoje (Van der Loop, Haaijerb & Willigers, 2016).

V globalnem gospodarstvu, kjer je mobilnost posameznikov povezana z gospodarskimi priložnostmi infrastrukture, je transportni sektor pomemben del gospodarstva in pomembno orodje za razvoj. Zato ima celostno načrtovanje prometa številne koristi. Osredotoča se na ljudi, kar se odraža v boljši kakovosti javnih prostorov. Omogoča izboljšanje kakovosti zraka, zmanjševanja hrupa ter nasploh blaženje podnebnih sprememb. Pozitivni so tudi učinki na zdravje in naravni ekosistem. Celostno načrtovanje prometa zagotavlja boljšo mobilnost in dostopnost. Ker je mobilnost gibalo razvoja lokalnih skupnosti, lahko njena celostna ureditev pritegne nova podjetja in vlagatelje (Topolšek in drugi, 2017). Torej, politikom in odločevalcem je bolj ali manj jasno, da manjšanje deleža potovanj z avtomobilom pripomore k boju proti odvisnosti od nafte, globalnemu segrevanju in onesnaževanju okolja (Buehler, 2011). Vendar vprašanje, kako to doseči, ostaja odprto. Navkljub sprejetim strategijam in ukrepom število vozil na cestah še zmeraj vsako leto raste, posledično se povprečne dnevne obremenitve državnih cest večajo ali vsaj ostajajo na enaki ravni. Želeli pa bi ravno obratno (Topolšek in drugi, 2017).

Hoja je osnovna in človeku najpreprostejša oblika gibanja. Pešačenje je, predvsem znotraj urbanih naselij in mestnih središč, zelo dobra alternativa drugim načinom mobilnosti. Težave, ki se za pešce lahko pojavijo, so posledica intenzivnega prometa ali pa so posledica pomanjkljivega načrtovanja prometne infrastrukture v mestih.

Tudi kolesarjenje je na kratke in srednje razdalje učinkovit način prevoza. Kolesarji so v nekoliko večji meri kot pešci, izpostavljeni nevarnostim zaradi rastočega motornega prometa na cestah. Zato je za varnost kolesarjenja pravilno urejena infrastruktura še toliko bolj pomembna. Urbana naselja in mestna

središča zato potrebujejo privlačno in varno urejene kolesarske površine (Future Science, 2011). Vendar pa to ni dovolj. Določen pečat pustijo tudi ostali udeleženci, ki si cestišče občasno delijo s počasnejšimi kolesarji, kar pa lahko povzroči veliko mero nestrpnosti in nestrinjanja. Čeprav je v urbanih okoljih opazen premik v smeri povečevanja vloge hoje in kolesarjenja, sta ta dva načina mobilnosti še vedno premalo izkoriščena (Topolšek, in drugi, 2017).

Tako temelj trajnostno urejenega prometnega sistema ostaja cenovno dostopen in visokokakovosten javni prevoz. Kljub temu pa je uporaba javnega potniškega prometa v Sloveniji še zmeraj na zelo nizki ravni (predvsem v večjih mestih). Ker preveč ljudi uporablja avtomobile za zadovoljevanje svojih potreb po mobilnosti, država in mesta težko financirajo javni prevoz. Na splošno velja, da čim višja je odvisnost prebivalstva od avtomobilov, tem nižja je raven storitve javnega potniškega prometa. Po mnenju večine ljudi pri nas, se javni promet ne more kosati z udobjem in samostojnostjo uporabe avtomobila. Da bi dosegli podobno zavedanje ljudi, podobno kot so dosegli na primer na Dunaju (Buehler, Pucher & Altshuler, brez datuma), je potrebni spremeniti mišljenje in potovalne navade ljudi. Javni potniški promet bo lahko napredoval le ob povišani predhodni uporabi le tega.

## 2 Pregled literature

Razlike v socialno-ekonomskih in demografskih dejavnikih, vzorcih prostorskega razvoja, prometne politike in politike rabe zemljišč nedvomno lahko pomagajo razložiti mednarodne razlike v načrtovanju potovanj. Razumevanje razlik o determinantah potovanja lahko pomaga oblikovati politike, ki omogočajo trajnostno mobilnost. Metodološki pristopi primerjalnih študij vključujejo deskriptivne in multi-variantne statistične analize. Večina študij se, da bi opisala mednarodne razlike pri izbiri načina prevoza, opira na okvir, ki temelji na uporabnosti. Študije predvidevajo, da posamezniki maksimirajo svojo koristnost, ki jo pridobijo z dejavnostmi zunaj doma. Politika prevozov in vzorci prostorskega razvoja mesta determinirajo izvedljivost kot tudi časovne stroške različnih načinov prevoza. Izbira načina individualnega potovanja je odvisna od privlačnosti različnih načinov prevoza, pa tudi od socialno-ekonomskih in demografskih značilnosti potovanja (Buehler, 2011).

Ker pa večina študij upošteva le spremenljivke, kot so voznina, čas potovanja in pogostost potreb po mobilnosti ter razpoložljivost javnega prevoza, imajo modeli določene omejitve. Tako ne morejo v celoti odražati resničnost stanje na trgu prevoza (Joon-Kyu Lee, 2016). Bistveni koncept modelov izbire načina potovanja je razumeti razmerje med izbiro popotnika in dejavniki, ki prispevajo k izbiri. Socialno-ekonomska raven in raven storitev prevoza prispevata k potovalnemu vedenju. Dejavniki večinoma spadajo v dve kategoriji: makroskopski in mikroskopski dejavniki. Na splošno si potniki z višjimi dohodki želijo izbrati bolj udoben način potovanja. V mnogo primerih lastništvo avtomobilov določa, ali si mora potnik izbrati javni prevoz. Uporabniki, za katere pa je bolj pomembna točnost, in predvidljivost časa prihoda na cilj pa raje uporabljajo javni prevoz (Ling Ding, 2016). V Sloveniji se ljub temu soočamo s težavami glede točnosti v javnem prometu, zato je prikaz izbire javnega potniškega prometa v Sloveniji najbrž drugačen, kot ga opisujejo tuji avtorji

Podatek, ki najbolje opiše stanje na trgu prevoza ljudi, je porazdelitev števila potnikov po različnih vrstah prevoza (modalitetah prevoza). V tovornem prometu se v nasprotju s potniškim prometom merijo mase prevoženega tovora. Tako je izbira načina prevoza populacije na določenem območju prikazana kot odstotek ljudi, ki si izbere enak način prevoza. Porazdelitev potnikov po različnih modalitetah prevoza imenujemo modalna porazdelitev (MBASKOOL, 2018). Ugotavljanje modalne porazdelitve nam omogočajo različni modeli za modeliranje modalne porazdelitve. Ti modeli poskušajo oceniti število potnikov, ki bodo na različnih omejenih geografskih področjih izbrali enak način transporta. Na splošno se v ta namen uporabljajo t. i. matematični modeli izbire, ki po navadi upoštevajo zgodovinske statistične podatke o resnični izbiri (NPTEL, 2018).

Lahko pa modeli vključujejo tudi podatke, ki jih zagotavljajo študije o prevozu (čas potovanja ali razdalja). Ustreznost teh parametrov pri analizi in modeliranju izbranega načina je odvisna od razpoložljivosti in kakovosti vnosa v izbrani model. Podatki o relevantnih parametrih so pridobljeni iz popisnih zapisov in nekaterih sistemskih lokalnih statističnih podatkov, ki se občasno objavljajo, večinoma ne za prometne študije. Tako modeli za simuliranje modalne porazdelitve večinoma temeljijo na uradni statistiki in realnih (inženirskih) parametrih, kot je: število prebivalcev v okrožju, stopnja motorizacije, dohodek itd. (Jović, 1999).

Za realistično modeliranje modalne porazdelitve in načrtovanje prometa pa je treba poznati tudi odziv uporabnikov, ki je odvisen od danih okoliščin in je odvisen od pridobljenih izkušenj in osebnih pogledov posameznika na razpoložljive alternative modalite prevoza. Zaradi tega so, v zadnjih letih, prometni strokovnjaki začeli v svoje raziskave vključevati znanja iz različnih področij, tudi družboslovnih. Napredek v računalniških tehnologijah je uvedel računalnike v domene, ki so do nedavnega pripadale izključno človeški inteligenci. Tako poskušajo strokovnjaki s pomočjo umetnih nevronske mreže ustvariti stroje, ki so sposobni učenja, pomnjenja in sklepanja na način, ki posnema človeške miselne procese. Upoštevanje vseh dejavnikov, ki vplivajo na modalno razdelitev, daje osnovo za pravilno napoved prevoznih potreb in nadzor nad razvojem prometnega sistema. Vendar je številne vplivne dejavnike težko že pravilno opredeliti, kaj šele, da bi jih napovedali (Jović, 1999).

Modeliranje modalne porazdelitve je metoda, ki se uporablja za določanje potencialnega števila potovanj na izbrani način ali z drugimi besedami, za določanje deleža različnih načinov prevoza in potovanj pešcev v celotnih prevoznih potrebah. Modalna porazdelitev je nujni sestavni del vsake prometne študije, ki služi izdelava strategije razvoja prometa na katerem koli področju (Jović, 1999).



### 3 Definicija problema, predpostavke in hipoteze

V naši raziskovalni nalogi se bomo lotili naslednje naloge. Za neko omejeno geografsko območje bomo s pomočjo GIS sistema prostorsko modelirali modalno porazdelitev prevozov dijakov v izbrano šolo po treh modalitetah prevoza, in sicer: hojo, kolo in avtobus. Zaradi lažje interpretacije rezultatov na koncu bomo predpostavili, da se modaliteta avtobus nanaša na ves javni transport, modaliteta kolo pa na ves individualni prevoz.

Uporabil metodo, ki vključuje tako realne, objektivno merljive podatke kot tudi subjektivne podatke o osebnih preferencah uporabnikov. Metoda je bila originalno zasnovana za modeliranje izbire pristanišč (Button, Chin & Kramberger, 2015) in uporabljena tudi za modeliranje zaledij pristanišč in letališč (Prah, Štrubelj, Rupnik & Kramberger, 2015) in (Button, Šinko & Kramberger, 2018). V nalogi je originalna metoda smiselno prirejena in poenostavljena.

V nalogi bomo poskušali potrditi ali ovreči naslednje hipoteze:

**Hipoteza 1:** Modalno porazdelitev prevozov dijakov v šolo, na omejenem geografskem področju, je mogoče modelirati z uporabo metode, ki združuje objektivno merljive odločitvene faktorje in subjektivne podatke o osebnih preferencah uporabnikov storitev mobilnosti.

