

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

ODDELEK ZA
GEODEZIJO



**UNIVERZITETNI
ŠTUDIJ GEODEZIJE
SMER PROSTORSKA
INFORMATIKA**

Kandidat:

IGOR PROSENIK

**MODELIRANJE LOKACIJ ARHEOLOŠKIH NAJDIŠČ Z
METODAMI GIS-A NA OBMOČJU SLOVENSКИH GORIC**

Diplomska naloga št.: 876

**GIS-BASED MODELLING OF ARCHAEOLOGICAL SITES
LOCATIONS FOR THE SLOVENSKE GORICE STUDY AREA
GRADUATION THESIS NO.:**

Graduation thesis No.: 876

Mentor:
doc. dr. Tomaž Podobnikar

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 2011

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Igor Prosenik izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Modeliranje lokacij arheoloških najdišč z metodami GIS-a na območju Slovenskih goric«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 9. 11. 2011

Igor Prosenik

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN

UDK: 659.2:902.2(497.4Slov.gorice)(043.2)
Avtor: Igor Prosenik
Mentor: doc. dr. Tomaž Podobnikar
Naslov: Modeliranje lokacij arheoloških najdišč z metodami GIS-a na območju Slovenskih goric
Obseg in oprema: 79 str., 9 pregl., 51 sl., 12. graf., 1 pril.
Ključne besede: digitalni model višin, DMV, geografski informacijski sistem, GIS, prostorske analize, testi značilnosti, napovedovalni model, model poti.

IZVLEČEK

Geoinformacijska znanost je postala osnova za uspešno upravljanje s prostorom. Analize z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS) so v prostorski arheologiji v pomoč pri sestavljanju mozaika zgodovine. S prostorskimi analizami lahko pri uporabi digitalnega modela višin (DMV) ustvarimo geomorfometrične in druge spremenljivke, s katerimi zgradimo arheološki napovedovalni model. DMV je digitalni zapis oblikovanosti zemeljskega površja in je v diplomskem delu služil kot osnovni sloj za izvedbo geomorfometričnih analiz. Z analizami DMV-ja smo za preučevana antična gomilna grobišča na območju Slovenskih goric dobili zbirko 15-ih spremenljivk (naklon reliefa, ukrivljenost reliefa, osončenost, ekspozicija, območje vidnosti, itd.), ki so bile statistično preučevane. Z rezultati testov značilnosti (Wilcoxonov, Mann-Whitneyevega U-test) so bile izbrane značilne spremenljivke ter določene njihove uteži. Izdelanih je bilo 5 napovedovalnih modelov, od enostavnejših do bolj zapletenega kombiniranega. Poleg tega je bil na podlagi stroškovnih analiz izdelan tudi model poti med naselji. Analize prostorskih podatkov in izgradnjo napovedovalnih modelov smo izvedli z algoritmi, ki so dostopni v osnovnih različicah treh programov za prostorske analize (ArcGIS, Saga in LandSerf). Z nalogo smo dokazali, da so geomorfološke spremenljivke pomembne za napovedovanje lokacij gomilnih grobišč.

Ključne besede: digitalni model višin, DMV, geografski informacijski sistem, GIS, prostorske analize, testi značilnosti, napovedovalni model, model poti.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 659.2:902.2(497.4Slov.gorice)(043.2)
Author: Igor Prosenik
Supervisor: doc. dr. Tomaž Podobnikar
Title: GIS-based modelling of archaeological sites locations for the Slovenske gorice study area
Scope and tools: 79 p., 9 tab., 51 fig., 12. graph., 1 ann.
Keywords: digital elevation model, DEM, geographic information system, GIS, spatial analysis, significance tests, predictive model, pathway model.

ABSTRACT

Geoinformation science has become basis of a successful space management. Geographic information system (GIS) analysis in spatial archaeology are helping us to connect the dots of history. With spatial analysis using digital elevation model (DEM), We can create geomorphometrical and other types of variables, in order to build an archaeological predictive model. DEM is a digital record of Earth's surface morphology and it is the basic input data of this research, where ancient archaeological sites in Slovenske gorice were studied. A set of 15 variables that was created (slope, curvature, aspect, insolation, viewshed, etc.), was also studied statistically. Significant variables and their weights were determined with the significance tests (Wilcoxon test, Mann-Whitney U test). Five models were built, from simple ones to complex combined model. With cost surface analysis a model of pathways between settlements was also build. Geomorphometrical analysis and model building were implemented by algorithms of the three programs for spatial analyses (ArcGIS, Saga in LandSerf). Study confirmed our hypothesis about geomorphometrical variables being an important factor in predicting archaeological site locations.

Keywords: digital elevation model, DEM, geographic information system, GIS, spatial analysis, significance tests, predictive model, pathway model.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Podobnikarju za vodenje in usmerjanje pri izdelavi diplomskega dela. Rad bi se zahvalil tudi mojim najdražjim družinskim članom za podporo tako med študijem kot v času nastajanja diplomskega dela. Posebna zahvala gre Nini in Binetu, ki sta mi velikokrat nudila topel dom v času izvedbe diplomskega dela. Hvala vsem.

X Prosenik, I. 2011. Modeliranje lokacij arheoloških najdišč z metodami GIS-a na območju Slovenskih goric.
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL FGG, Odd. za geodezijo, Prostorska smer.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA	1
1.2	POSTOPEK IN METODE DELA	1
1.2.1	<i>Izbor testnega območja in pridobivanje podatkov</i>	1
1.2.2	<i>Geomorfološke analize pri uporabi DMV-ja</i>	2
1.2.3	<i>Statistične analize</i>	2
1.2.4	<i>Modeliranje</i>	2
1.3	HIPOTEZI	2
1.4	STRUKTURA DIPLOMSKEGA DELA	3
2	PREDSTAVITEV NAPOVEDOVALNEGA MODELIRANJA V ARHEOLOGIJI IN TEORETIČNE OSNOVE	4
2.1	ARHEOLOGIJA IN GIS	4
2.2	PREDSTAVITEV ARHEOLOŠKIH NAPOVEDOVALNIH MODELOV PO DEFINICIJAH	5
2.3	RAZVOJ NAPOVEDOVALNIH MODELOV V GIS-ih	5
2.4	PODROBEN VPOGLED V TEORETIČNO OZADJE IN ODPRTA VPRAŠANJA PRI MODELIRANJU	7
2.4.1	<i>Induktivni in deduktivni pristop</i>	7
2.4.2	<i>Okoljski determinizem in post-moderni pristopi</i>	9
2.4.3	<i>Akademске raziskave in upravljanje s kulturno dediščino</i>	9
2.5	POSTOPKI MODELIRANJA	9
2.6	IZGRADNJA ARHEOLOŠKEGA NAPOVEDOVALNEGA MODELA	10
2.6.1	<i>Izdelava napovedovalnega modela</i>	11
2.6.2	<i>Faze v izgradnji induktivnega arheološkega napovedovalnega modela</i>	12
2.7	MODELIRANJE POTI	13
2.8	UPORABA ARHEOLOŠKIH NAPOVEDOVALNIH MODELOV	13
2.9	STATISTIČNE ANALIZE	14
2.9.1	<i>Opisna statistika</i>	14
2.9.2	<i>Inferenčna statistika</i>	15
3	PREDSTAVITEV ŠTUDIJE	19
3.1	PREDSTAVITEV	19
3.1.1	<i>Geografska predstavitev raziskovalnega območja</i>	19
3.1.2	<i>Geološki razvoj pokrajine</i>	22
3.1.3	<i>Arheološki pregled pokrajine</i>	23
3.1.4	<i>Zgodovinski pregled pokrajine</i>	24
3.1.5	<i>Terensko delo</i>	25
3.2	BAZA PODATKOV	25
3.2.1	<i>Podatki o okolju</i>	25
3.2.2	<i>Arheološki podatki</i>	26
3.3	STROJNA IN PROGRAMSKA OPREMA	28
4	OBDELAVA PODATKOV IN ANALIZE	29
4.1	GENERIRANJE NAKLJUČNIH TOČK	29

4.2	ANALIZE PROSTORSKIH SPREMENLJIVK	30
4.2.1	<i>Ekspozicija</i>	34
4.2.2	<i>Osončenost</i>	35
4.2.3	<i>Naklon reliefa</i>	37
4.2.4	<i>Ukrivljenost reliefa</i>	38
4.2.5	<i>Dolžina pobočij</i>	40
4.2.6	<i>Globina dolin</i>	41
4.2.7	<i>Standardizirana višina</i>	43
4.2.8	<i>Evklidska ploskev oddaljenosti od nahajališč naselij</i>	45
4.2.9	<i>Stroškovna ploskev oddaljenosti od najdišč naselij</i>	47
4.2.10	<i>Analize vidnosti</i>	48
4.2.11	<i>Detajli vidnosti</i>	51
4.3	VZORČENJE	54
4.4	STATISTIČNE ANALIZE	55
4.4.1	<i>Test normalnosti porazdelitve</i>	55
4.4.2	<i>Testa značilnosti porazdelitve</i>	55
5	IZVEDBA MODELOV	56
5.1	PRVI SKLOP MODELIRANJA – MODELIRANJE Z DELITVIJO NA RAZREDE	56
5.2	DRUGI SKLOP MODELIRANJA – IZDELAVA ZVEZNIH MODELOV	60
5.3	MODELIRANJE POTI	66
6	RAZPRAVA O REZULTATIH	70
6.1	RAZPRAVA O NAPOVEDOVALNIH MODELIH GOMILNIH GROBIŠČ	70
6.2	RAZPRAVA O MODELU POTI	72
7	ZAKLJUČEK	73
VIRI	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primer uporabe Wilcoxonovega testa značilnosti	18
Preglednica 2: Rezultati testa normalnosti porazdelitve.....	55
Preglednica 3: Koeficienti uteži po metodi »Mann-Whitney« (izhodišče za 1. model)	57
Preglednica 4: Koeficienti uteži po metodi »Wilcoxon« (izhodišče za 2. model).....	57
Preglednica 5: Utežni koeficienti pri zveznem modeliranju.....	60
Preglednica 6: Robne vrednosti pri preklasifikaciji spremenljivk za modela A in B	61
Preglednica 7: Vrednosti testnih in vzorčnih lokacij na modelih A in B.....	64
Preglednica 8: Deleži posameznih stopenj verjetnosti pojava gomilnih grobišč	70
Preglednica 9: Razporeditev vzorčnih in testnih lokacij v kombiniranem modelu	71

KAZALO SLIK

Slika 1: Raziskovalno območje s širšo okolico.....	1
Slika 2: Princip delovanja induktivnega napovedovalnega modela	8
Slika 3: Primer frekvenčnega histograma	14
Slika 4: Primer Q-Q diagrama.....	15
Slika 5: Raziskovalno območje z mrežama TTN 5 (črna barva) in GKB 25 (modra barva)	19
Slika 6: Relief preučevanega območja z rečno mrežo in s stoječimi vodami.....	21
Slika 7: Register nepremičnin kulturne dediščine	26
Slika 8: Primerjava registra kulturne dediščine in ustvarjene baze podatkov	27
Slika 9: Lokacije naključno generiranih točk, gomil in naselbin; za ozadje senčen relief.....	30
Slika 10: Primer razporeditve celic z lokalnim oknom velikosti 3 x 3 celice.....	31
Slika 11: Prikaz delovanja algoritma ukrivljenosti z oknom 3 x 3 celice.....	31
Slika 12: Delovanje algoritma evklidska razdalja.....	32
Slika 13: Postopek izračuna akumulacije toka	32
Slika 14: Vizualizacija spremenljivke ekspozicija, gomil in naselij	34
Slika 15: Ekspozicija terena na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah.....	35
Slika 16: Vizualizacija spremenljivke osončenost, gomil in naselij	35
Slika 17: Osončenost na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah	36
Slika 18: Vizualizacija spremenljivke naklon reliefa, gomil in naselij.....	37
Slika 19: Naklon reliefa na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah.....	38
Slika 20: Vizualizacija spremenljivke ukrivljenost reliefa, gomil in naselij.....	38
Slika 21: Ukrivljenost reliefa na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah.....	39
Slika 22: Vizualizacija spremenljivke dolžina pobočij, gomil in naselij	40
Slika 23: Dolžina pobočij na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah	41
Slika 24: Vizualizacija spremenljivke globina dolin, gomil in naselij	41
Slika 25: Globina dolin na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah.....	42
Slika 26: Vizualizacija spremenljivke standardizirana višina, gomil in naselij	43
Slika 27: Standardizirana višina na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah	44
Slika 28: Evklidska ploskev oddaljenosti od nahajališč naselij s prikazom vidnih in nevidnih gomil z naselij	45
Slika 29: Evklidska razdalja gomil in naključno generiranih točk od naselij.....	46
Slika 30: Stroškovna ploskev oddaljenosti od najdišč naselij s prikazom vidnih in nevidnih gomil z naselij	47
Slika 31: Kumulativna vidnost z naselij	48
Slika 32: Razporeditev lokacij gomilnih grobišč in naključno generiranih točk, ki so vidne z naselij.....	49
Slika 33: Kumulativna vidnost z gomil	50
Slika 34: Distribucija naselij in naključno generiranih točk v vidnem območju gomilnih grobišč	51
Slika 35: Območje vidnosti z naselja E (Spodnji Porčič).....	51
Slika 36: Območje vidnosti z naselja A (Spodnja Senarska).....	52
Slika 37: Območje vidnosti z naselja D (Trotkova).....	53

Slika 38: Območje vidnosti najdišča F v Lormanjah	53
Slika 39: Prikaz naključnega vzorčenja in delitve gomilnih grobišč na vzorčno in testno skupino	54
Slika 40: Grafični prikaz razdelitve razredov pri modeliranju	56
Slika 41: Model 1 – potencial pojavljanja gomil po metodi »Mann-Whitney U test«	58
Slika 42: Model 2 – potencial pojava gomil po metodi »Wilcoxon«	59
Slika 43: Model A	62
Slika 44: Model B	63
Slika 45: Kombinirani model	66
Slika 46: Primer ploskve povratna povezava	67
Slika 47: Sloj povratna povezava točke A – prvi vhodni podatek za modeliranje poti A - M ..	67
Slika 48: Stroškovna ploskev z naselbine A – drugi vhodni podatek za modeliranje poti od naselja A do naselja M	68
Slika 49: Rezultat modeliranja poti	69
Slika 50: Deleži posameznih stopenj verjetnosti pojava gomil, izraženi v odstotkih skupne površine na karti (povezava s sliko 45)	71
Slika 51: Razporeditev vzorčne in testne skupine gomilnih grobišč glede na stopnjo verjetnosti v kombiniranem modelu	72

SEZNAM PRILOG

Priloga: GRAFIKONI ANALIZ PROSTORSKIH SPREMENLJIVK

A1

SLOVAR STROKOVNIH IZRAZOV

1. **Difuzionizem** (angl. *diffusionism*) – teorija o nastanku človeške civilizacije. Obstajata dve različici, nemška in britanska. Slednja pravi, da naj bi vsi aspekti človeške civilizacije izvirali iz območja današnjega Egipta (Winthrop, R. H. 1991, Dictionary of Concepts in Cultural Anthropology, New York).
2. **Človekovo prostorsko vedenje** (angl. *human spatial behaviour*) – teorija, po kateri naj bi bil prostor najpomembnejši dejavnik, ki oblikuje človekovo obnašanje (Ramachandran, S. 2010, Environmental process: Human Spatial Behaviour).
3. **Behaviorizem** (angl. *behaviourism*) – znan tudi kot vedenjska perspektiva je smer psihologije, ki vsa dejanja živih bitij, tudi mišljenje in čustva, obravnava kot objektivne reakcije oz. vedenje (<http://en.wikipedia.org/wiki/Behaviorism>).
4. **Okoljski determinizem** (angl. *environmental determinism*) – zagovorniki te teorije pravijo, da človeško kulturo definirajo okoljski dejavniki in ne socialni pogoji, v katerih družba živi (http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_determinism).
5. **Linearna kombinacija z utežmi** (angl. *linear weight combination*) – pravilo odločanja pri prekrivanju slojev različnih spremenljivk pri izdelavi napovedovalnih modelov.
6. **Datoteka xyz** (angl. *xyz file*) – datoteka, ki vsebuje podatke o lokaciji točk: x, y in višinsko koordinato.
7. **Ekspozicija** (angl. *aspect*) – smer padnice terena, izražena v stopinjah.
8. **Osončenost** (angl. *insolation*) – izpostavljenost Soncu. Podamo jo lahko z energijo globalnega in kvaziglobalnega obsevanja ali s trajanjem Sončevega obsevanja (Zakšek, K. et. al. 2002, Osončenost površja Slovenije).
9. **Naklon** (angl. *slope/inclination*) – kot med izbrano in horizontalno ravnino.
10. **Ukrivljenost** (angl. *curvature*) – podatek, ki pove, koliko neki objekt (v našem primeru površje) odstopa od ravnosti, kot jo poznamo pri premici. V ravnini je ukrivljenost skalarna količina, v treh ali več razsežnostih je ukrivljenost določena z vektorjem ukrivljenosti, ki upošteva razen smeri še ostrino ukrivljenosti. Pri kompleksnejših objektih določamo ukrivljenost s kompliciranimi pojmi iz linearne algebre (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Ukrivljenost>).
11. **Evklidska razdalja** (angl. *euclidean distance*) – razdalja med točkama, ki jo lahko izmerimo z merilom (http://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_distance).
12. **Stroškovna razdalja** (angl. *cost distance*) – podatek, ki nam pove, koliko energije oz. časa porabimo pri potovanju iz kraja A v kraj B.
13. **Višina** (angl. *height*) – podatek o nadmorski višini.