**Hipoteza 2:** Hoja kot izbrana modaliteta je primerna le za dijake, ki živijo v neposredni bližini šole.

**Hipoteza 3:** Kolo kot izbrana modaliteta je primerna za zmerne razdalje od šole, v večinoma v centru mesta.

**Hipoteza 4:** Avtobus kot izbrana modaliteta je primerna le za dijake, ki živijo v neposredni bližini linij avtobusnega omrežja.

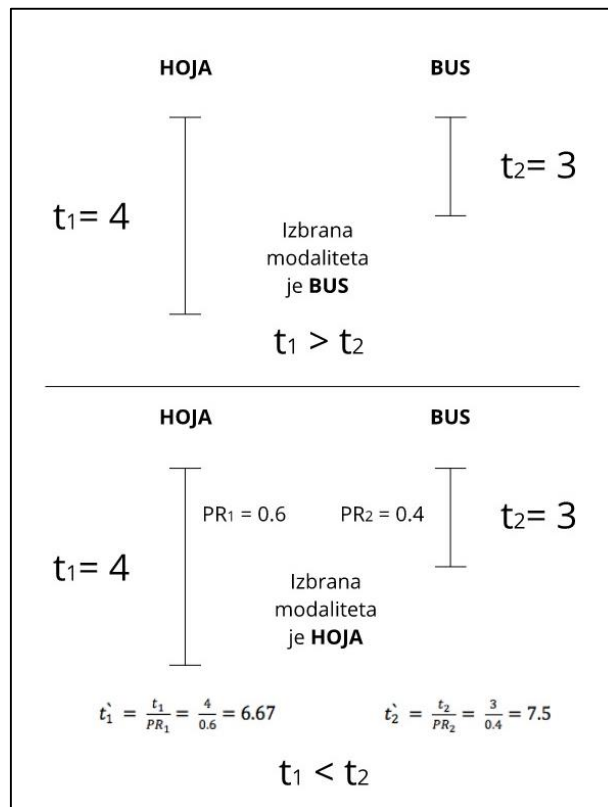
### 4 Teoretične osnove in metodologija raziskovanja

Metoda modeliranja modalne porazdelitve na omejenem geografskem področju združuje objektivno merljive podatke, kot sta čas in razdalja ter subjektivne podatke o osebnih preferencah uporabnikov storitev mobilnosti. Rezultat, ki ga dobimo, je kompromis med objektivnimi in subjektivnimi odločitvenimi faktorji. Končni rezultat metode je prostorska porazdelitev po različnih modalitetah prevoza. Ta nam nazorno grafično pokaže, katero modaliteto prevoza si izberejo prebivalci posameznega geografsko omejenega območja.

Metoda temelji na tem, da na zemljevidu (s pomočjo programskega orodja GIS) konstruiramo točke, ki predstavljajo navidezne domove ljudi, ki si izbirajo prevoz od doma do neke končne točke. Za vsako točko, torej človeka, ki izbira prevoz, izračunamo utež  $t$  prevoza za vsako modaliteto posebej. Uteži so lahko različne, od stroškov prevoza do časa premikanja. Mi smo za uteži uporabili razdalje, ki so kasneje preračunane v čas. Ko imamo za vsakega človeka (točko navideznega doma) izračunane objektivno izmerjene uteži za vse modalitete je naravno, da izberemo tisto modaliteto, kjer je utež  $t$  manjša.

Vendar pa moramo pri utežeh upoštevati še številsko izražene osebne preference, ki so v svoji osnovi subjektivne. Za številsko izražanje osebnih preferenc uporabimo Analitični Hierarhični Proces (AHP), številsko izražene preference označimo s **PR**.

Ker želimo, da je skupna utež čim manjša, pridemo s tem, da želimo čim večjo vrednost za preferenco v protislovje. Zato za izračun kombinirane uteži  $t'$  uporabimo  $t' = \frac{1}{PR} \cdot t$ . Tako vidimo, da je  $t'$  tem manjša, čim manjša je vrednost  $t$  ali čim večja je vrednost **PR**. Za boljše razumevanje si oglejmo primer na sliki (Slika 1).



Slika 1: Kompromis med objektivnimi utežmi  $t$  in subjektivnimi odločitvenimi faktorji PR. (Avtor naloge)

## 4.1 Teoretične osnove

### 4.1.1 Geografski informacijski sistem

Geografski informacijski sistem ali krajše GIS je računalniško podprt podatkovno procesni sistem za učinkovito zajemanje, shranjevanje, vzdrževanje, obdelavo, analizo, porazdeljevanje in prikazovanje geografskih podatkov. V logistiki in transportu se GIS uporablja na treh različnih nivojih in sicer operativnem, taktičnem in strateškem. S pomočjo GIS-a usmerjajo in načrtujejo poti dostavnih in drugih vozil za storitvene dejavnosti z namenom, da bi izboljšali učinkovitost in zmanjšali stroške. Prav tako se GIS uporablja pri oblikovanju poti in urnikov za javne avtobusne sisteme, šolske avtobusne sisteme, odvoz odpadkov, pobiranje in dostavo pošte itd. Za natančno načrtovanje tras za nove gradbene projekte, kot so gradnja avtocest, daljnovodov ter za različna gospodarska poslopja in skladišča je potrebna učinkovita uporaba orodja GIS (Prah, 2016).

#### *GIS in prostorski podatki*

Ker je v računalniku nemogoče prikazati vseh podrobnosti in značilnosti sodobnega sveta, predstavlja GIS le poenostavljen pogled na svet. GIS je torej računalniški prikaz določenih vidikov realnega sveta, kjer je potrebno upoštevati le podatke, ki so najpomembnejši. Na primer, če bi želel najti najkrajšo pot za šolski avtobus, bi bilo nepraktično in nemogoče v računalnik zajeti vseh podrobnosti cestnega prometa, zato uporabimo le podatke, ki so za problem pomembni (Prah, 2016).

#### 4.1.1.1 Sestavine GIS-a

- Podatki:

Ko želimo sestaviti kakšno informacijo, zbiramo podatke realnega sveta, s katerimi si ustvarimo določeno podobo. Podatek si lahko predstavljamo kot gole številke npr. temperaturo 10°C. Da bi naredili številke uporabne, moramo podatku dodati kontekst. Kadar nas zanima le temperatura, ta podatek povsem zadošča. Ko želimo vedeti, kakšno je vreme, pa potrebujemo še podatke o padavinah, vetru in vlažnosti. S temi podrobnostmi postanejo podatki informacija (eucbeniki, 2017). Meja med podatkom in informacijo je mnogokrat zabrisana. V abstraktnem smislu se podatek, ki se ga zavemo in prenašamo pretvori v informacijo. V GIS-u se tematski podatki pogosto nanašajo na ne-prostorske oziroma atributne podatke. Največkrat, jih najdemo v atributni tabeli in predstavljajo vrednost na karti označenih simbolov (eucbeniki, 2017).

- Kartografski prikaz

Karte so najosnovnejši in najstarejši način za prikazovanje, zbiranje in hranjenje prostorskih podatkov. Običajne karte so oblikovane in zasnovane tako, kot nas večina razmišlja, torej dvodimenzionalno in imajo različne oblike in merila. Najenostavnejše karte so preproste skice, s katerimi prijatelja napotimo na zabavo, ko pa želimo o določenem področju pridobiti več natančnejših informacij, se poslužimo različnih tematskih in topografskih kart, ki jih najdemo v atlasih (Prah, 2016).

#### 4.1.2 Opis GIS modela

##### *Priprava podatkovne baze (network dataset)*

Mrežna podatkovna baza (network dataset) predstavlja zbirko topološko povezanih elementov omrežja (robovi, vozlišča in zavijanja), pridobljenih iz različnih virov omrežja. Elementi omrežja tvorijo linearna omrežja, kot so ceste, železnice, podzemna železnica in podobno.

Prvi korak naše naloge je bila priprava podatkovnih slojev za mrežno podatkovno bazo. V tem koraku smo izgradili osnovo, sestavljeno iz podatkovnega sloja cestnega omrežja Republike Slovenije ter območij strnjjenih naselij. Podatkovni sloji so omejeni glede na meje Mestne občine Maribor s širšo okolico. Sloj cestnega omrežja smo opremili z dodatnima atributoma: razdalja posamezne povezave in hitrost, ki jo bi hipotetičen avtomobil prevozil na izbrani povezavi (cesti, regionalni cesti, avtocesti).

V drugem koraku smo povezali omenjene podatkovne sloje v mrežno podatkovno bazo (network dataset). Omenjeno bazo smo poimenovali Maribor\_Dataset. Glavni namen izgradnje omenjene podatkovne baze je programska razširitev Network Analyst, ki deluje le ob predhodni vzpostavitvi mrežne podatkovne baze. O programski razširitvi bomo govorili v prihodnjih odstavkih, za zdaj pa lahko rečemo, da Network Dataset omogoča zahtevne matematične analize, ki so v našem primeru povezane s prevoženjo, prehojenjo oz. prekolesarjenjo razdaljo.

V zadnjem, torej tretjem koraku, smo network dataset izvozili na karto, jo opremili z naslovom, legendo, oznako za sever in avtorstvom. Dodatno smo uredili simbologijo in kategorizacijo cest.

### *Priprava sloja avtobusnih postajališč in avtobusnih linij*

Najpomembnejši sloj je prav sloj avtobusnih postaj in avtobusnih linij, ki povezujejo določena postajališča. Glede na naše omejitve raziskave smo morali smiselno izgraditi omenjeni sloj, pri čemer smo imeli veliko preglavic. Podatkovne sloje (seznam koordinat) smo, ob predhodnem srečanju, dobili od odgovornih oseb pri MO Maribor. Težave so se se pojavile že na začetku. Format pridobljenih podatkov ni bil združljiv s sistemom GIS, zato smo se morali ponovno obrniti na mestno občino, ki nam je tokrat podatke zagotovila v bolj pogosto uporabljenem formatu. Vendar so se tudi tukaj pojavila odstopanja. Podatkovni format namreč ni vseboval dovolj podatkov, da bi jih lahko GIS pretvoril v dvodimenzionalen sloj avtobusnih linij.

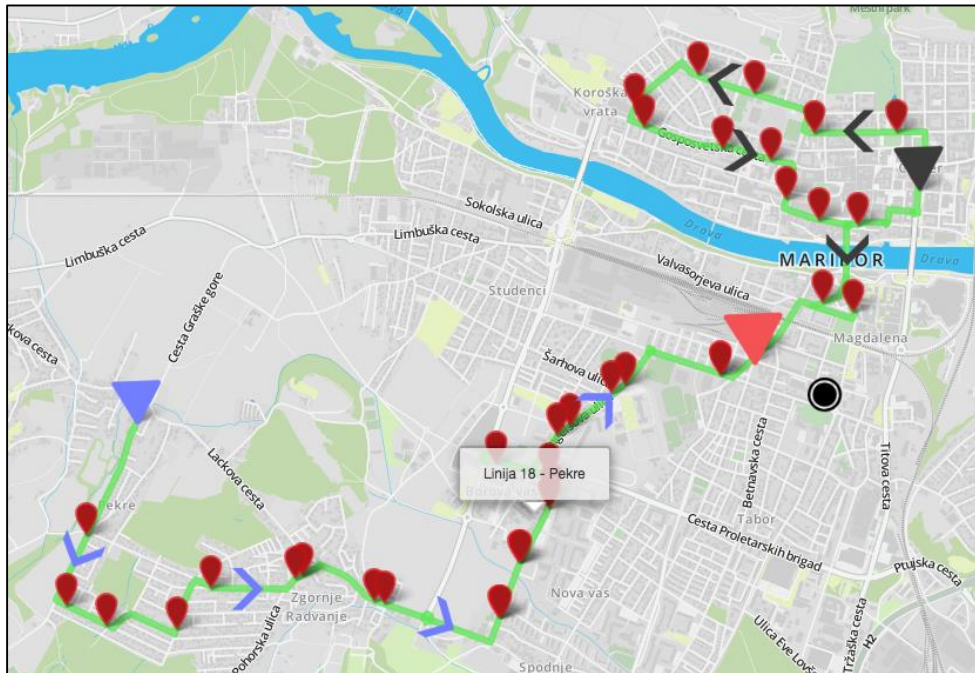
Seveda je sloj avtobusnih postaj ključen, zato smo morali razmisliti o drugih alternativah. Glede na naše obstoječe podatke: podatkovni sloj cestnega omrežja in koordinate avtobusnih postajališč, smo se odločili izgraditi lasten sloj podatkov, ki je prikazoval avtobusne linije. Izgradnja podatkovnega sloja avtobusnih linij ni majhen zalogaj, zato smo poskušali postopek izdelave optimizirati.

### *Izgradnja sloja avtobusnih linij*

Naša naloga je bila v teoriji dokaj preprosta. Vse točke (avtobusna postajališča) bi morali povezati v fizično linijo, glede na cestne povezave, ki so nam na voljo. Takšen način dela nam je omogočila skrbno sestavljena podatkovna zbirka koordinat (MO Maribor) in interaktivni zemljevid avtobusnih linij, ki ga lahko najdemo na spletni strani Mariborskega avtobusnega podjetja Marprom.

Avtobusna postajališča smo glede na predhodni vzorec (interaktivni zemljevid) povezali v dvodimenzionalno linijo, ki je predstavljala pot avtobusa. Glede na omejitve raziskave smo upoštevali le eno smer vožnje; smer proti šoli, saj tako nismo potrebovali upoštevati odstopanj v prevozeni poti, ki se pojavijo ob povratku avtobusa. Slednja odločitev je pripomogla k hitrejši izdelavi sloja, vendar ni vplivala na rezultate analize.

Strategija izgradnje linije jenaslednja. Omejevali smo se le na modeliranje prevoza dijakov v šolo. Iz tega sledi logičen sklep, da se upošteva le smer proti šoli. Postopek izgradnje smo opisali v naslednjem primeru.



Slika 2: Primer izgradnje linije (Avtor naloge)

V prvem koraku smo poiskali šoli (črn krog na zemljevidu) najbližjo avtobusno postajo (rdeč trikotnik). Nato smo določili smer vožnje. V tem primeru avtobus vozi od izhodiščnega postajališča (siv trikotnik) do končne postaje (moder trikotnik). Pot začne v izhodiščni postaji in se ponovno vrne na izbrano izhodišče.

V drugem koraku smo izbrali avtobusna postajališča, do katerih dostopamo na poti v šolo. Glede na položaj šole smo določili, da se upoštevajo postajališča od izhodiščne postaje do najbližje postaje (smer označena s sivimi puščicami) in postajališča od končne postaje do najbližje postaje (smer označena z modrimi puščicami). V obeh primerih smo upoštevali le postajališča v smeri vožnje (desna stran cestišča).

### *Izgradnja sloja navideznih domov*

Zastavili smo si izhodišče prevozov v šolo (domovi učencev). Za izgradnjo krajišč mreže smo uporabili orodje "Fishnet grid". Uporabili smo umetno generirano mrežo s približno 150 navideznimi domovi. Posamezne točke so drug od druge, oddaljene 500 metrov, in tvorijo simetrično mrežo. Razlog uporabe navideznih in ne realnih domov je več. Težavo je predstavljalo preveliko število dijakov (približno 800 dijakov); prav tako bi bilo skoraj nemogoče pridobiti geografsko lokacijo (koordinate njihovih dejanskih domov).

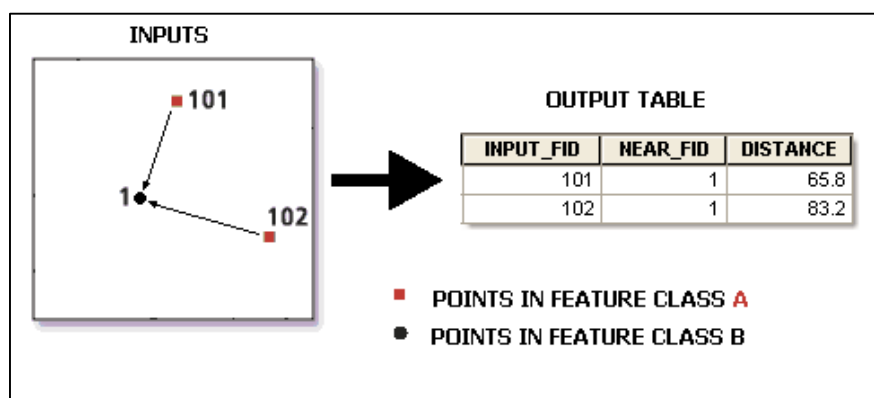
### *Izračun razdalj*

Glede na opisano metodologijo dela smo morali izmeriti razdalje glede na zastavljen način potovanja. Merjenje razdalj so nam omogočile napredne analitične funkcije programa Esri Arc Gis. Pridobljene razdalje nam program prikaže kot atributno tabelo, v kateri so podatki razvrščeni glede na identifikacijsko številko oz. objectID. Odločili smo se, da bomo številski ID navideznih domov in avtobusnih postaj ohranili in tako naredili bazo podatkov z internim številskim identifikacijskim sistemom. Takšen način opravljanja s podatki nam je prihranil marsikatero nevšečnost, saj smo lahko različne atributne tabele med seboj poljubno primerjali in združevali.

### Izračun razdalje pešačenja

Uporabili smo omrežno orodje “razdalja od točke do točke” (point distance). Orodje izračuna razdalje med izbrano izhodiščno točko in izbranimi točkami znotraj določenega obsega. V našem primeru je bila izhodiščna točka šola (“feature class B”), bližnje točke pa navidezni domovi (“feature class A”).

Orodje “point distance” izračuna le zračno razdaljo med dvema točkama. Predpostavili smo, da se pot, kljub hoji po pločniku, ki leži ob cestišču, velikokrat skrajša, predvsem zaradi krajšanja ovinkov, hoje skozi parke, prepovedanega prečkanja cestišča in uporabe nekartiranih bližnjic.



Slika 3: Orodje “Point distance” (Avtor naloge)

### Izračun razdalj kolesarjenja

Za izračun prekolesarjenih razdalj smo uporabili omrežno orodje “Origin Destination cost matrix”(krajše OD cost matrix). Orodje poišče najkrajšo možno razdaljo med več izvori (“origin”) in več cilji (“destination”). Program GIS izdelava stroškovno matriko iz katere je možno prebrati ustrezen strošek (“cost”): potrebno razdaljo oz. čas potovanja. V tem primeru je razdalja odvisna od izbranega omrežja (cestno omrežje RS). Kolesarsko stezo v našem primeru smatramo kot del cestnega omrežja.

### Izračun razdalj avtobusnega prevoza

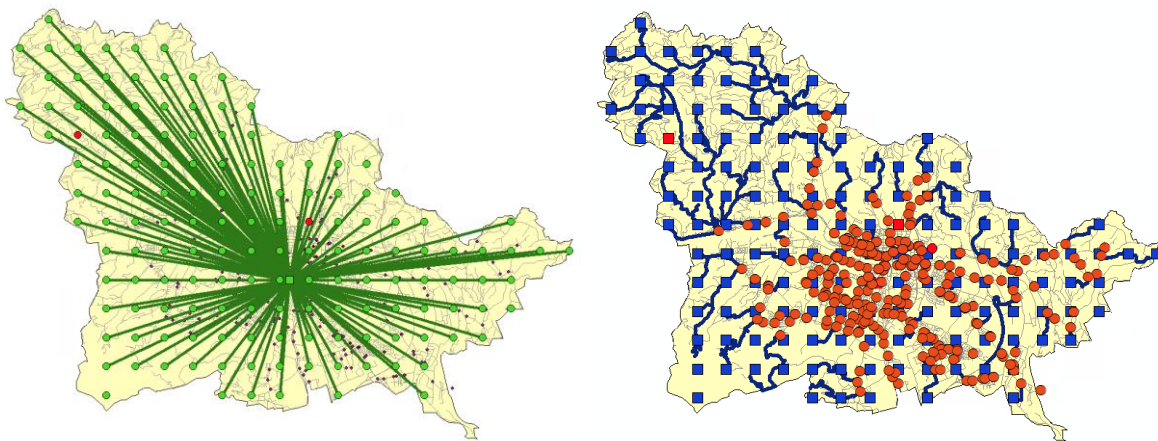
Izračun razdalje avtobusnega prevoza je kompleksnejši, saj je celokupna razdalja razdeljena na posamezne delce razdalj: razdalja od prebivališča do vstopne avtobusne postaje, razdalja med vstopno in izstopno postajo in razdalja od izstopne postaje do šole. Glede na omejitve raziskave smo predpostavili, da učenci uporabijo le eno izmed linij in ne kombinacijo dveh ali več (učenci ne prestopajo avtobusov).