14. **Akumulacija toka** (angl. *flow accumulation*) – podatek o količini akumulirane vode na določeni površini (rastrska celica, m² ...).
15. **Območje vidnosti** (angl. *viewshed*) - funkcija, ki na podlagi DMV-ja za izbrano točko določi območje vidnosti.
16. **Dolžina pobočij** (angl. *slope height*) – algoritem, ki izračuna dolžino pobočij, ki imajo naklon brez prekinitve.
17. **Globina dolin** (angl. *valley depth*) – funkcija, ki izračuna relativno razliko višin površja glede na izbrano velikost lokalnega okna.
18. **Standardizirana višina** (angl. *standardized height*) – algoritem, ki določi razliko med generalizirano ploskvijo trenda višin in dejanskimi višinami.
19. **Ploskev povratne povezave** (angl. *backlink surface*) – ploskev, ki za vsako rastrsko celico prikazuje smer najmanjšega stroška na poti do izbrane točke.
20. **Stroškovna ploskev** (angl. *cost surface*) – ploskev, ki prikazuje stroškovno razdaljo do izbrane točke.

1 UVOD

1.1 Namen in cilji diplomskega dela

Namen diplomskega dela je bil preučiti možnosti pridobivanja geomorfoloških spremenljivk pri uporabi digitalnega modela višin (DMV). Zanimajo nas tiste spremenljivke, ki jih lahko uporabimo za izdelavo arheoloških napovedovalnih modelov.

Cilj diplomskega dela je ustvariti kakovosten arheološki napovedovalni model, ki bo z zadovoljivo natančnostjo določal potencialna območja arheoloških nahajališč. Velika pozornost je posvečena razvoju modelov, od enostavnih do kombiniranih, pri uporabi enostavnih operacij v GIS-u. Poleg tega je bil naš cilj izdelati tudi model poti, ki bi ustvaril celovitejšo sliko o prostoru.

1.2 Postopek in metode dela

1.2.1 Izbor testnega območja in pridobivanje podatkov

Za raziskovalno območje smo izbrali območje znotraj Slovenskih goric (slika 1). Zanj smo pridobili DMV in druge podatkovne sloje: digitalna topografska karta v merilu 1 : 5000 in 1 : 25.000 ter digitalni ortofoto v merilu 1 : 5000. Podatke smo pridobili od Ministrstva za okolje in prostor s posredovanjem Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.



Slika 1: Raziskovalno območje s širšo okolico

Poleg topografskih podatkov smo za izvedbo naloge potrebovali tudi podatke o arheoloških najdiščih. Večino arheoloških podatkov smo pridobili z Registra kulturne dediščine, nekaj pa z Arheološkega katastra Slovenije.

1.2.2 Geomorfološke analize pri uporabi DMV-ja

Z geomorfološkimi analizami smo ustvarili zbirko okoljskih spremenljivk. S pomočjo treh programov (ArcGIS, Saga in LandSerf) ob izključni uporabi DMV-ja smo z uporabo številnih algoritmov za geomorfološke analize izdelali okoljske spremenljivke.

1.2.3 Statistične analize

Za vse izdelane spremenljivke smo opravili prostorske statistične analize, ki smo jih razdelili na opisno statistiko ter inferenčno statistiko, kamor uvrščamo teste normalnosti porazdelitve ter teste značilnosti. Najpomembnejši del analiz predstavljajo testi značilnosti, saj smo na osnovi njihovih rezultatov določili uteži geomorfoloških spremenljivk v modelu.

1.2.4 Modeliranje

Zgradili smo pet napovedovalnih modelov. Ti temeljijo na različnih tehnikah modeliranja in so zgrajeni na podlagi različnih variacij spremenljivk. V prvem sklopu, kjer je modeliranje temeljilo na vseh lokacijah arheoloških najdišč, smo izdelali dva poskusna modela. V drugem sklopu smo za modeliranje uporabili naključno izbrano polovico najdišč, druga polovica nam je služila za testiranje uspešnosti modelov. Modela 1 in 2, ki sta zgrajena z različnimi metodami preklasifikacije spremenljivk, sta osnova končnega napovedovalnega modela.

1.3 Hipotezi

Postavili smo naslednji hipotezi:

- Spremenljivke, pridobljene na osnovi geomorfometričnih analiz pri uporabi DMV-ja so učinkovite pri izgradnji napovedovalnih modelov antičnih gomilnih grobišč na območju Slovenskih goric.
- Na osnovi geomorfoloških spremenljivk pri izključni uporabi DMV-ja lahko ustvarimo arheološki napovedovalni model, ki je zanesljivo v pomoč pri odkrivanju nahajališč.

1.4 Struktura diplomskega dela

Diplomsko delo je v osnovi razdeljeno na pet glavnih delov.

- **Teoretične osnove diplomskega dela**

Na začetku je podan splošen opis z definicijami ter pregledom zgodovinskega razvoja uporabe GIS-ov v arheološkem napovedovalnem modeliranju. Poleg metod modeliranja smo opisali statistične analize, ki smo jih uporabili v diplomskem delu.

- **Predstavitev študije**

V tem delu so predstavljene geografske, geološke, zgodovinske in arheološke značilnosti preučevanega območja. Sledi opis baze podatkov, ki smo jo sestavili. Na koncu smo predstavili uporabljeno programsko in strojno opremo.

- **Analiza prostorskih spremenljivk**

Tu so vizualno predstavljene prostorske spremenljivke, ki smo jih ustvarili. Poleg slik in grafov posameznih spremenljivk smo na začetku dodali tudi kratek opis in postopek izračuna posameznih spremenljivk. Opisali smo postopek vzorčenja prostorskih podatkov in predstavili rezultate statističnih analiz.

- **Izvedba modelov**

V tem poglavju smo v dveh sklopih opisali postopke pri modeliranju in vizualno predstavili izdelane arheološke napovedovalne modele. Poleg napovedovalnih modelov nahajališč smo izdelali tudi mrežo poti, ki temelji na stroškovnih analizah.

- **Rezultati**

Na koncu so predstavljeni rezultati arheološkega napovedovalnega modela in njegovo vrednotenje.

2 PREDSTAVITEV NAPOVEDOVALNEGA MODELIRANJA V ARHEOLOGIJI IN TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Arheologija in GIS

Pogled v preteklost vedno znova odpira neodkrita področja človekove narave. Kljub temu, da je današnja civilizacija tehnološko zelo napredovala, nam ob nekaterih zgodovinskih odkritjih še vedno zastane dih. Natančnost majevskega koledarja in njihovo poznavanje astronomije, skrivnosti egipčanskih piramid in templjev, monolitski spomeniki po vsem svetu so le peščica razlogov, ki nam dajejo navdih za raziskovanje zgodovine. Vse dokler obstajajo skrivnosti in vse dokler ne bo pojasnjen naš izvor, bo obstajala želja po odkrivanju. Velik del izpolnjevanja te »družbene potrebe« opravljajo arheologi.

Sprejemanje prostorskih odločitev je danes največkrat pogojeno z geografskimi podatki. »Kam greš, po kateri poti, kaj je končna destinacija, od kod prihajaš?« Že v vsakdanjem pogovoru izmenjujemo informacije, ki so tako ali drugače povezane z lociranjem. Poznavanje geografije in človekovih odnosov s posameznimi delčki sveta ponuja poglobljene uvide na najraznovrstnejših področjih obstoja.

Kakor pri drugih znanstvenih panogah je tudi za razvoj arheološke stroke potrebno interdisciplinarno sodelovanje. S pojavom računalniške tehnologije je prišlo do zlitja širšega spektra znanosti, zato znanstveniki z različnih področij danes prihajajo do enakih zaključkov. Arheološka topografija, ki se ukvarja z lociranjem najdišč, si danes pomaga s številnimi vrstami informacij. Veliko vlogo pri interdisciplinaciji arheologije so odigrali geografski informacijski sistemi (v nadaljevanju GIS-i). Ti so omogočili povezovanje in združevanje najrazličnejših vrst podatkov. Zgodovinska dejstva, geografske značilnosti, astronomski podatki, topološke in prometne povezave, podatki o geološki sestavi tal, hidrologiji in vegetaciji predstavljajo arheološki kolaž/mozaik informacij, ki jih je s pomočjo GIS-ov mogoče integrirati v skupen sistem.

Osnovo arheološkega modeliranja predstavljajo analize odnosov med naravnim in družbenim okoljem ter samimi najdišči. Modeliranje temelji na domnevi, da lahko s poznavanjem arheoloških najdišč ter naravnih in družbenih dejavnikov določimo, kateri dejavniki so vplivali na lociranje naselbin. Te dejavnike uporabimo za empirično napovedovanje. Napoved lokacije torej pojasnjuje »pravila naselbine«, ki smo jih določili z analizami. Seveda pa ne

smemo zanemariti dejstva, da nikoli ne vemo, kako popoln je vzorec arheoloških podatkov in da so podatki med najdišči kvantitativno in kvalitativno različni.

2.2 Predstavitev arheoloških napovedovalnih modelov po definicijah

Z napovedovanjem se ukvarjamo na najrazličnejših področjih življenja, kjer je predmet preučevanja povezan s časom. Naslednje definicije predstavljajo osnovo za razumevanje obravnavane tematike. Z njimi je podan enostaven in razumljiv uvod v zahtevnejšo in na trenutke abstraktno teorijo.

Napovedovalni lokacijski model je poenostavljen niz testiranih hipotez (te temeljijo bodisi na predpostavkah o obnašanju bodisi na empiričnih korelacijah), ki na podlagi odloženih artefaktov ali sprememb v pokrajini napoveduje lokacijo človeških aktivnosti iz preteklosti (Kohler, 1988).

Napovedovalni modeli so verjetne trditve (ugotovitve) in ne dejstva. Napovedovalni model je potemtakem znanstvena hipoteza za znanstveno dejstvo (Kohler, 1988).

Napovedovalni modeli so orodje, ki omogoča projiciranje vzorcev ali medsebojnih odnosov v nepoznan čas ali prostor (Warren, 1990).

Arheološki napovedovalni model je karta, ki prikazuje relativno verjetna območja za arheološke najdbe. Takšne karte prikazujejo območja, na katerih je večja ali manjša verjetnost za obstoj kulturne dediščine. Zato se jih pogosto pojmuje kot karte, ki prikazujejo arheološko občutljivost (Kvamme, 1998).

Napovedovalno modeliranje je poskus prepoznavanja nekega pojava, ki ga ne moremo neposredno opazovati (Podobnikar, 2006).

2.3 Razvoj napovedovalnih modelov v GIS-ih

V zadnjih 25 letih je bilo na temo napovedovalnega modeliranja v arheologiji napisanih stotine člankov in več deset knjig. Študije prostorske arheologije so se začele v 70-ih letih 20. stoletja. Zanimivo je, da se je obravnavana »nova znanost« v ZDA razvila iz študij ekonomske geografije, medtem ko so njeni izvori v Britaniji povezani s teorijo Difuzionizma. Arheološki teoretiki so v začetku 80-ih let močno zavračali pristope, ki jih je promovirala takratna Nova arheologija (Schiffer, 1986), vendar je dostopnost računalniške in programske opreme na koncu 80-ih let močno spodbudila raziskave na področju napovedovanja arheoloških modelov.

Interes akademikov za napovedovalno modeliranje z geografskimi informacijskimi sistemi torej izvira iz dolgoletnega zanimanja za modeliranje nasploh. V obdobju od razmaha računalniške tehnologije so številni znanstveni članki, ki so nastali na podlagi študij in teoretičnih izboljšav, ves čas dvigali raven stroke (van Leusen 1995, 1996; Kamermans & Rensink, 1998; Kamermans & Wansleeben, 1999). Pred desetletjem so se predvsem evropski raziskovalci začeli posvečati vključevanju socialnih spremenljivk v napovedovalno modeliranje (Wheatley, 1996; Stančič in Kvamme, 1999; Lock, 2000).

Razvoj arheoloških napovedovalnih modelov se je začel z gibanjem »Nova arheologija« v poznih 60. letih prejšnjega stoletja. Takratna arheološka stroka je pri lociranju najdišč največji vpliv pripisovala okoljskim dejavnikom, nekaj let kasneje pa so začeli tudi s proučevanjem ekonomskih dejavnikov pri lociranju, kar je pripeljalo do boljšega razumevanja človekovega prostorskega vedenja.

Do konca 70. let so bile postavljene vse teoretične osnove za napovedovalno modeliranje, medtem ko sta tehnično podporo omogočila velik napredek računalniške tehnologije in posledičen razvoj geografskih informacijskih sistemov. Napovedovalni modeli imajo razmeroma dolgo zgodovino v ameriški arheologiji, kjer so jih dokaj intenzivno uporabljali za upravljanje s kulturno dediščino. To je bila predvsem posledica strožje zakonodaje na področju arheologije, ki ameriške strokovnjake ovira pri terenskem delu. Tako so bili prisiljeni k razvoju drugačnih pristopov (Podobnikar, 2006).

Drugačne pa so bile razmere v Evropi. Pravni temelji so bili arheologom bolj naklonjeni in zakonodaja ni ovirala njihovega dela na zemljiščih. Posledično se je razvoj napovedovalnih modelov v Evropi pričel šele konec 80. let, torej približno 10 let kasneje kot v ZDA.

V zadnjem desetletju se je z razvojem povečala tudi problematika arheološkega modeliranja, predvsem kar se tiče relevantnosti stroke. Osrednji problemi so kakovost in količina vhodnih arheoloških podatkov, pomembnost vhodnih podatkov o okolju, uporaba statistike v prostorsko-družbenih raziskavah in testiranje napovedovalnih modelov. Primarni težavi večine napovedovalnih modelov sta nezanesljiva kakovost prostorskih podatkov in nezadovoljivi testi modelov. Pristranski indikatorji testiranj skoraj vselej dajejo pristranske modele.

Sprejemljivo rešitev takšnih problemov lahko najdemo v naslednjem: polovico podatkov oziroma najdišč lahko uporabimo za modeliranje, drugo polovico pa za testiranje modela (Podobnikar, 2009a).

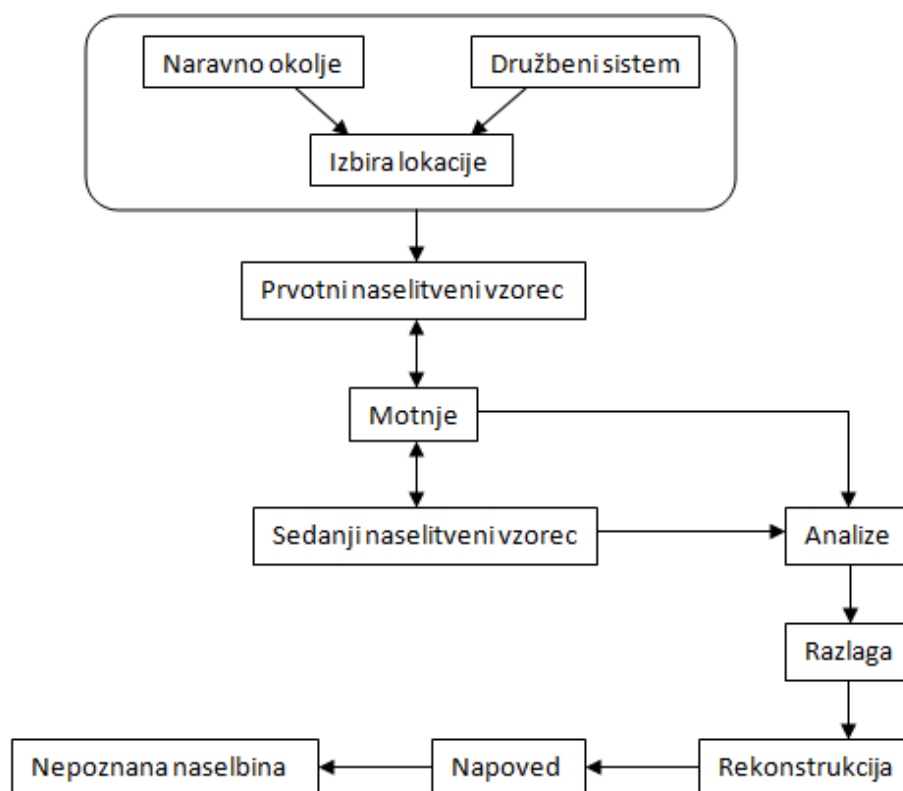
2.4 Podroben vpogled v teoretično ozadje in odprta vprašanja pri modeliranju

Znanost je zgolj iskanje modela in ne resnica sama, zato je zelo pomembno, kakšne so osnovne paradigme, na katerih gradimo napovedovalne modele. Od njih je namreč odvisno, koliko se bomo približali dejstvu oziroma z drugimi besedami koliko točni bodo naši modeli. Pregled literature razkriva, da je bilo do sedaj vložene veliko energije v razvoj in razumevanje teoretične podlage za napovedovalno modeliranje. Razprave in članki se praviloma vrtijo okrog nasprotujočih si idej. Pri tem najbolj izstopajo naslednje polarne delitve:

- induktivno modeliranje - deduktivno modeliranje,
- okoljski determinizem - socialni modeli,
- akademske raziskave - upravljanje s kulturno dediščino.

2.4.1 Induktivni in deduktivni pristop

Pri induktivnem modeliranju izhajamo primarno iz arheoloških podatkov. Ta način modeliranja lahko opišemo kot pristop »od spodaj navzgor«. Model razvijemo na podlagi korelacije med arheološkimi podatki in podatki o naravnem okolju. Upravljanje z velikimi podatkovnimi zbirkami omogoča izpeljavo različnih zaključkov. S poizvedovanjem po bazah lahko brez težav ekstrapoliramo verjetnostna območja najdišč in jih prikažemo na karti. Glavna pomanjkljivost tega pristopa so napake, ki se pojavljajo zaradi omejene natančnosti oz. netočnosti podatkov. Vse nepravilnosti (napake pri zajemu podatkov) in posploševanja realnosti (natančnost DMV-ja) se prenesejo v model ter posledično tudi v napoved. Druga pomanjkljivost pa je povezana s številom poznanih nahajališč. Statistične analize, ki predstavljajo jedro induktivnega pristopa namreč dajejo zadovoljive rezultate le ob zadostnem številu najdišč (van Leusen, 1995). Potek razvoja in delovanja induktivnega napovedovalnega modela si lahko v grobem predstavljamo kot korake, ki jih prikazuje slika 2.



Slika 2: Princip delovanja induktivnega napovedovalnega modela (van Leusen, 1996)

Deduktivni pristop je modeliranje »od zgoraj navzdol« in temelji na podlagi razumevanja človekovega obnašanja v preteklosti – še posebej ekonomskih vzorcev (behaviorizem). Pri deduktivnem pristopu se ne ukvarjamo z distribucijo znanih najdišč, ampak s prepoznavanjem, katere potrebe so človeka vodile do izbora lokacij bivališč, pokopališč, itd. S takšnim pristopom lahko predvidimo ne le lokacije najdišč, ampak tudi razloge za izbor lokacij. Deduktivni modeliranje se začne z modelom kulturnih in družbenih značilnosti preučevanega območja. Vzorec najdišč nato izpeljemo iz razporeditve tistih virov, za katere smatramo, da so bili pomembni pripadnikom preučevane kulture.

Deduktivni modeli torej izhajajo iz apriornih predpostavk o lokaciji arheoloških virov. Njihova slabost so lahko predpostavke, če za njimi ni utemeljene teorije. V lokacijskem modeliranju sta se oblikovala dva bistvena, sedaj že uveljavljena pogleda: (1) ekonomska atraktivnost določene lokacije (rodovitna tla, dobre prometne povezave) in (2) atraktivnost lokacije glede na navade, ki izhajajo iz kulturnih norm in duhovne identitete skupnosti (Veljanovski, 1999).

2.4.2 Okoljski determinizem in post-moderni pristopi

Druga delitev, ki je prisotna pri napovedovalnem modeliranju, je posledica alternativnih pogledov na teorijo t. i. okoljskega determinizma (Gaffney in Van Leusen, 1995). Zagovorniki nasprotnega pola pa so »postmodernistični arheologi«, ki so skušajo razložiti preplet socioloških in naravnih dejavnikov. Z nepristranskim pogledom na problematiko lahko ugotovimo, da so razlike med pogledoma le posledica različne uporabe kognitivnih spremenljivk (Kvamme, 1999).

2.4.3 Akademske raziskave in upravljanje s kulturno dediščino

Arheološki napovedovalni modeli so se primarno razvili kot pripomoček pri varovanju in upravljanju s kulturno dediščino v ZDA. Takšen pristop k modeliranju je precej pragmatičen. Namen teh modelov je bil predvsem prikazati občutljiva območja, manj pa so bile študije posvečene proučevanju korelacij med podatki.

Akademske raziskave so primernejše za modeliranje. Spremenljivke so namreč izbrane izključno na podlagi poznavanja lokacijskih dejavnikov, ki naj bi vplivali na izrabo prostora v preteklosti. Akademski pristop torej temelji na rekonstruiranem skupku družbenih in naravnih pogojev, okoliščin in procesov. Kot tak je omejen le z mejami raziskovalčevega znanja (Veljanovski, 1999).

2.5 Postopki modeliranja

Cilj lokacijskega modeliranja je zgraditi delujoč model z napovedovalno močjo, ki (1) upošteva, kako družbene, politične in ekonomske spremenljivke vplivajo na lokacijo in (2) tudi podaja odgovore na vprašanje, kako so bile odločitve pri lociranju sprejete. Gre torej za prisotnost razlage in napovedi v istem lokacijskem modelu (Kohler, 1988).

Poleg delitve na induktivni in deduktivni pristop napovedovalno modeliranje v praksi delimo na numerično in grafično. Pri numeričnem pristopu s statističnimi analizami identificiramo zveze med prostorskimi spremenljivkami. Kadar so razmerja neodvisnih spremenljivk do odvisnih v statističnem pogledu neoporečna, jih smemo uporabiti kar neposredno na prostorskih podatkih. Numerični pristop torej zahteva temeljito poznavanje statističnih tehnik.

Pri grafičnem pristopu, ki se je uveljavil kasneje, pa uporabljamo tehniko prekrivanja tematskih plasti. Statistike pri tem pristopu ne uporabljamo za raziskovanje zvez med spremenljivkami, temveč nam služi kot orodje, s katerim ovrednotimo moč povezav med spremenljivkami in najdišči potem, ko je model že razvit (Dalla Bona, 1994).

Numerični pristop je torej neposredna izgradnja modela na osnovi statističnih analiz. Nekoliko drugačen je postopek modeliranja z grafičnim načinom. V literaturi se pojavljata predvsem dva načina vključitve spremenljivk v grafični napovedovalni model. Pri obeh gre za t. i. GIS-pristop:

a) Metoda presekov je najbolj razširjen način napovedovalnega modeliranja. Temelji na domnevi, da vse spremenljivke, ki so vključene v model, enakovredno determinirajo lokacijski potencial najdišča. Izračun visokega, srednjega ali nizkega lokacijskega potenciala je enostaven proces določitve števila spremenljivk, ki konvergirajo v dani lokaciji. Območja, na katerih se prekriva veliko število spremenljivk, so označena kot območja z visokim potencialom za najdišče. Prednost tega pristopa je v enostavnosti in transparentnosti.

b) Metoda uteženih vrednosti

Ta metoda izhaja iz domneve, da je vsaka prostorska spremenljivka različno vplivala na nekdanji človekov izbor bivalne lokacije, zato se pri modeliranju vsaki spremenljivki dodeli utež (numerična vrednost), ki odseva njeno domnevno pomembnost. Spremenljivke se razdeli v razrede, nato pa se vsakemu razredu določi vrednost kategorij (V). Utež spremenljivke (W) mora odražati razlike med kategorijami. Z množenjem vrednosti kategorije (V) z utežjo (W) definiramo uteženo vrednost ($V \cdot W$) za vsako spremenljivko, ki nastopa v procesu modeliranja. Raziskovalčeva (subjektivna) določitev uteži in vrednosti mora biti utemeljena. Pri določanju se zahtevajo nedvoumnost, doslednost in jasnost. Odločitev za dodelitev posameznih vrednosti se v tem primeru lahko nanaša na različne vire: predhodna arheološka dela, etnografske, etnološke, zgodovinske raziskave (Dalla Bona, 1994).

2.6 Izgradnja arheološkega napovedovalnega modela

Izgradnja modelov, s katerimi opisujemo (pretekle) človekove odločitve, je praviloma zapleten postopek, ki se pravzaprav nikoli ne konča. Dinamična oblika razvoja, ki omogoča vnos raznovrstnih podatkov kadarkoli med procesom modeliranja, poveča integriteto, natančnost in domet arheološkega napovedovalnega modela.

Vsak napovedovalni model sloni na vrsti vhodnih predpostavk. Prva predpostavka pri arheoloških napovedovalnih modelih je, da so določeni elementi naravnega okolja pogojevali izbiro lokacije za naselitev. Nadalje se domneva, da te okoljske spremenljivke lahko predstavimo z današnjimi prostorskimi podatki. S tretjo domnevo se predpostavi, da

korelacija med arheološkim in fizičnim okoljem odraža odnos tedanjega človeka in njegovih navad do prostora in vzajemno zavrača, da bi bilo to zgolj naključje (van Leusen, 1999).

2.6.1 Izdelava napovedovalnega modela

Osnovni namen lokacijskega modela je ugotavljanje in utemeljevanje dejavnikov, ki so v preteklosti vplivali na poselitev. Dano arheološko najdišče v tem pogledu lahko razumemo kot odsev odločitve in izbire v nekem sistemu. Naloga analitika je, da iz naselitvenega vzorca ali posameznih najdišč razbere, kateri naravni in kateri družbeni dejavniki so vplivali na izbor lokacije bivališča oziroma umestitev drugih objektov v prostor. Pri tem je pomembno, da se analitik zaveda, da sedanji naselitveni vzorec ne odraža celostne slike naselitvenega vzorca v preteklosti. Razlike med pričakovanim in dejanskim obnašanjem vzorca lahko pripeljejo do novih spoznanj. Analitik torej lahko sprejme nova empirična dejstva in prevrednoti razlago. Takšna je dejanska dinamika napovedovalnega modeliranja (van Leusen, 1996).

Ko je analiza opravljena in ko so delovne hipoteze o lokacijskih dejavnikih testirane in dokazane, sledi bistvo napovedovalnega modela – razlaga lokacijskih dejavnikov. Razlaga je lahko novo vhodno spoznanje za nadaljnje modificiranje ali pa zaključek lokacijskega modeliranja.

Na samem začetku napovedovalnega modeliranja so v modele vključevali le dejavnike naravnega okolja (van Leusen, 1996). V veliki meri je bila to posledica prepričanja, da družbenih dejavnikov bodisi ne poznamo bodisi jih ni mogoče kartirati. Preobrat v tej smeri je sprožil razvoj GIS-ov, ki so iz leta v leto omogočali več podrobnih raziskav. Uporaba nove metodologije pa je posledično pripeljala do poglobljenih uvidov v problematiko tega področja. Metodološke probleme lokacijskega modeliranja lahko v grobem razdelimo v tri skupine (Kvamme, 1997):

- pomen kakovosti podatkov,
- vpeljava statistike in
- testiranje učinkovitosti lokacijskih modelov.

Kakovost podatkov pri analizi lokacije je bistvenega pomena predvsem za geografske podatke. Slabi geografski podatki namreč lahko povzročijo določene netočnosti, zaradi katerih je interpretacija rezultatov lokacijskih analiz napačna ali neuporabna.

Posebno mesto v lokacijskem modeliranju zavzemajo statistične metode. Uporabljamo jih za ovrednotenje podatkov, ovrednotenje zvez med spremenljivkami, testiranje hipotez in za končno oceno modela. Pri reševanju problemov se moramo zavedati prave vrednosti

uporabljenih metod, predvsem kadar uporabljamo zapletene statistične tehnike. (Bohte, 1991). Zavedati pa se moramo, da je numerična rešitev problema vedno le približek realnosti.

Preizkušanje učinkovitosti modela je dokončna sodba o uspešnosti in pravilnosti delovanja napovedovalnega modela. Šele ko model testiramo na neodvisnih podatkih (podatkih, ki v samo izgradnjo modela niso bili vključeni) in rezultati potrdijo pričakovanja, lahko model potrdimo kot uspešen. Žal je testiranje mnogokrat omejeno z razpoložljivostjo neodvisnih podatkov. Še posebej je takšna situacija pogosta pri arheoloških raziskavah, kjer je število arheoloških podatkov tako skromno, da moramo v samo izgradnjo modela vključiti kar vse (Kvamme, 1997).

2.6.2 Faze v izgradnji induktivnega arheološkega napovedovalnega modela

1. faza: zbiranje in organizacija podatkov ter razvoj pilotnega modela

V tej fazi poiščemo odvisnosti med prostorskimi spremenljivkami in najdišči. Pripravljalni oziroma pilotni model temelji na velikem vzorcu informacij in naj bi bil sposoben prikazati nizek, srednji ali visok potencial za obstoj/neobstoj arheoloških virov (Kvamme, 1998).

2. faza: testiranje in izboljšanje modela

Naslednji korak je razvijanje pilotnega modela. To izvedemo z vnašanjem dodatnih arheoloških in prostorskih podatkov ter s testiranjem modela. Mnogi arheološki napovedovalni modeli se na tej stopnji tudi končajo (Kvamme, 1998).

3. faza: čiščenje modela in končna izvedba

V tej fazi je model podvržen poljubnemu številu prečiščevanj in kontinuiranemu vključevanju novih podatkov. Oris posameznih stopenj je le splošno vodilo. Razumljivo je, da ima vsak arheološki napovedovalni model svoje izrazite lastnosti. Identiteto modela poleg vsebinske narave oblikujejo tudi vsi majhni koraki in odločitve na poti njegove izgradnje (Kvamme, 1998).

Za izdelavo napovedovalnih modelov lahko uporabimo GIS-programska orodja, v katerih prekrivamo sloje različnih spremenljivk. Pri tem uporabimo pravilo odločanja, ki je ena izmed oblik večkriterijskih odločanj. Najpogosteje uporabljeno pravilo odločanja je linearna kombinacija z utežmi (Nyerges in Jankowski, 2009).

4.faza: vrednotenje modela

Na koncu opravimo vrednotenje modela. Obstajata dva osnovna numerična načina za vrednotenje: prvi način je, da uporabimo en vzorec podatkov za kalibracijo in vrednotenje modela, drugi način pa je, da za kalibracijo modela in vrednotenje modela uporabimo dva neodvisna vzorca podatkov (Guisan in Zimmermann, 2000).

Vrednotenje modela lahko izvedemo tudi s pomočjo vizualnih analiz. Vizualne metode so zelo pomembne za vrednotenje prostorskih podatkov in lahko nadgradijo nekatere pomanjkljivosti numeričnih oziroma statističnih metod. V praksi niso tako pogosto uporabljene (Podobnikar, 2009b).

2.7 Modeliranje poti

Kot posebno pomoč pri pridobivanju dodatnih informacij ali spremenljivk napovedovalnega modeliranja lahko omenimo modeliranje poti. Modeliramo lahko različne tipe poti, od takih z najmanjšo porabo energije, do poti, ki so najbolj skrite pogledu z določenih točk. Gre za postopek, s katerim določamo najugodnejšo povezavo med dvema lokacijama. Najugodnejša povezava je tista, ki nas z najmanj napora pripelje od točke A do točke B. Takšno modeliranje temelji na podatkih o naklonu ob upoštevanju načina premikanja (peš, vprega). Za postopek modeliranja poti v praksi torej potrebujemo digitalni model reliefa.

Za določitev poti lahko uporabimo tudi druge parametre (npr. podatek o vetru) in jih združimo s podatkom o naklonu (ali višini) ter tako ustvarimo ploskev upornosti. Ta ploskev kaže, v kateri smeri je gibanje najbolj gospodarno optimalno.

2.8 Uporaba arheoloških napovedovalnih modelov

Arheološke napovedovalne modele je moč uporabljati kot (Kvamme, 1999):

- dodatno orodje v prostorskem načrtovanju ter v varovanju naravne in kulturne dediščine;
- pomoč pri načrtovanju arheoloških izkopavanj na večjih območjih;
- raziskovalno tehniko zbiranja podatkov o arheoloških najdiščih in starih civilizacijah;
- medij za preučevanje zvez med pokrajino, naselitvenimi vzorci in človekom v najširšem smislu (akademska arheologija).

2.9 Statistične analize

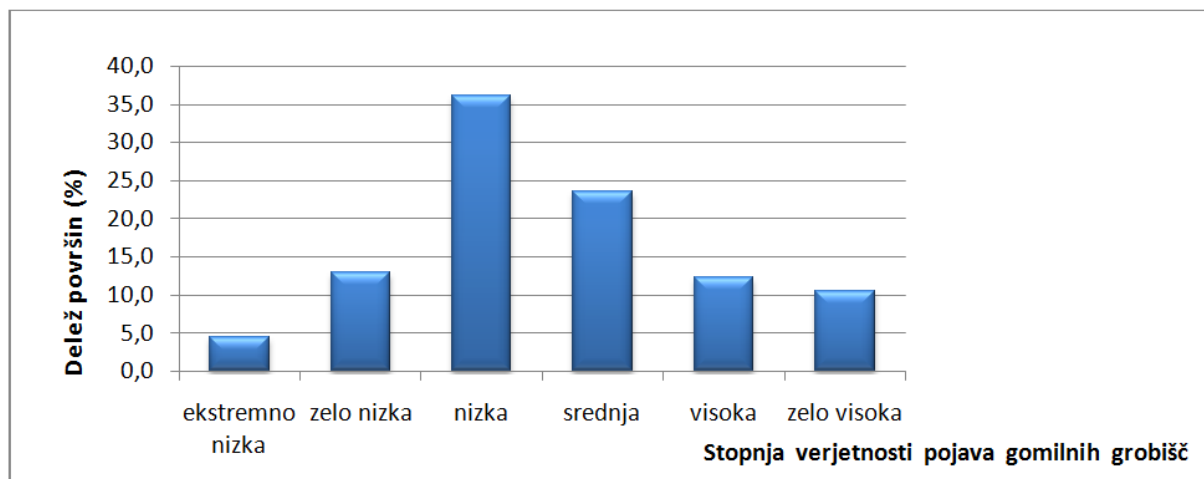
V delu smo se odločili za uporabo preprostih statističnih analiz. Ločimo lahko dve veji statistike: opisna in inferenčna statistika. S pomočjo opisne statistike zbrane podatke prikažemo, s pomočjo inferenčne statistike pa iz vzorca podatkov napravimo sklep o celotni populaciji (Asadoorian in Kantarelis, 2005).