Izračun razdalje med prebivališčem (navideznim domovom) in vstopno postajo smo izračunali z uporabo orodja “Closest facility” (uporabili bi lahko tudi orodje “OD cost matrix”). Orodje poda optimalno pot med incidentom in zgradbo, pripravi strošek potovanja in opiše potek poti. Uporaba enotnega sistema številčenja podatkov nam je omogočila, da smo postajališču, ki ga je izbralo orodje, priredili pripadajočo linijo. Izstopno postajo smo ugotovili brez uporabe računalniških orodij; s pomočjo karte mestnega avtobusnega sistema in avtobusnih linij. Možnost ročnega dela nam je omogočilo relativno malo število izstopnih postaj, saj si različne linije delijo skupna postajališča.

Strategij za izračun razdalje med vstopno in izstopno postajo je bilo več. Zaradi pomanjkanja znanja na področju programske opreme GIS smo razdaljo izračunali brez uporabe programskih analiz. Uporabili smo MS Excel. Strategija je bila dokaj preprosta. Z uporabo programskega orodja GIS smo uspeli pridobiti razdalje od izhodiščne postaje do vsake naslednje postaje znotraj posamezne linije. Nato smo glede na izbrano vstopno in izstopno postajo poiskali ustrezno linijo in razdalji od izhodiščne postaje linije do vstopne postaje odšteli razdaljo od izhodiščne postaje linije do izstopne postaje. Upoštevali smo le absolutne vrednosti rezultatov (pozitivne vrednosti).

Razdaljo med izstopno postajo in šolo smo izračunali na enak način pri izračunu razdalj pešačenja, saj smo predpostavili, da se dijaki, po izstopu avtobusa, v šolo odpravijo peš.

Na Slika 4: Primer uporabe orodja “OD cost matrix” in “Closest facility” lahko vidimo primer uporabe omenjenih orodij programske razširitve “Network analyst”. Na levi je primer uporabe orodja “OD cost matrix” na desni pa orodja “Closest facility”.



Slika 4: Primer uporabe orodja “OD cost matrix” in “Closest facility” (Avtor naloge)

## 4.2 AHP analiza

Vsak dan sprejemamo številne odločitve. Nekatere izmed njih so pomembnejše, zato o njih razmišljamo temeljiteje. V procesu odločanja imamo svoje kriterije. Za nekatere odločitve je primerjalni proces preprost in se lahko izrazi v merskih enotah (cena, višina, velikost). Kaj pa merila, ki jih ni mogoče izraziti na tak način? Na primer: kakovost, zasnova, udobnost, neodvisnost ... Odločanje je postopek ocenjevanja, ki vključuje alternative, ki izpolnjujejo določena merila. Problem se pojavi, ko je treba izbrati samo eno alternativo, ki izpolnjuje celoten nabor naših osebnih meril. Metoda se imenuje proces analitične hierarhije (MyChoiceMyDecision, 2018).

AHP oziroma proces analitične anarhije (Analytic Hierarchy Process) je metoda, ki podpira večkriterijsko odločanje in jo je prvotno razvil Thomas L. Saaty v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, medtem ko je bil profesor na poslovni šoli Wharton. Vnosi v model odločitev so lahko dejanske meritve ali pa subjektivna mnenja. Uporaba metode AHP kot podpornega orodja za odločanje bo pripomogla k boljšemu vpogledu v kompleksne probleme odločanja. Ker moramo problem strukturirati kot hierarhijo, nas prisili, da premislimo o problemu, razmislimo o možnih kriterijih odločanja in izberemo najpomembnejše kriterije glede na cilj odločanja. Metoda prav tako omogoča prevajanje subjektivnih mnenj, kot na primer preference ali občutki, v merljive številske relacije. AHP je močna in prilagodljiva

tehnika odločanja, ki pomaga pri določanju prednostnih nalog in doseganju optimalnih odločitev v primerih, ko so bili že upoštevani kvantitativni in kvalitativni podatki (MyChoiceMyDecision, 2018).

Metoda temelji na primerjanju parov alternativnih rešitev, pri kateri se vse alternative primerjajo druga z drugo, po tem, ko odločevalec izraža intenzivnost in stopnjo preference do ene od alternativ v primerjavi z drugo glede na merila, ki se vam zdijo pomembna. Povedano preprosto: med seboj primerjamo alternative, glede na kriterij naših preferenc (meril) in njihovo intenzivnost (MyChoiceMyDecision, 2018).

#### 4.2.1 Teoretični opis metode

Prvi korak je določiti niz, v katerem bomo našli elemente izbire - niz alternativ, iz katerih želimo izbrati najboljše. Nato določimo merila, ki jih bomo uporabili za primerjavo teh alternativ. Z določitvijo omenjenega sklopa začnemo razvijati matematični model, s katerim izračunamo prioritete (težo, pomen, utež ...) elementov na posamezni ravni (hierarhične ravni meril).

Celoten proces metode lahko opišemo v več korakih:

- Razvoj hierarhičnega modela problema odločanja z opredelitvijo cilja, meril in alternativnih rešitev.
- Na vsaki ravni hierarhičnega modela se elementi primerjajo v parih, preference odločanja odločevalca pa se izrazijo z uporabo Saatyjeve lestvice. V znanstveni literaturi je ta lestvica natančneje opisana kot lestvica petih nivojev in štirih vmesnih stopenj verbalno opisanih intenzivnosti in ustreznih numeričnih vrednosti na lestvici od 1 do 9. Seveda je treba pri primerjavi dveh alternativ uporabiti dve lestvici, pri čemer vrednost 1 sovpada, vsako izmed ostalih števil pa se nagiba k posamezni alternativni.

Primer lestvice:

Tabela 1: Primer ocenjevalne lestvice

Intenzivnost pomembnost	Definicija	Opis
1	Enako pomembno	• Dve aktivnosti sta popolnoma enako pomembni
3	Srednje pomembno	• Presoja je rahlo nagnjena v smer aktivnosti
5	Precej pomembno	• Presoja je precej nagnjena v smer aktivnosti
7	Zelo pomembno	• Aktivnost je zelo favorizirana
9	Absolutno pomembno	• Favoriziranje aktivnosti je na najvišji možni stopnji
2,4,6,8	Vmesne vrednosti	



## 4.2.2 Anketa

Uporaba metodologije AHP, kot je opisano v poglavju, je možna le ob uporabi subjektivnih preferenc posameznega tipa prevoza. Pridobivanje subjektivnih preferenc oz. prioritet posameznih prebivalcev okoliša je najustreznejše z uporabo spletne ankete. Anketo smo izdelali s pomočjo spletnega orodja "Ika enklik anketa". Anketirali smo učence vseh letnikov ene izmed mariborskih gimnazij. Anketo je odprlo 347 dijakov; 270 dijakov je na anketo poskušalo odgovoriti; 85 dijakov pa je anketo v celoti rešilo. Vsekakor je možno zaznati negativen trend, kar je v celoti naša krivda. Zavedamo se pomanjkljivosti izdelane ankete, vendar pa kljub temu velik problem leži prav v programskem orodju.

**Uvodna stran**

**Uvod**

Pozdravljeni, sem Miha Kramberger in v okviru projekta Mladi za napredek Maribora pripravljam raziskovalno nalogo. Anketa je kratka, vendar si kljub temu vzemite dovolj časa in natančno odgovorite na vprašanja. Za dodatna pojasnila si oglejte opis pred posameznim vprašanjem. Zahvaljujem se vam za izkazano podporo!

**Stran 1**

**Q1**

Letnik

- 1. Letnik
- 2. Letnik
- 3. Letnik
- 4. Letnik

**Stran 2**

**Q2**

Ocenjevanje pomembnosti posameznih karakteristik

Označi katera izmed ponujenih parov možnosti je zate "pomembnejša".

	Absolutno pomembnejše			Enako			Absolutno pomembnejše			
Neodvisnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Udobje
Neodvisnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Stroški
Udobje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Stroški

Slika 5: Primer anketnega vprašanja (Avtor naloge)

## 5 Praktični del naloge

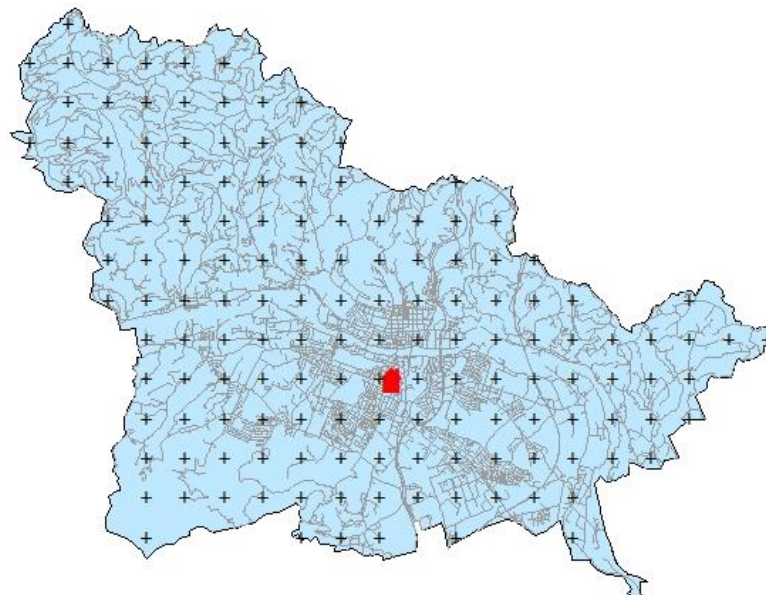
### 5.1 Opis realnega GIS modela

V enem izmed prejšnjih poglavij smo opisali izgradnjo GIS modela. Za lažje razumevanje predstavljene tematike bomo sedaj model opredelili kot realno sliko. Preučujemo potovalne navade dijakov ene izmed mariborskih gimnazij. Šola se nahaja na levem bregu reke Drave, v prometnejšem delu mestne občine Maribor. Dijaki prihajo iz celotne občine. Veliko je tudi dijakov iz drugih občin npr. Ptuj. V nalogi smo se osredotočili izključno na dijake znotraj meja mestne občine Maribor.