2.9.1 Opisna statistika

Pri vzorcu z večjim številom podatkov je težko obravnavati posamičen podatek, ampak je lažje vzorec obravnavati kot celoto. Podatke v vzorcu lahko kot celoto predstavimo grafično ali številčno z določenimi značilnimi vrednostmi vzorca (Turk, 2009). Med grafične predstavitve podatkov uvrščamo histogram oziroma stolpčni diagram in Q-Q diagram.

Frekvenčni histogram

Ena lažjih metod opisne statistike je frekvenčni histogram (slika 3), ki se uporablja za prikaz porazdelitve določene spremenljivke, v našem primeru za prikaz vseh geomorfoloških spremenljivk. Na x-osi je prikazana skala spremenljivke na y-osi pa je prikazana frekvenca oz. pogostost pojavljanja spremenljivke. Ko so razredi intervalov na x-osi enaki, nam višina kvadratov v histogramu predstavlja frekvence (Montgomery in Runger, 1999).

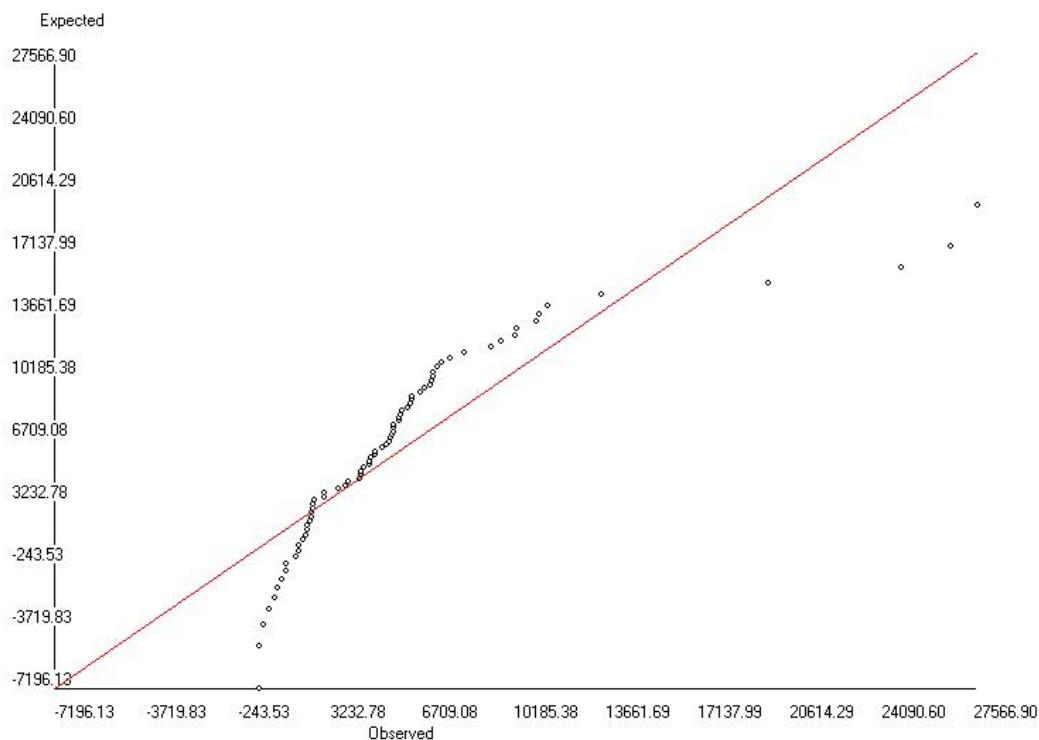


Slika 3: Primer frekvenčnega histograma

Q-Q diagram

Q-Q diagram (slika 4) je metoda za grafično analizo verjetnostnih porazdelitev populacij. V osnovi se uporabljajo za grafično oceno prileganja poljubne populacije normalni porazdelitvi

(Pevec, 2009). Q-Q diagram interpretiramo podobno kot graf normalne porazdelitve, kjer so podatki vzorca prikazani nasproti teoretični normalni porazdelitvi na način, da tvorijo ravno linijo. Odstopanja od ravne linije pomenijo odstopanja od normalne porazdelitve.



Slika 4: Primer Q-Q diagrama

2.9.2 Inferenčna statistika

Opisni statistiki običajno pri obdelavi podatkov sledi inferenčna statistika. Uporabimo jo, ko iz poznane manjšega vzorca podatkov napravimo sklep za celotno populacijo (Asadoorian in Kantarelis, 2005). V delu smo najprej izvedli teste normalnosti porazdelitve podatkov, sledili pa so testi značilnosti.

Testi normalnosti porazdelitve

Pri testih normalnosti porazdelitve testiramo prileganje podatkov predpostavljeni verjetnostni porazdelitvi. Za ugotavljanje normalne porazdelitve lahko izberemo več skupin testov, med najpomembnejšimi so (Thode, 2002):

- testi osnovani na empirični porazdelitveni funkciji (EDF) in
- χ^2 -test.

Izbrali smo prvo skupino testov, ki so osnovani na empirični porazdelitveni funkciji. EDF-testi temeljijo na primerjavi empirične in hipotetične porazdelitve funkcije. Obstajata dve vrsti EDF-testov; pri prvih se računa največje oddaljenosti empirične funkcije od normalno porazdeljene funkcije (Kolmogorov-Smirnov test), pri drugih računamo kvadrate oddaljenosti (Anderson-Darlingov, Cramer-von Misesov in Shapiro-Wilkov).

Podatki, ki jih uporabimo za kalibracijo modela, morajo biti neodvisni in morajo vključevati vse značilnosti območja. Če vzorčenje ni izvedeno optimalno, to vpliva na kakovost modela. Poleg ustrezne strategije vzorčenja je ključnega pomena tudi pravilna izbira števila podatkov. Z večanjem števila podatkov postane vzorčenje bolj robustno (Hirzel in Guisan, 2002).

Za določitev normalnosti spremenljivk smo izbrali Shapiro-Wilksov test.

Testna statistika tega testa je W :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$x_{(i)}$ - i -to najmanjše število v vzorcu

$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$ - povprečje vzorca

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{\frac{1}{2}}}, \text{ kjer je } m = (m_1, \dots, m_n)^T$$

m_1, \dots, m_n so pričakovane vrednosti stopenjske statistike neodvisnih in enako porazdeljenih naključnih vrednosti, ki so zajete iz normalne porazdelitve

V - kovariančna matrika stopenjskih statistik.

Pri uporabljenem testu normalnosti porazdelitve gre torej za testiranje ničelne hipoteze, ali vzorec posamezne spremenljivke izhaja iz normalno porazdeljene populacije ali ne. Ničelna hipoteza je zavrnjena, kadar je vrednost testne statistike W prenizka.

Testi značilnosti porazdelitve

Testu normalnosti sledi testiranje značilnosti porazdelitve. Za podatke, ki imajo normalno porazdelitev, se uporablja t-test značilnosti (Turk, 2009).

V našem primeru smo uporabili posebno različico tega testa, ki se imenuje Welchov test. Ta definira statistiko t, ki jo izračunamo s spodnjo enačbo:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}$$

Pri tem so \bar{x}_i , s_i^2 in N_i povprečje, varianca in velikost posameznega vzorca. Če je pri tem testu ničelna hipoteza sprejeta, pomeni, da se testna statistika ujema s t-porazdelitvijo.

Kadar pogoj normalnosti spremenljivk ni izpolnjen, se uporablja Mann-Whitneyjev U test značilnosti, ki nadomešča klasični parni t-test (Pevec, 2009). Gre za neparametrični test, pri katerem ugotavljamo, ali sta dva vzorca podatkov enako porazdeljena. Najprej vse podatke razvrstimo od najmanjšega do največjega, nato pa jim pripišemo vrednost glede na njihovo pozicijo v rangju. Vsota vrednosti pripisanih rangov se uporabi za izračun U-statistike:

$$U_1 = S_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

$$U_2 = S_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}$$

kjer je S vsota rangov za posamezen vzorec in n število podatkov v vzorcu. Ko sta U_1 in U_2 izračunana, se manjšo statistiko primerja s kritično vrednostjo ter potrdi ali zavrže ničelno hipotezo.

Wilcoxonov parni test je prav tako neparametrični test, pri katerem ugotavljamo, ali sta dva vzorca podatkov enako porazdeljena. Pri testu najprej sestavimo pare vrednosti, in sicer tako, da vrednosti iz prvega vzorca pripišemo vrednost iz drugega vzorca. Vrednosti so razvrščene tako, da je razlika med vrednostmi pri vsakem posameznem paru najmanjša. Po izračunu razlik med vrednostmi v parih se absolutne vrednosti razlik rangira po velikosti od najmanjše do največje. Nato se rangom pripiše predznak, ki ga nosi razlika med vrednostma v paru. Tako dobimo dve skupini vrednosti: pozitivne in negativne range. Vrednosti v obeh skupinah seštejemo. Razlika med vsotama je merilo korelacije – manjša razlika pomeni večjo

korelacijo med testiranima vzorcema. V preglednici 1 je s primerom prikazan postopek izračuna parametrov Wilcoxonovega testa značilnosti.

Subjekt	X_i	Y_i	Predznak $X_i - Y_i$	$X_i - Y_i$	Absolutna vrednost razlike $X_i - Y_i$	Rang absolutne razlike	Rang s predznakom
1	125	110	+	15	15	7	7
2	115	122	-	-7	7	3	-3
3	130	125	+	5	5	1,5	1,5
4	140	120	+	20	20	9	9
5	140	140		0	0		
6	115	124	-	-9	9	4	-4
7	140	123	+	17	17	8	8
8	125	137	-	-12	12	6	-6
9	140	135	+	5	5	1,5	1,5
10	135	145	-	-10	10	5	-5

Preglednica 1: Primer uporabe Wilcoxonovega testa značilnosti

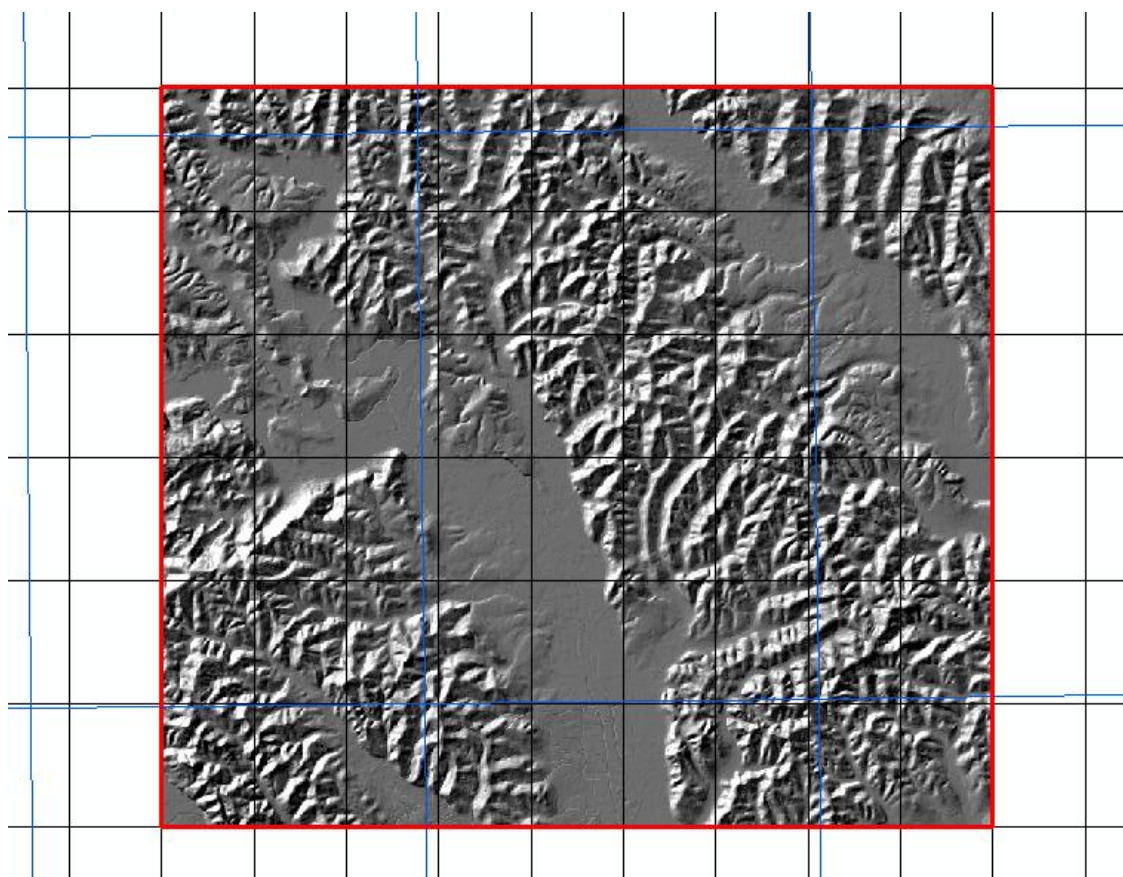
V zadnjem stolpcu so vrednosti, ki jih imenujemo rangirane vrednosti. Te imajo enak predznak, kakor njim pripadajoče razlike (stolpec z oznako $X_i - Y_i$). Če seštejemo vse pozitivne in vse negativne vrednosti v zadnjem stolpcu, dobimo vsoti rangov. W_+ je vsota pozitivnih in W_- vsota negativnih rangov. V navedenem primeru sta $W_+=27$ in $W_-=18$. Na koncu manjšo od vsot rangov analiziramo s pomočjo tabele kritičnih vrednosti. Če je testna statistika manjša ali enaka kritični vrednosti, določeni na podlagi velikosti vzorca, ničelno hipotezo zavrnilo. V nasprotnem primeru je ne zavrnilo (Lowry, 2008).

3 PREDSTAVITEV ŠTUDIJE

3.1 Predstavitev

3.1.1 Geografska predstavitev raziskovalnega območja

Raziskovano območje se nahaja v SV delu Slovenije. Natančneje gre za osrednji del Slovenskih goric, ki obsega 20,25 km x 18,00 km oziroma površino 360 km². Velikost in oblika območja sta pogojeni z izbranim vzorcem arheoloških najdišč, ki so del študije. Podrobne dimenzije pogojuje nomenklatura temeljnega topografskega načrta 1 : 5000. Večino potrebnih podatkov je namreč mogoče pridobiti le za posamezen list TTN 5, ki v naravi predstavlja območje 3000 m x 2250 m oz. v primeru topografskih podatkov v merilu 1 : 25.000 območje 13.900 m x 9.560 m (slika 5).



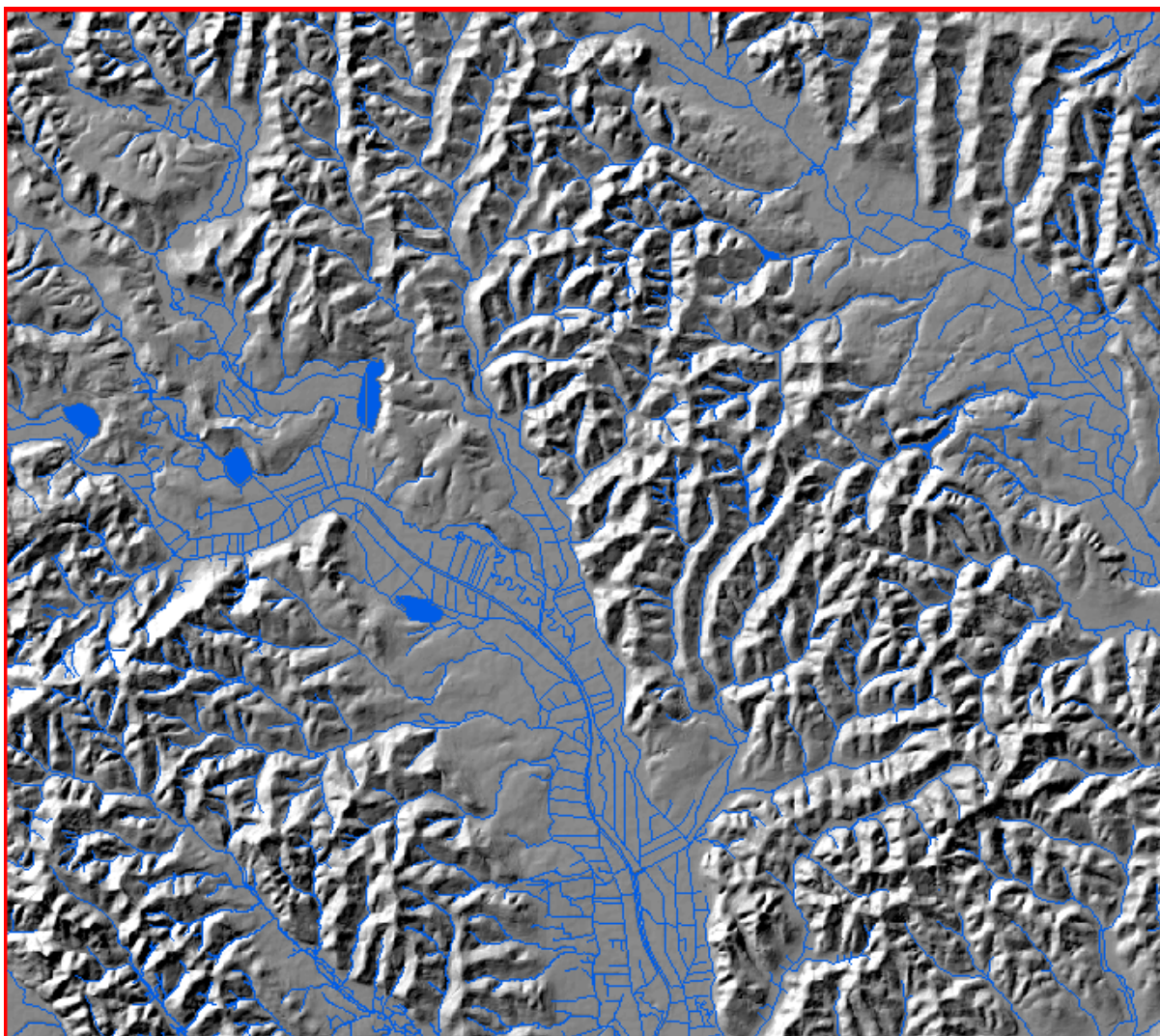
Slika 5: Raziskovalno območje z mrežama TTN 5 (črna barva) in GKB 25 (modra barva)

Dolina reke Pesnice predstavlja ključni element območja, saj je stoletja omogočala prometno povezavo v razgibani pokrajini. Z obeh strani je obdana z gričevjem Goric, katerih vrhovi se

dvigajo do 300 m oz. 400 m nadmorske višine. Reka Pesnica je v preteklosti ponujala slabe pogoje za poljedelstvo, zato je bila v 2. polovici 20. stoletja urejena obsežna hidromelioracija. Poleg nasipov in odtočnih jarkov so bila urejena umetna jezera Pristava, Komarnik, Radehova, Perniško in Gradiško jezero. Zaradi pogostih poplav so se naselja v Pesniški dolini večinoma razvijala ob vznožjih hribovja.

V SV delu izbranega območja se nahaja drugi pomemben geografski element, to je dolina reke Ščavnice. Ta je malce manj značajna kar se tiče tranzitne vloge, vendar je prav tako polna antičnih arheoloških najdišč, kar kaže, da je bila naseljena že v daljni preteklosti.

Osrednji kraj območja je Lenart v Slovenskih goricah (slika 1), ki se je razvil na vrhu nizkega slemena, na višini med 240 m in 270 m. Danes ima z 2600 prebivalci status mesta. Predstavlja tudi prometno središče in križišče regije, saj v njegovi bližnji okolici potekajo 3 glavne prometne osi. Magistralna cesta poteka v smeri vzhod-zahod od krožišča pri Pesnici preko Lenarta do Gornje Radgone. Povezava, ki teče od severa, gre skozi Lenart in vzdolž po dolini vse do Ptuja na jugu. Pred nekaj leti je bila dokončno zgrajena avtocesta Maribor-Murska Sobota, kar je regiji prineslo večjo dostopnost do oddaljenih krajev in tujine. Poleg naštetih je tu še več lokalnih povezav, ki povezujejo okoliške kraje. Dolina Ščavnice je prometno nekoliko manj razvita, predvsem v smeri toka reke. Poleg magistralne ceste Lenart-Gornja Radgona je bila za območje v gospodarskem smislu velika pridobitev novozgrajena avtocesta.



Slika 6: Relief preučevanega območja z rečno mrežo in s stoječimi vodami

Na sliki 6 je jasno prikazan razgiban relief z dvema večjima dolinama – Pesniško na sredini območja in dolino Ščavnice na SV. Opazimo lahko umetno regulacijo struge reke Pesnice in štiri akumulacijska jezera, ki so prav tako rezultat zaščitnih posegov pred poplavami.

Podnebje in vegetacija Slovenskih goric kažeta subpanonsko naravo. Značilni so predvsem gozdovi črne jelše, belega gabra in hrasta ter bukve in gradna, ob vodovju pa raste beli topol. Živalski svet je pester zlasti v okolici voda, saj so obrobja ribnikov in jezerc poraščena z močvirskim rastjem (Lah, 1996).

Gričevje je posejano z manjšimi kraji. Kakor je znano, je območje idealno za gojenje trte, zato so grički bogati z vinogradi.

Večstoletno obdelovanje kakovostne, za poljedelstvo primerne zemlje, in predvsem večji melioracijski posegi za intenzivnejšo poljedelsko pridelavo so območje najdišč dodobra poškodovali, okoliško pokrajino pa povsem spremenili. Nekdaj nekoliko gričevnato dno doline Pesnice je bilo z večjimi premeščanji zemlje spremenjeno v danes dokaj ravninsko oziroma blago valovito pokrajino, ki je primerna predvsem za intenzivno mehanizirano poljedelstvo. Lega najdišča oz. njegova mikrolokacija, kakor jo lahko dojamemo danes, pa zagotovo ne ustvarja realne podobe pokrajine iz preteklosti, saj so bile razmere že zaradi melioracijskih posegov v preteklosti drastično spremenjene (Tomaž et al., 2010).

3.1.2 Geološki razvoj pokrajine

Po nastanku in zgradbi so Slovenske gorice med najmlajšimi slovenskimi pokrajinami. Glede zgradbe gričevja in dolin Slovenskih goric je dobro poznati predvsem dogajanje v novejšem razvoju zemeljskega površja. V terciarni dobi je namreč zaradi posedanj površja v alpskem območju in predgorjih morje znova preplavilo kopno ozemlje današnje Štajerske. V plitvo Panonsko morje so reke nanosile veliko proda, peska in mulja. Tako se je naložila debela plast usedlin, ki se je v spodnjem starejšem delu spremenila v apnenec, skalno osnovo današnjih gričev, na njej pa so še plasti mlajših usedlin laporja, peščenjakov in gline. Ko je morska voda iz Panonske kotline odtekla proti Črnemu morju, so ostala le močvirna tla oziroma kopno ozemlje. Tako kakor na hribovju v zaledju so ta svet porasli današnjemu podobno grmičje, drevje in močvirno rastje ter se na njem naselilo živalstvo. Po površju odtekajoča padavinska voda se je zbirala v potokih, ki so si utirali struge ter s poplavami in nanosi oblikovali današnje doline in vodovje. Na ta način sta nastali tudi porečji Pesnice in Ščavnice (Lah, 1996).

Doline so bile do najnovejše dobe močvirne in poplavne, tla v dolinah pa hladna in težka za obdelavo. Zaradi tega so kmetovalci v ne tako oddaljeni preteklosti začeli z obsežnimi izsuševalnimi deli, s katerimi so spremenili vodne razmere predvsem v Pesniški in Ščavniški dolini ter pridobili nekaj zemlje za obdelavo (Lah, 1996).

Dolina reke Pesnice je v preteklih nekaj desetletjih s programom ekološko skrajno neprimernih regulacij in agromelioracij izgubila velik del naravnih in krajinskih vrednot. Glavna posebnost Pesniške doline so številni ribniki, ki jih zaradi velikosti in lepega krajinskega videza mnogi imenujejo tudi jezera (Jež, 1996).

3.1.3 Arheološki pregled pokrajine

Najstarejšo poselitev pokrajine lahko pripišemo obdobju starejše prazgodovine, kar dokazujejo razmeroma številne posamične najdbe kamnitih sekir in drugega glajenega orodja. Med pomembnejše lokacije najstarejše poselitve v lenarški okolici sodijo zagotovo naselbinski ostanki na Andrencih, kjer so bili pred dobrega pol stoletja odkriti ostanki dveh prazgodovinskih objektov (Pahič, 1976). Podobne najdbe so bile odkrite tudi v Spodnjem Porčiču (Pahič, 1996). Eneolitska in bronastodobna poselitev prostora je bila do nedavnega zelo slabo poznana, dokazana le skozi posamezne najdbe kovinskih sekir (Cerkvenjak, Osek). V zadnjih letih se naše poznavanje poselitve v bronasti dobi v Slovenskih goricah močno dopolnjuje. Tudi železnodobna poselitev pokrajine je za seboj pustila le malo sledi, na osnovi katerih bi si lahko ustvarili popolnejšo podobo življenja v tem času. Najbolj znane med zgodnjimi železnodobnimi najdbami so zagotovo tiste iz grobov iz okolice Benedikta (Tomaž, 2010). Iz bližnjega Ženjaka iz okolice Benedikta pa izvira znamenita depojska najdba negovskih čelad, ki so bile naključno najdene že daljnega leta 1811 (Pahič, 1996).

Enega izmed najbolj vidnih arheoloških sledov preteklosti, ki jih najdemo v osrčju Slovenskih goric, zagotovo predstavljajo številna gomilna grobišča oziroma posamične gomile. Gomile se med seboj razlikujejo tako po velikosti kakor tudi časovni opredelitvi ter po pridatkih v grobovih. Nekaj gomil je časovno neopredeljenih, ker so bile bodisi že prekopane in poškodovane z nestrokovnimi posegi ali pa še niso bile raziskane. Časovni razpon gomil na območju sega od redkih železnodobnih do rimskih provincialnih. Za gomile na področju današnje Štajerske, še posebej za tiste v Slovenskih goricah, pa je značilno, da je v njih v žarah pokopan eden ali največ dva pokojnika (Tušek, 1996).

Na splošno velja, da ledinska imena krajev, denimo »Gomila«, »Gomile«, »Gomilci«, »Megile« idr. še danes spominjajo na nekdanja gomilna grobišča in posamične gomile. Mnogi toponimi so namreč dejansko povezani z arheološkimi najdišči. Tako gomila predstavlja prazgodovinske in rimske pokope (Truhlar, 1975).

Gomile so se pri nas pojavile že v bronasti dobi, v železni dobi pa so bile na Štajerskem prevladujoča oblika pokopa. V zelo podobni obliki so nastajale tudi po prihodu Rimljanov, ki gomil sicer niso poznali. Še vedno ni povsem jasno, kakšni so bili razlogi za njihov nastanek, najbolj uveljavljena pa je hipoteza, ki pravi, da gre za staroselsko obliko pokopa. Z njo so lahko označili grobove na učinkovit in za to okolje že poznan način. V gomilah so pokopavali predvsem na podeželju. Najbolj pogoste so gomile na Štajerskem, v Prekmurju in na Gradiščanskem (Nestorovič et al, 2010)..

V Sloveniji jih je največ v Slovenskih goricah, kjer je njihovo jedro. V 60. letih dvajsetega stoletja je bilo v Slovenskih goricah ohranjenih okrog 800 gomil. Pojavljajo se v skupinah ali posamično, večinoma imajo premer med 6 in 13 m, visoke pa so 0.5 do 1.5 m. Redke so velike gomile, ki dosegajo premer do 25 m in višino do 3,5 m. Najmanjše pa imajo premer do 3,5 m in so visoke le 20 cm. V gomili je ponavadi le en grob, ki je praviloma žgan. Pri nizkih gomilah ga varuje kamnit obod ali skrinja, pri velikih zidana grobnica (Nestorovič et al, 2010). Poleg nenavadne osredotočenosti v osrednjih Slovenskih goricah zbuja pozornost praznina na ravninah, ki je verjetno posledica intenzivnejšega poljedelstva, poplavnih področij ali pa so bile gomile uničene ob intenzivni obdelavi zemlje. Lokalne skupine so opazne še na mariborskem območju južno od Drave, vzhodno od Slovenske Bistrice, okrog Ormoža ter po ravninskem in gričevnatem svetu vzhodno od Murske Sobotice. Izven teh področij so bile najdene le posamične gomile.

Velike skupine gomil so redke, 57 oz. 50 gomil imata le dve najdišči. Slaba tretjina najdišč obsega od 5 do 25 gomil, druga tretjina od 2 do 5 gomil, v tretjo pa sodijo posamezne gomile. Več kot 80 % posamičnih gomil oziroma grobišč leži v gričevnatem svetu, največkrat na slemenih gričev, na pobočjih ali ob vznožjih, preostale so na ravninah, najredkeje na dnu dolin. V nizkem gričevju Slovenskih goric se nahajajo do 300 m nadmorske višine.

Najdbe datirajo grobove v drugo polovico 1. stoletja, večinoma pa v 2. stoletje. Ponekod se je pokop z žaro v gomili ohranil še v 3. stoletju, gomile s skeletnim pokopom pa se pojavljajo v notranjosti Slovenskih goric še v 4. stoletju (Pahič, 1972).

3.1.4 Zgodovinski pregled pokrajine

Kot prvo strnjeno naselje na tem prostoru se omenja Radehova (Radech). Ime naselja se namreč v listinah pojavlja prej kot ime Sv. Lenart. Zaradi boljše vodne oskrbe in ugodnejše lege pa se je naselje preselilo k cerkvi sv. Lenarta, ki so jo sezidali nekoliko vstran od Radehove (Slana, 1996).

Zaradi izjemno dobre strateške lege je Sv. Lenart razmeroma kmalu dobil trške pravice (leta 1332), čeprav se o njem tudi še v začetku 15. stoletja piše kot o vasi. Trške pravice je kasneje v letu 1447 potrdil tudi kralj Friderik IV. Habsburški. V srednjem veku se je Sv. Lenart, predvsem po zaslugi plemiške rodbine Herbersteinov, razvil v pomembno gospodarsko, upravno, cerkveno in kulturno središče za velik del Slovenskih goric. Zgodovina lenarške okolice je bila tesno povezana tudi z bližnjim gradom Hrastovec, ki je kot obmejna trdnjava verjetno deloval že v 10. stoletju (Slana, 1996).

3.1.5 Terensko delo

V času izdelave diplomskega dela smo obiskali nekaj ključnih najdišč, ki so obravnavana v nalogi. V spremstvu arheologov, ki okolico dobro poznata z arheološkega, zgodovinskega in geološkega vidika, smo se najprej povzpeli na stolp na Zavrhu, kjer smo od daleč preučevali pokrajino. Nato smo si ogledali štiri obsežnejša arheološka najdišča (Spodnji Porčič, Brengova in dve v bližini Andrecev), ki obsegajo od 3 do 15 gomil.

Na koncu smo opredeli potencialne spremenljivke in parametre modeliranja, na osnovi katerih so bili določeni okviri naloge. Z zavedanjem, da je DMV osnova za izdelavo spremenljivk, smo kot osnovne spremenljivke določili naklon reliefa, ukrivljenost reliefa, nadmorsko višino, oddaljenost od naselij, osončenost, ekspozicijo in območje vidnosti z gomil in z naselij. Vse so opisane v poglavju 4.2. Opredelili smo tudi ostale spremenljivke, ki bi bile pomembne pri modeliranju in jih ni mogoče pridobiti iz DMV-ja: raba tal, geološka in pedološka sestava tal.

3.2 Baza podatkov

3.2.1 Podatki o okolju

Glavni vir za izgradnjo podatkovne baze je bilo Ministrstvo za okolje in prostor, ki s svojim spletnim portalom omogoča naročanje prostorskih podatkov. Tu smo pridobili naslednje:

- Digitalni model reliefa - DMV 12,5 (2005);
- Digitalna topografska karta v merilu 1 : 5000 - DTK5 (2005);
- Digitalna topografska karta v merilu 1 : 25.000 - DTK25 (2009);
- Digitalni ortofoto 1 : 5000 - DOF 5 (2009).

Osrednji del naloge predstavljajo analize, ki temeljijo na DMV-ju. DMV je torej ključni element, iz katerega je moč ustvariti vrsto informacij o prostoru, ki služijo pri reševanju okoljskih in naravovarstvenih problemov. V raziskavi smo uporabili DMV 12,5, ki velja za enega izmed geomorfološko najboljših DMV-jev Slovenije (GURS, 2005). Izdelali so ga med leti 2003 in 2005 iz obstoječih podatkov Geodetske uprave RS (Podobnikar, 2006). DMV je geomorfološko kakovosten, zato je primeren za izdelavo geomorfoloških spremenljivk. Rastrska oblika DMV-ja je primerna za številne vrste analiz.

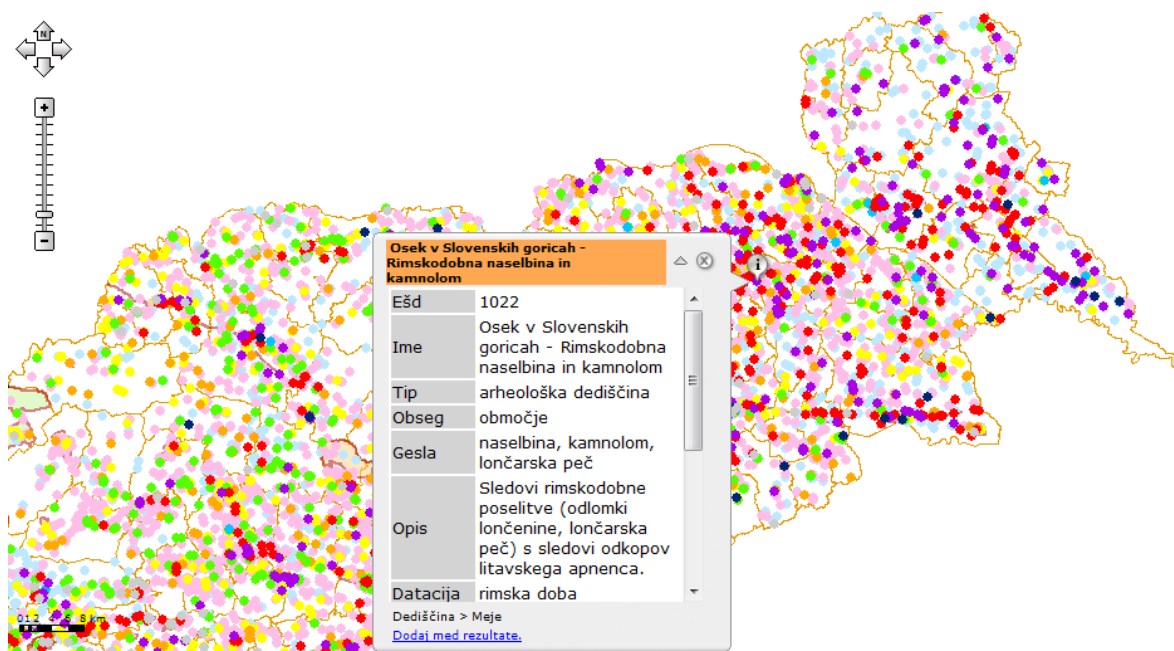
DOF 5 omogoča prepoznavanje pokrajine in pojavov v njej (predvsem vegetacije). Služi torej kot dodaten pripomoček pri orientiranju in pri prenašanju podatkov iz drugih podatkovnih baz.