Mestni avtobusni promet vodi in ureja podjetje Marprom. Zadolženi so bili za postavitev 18 običajnih in 2 krožnih linij. V nalogi se osredotočamo samo na 18 običajnih linij, saj je uporaba krožnih linij pogojena s posebnimi pogoji, ki ne prikazujejo realne slike uporabe avtobusnega prevoza. Potniki, ki uporabljajo mestni avtobusni promet, lahko vstopijo in izstopijo na približno 150 različnih postajališčih, razporejenih po mestni občini. Namen naloge, kot je naša, je vsekakor tudi preizkus uporabnosti in ustreznosti avtobusnega prometa. Avtobusni promet, namenjen dijakom in šolarjem, je pogosto tarča kritik. Problematika prevozov šolarjev se rešuje z integracijo posebnih, v ta namen prilagojenih, linij, ki učence pripeljejo povsem do šole. Srednje in visoko – šolci pa imajo zagotovljene delno subvencionirane vozovnice. Avtobusni sistem je sicer opremljen s kakovostnim voznim parkom, vendar so kljub temu prisotne številne sistemske napake.

V nadaljevanju lahko vidimo karte preučevanega območja, katerih izgradnjo smo opisali v poglavju 11. Na sliki (Slika 6) vidimo zemljevid cestnega omrežja na območju mesta Maribor. Sloj cestnega omrežja nam je služil kot osnova v katerega smo vrisali točke navideznih domov.

**Sloj cestnega omrežja in  
navideznih domov**



## Legenda



Sola



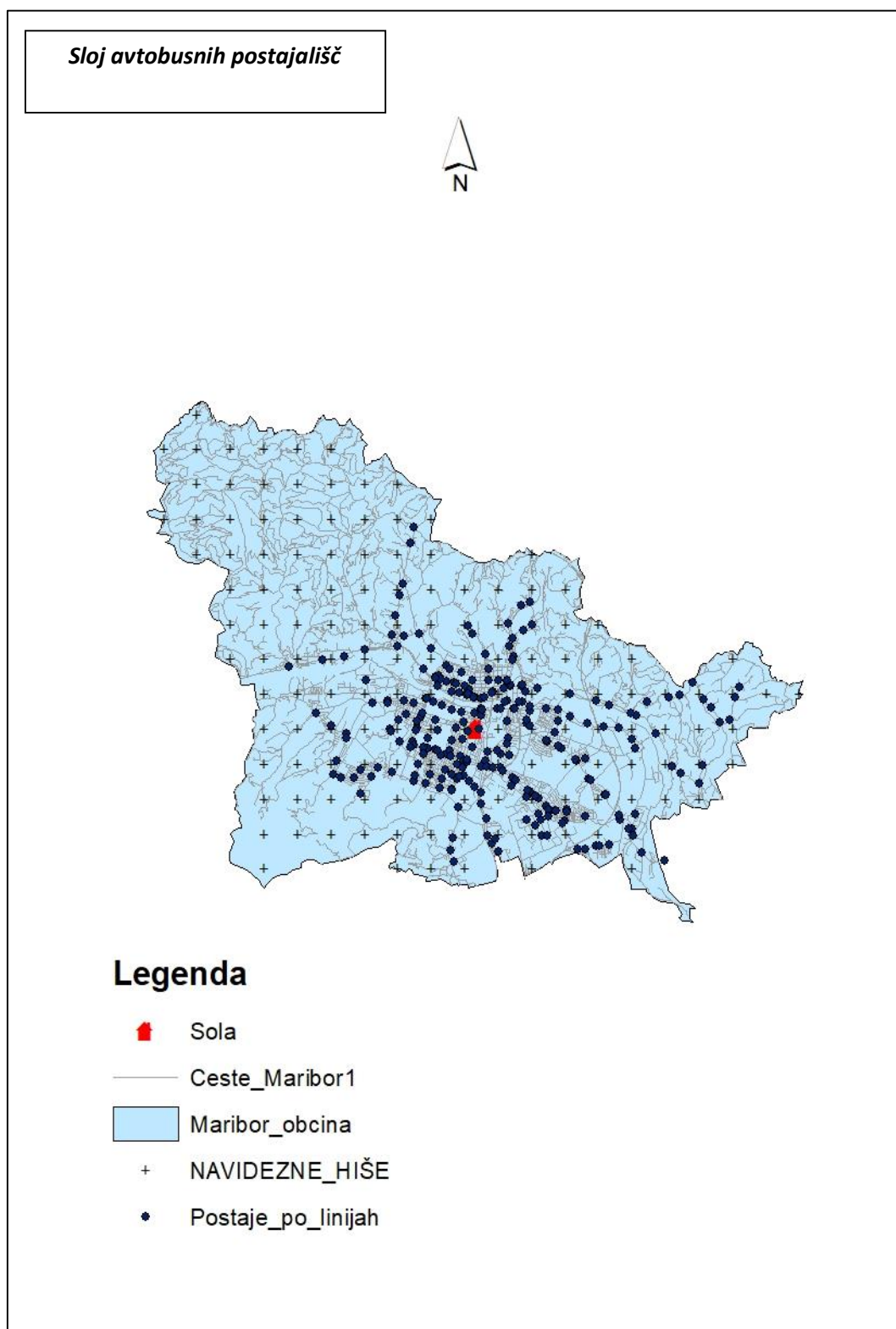
Ceste\_Maribor1



Maribor\_ob

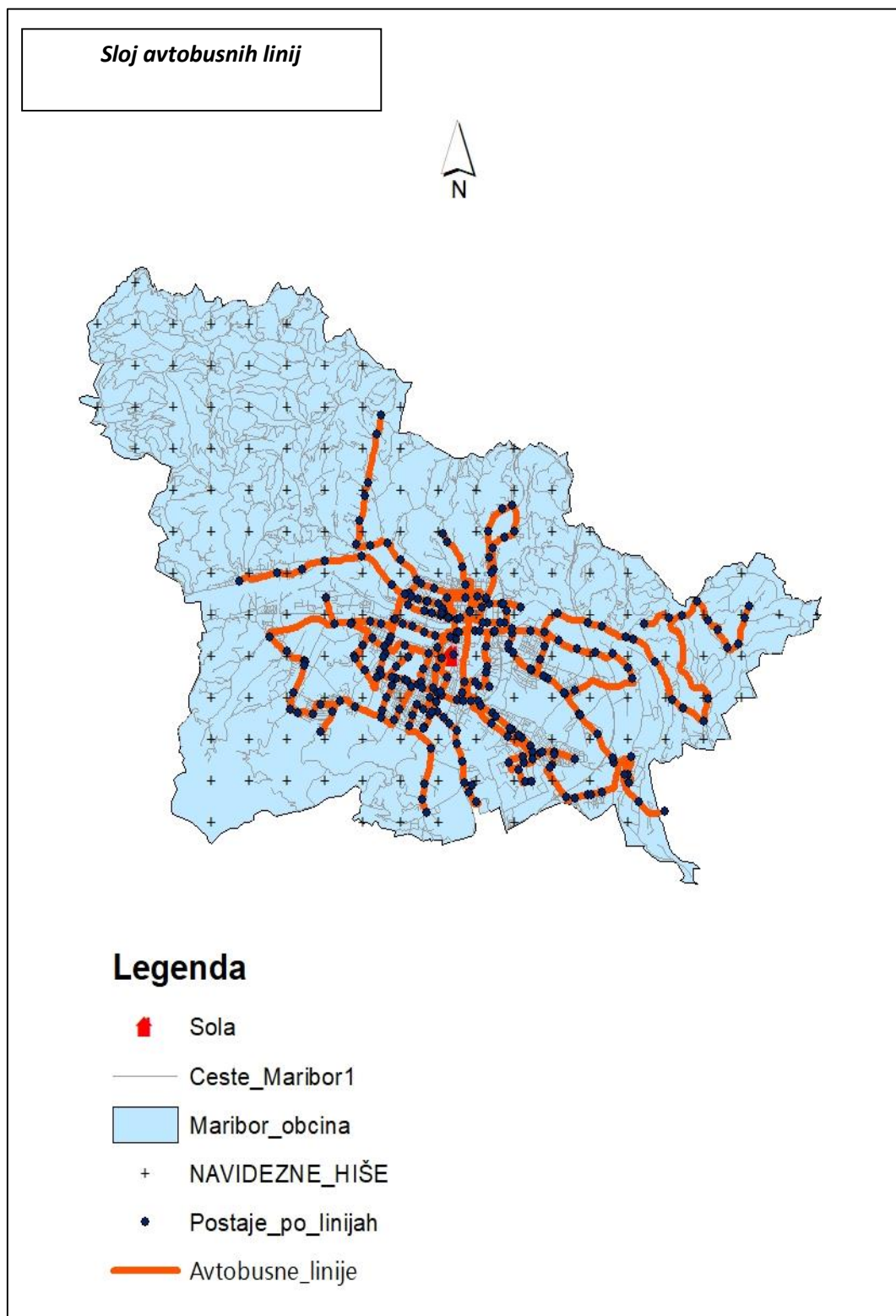
*Slika 6: Sloj cestnega omrežja in navideznih domov (Avtor naloge)*

Na naslednji sliki (Slika 7) so prikazana postajališča, ki smo jih uporabili za izgradnjo linij.



Slika 7: Sloj avtobusnih postajališč (Avtor naloge)

Na naslednji sliki (Slika 8) pa so prikazane avtobusne linije, ki smo jih uporabili v izračunih.



Slika 8: Sloj avtobusnih linij (Avtor naloge)

Izgradnji zemljevidov je, kot zapisano, sledil izračun razdalj pešačenja, kolesarjenja in potovanja z avtobusom (glej Tabela 2). Polje "ObjectID" predstavlja identifikacijsko številko posameznega niza vrednosti (vrstice tabele), polje "NavidezniDomID" predstavlja interno identifikacijsko številko navideznega doma, polje "VsPostajaID" predstavlja interno identifikacijsko številko postajališč (vstopnih postajališč), polje "Linija" predstavlja poimenovanje avtobusne linije (realno poimenovanje) in polje "Poveza" predstavlja povezavo med "NavidezniDomID" ter "VsPostajaID". Vse razdalje so podane v kilometrih.

Tabela 2: Izračunane razdalje.