Digitalni topografski karti DTK5 in DTK25 v vektorski obliki sta na voljo v več slojih po več listov. Ti podatki so služili predvsem kot dodatne informacije pri izvedbi analiz.

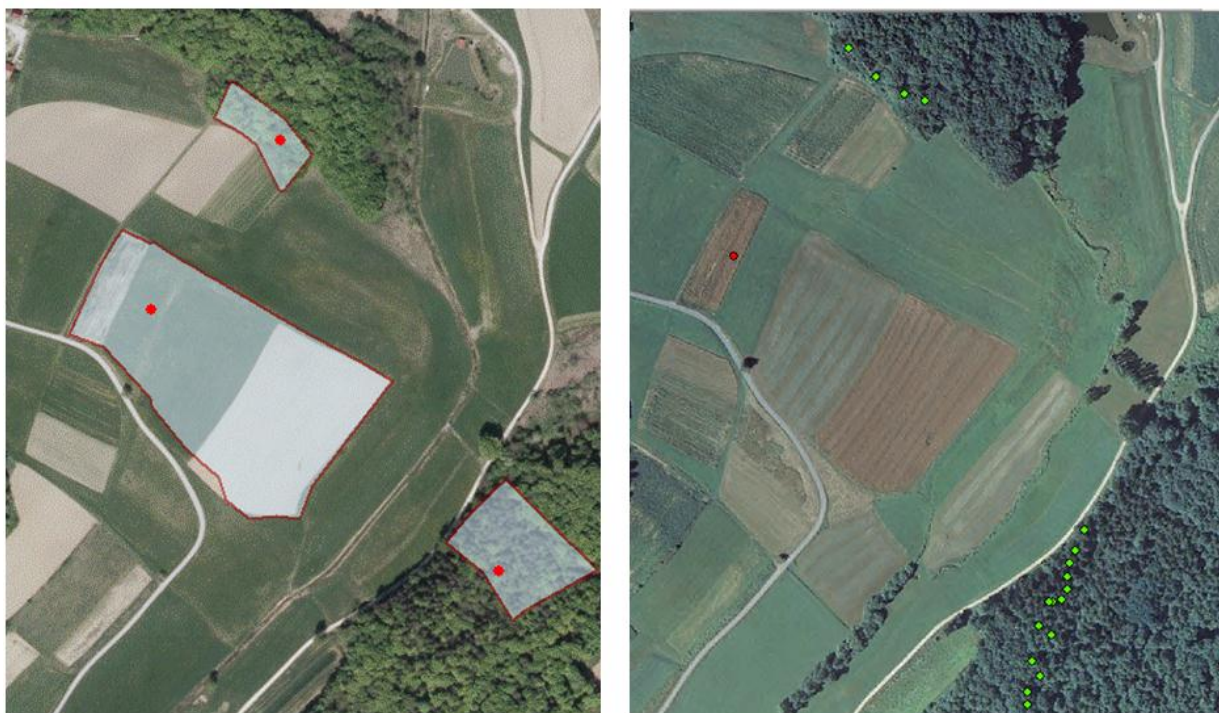
3.2.2 Arheološki podatki

Največ podatkov o arheoloških najdiščih (80%) smo pridobili z registra nepremičnin kulturne dediščine (slika 7). Drugi vir arheoloških podatkov je Arheološki kataster Slovenije. To je podatkovna zbirka arheoloških najdišč Slovenije, ki so bila objavljena ali zabeležena v topografskih zapisnikih Inštituta za arheologijo ZRC SAZU. Točke so bile posnete na terenu z geodetskimi instrumenti. Vse lokacije gomilnih grobišč, ki so arhivirane v arheološkem katastru, se nahajajo tudi v registru kulturne dediščine. Ta register je obsežnejši, vendar slabši z vidika prostorske natančnosti, poleg tega pa je iz njega težje zajeti podatke.

Za nalogo smo izbrali arheološka najdišča iz rimskih časov. Med arheološkimi strukturami iz opredeljenega obdobja na raziskovanem območju prevladujejo gomilna grobišča, manj pa je sledov naselbin in rimskih podeželskih vil.



Slika 7: Register nepremičnin kulturne dediščine



Slika 8: Primerjava registra kulturne dediščine in ustvarjene baze podatkov

Slika 8 prikazuje register kulturne dediščine (levo) in bazo podatkov, ki smo jo za potrebe naloge izdelal s programom ArcGIS (desno). Obe karti prikazujeta isto območje. Arheološka najdišča so v registru predstavljena s poligoni, medtem ko smo jih v bazo shranili v obliki točk. To smo storili tako, da smo vizualno identificirali lokacijo in jo s pomočjo DOF-a 5 prenesli v bazo, ki smo jo ustvarili s programom ArcGIS. Izbrali smo približna težišča parcel, kar pomeni, da je pri lociranju lahko prišlo do večjih odstopanj v horizontalnem (do 20 m) in posledično tudi v vertikalnem smislu. Kljub temu smo se odločili za točkovno shranjevanje podatkov, saj je ta način primernejši za vnos podatkov, enostavnejše pa so tudi analize.

Primerjava prikazuje tudi razlike med registrom kulturne dediščine in arheološkim katastrom Slovenije. Z rdečo je na desni sliki označeno najdišče, ki sem ga prenesel iz registra, z zeleno pa so označeni podatki iz katastra. Če karti primerjamo, že na prvi pogled izstopa najdišče desno spodaj – tako po lokaciji, kot po obliki. Iz primera je evidentno, da bazi nista usklajeni. Točke arheološkega katastra niso na isti lokaciji kot poligon v registru, prav tako se podatki ne ujemajo po porazdelitvi oz. obliki.

Prvotno smo v bazo vnesli točke iz arheološkega katastra v obliki xyz⁶ datotek, kasneje pa smo dodali še točke z registra kulturne dediščine. Ker register ne vsebuje koordinat točk, je bil vnos teh podatkov bolj zapleten. Prostorske koordinate smo določili s primerjavo lokacije na podlagi DOF-a in nato poizvedovanja na sloju DMV 12,5. Pri vnašanju smo bili pozorni na

izbiro centroidov nahajališč. V območju poljubnega nahajališča smo vedno izbrali točko, ki je najbolj izstopala po vidnosti (točke na prevojih, najvišje ležeče točke).

3.3 Strojna in programska oprema

Z vidika potrebne strojne opreme naloga ni bila zahtevna. Za izvedbo smo uporabili le osebni računalnik. Uporabili smo tudi prevozno sredstvo za transport do preučevanega območja.

Nekoliko širši je seznam uporabljene programske opreme. Potrebovali smo celo vrsto programskih paketov in orodij, in sicer:

- **Microsoft Office** (Word, Excel, Power Point, Picture Manager)

Orodja programskega paketa Microsoft Office smo uporabili za pisanje diplomske naloge (Word), za urejanje slik (Picture Manager), za izdelavo tabel, grafov ter kot pripomoček pri statističnih analizah in urejanju baze podatkov (Excel).

- **ArcGIS Desktop 9.2** (ArcCatalog, ArcMap)

Paket ArcGIS Desktop smo uporabili pri večjem delu analiz prostorskih podatkov. V programu ArcMap smo zgradili celotno bazo podatkov, iz katere smo nato črpali nove informacije in generirali nove spremenljivke. Program omogoča kakovostno vizualizacijo podatkov in izvažanje slik v uporabnih zapisih za njihovo predstavitev. V ArcMap-u smo ustvarili vse napovedovalne modele.

- **SAGA GIS**

Ta program vsebuje veliko število modulov za prostorske analize. V naši nalogi smo ga uporabili za generiranje izbranih geomorfoloških spremenljivk. Primeren je za obdelavo vektorskih in rastrskih podatkov. Je neplačljiv, naložimo ga lahko preko spleta.

- **LandSerf**

Program Landserf smo uporabili kot pomožni program pri prostorskih analizah. Namenjen je analizi in obdelavi rastrskih podatkov.

- **OpenStat**

V tem programu smo izvedli vse statistične analize. Je odprtokodni program, ki ga lahko naložimo preko spleta. Velika prednost OpenStat-a pred večino ostalih programov za statistične analize je enostavna praktična uporaba, saj module sprožamo s klikanjem.

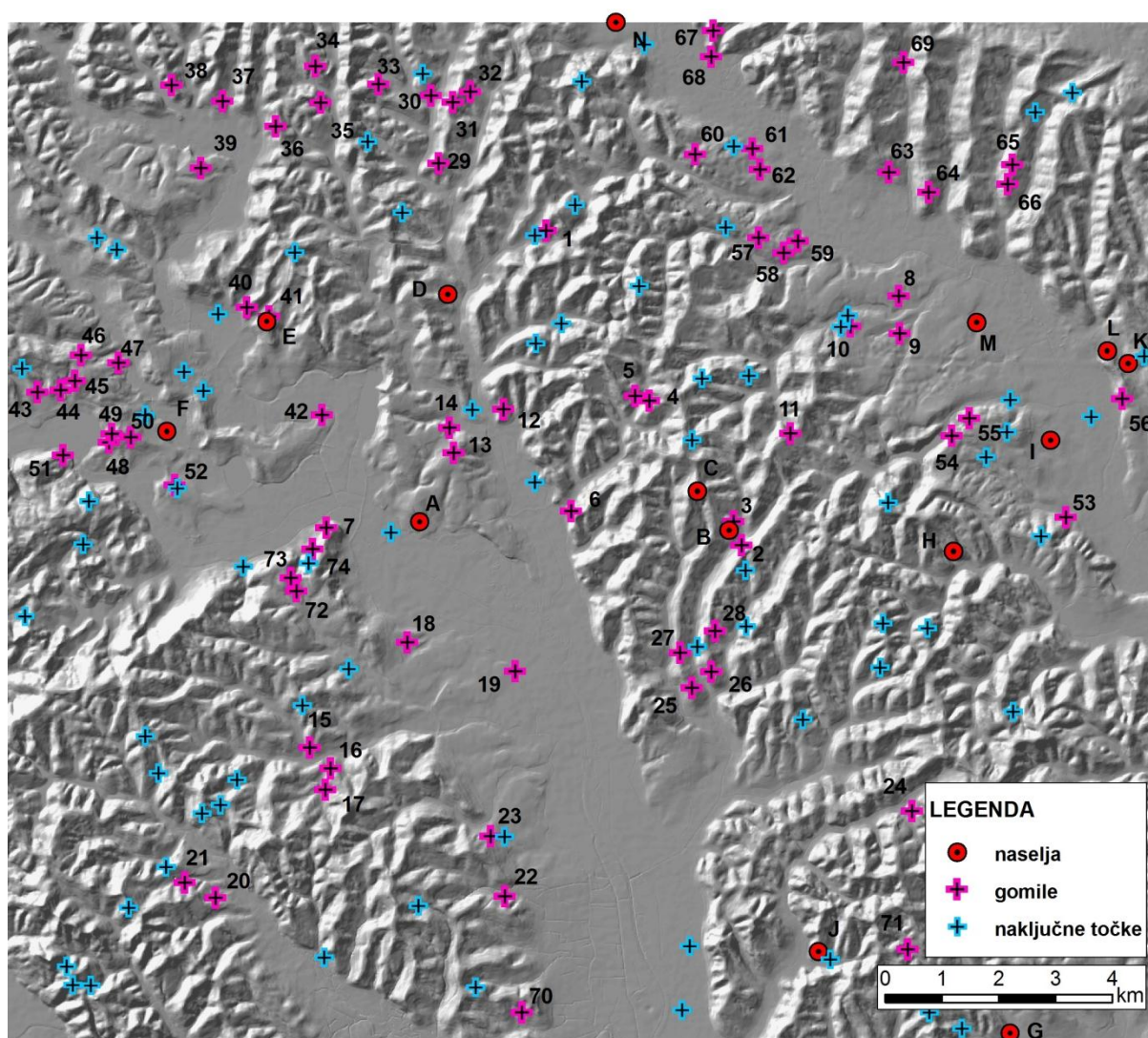
4 OBDELAVA PODATKOV IN ANALIZE

Orodja geografskih informacijskih sistemov nam nudijo nešteto možnosti in pristopov k okoljski problematiki. Rešljivost nekega problema je danes odvisna predvsem od razpoložljivosti podatkov o okolju in ne več toliko od zmogljivosti tehnologije. Na voljo smo imeli skromen nabor protorskih podatkov, prav tako so dognanja o zgodovini raziskovane regije ohlapna. Zato smo k projektu pristopili z induktivnim pristopom. Naloge smo se lotili tako, da smo iz pridobljenih prostorskih podatkov generirali nove spremenljivke, ki ponazarjajo različne aspekte prostora. Večino spremenljivk smo v nadaljevanju uporabili kot sestavne dele napovedovalnih modelov.

4.1 Generiranje naključnih točk

Za primerjavo in vrednotenje podatkov smo potrebovali vzorec naključnih točk, ki bi bil po velikosti enak vzorcu nahajališč. V programu ArcGIS smo s Hawthovim orodjem generirali naključne točke. Ker so točke generiranega vzorca naključno razporejene, je ta reprezentativen za celotno območje. Število točk v naključnem vzorcu, ki smo ga generirali za testiranje in primerjavo s točkami gomil, je bilo 74 (slika 9).

Na lokacijah naključnih točk smo nato za vsako spremenljivko odčitali vrednosti in tako pridobili vzorce za testiranje značilnosti. Primerjavo med gomilnimi grobišči in naključnimi točkami smo izvedli tako, da smo za vsako spremenljivko najprej izdelali frekvenčni histogram. Nadaljnje raziskave pa smo izvedli v okviru statističnih analiz, s katerimi smo analizirali normalnost in značilnost porazdelitve prostorskih podatkov.



Slika 9: Lokacije naključno generiranih točk, gomil in naselbin; za ozadje senčen relief

4.2 Analize prostorskih spremenljivk

Na podlagi DMV-ja 12,5 (GURS 2005) in poznanih lokacij arheoloških najdišč smo v GIS-programih izdelali geomorfološke in ekonomsko-socialne spremenljivke.

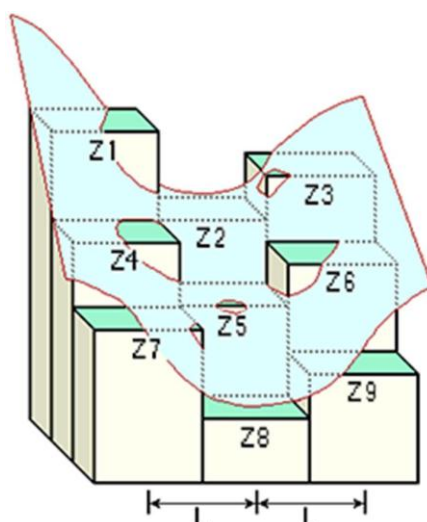
a) Spremenljivke, ustvarjene s programom ArcGIS (ESRI, 2007):

Večino spodnjih algoritmov program izračuna z uporabo lokalnega okna (slika 10). Za izračun določene spremenljivke izberemo velikost okna: 3 x 3 celice, 5 x 5 celic, 7 x 7 celic ali 9 x 9 celic. Z velikostjo okna določimo, kako veliko je vplivno območje na posamezno računano celico, zato različne velikosti okna dajejo različne rezultate spremenljivk.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Slika 10: Primer razporeditve celic z lokalnim oknom velikosti 3 x 3 celice

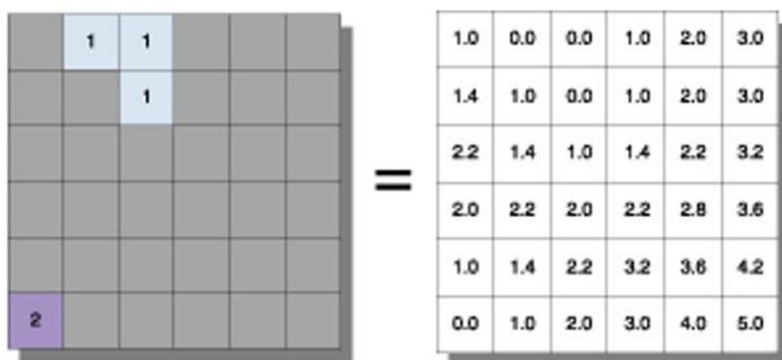
1. **Ekspozicija** – spremenljivka, ki jo ustvarimo iz DMV-ja. Algoritem za izračun te spremenljivke identificira smer padnice za vsako celico. Izhodni sloj ima za vsako celico zapisano smer padnice (od 0° do 360°).
2. **Osončenost** – osončenost je sestavljena iz treh komponent: neposredne, difuzne in odbite svetlobe. Algoritem programa ArcGIS izračuna vsoto neposredne in difuzne svetlobe.
3. **Naklon** – algoritem iz DMV-ja izračuna največjo spremembo vrednosti osrednje celice glede na vsako od sosednjih osmih celic. Največja sprememba višine podaja najstrmejšo pobočje. Funkcija naklona torej definira lokalno okno izbrane velikosti okrog srednje celice (slika 10).
4. **Ukrivljenost** – izračunana je iz DMV-ja, na podlagi analize višinskih razlik med sosednjimi rastrskimi celicami. Če uporabimo okno 3 x 3 celice, algoritem za vsako celico določi polinom četrtega reda (slika 11).



Slika 11: Prikaz delovanja algoritma ukrivljenosti z oknom 3 x 3 celice

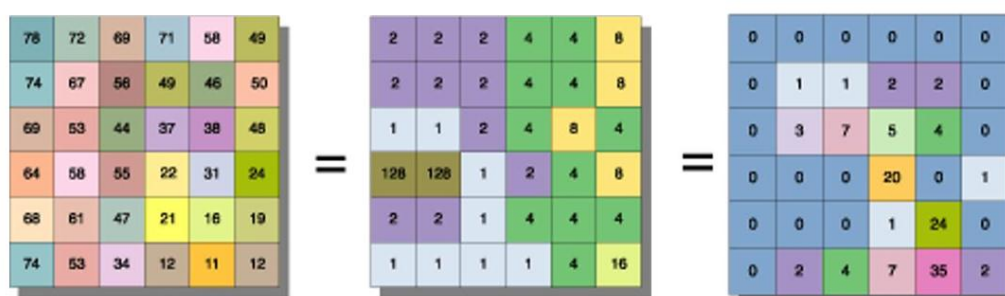
5. **Ploskev evklidske razdalje** – izračunana je iz centra izvornih celic do centra sosednjih celic. Funkcija deluje tako, da za vsako celico izračuna razdaljo do izvirne

celice. To izvede z izračunom diagonale med točkama. Slika 12 predstavlja vhodni podatek o izvornih celicah, za katere se računa razdalja in izhodni podatek, ki prikazuje vrednosti evklidske razdalje.



Slika 12: Delovanje algoritma evklidska razdalja

6. **Ploskev stroškovne razdalje** – s to funkcijo določimo ploskev, ki omogoča najmanjšo porabo energije pri potovanju od izbrane lokacije do izvorne točke. Izvorna točka je točka, na katero se nanaša analiza. Funkcija stroškovna razdalja uporablja stroškovne enote in ne geografskih. Vhodna podatka sta podatek o izvornih točkah in stroškovni sloj. Za stroškovni sloj lahko uporabimo sloj naklonov.
7. **Višina** – vrednosti spremenljivke so vrednosti posameznih celic DMV-ja
8. **Akumulacija toka** – primer uporabe funkcije je določitev količine padavin, ki padejo znotraj določenega povodja. Vhodni podatek za izračun akumulacije toka je podatek o smeri toka, ki ga izračunamo iz DMV-ja (slika 13).



Slika 13: Postopek izračuna akumulacije toka (v zaporedju si sledijo sloji DMV, smer toka in akumulacija toka)

9. **Območje vidnosti** – funkcija, ki na podlagi DMV-ja za izbrano točko določi območje vidnosti. Algoritem z analizo višinskih razlik med izhodiščno celico in vsako celico n določi ali celica n spada v vidno območje izhodiščne celice. Za izhodiščno celico lahko

nastavimo višino opazovanja. Pri večjih razdaljah lahko upoštevamo tudi vpliva refrakcije in ukrivljenosti Zemlje.

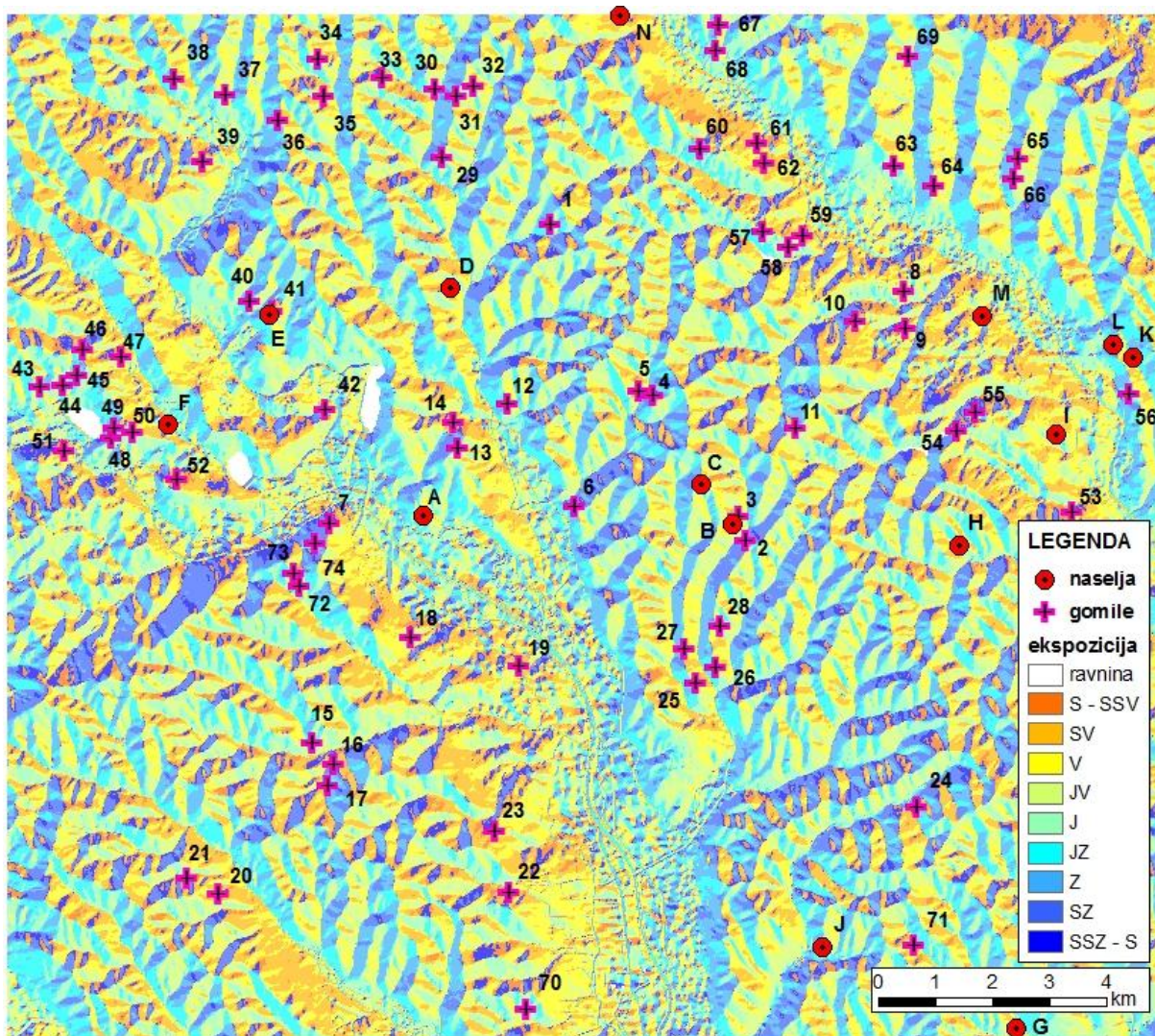
b) Spremenljivke, ustvarjene s programom SAGA:

Spremenljivke, ki smo jih ustvarili v programu SAGA spadajo v skupino analize relativnih višin in značilnosti pobočij. Vse tri spremenljivke so ustvarjene neposredno iz DMV-ja.

10. **Dolžina pobočij** – algoritem, ki izračuna dolžino pobočij, ki imajo naklon brez prekinitve.
11. **Globina dolin** – funkcija, ki izračuna relativno razliko višin površja glede na izbrano velikost lokalnega okna.
12. **Standardizirana višina** – algoritem, ki določi razliko med generalizirano ploskvijo trenda višin in dejanskimi višinami.

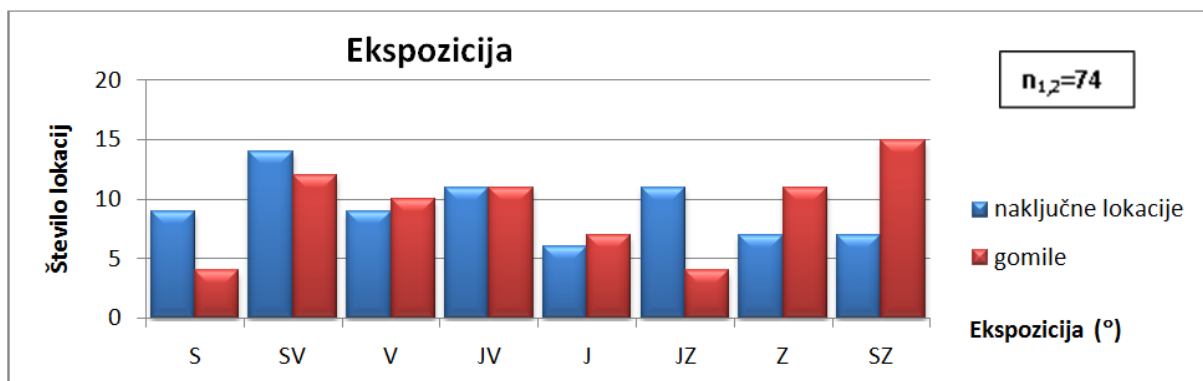
Opomba: spremenljivke v nadaljevanju niso našteje v istem vrstnem redu kot zgoraj. Prav tako vse spremenljivke z zgornjega seznama niso predstavljene vizualno. Predstavili smo tiste, ki so pomembne za izgradnjo arheološkega napovedovalnega modela.

4.2.1 Ekspozicija



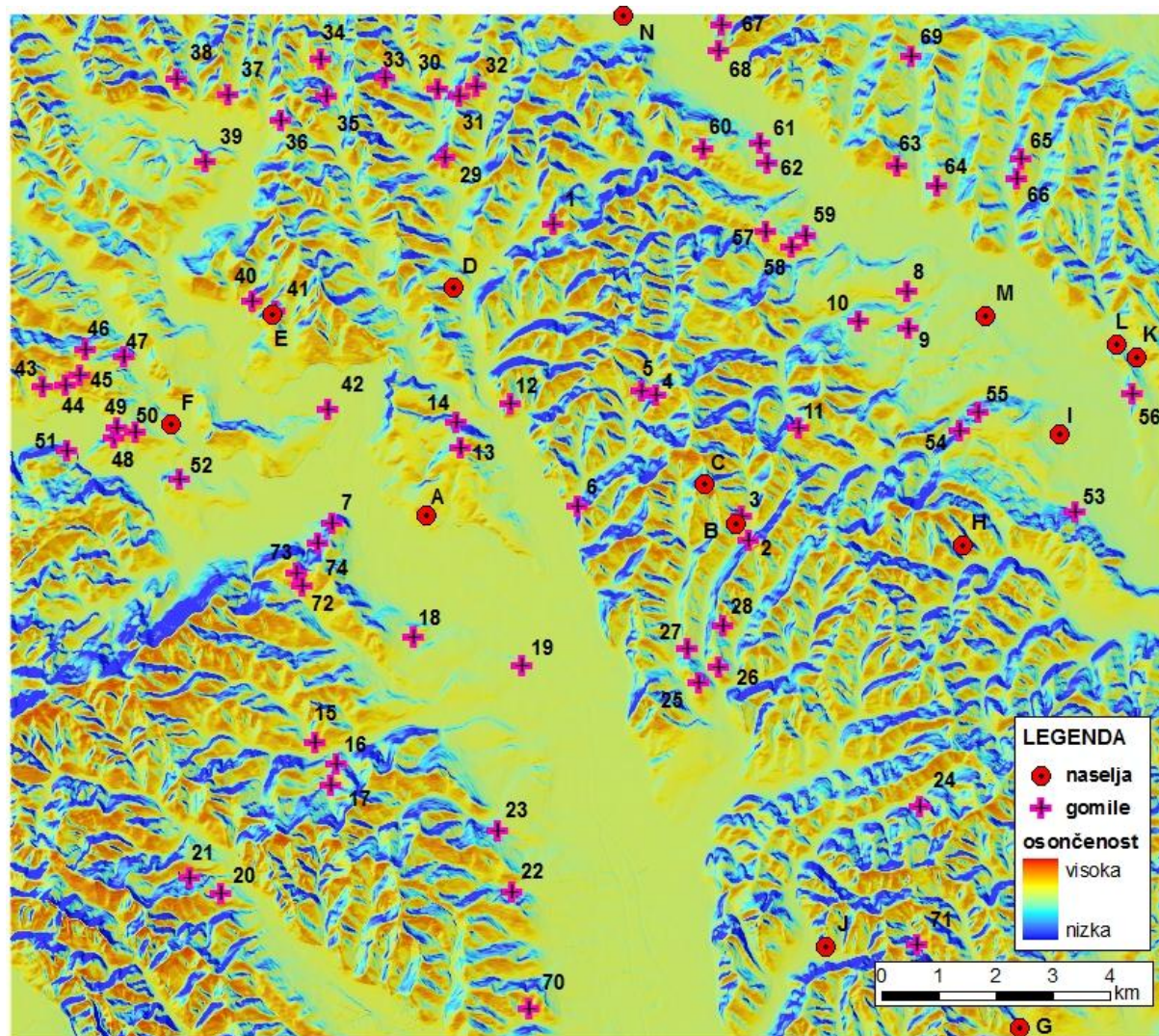
Slika 14: Vizualizacija spremenljivke ekspozicija, gomil in naselij

Na sliki 14 je vizualizirana spremenljivka ekspozicija. S frekvenčnega histograma na sliki 15 je razvidno, da so lokacije gomil razporejene po vseh klasificiranih ekspozicijah (8 razredov). Najmanj gomil je v smeri med SV in S ter v smeri JZ, največ pa v smeri med SZ in S. Za našteje smeri veljajo tudi največja odstopanja, če vzorec gomil primerjamo z naključnimi točkami.



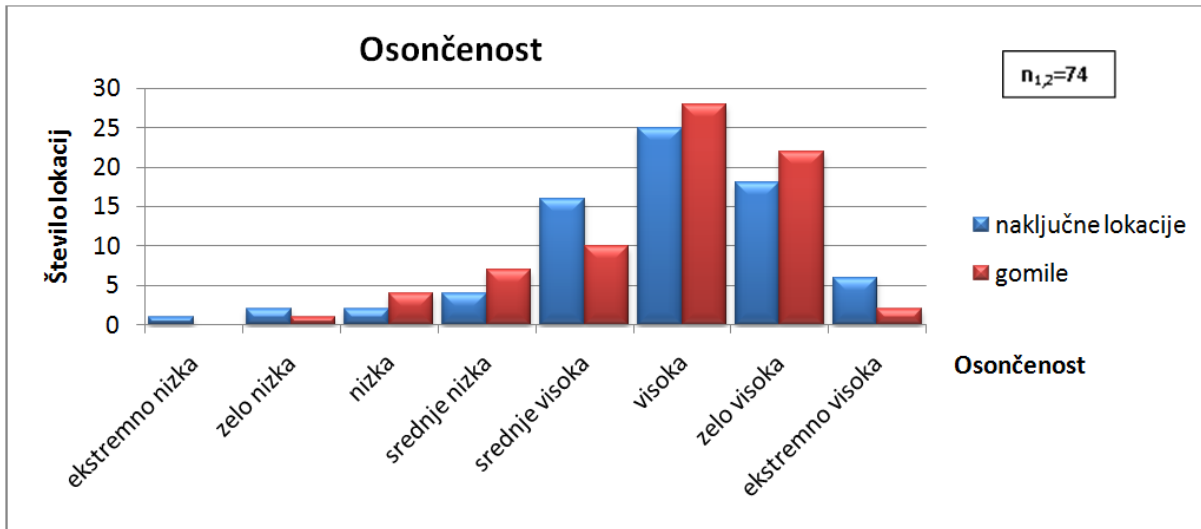
Slika 15: Ekspozicija terena na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