ObjectID	NavidezniDomID	VsPostajaID	Linija	Povezava	D_najbližja_postaja_cesta	D_postaja_cesta	D_postaja_sola_zracna
1	2	39	2	2-39	3,078	5,087	0,414
2	3	39	2	3-39	0,783	5,087	0,414
3	4	39	2	4-39	0,405	5,087	0,414
4	5	247	13	5-247	1,337	7,825	0,430
5	6	290	16	6-290	0,810	6,852	0,600
6	7	96	6	7-96	4,464	7,616	0,414
7	8	338	18	8-338	3,334	5,432	0,414
8	9	117	6	9-117	4,592	4,972	0,414
9	10	117	6	10-117	2,142	4,972	0,414
10	11	38	2	11-38	2,907	4,748	0,414
11	12	38	2	12-38	1,253	4,748	0,414
12	13	37	2	13-37	0,329	4,369	0,414
13	14	390	21	14-390	0,175	5,727	0,414
14	15	245	13	15-245	0,299	6,952	0,430
15	16	57	3	16-57	0,697	8,538	0,430
16	17	162	9	17-162	3,818	6,012	0,600
17	18	169	9	18-169	0,034	13,110	0,414
18	19	96	4	19-96	3,274	7,616	0,430
19	20	338	18	20-338	1,580	5,432	0,414
20	21	338	18	21-338	0,709	5,432	0,414
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
141	148	273	15	148-273	10,404	9,477	0,942

## 5.2 AHP

Glede na zahteve AHP analize smo dijakom zastavili 4 vprašanja. V prvem vprašanju smo primerjali posamezne karakteristike (udobje, stroške in neodvisnost). Izbrali smo naključne karakteristike, ki bi lahko vplivale na izbiro prevoza. Izbor smo naredili na podlagi izkušenj. Karakteristika stroški se nanaša na ceno oz. ugodnost storitve. Karakteristika neodvisnost opredeljuje način avtonomnega in neodvisnega potovanja. Vključene so tudi situacije, kot na primer odvisnost od zunanjih in vremenskih vplivov ter vplivov prometa.

Naslednja tri vprašanja so anketirance spraševala, kako bi posamezni način prevoza označil s podanimi karakteristikami. Uporabili smo tip vprašanja: tabela diferencial. Slednji tip vprašanja nam je omogočal

primerjavo dveh karakteristik oz. načinov prevoza (odvisno od zastavljenega vprašanja). Tabela diferencial smo razdelili na dve simetrični polovici, kjer je vsaka izmed skrajnih leg označevala absolutno "pripadnost". Možne odgovore smo označili podobno, kot izgradimo realno os. Sredinsko polje, ki označuje "enakost", smo označili s številom 1. V desno smer so sledila pozitivna števila 3, 5, 7 in 9. V levo smer so sledila negativna števila -3, -5, -7, -9. Razlog takšnega oštevilčenja je pogojen z uporabo programa, ki je izvedel AHP analizo. Zaradi preglednosti in načina vnosa vrednosti smo se odločili za spletno orodje "AHP 123" (MyChoiceMyDecision, 2018).

V program smo vpisovali vrednosti, ki smo jih predhodno pridobili s pomočjo ankete. Odgovore anketirancev smo zbrali in za vsako posamezno vprašanje (vprašanja ankete in AHP analize so enaka) izračunali povprečno vrednost. V AHP analizi smo uporabili povprečne vrednosti vseh anketiranih dijakov. Primeri povprečnih vrednosti odgovorov za posamezen primerjalni par karakteristik prevoza oz. alternative prevoza so vidni v spodnji tabeli (Tabela 3).

Tabela 3: Povprečne vrednosti primerjave karakteristik prevoza

Vprašanje	Primerjalni par		Številska vrednost	Karakteristika
Q1a	Neodvisnost	Udobje	-3	
Q1b	Neodvisnost	Stroški	1	
Q1c	Udobje	Stroški	-3	
Q2a	Hoja	Kolo	1	Neodvisnost
Q2c	Hoja	Avtobus	-3	Neodvisnost
Q2d	Kolo	Avtobus	-3	Neodvisnost
Q3a	Hoja	Kolo	3	Udobje
Q3b	Hoja	Avtobus	4	Udobje
Q3c	Kolo	Avtobus	3	Udobje
Q4a	Avtobus	Kolo	1	Stroški
Q4b	Hoja	Kolo	-7	Stroški
Q4c	Avtobus	Hoja	-4	Stroški

Na spodnji sliki (Slika 9) je prikazan primer vnosa povprečnih vrednosti preferenc dijakov. AHP analizo lahko izvedemo s pomočjo mnogih prosto dostopnih programov, ki jih lahko najdemo kar na spletu.

Pravi\_izračun
step 2 of 5


◀ Previous step
1 2 3 4 5
Next step ▶

---


### criteria preferences

Use the scale to define importance of criteria.


Independence
1/12
Comfort



Independence
2/12
Expenses



Comfort
3/12
Expenses



◀ Previous step
1 2 3 4 5
Next step ▶

Slika 9: Primer vnosa AHP analize (Avtor naloge)

### 5.2.1 Interpretacija rezultatov AHP analize

Rezultate AHP analize je možno razbrati iz tabel (Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6). Uporabo pridobljenih rezultatov bomo prikazali v naslednjem poglavju. Ob koncu naloge pa bomo, seveda ob grafični pomoči karte, predstavili vpliv rezultatov AHP analize na preučevan primer. Za zdaj pa povejmo le to, da se kot najpomembnejši faktor pri odločitvi za vrsto prevoza pokaže neodvisnost, sledi udobje, šele na tretjem mestu pa so stroški.

Iz tretje tabele (Tabela 6) pa je možno razbrati, da največjo neodvisnost nudita kolo in hoja, medtem ko je avtobus najbolj udoben. Tudi stroškovno hoja in kolo prednjačita pred avtobusom. Ker je neodvisnost najbolj cenjena, je tudi vrstni red, ki je razviden iz prve tabele logičen.



Tabela 4: Izbira alternative

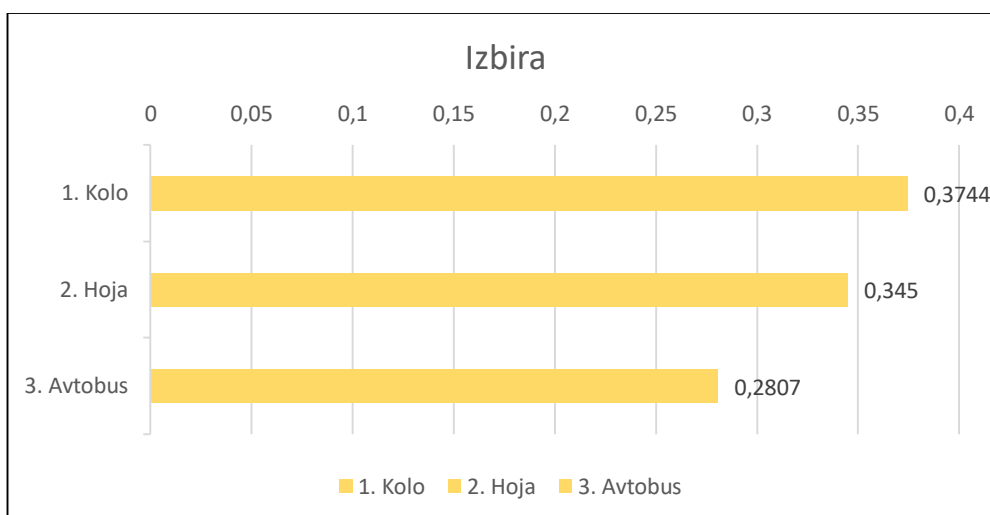


Tabela 5: Pomembnost kriterija

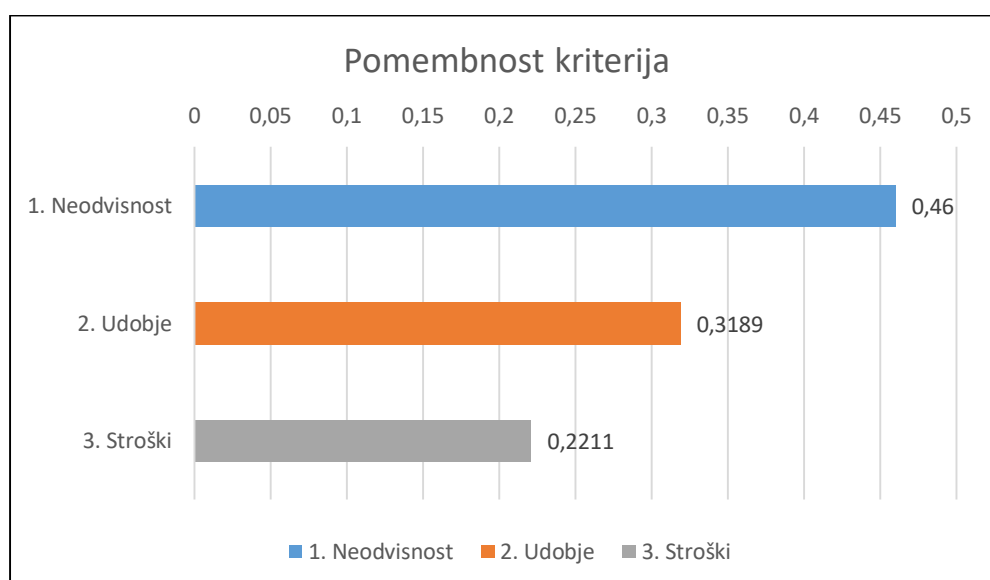
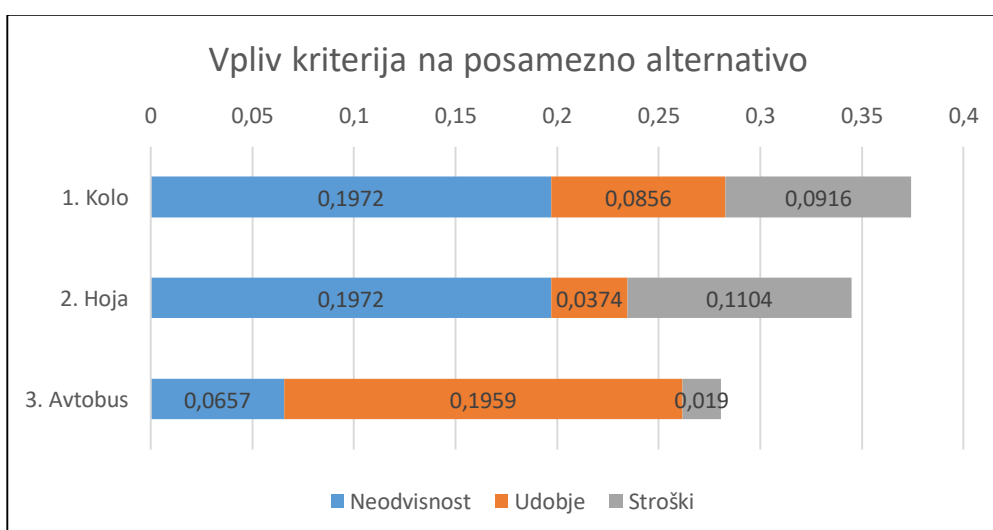


Tabela 6: Vpliv kriterija na posamezno alternativo



Glede na subjektivne preference dijakov je najboljša alternativa mobilnosti kolesarjenje, sledita hoja in mestni avtobusni promet. Glede na očitno nezadovoljstvo dijakov z avtobusnim sistemom je bil takšen vrstni red pričakovan. Preseneti le relativno velika razlika med kolesarjenjem in pešačenjem, saj smo pričakovali manjše razlike med tema alternativama mobilnosti.

Najpomembnejši kriterij dijakov je neodvisnost. Pojav neodvisnosti kot najpomembnejši kriterij sovпада z mišljenjem, predstavljenim v naslednjem poglavju. Rezultat nakazuje na nefleksibilen, in neprilagodljiv mestni avtobusni sistem. Kriteriju neodvisnost, sledita udobje in stroški. Presenetilo nas je dejstvo, da so stroški zastopani kot nepomembni v primerjavi z ostalima karakteristikama. Takšen rezultat je mogoče interpretirati na dva načina. Najverjetneje je takšna slika rezultat premajhnega števila anketirancev oz. premajhna raznovrstnost anketirancev. Druga možnost zajema dvig življenjskega standarda in sprememba mišljenja, ki postavlja udobje pred denarna sredstva.

Vpliv kriterijev na posamezno alternativo mobilnosti nam predstavi razmerje vseh treh karakteristik znotraj posamezne alternative mobilnosti. Neodvisnost kolesarjenja in pešačenja je zastopana popolnoma enako. Velik odklon se pojavi pri neodvisnosti mestnega avtobusnega prometa, kar še dodatno potrди našo domnevo o nepremišljeno zastavljenem avtobusnem sistemu. Slednji rezultat je po našem mnenju eden izmed glavnih razlogov za nepriljubljenost mestnega avtobusnega sistema. Udobje je razporejeno glede na logične domneve. Najudobnejši je avtobusni prevoz, sledi kolesarjenje in pešačenje. Razloga za razlike med udobjem kolesarjenja in pešačenja, glede na dane podatke, ni mogoče podati. Razporeditev kriterija stroškov je povsem realna. Objasniti je potrebno le, da večje zastopanje kriterija pri posamezni karakteristiki pomeni večjo ugodnost oz. manjše stroške. Razmerje ugodnosti med kolesarjenjem in pešačenjem je normalno in pričakovano. Zaslediti je močno odstopanje pri karakteristiki mestnega avtobusnega sistema. Slednji rezultat ne nakazuje absolutno previsokih cen avtobusnega sistema, vendar le precejšnjo razliko med primerjavo avtobusnega sistema in skoraj povsem brezplačnega kolesarjenja in pešačenja. Kljub temu bo potrebno za dvig uporabnosti mestnega avtobusnega sistema nedvomno znižati stroške posameznega uporabnika.

### 5.3 Končni izračun

V tem poglavju smo računsko združili rezultate AHP analize in izmerjene poti učencev na poti v šolo. Naša prva naloga je bila izračunati povprečen čas premikanja. To smo storili tako, da smo razdaljo posameznega dela poti množili z ustrezno povprečno hitrostjo. Razdalje so se glede na alternativo razlikovale, vendar so bili postopki računanja enaki. Rahlo odstopanje je opaziti le pri izračunu povprečnega časa potovanja z avtobusom. Kot smo omenili v poglavju Izračun razdalij, je razdalja od navideznega doma do šole razdeljena na tri dele (navidezni dom – vstopna postaja, vstopna postaja – izstopna postaja in izstopna postaja – šola). Prvi in zadnji del proge dijaki prehodijo, med postajama pa se peljejo z avtobusom. Povprečne hitrosti smo izbrali glede na našo predhodnje znanje in izkušnje. Izbrali smo naslednje povprečne hitrosti:

$$v_{Bus} = 50 \text{ km/h}$$

$$v_{Hoja} = 4 \text{ km/h}$$

$$v_{Kolo} = 10 \text{ km/h}$$

Izračun povprečnega časa premikanja temelji na uporabi formule za izračun hitrosti gibanja.

$$v = \frac{t}{s}$$

Nato smo skupen čas potovanja delili s prednostno stopnjo (preference rate), ki smo ga izračunali s pomočjo AHP analize. Prednostne stopnje (označene PR) lahko najdete med rešitvami AHP analize. Prav v tem koraku se zrcalita pomembnost in inovativnost našega pristopa. Potem ko smo delili prednostno stopnjo in čas potovanja, smo dobili tako imenovano utež potovanja z avtobusom. Ta utež predstavlja navidezni čas, ki je odvisen od objektivnega časa potovanja in subjektivne prednostne stopnje dijakov.

Prednostne stopnje za posamezno alternativo prevoza:

$$PR_{bus} = 0.28$$

$$PR_{hoja} = 0.37$$

$$PR_{kolo} = 0.35$$

Formula za izračun uteži – navideznega časa potovanja:

$$U = \frac{t}{PR}$$

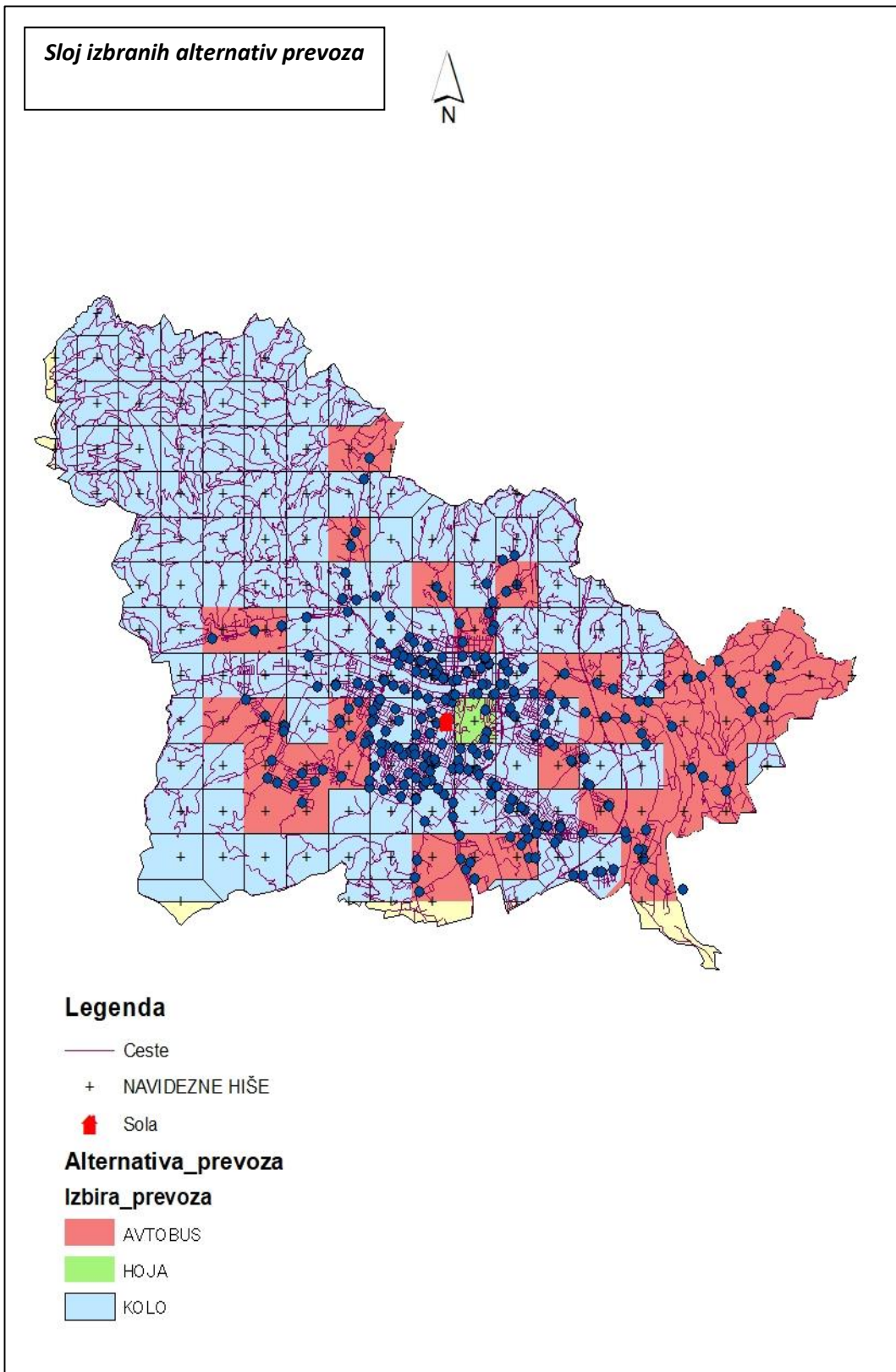
Primerjava navideznih časov potovanja nam pokaže, kateri izmed ponujenih alternativ prevoza je na dani relaciji dominantna odločitev. Glede na to, da definiramo utež potovanja kot navidezen čas, bo imela bolj dominantna alternativa krajši čas potovanja. Kljub temu, da je dana razdalja v primerjavi z drugimi daljša, ima večjo prednostno stopnjo, kar v realnosti pomeni, da je dana razdalja za dijake privlačnejša. Takšnemu primeru se ob bok lahko postavi zelo kratka razdalja, s kratkim časom potovanja in relativno veliko prednostno stopnjo. Na vprašanje, kakšno alternativo prevoza bi izbral dijak na poti v šolo, smo odgovorili s primerjavo navideznih časov za posamezno alternativo, ki jih lahko vidite v spodnji tabeli.

#### 5.4 Prikaz izračunov AHP analize v Geografskem informacijskem sistemu

Rezultate izbir alternativ prevoza želimo prikazati vizualno in preprosto, saj bomo le tako, uspeli zapleten izračune približati vsem posameznikom.

Izbiro alternativ smo na zemljevidu prikazali z uporabo funkcije "Voronoi polygons". Na podlagi navideznih domov, ki smo jih uporabili kot vhodni sloj podatkov (Input), smo ustvarili enakomerno mrežo celic. Navidezni domovi so že bili enakomerno razporejeni po območju občine, zato so bili vsi ustvarjeni poligoni, ki so imeli za središče navidezne domove, simetrični. Sloj poligon je pridobil svojo atributno tabelo, v katerem smo vsakemu poligonu priredili svoj vhodni podatek (navidezni domovi – Input). Prav tako smo ustvarili nov stolpec atributne tabele (Choice), kamor smo dodali rešitev AHP analize. V nastavitvah Voronoi sloja smo omogočili prikaz atributa Choice. Za vsako alternativo prevoza smo izbrali svojo barvo. Program nam je nato samodejno pobarval posamezne poligone, glede na prevladujočo alternativo prevoza (avtobus, kolo ali hoja).

Voronoi mreža se je obarvala sledeče: Poligoni rdeče barve predstavljajo avtobus, modro obarvani poligoni kolo in zeleno obarvani poligoni hojo (Slika 10).



Slika 10: Sloj izbranih alternativ prevoza (Avtor naloge)

## 6 Zaključki in razprava

### 6.1 Interpretacija rezultatov in potrditev hipotez

Modalno porazdelitev prevozov dijakov v šolo, na omejenem geografskem področju, je mogoče modelirati z uporabo metode, ki združuje objektivno merljive odločitvene faktorje in subjektivne podatke o osebnih preferencah uporabnikov storitev mobilnosti. Z izračunom potovalnih razdalj, ki smo jih matematično združili s subjektivnimi podatki AHP analize, smo izgradili popolnoma delujoč model uporabe alternativ mobilnosti. Zato lahko **hipotezo 1** z gotovostjo potrdimo.

Zeleno obarvano območje predstavlja območje pešačenja. Hoja kot izbrana modaliteta je primerna le za dijake, ki živijo v neposredni bližini šole. Ob tem se lahko poraja vprašanje, kaj vpliva na tako malo število območij pešačenja. Odgovor lahko zaznamo v rezultatih AHP analize. Kolesarjenje je precej priljubljenejše od pešačenja. Glede rezultate primer predstavljene na strani 24 lahko večjemu PR nasprotujemo le z občutno krajšo razdaljo, kar pa je nemogoče. Če zanemarimo nekatere zunanje dejavnike, ki negativno vplivajo na izračune in izberemo še območja levo od prvotnega območje pešačenja, lahko z gotovostjo potrdimo tudi **hipotezo 2**.

Izbrano modaliteto kolesarjenja predstavlja modra barva. **Hipotezo 3** lahko le delno potrdimo. Kljub temu rezultat predstavlja realno stanje. Rdeča območja hipotetično povežimo v elipsi podoben poligon. Modra barva znotraj namišljenega poligona predstavlja kolesarjenje, medtem ko modra barva zunaj namišljenega poligona predstavlja druge oblike samostojnega prevoza, ki jih v raziskavi nismo upoštevali (avtomobili). Realna območja kolesarjenja lahko opredelimo tudi drugače. Kolesarjenje predstavlja realno izbiro na območjih, ki vsebujejo avtobusna postajališča, vendar so ta zmerno oddaljena od šole (večinoma center mesta), zato uporaba avtobusnih linij ni več optimalna rešitev. Vzrok za takšen odziv izdelanega modela je povsem jasen. Model se je moral odzvati na območja, kjer nobena izmed predstavljenih alternativ mobilnosti ni realna izbira. Kolesarjenje v tem primeru najočitnejša izbira, saj ni vezan na postajališča in je precej hitrejši od pešačenja. Glede na omejitve raziskave je bil odziv modela pričakovan.

Četrto hipotezo (**hipoteza 4**) lahko v celoti potrdimo. Kljub potrebnim popravkom približno 5 % vseh rdeče obarvanih območij model prikazuje realno stanje. Uporaba postajališč, ki so dovolj oddaljena, da kolesarjenje ni več najhitrejša izbira mobilnosti, postane optimalna odločitev.

## 6.2 Družbena odgovornost

Osnovni cilj trajnostne mobilnosti je zadovoljiti potrebe vseh ljudi po mobilnosti in obenem zmanjšati promet, posledično onesnaževanje, emisije toplogrednih plinov in porabo energije. Trajnostna mobilnost je tista, ki je hkrati okoljsko sprejemljiva, socialno pravična in spodbuja razvoj gospodarstva.

Kaj nam pomeni mobilnost? Keller opredeli mobilnost kot izraz kakovosti življenja v smislu zadovoljevanja človekovih materialnih in nematerialnih potreb (blaginja, dobro počutje). Kadar želimo združiti cilje trajnostne mobilnosti in, zadovoljevanje človekovih nematerialnih potreb naletimo na protislovje. S psihološkega vidika nam mobilnost zagotavlja predvsem svobodo gibanja. V sodobni družbi je privilegij avtomobila povezan z osebnostno svobodo. Avtomobil nam daje možnost lastne presoje, odpre številne nove možnosti in nas postavi za krmilo lastnega življenja.

V sodobnem času lahko opazimo številne razprave glede oblik alternativnih mobilnosti, med katerimi prevladujejo razprave o električnih avtomobilih. Prekratek doseg in prevelika cena sta ena glavnih razlogov, zakaj se električni avtomobili ne odnesejo najbolje. Seveda se z razvojem tehnologije razvijajo in izboljšujejo tudi produkti, vendar pa kljub temu menimo, da omenjeni razlogi niso edine prepreke, s katerimi se soočajo potencialni kupci električnih vozil. Glavni razlog je po našem mnenju predvsem mišljenje posameznikov. Dejstvo, da se moramo na poti v službi ustaviti na električni polnilnici, zmanjšuje občutek svobode mobilnosti. Nenehno preračunavanje najkrajših poti z zadostnim številom polnilnih postaj je v primerjavi z lagodnostjo, ki nam jo trenutno ponujajo vozila na neobnovljive vire energije, popolnoma nesmiselno početje.

Podoben zaključek lahko posplošimo na vse alternativne možnosti mobilnosti, v katero spadajo tudi mestni promet, kolesarjenje in pešačenje. Povišanje uporabe javnega prometa je linearno povezano z dostopnostjo, preprostostjo in učinkovitostjo. V primarni fazi je potrebno nadgraditi sisteme javne mobilnosti. Naš predlog bi bila integracija več oblik mobilnosti v en samostojen ekosistem. V obstoječem sistemu so uporabniki avtobusnega sistema po izstopu na postaji prepuščeni samemu sebi. Velik problem predstavlja tudi iskanje novih postajališč. Menimo, da bi postavitve izposojevalnice koles ob avtobusnih postajališčih, s katerimi bi potovali od postaje do postaje, predstavljala eno izmed mnogih rešitev.

Morda še pomembnejše je sprememba mišljenja uporabnikov in udeležencev prometa. Če želimo povečati uporabo alternativnih virov mobilnosti moramo ljudi prepričati tudi o njihovih prednostih. Ob tem ne mislimo le pozitivnih učinkov na zdravje in okolje. Javnosti je treba pokazati, da je optimiziran javni promet prav tako cenejši, učinkovitejši v natrpanih mestnih središčih in najpomembnejše, preprostejši za vsakdanjo uporabo.

## 7 Viri in literatura

Buehler, R. (2011). Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA. *Journal of transport Geography*, str. 644-657.

Buehler, R., Pucher, J. & Altshuler, A. (brez datuma). *The Politics of Sustainable Transport in Vienna*. Dunaj. Pridobljeno iz <http://docs.trb.org/prp/17-00406.pdf>

Button, K., Šinko, S., & Kramberger, T. (2018). Catchment areas of small airports: A hybrid analysis of the Alps-Adriatic region. *Journal of Airport Management*, str. 399-411.

Button, K., Chin, A. & Kramberger, T. (2015). Incorporating subjective elements into liners' seaportchoice assessments. *Transport Policy* (44), str. 125-133.

Epomm. *TEMS - The EPOMM Modal Split Tool*. Pridobljeno iz <http://www.epomm.eu/tems/index.phtml>

eucbeniki. (2017). *i-učbeniki*. Pridobljeno januarja 2019 iz [eucbeniki.sio.si](https://eucbeniki.sio.si): <https://eucbeniki.sio.si/>

Future Science. (2011). *Energy and CO<sub>2</sub> emission data uncertainties*. Carbon Managment, str. 189-205.

Joon-Kyu Lee, K.-E. Y.-H. (2016). A study on travelers' transport mode choice behavior using the mixed logit model: *A case study of the Seoul-Jeju route*. *Journal of Air Transport Management* (56), str. 131-137.

Jović, J. J. (1999). *MODAL SPLIT MODELLING - SOME EXPERIENCE*. Belgrade: University of Belgrade.

Keller, P. (2000). A challenge in future transportation research and planning paper presented at the Conference "*Energy Technologies for a Sustainable Future*". Villigen: EHT zürich.

Ling Ding, N. Z. (2016). A Travel Mode Choice Model Using Individual Grouping Based on Cluster Analysis. *Procedia Engineering* (137), str. 786-795. Pridobljeno iz ScienceDirect: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

MBASKOOL. (2018). *Operations and Supply Chain Terms - modal Split*. Pridobljeno januar 2019 iz <https://www.mbaskool.com/business-concepts/operations-logistics-supply-chain-terms/15420-modal-split.html>

MyChoiceMyDecision. (2018). Pridobljeno iz <http://www.123ahp.com/Default.aspx>

NPTEL. (2018). *Modal Split Model*. Pridobljeno januarja 2019 iz NPTEL: <https://nptel.ac.in/courses/105104098/TransportationII/mod12/9slide.htm>

Prah, K. (2016). *GIS I*. Celje: Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko.

Prah, K., Štrubelj, G., Rupnik, B., & Kramberger, T. (2015). PORT HINTERLAND MODELLING BASED ON PORT CHOICE. *Traffic & Transportation*, str. 195-203.

Topolšek, D., Sternad, M., Kramar, U., Knez, M., Šrot, K., Rosi, B., & Cvahte Ojsteršek, T. (2017). *Celostna prometna strategija občine Zagorje ob Savi: Na poti v zeleno*. Celje: Univerza v Mariboru.

United nation. (2017). *Population Division*. Pridobljeno iz <https://population.un.org/wup/>

Van der Loop, H., Haaijrb, R., & Willigers, J. (2016). New findings in the Netherlands about induced demand and the benefits of new road infrastructure. *Transportation Research Procedia* (13), str. 72 – 80.

Wikipedia. (maj 2011). *Modal Share*. Pridobljeno iz [https://en.wikipedia.org/wiki/Modal\\_share](https://en.wikipedia.org/wiki/Modal_share)

Wikipedia. (marec 2013). *Urbanization by country*. Pridobljeno iz [https://en.wikipedia.org/wiki/Urbanization\\_by\\_country](https://en.wikipedia.org/wiki/Urbanization_by_country)