4.2.2 Osončenost



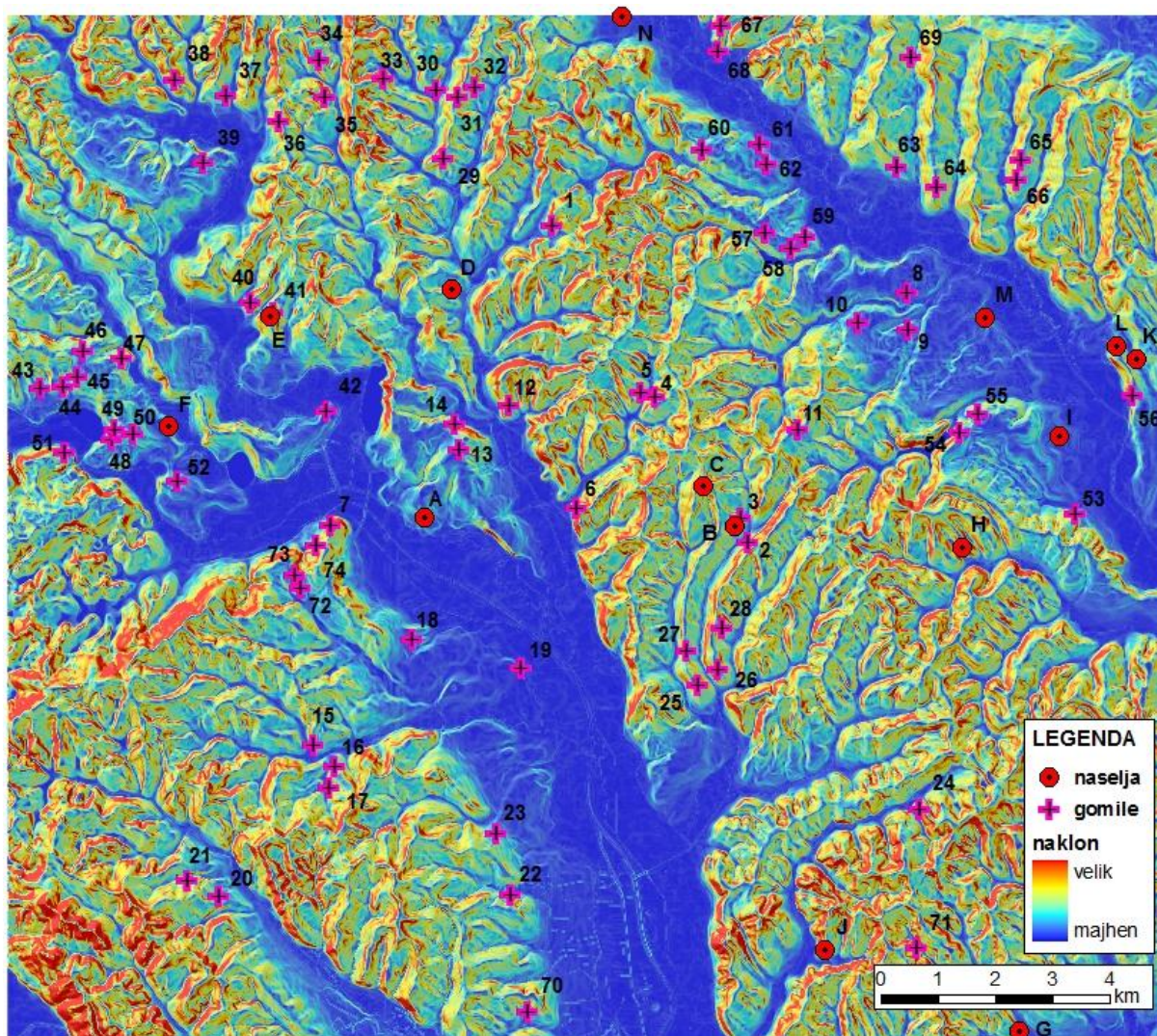
Slika 16: Vizualizacija spremenljivke osončenost, gomil in naselij

Sloj osončenosti (slika 16) predstavlja količino sončne energije, ki pade na posamezno celico (12,5 x 12,5 m). Izračunana je na podlagi polurnih intervalov v treh značilnih dneh leta: poletni solsticij, zimski solsticij in enakonočje. Podatki na sliki 17 kažejo, da se gomile nahajajo na razmeroma visoko osončenih območjih.



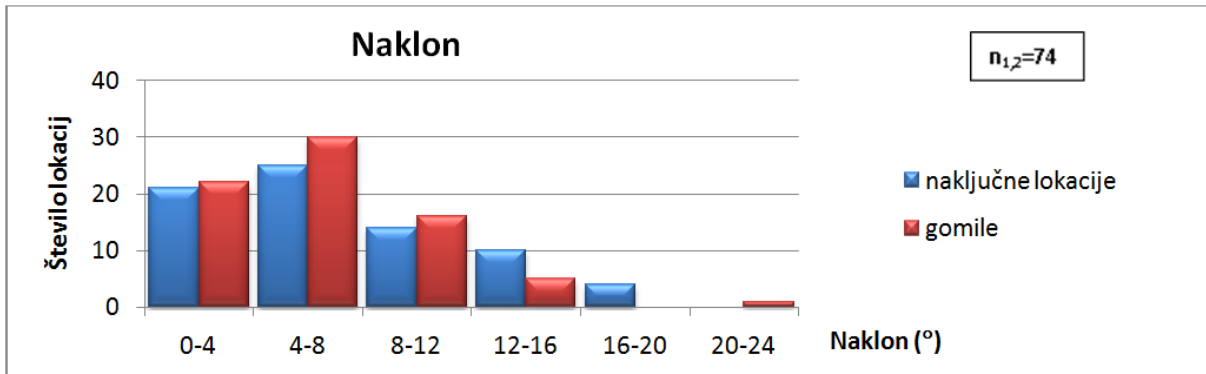
Slika 17: Osončenost na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

4.2.3 Naklon reliefa



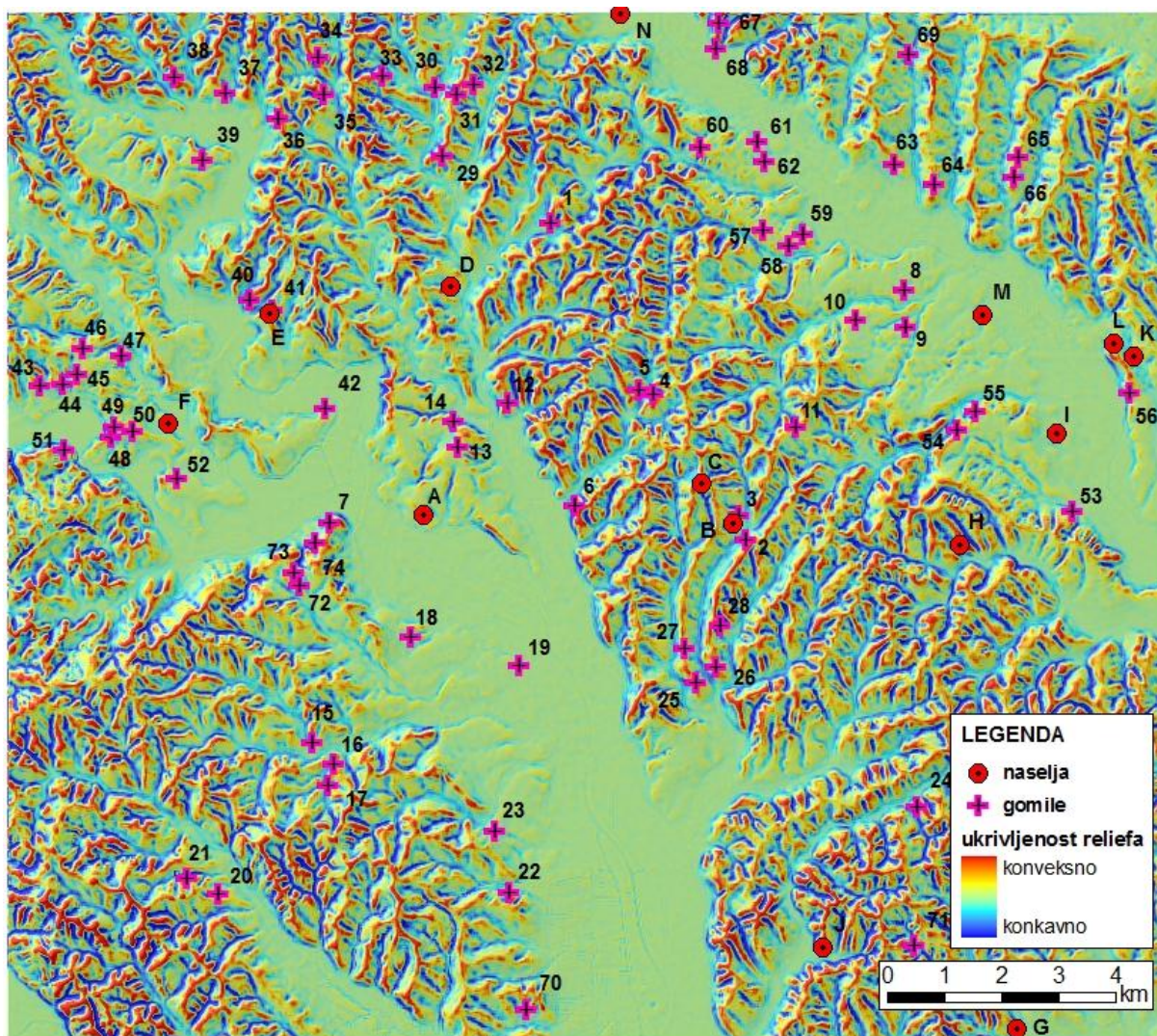
Slika 18: Vizualizacija spremenljivke naklon reliefa, gomil in naselij

Karta naklonov (slika 18) kaže, da se gomile praviloma nahajajo na nagnjenem reliefu. S slike 19 je mogoče razbrati, da je več kot 60 % gomil na pobočjih, strmejših od 5°, 30 % pa na pobočjih z naklonom med 2° in 5°. Le redka so locirana na ravninskem območju.



Slika 19: Naklon reliefa na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

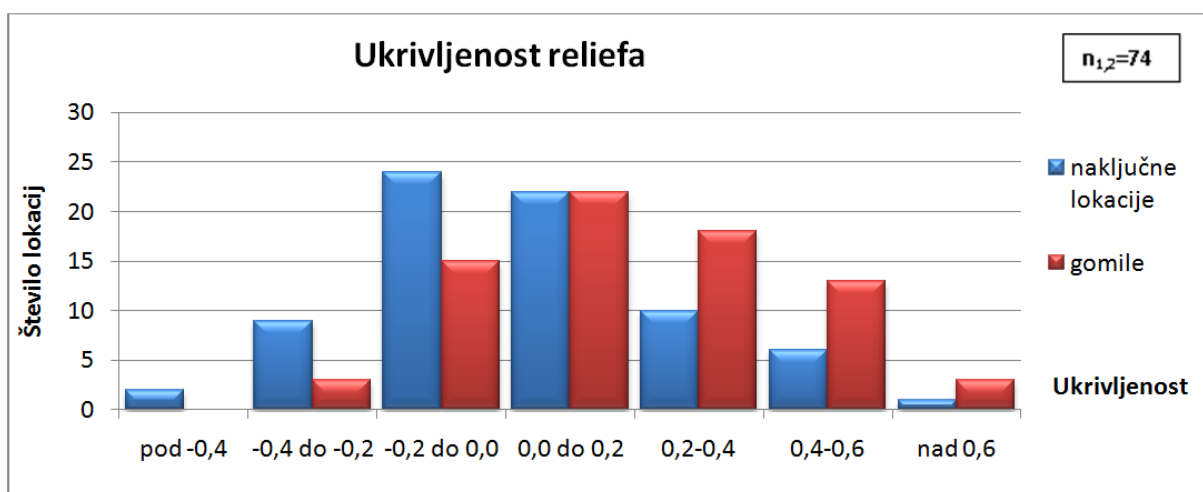
4.2.4 Ukrivljenost reliefa



Slika 20: Vizualizacija spremenljivke ukrivljenost reliefa, gomil in naselij

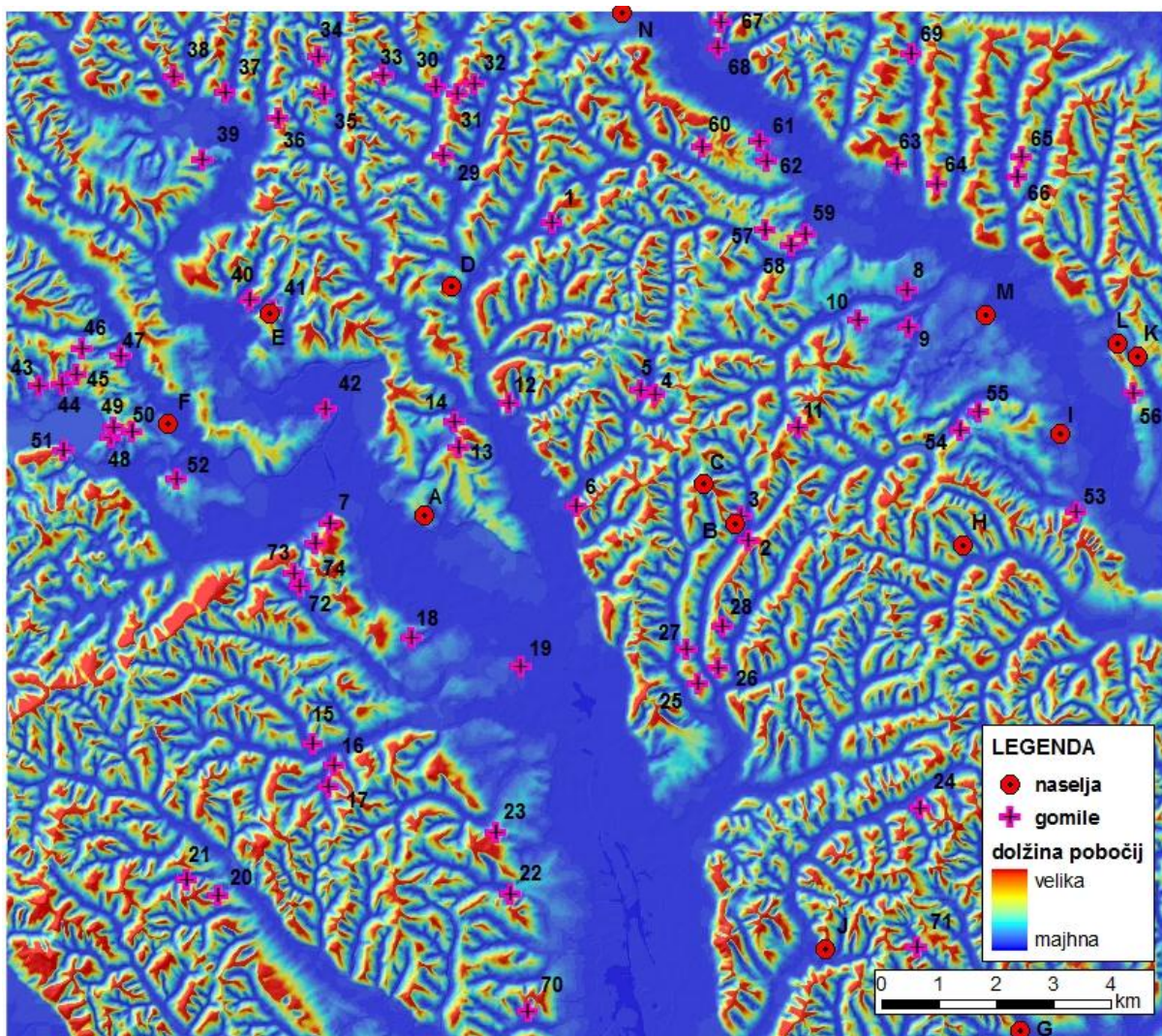
Slaj ukrivljenosti (slika 20) je bil izdelan na podlagi glajenega DMV-ja. Glajenje smo izvedli z lokalnimi okni različnih velikosti: 5 x 5, 7 x 7 in 9 x 9 celic. Karta ponazarja glajen DMV z oknom velikosti 7 x 7 celic.

Vrednosti, ki označujejo ukrivljenost reliefa na sliki 21 so med -1,89 (konkaven relief) in 2,23 (konveksen relief). Gomile so večinoma na konveksnih območjih - približno 55 % je z vrednostmi 0,7 do 0,1. Na neukrivljenih območjih z vrednostmi 0,1 do -0,1 je 40% najdišč, manjši del pa se nahaja na konkavnih območjih (5 % je med vrednostmi -0,1 do -0,3).



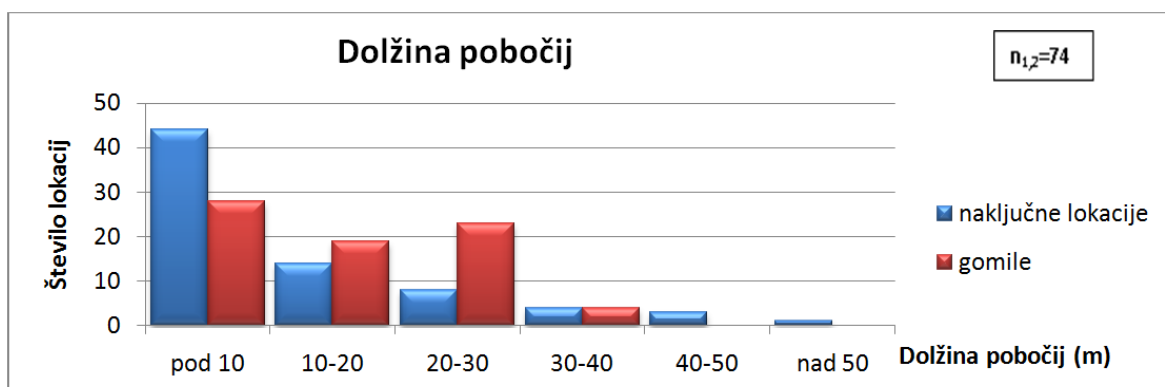
Slika 21: Ukrivljenost reliefa na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

4.2.5 Dolžina pobočij



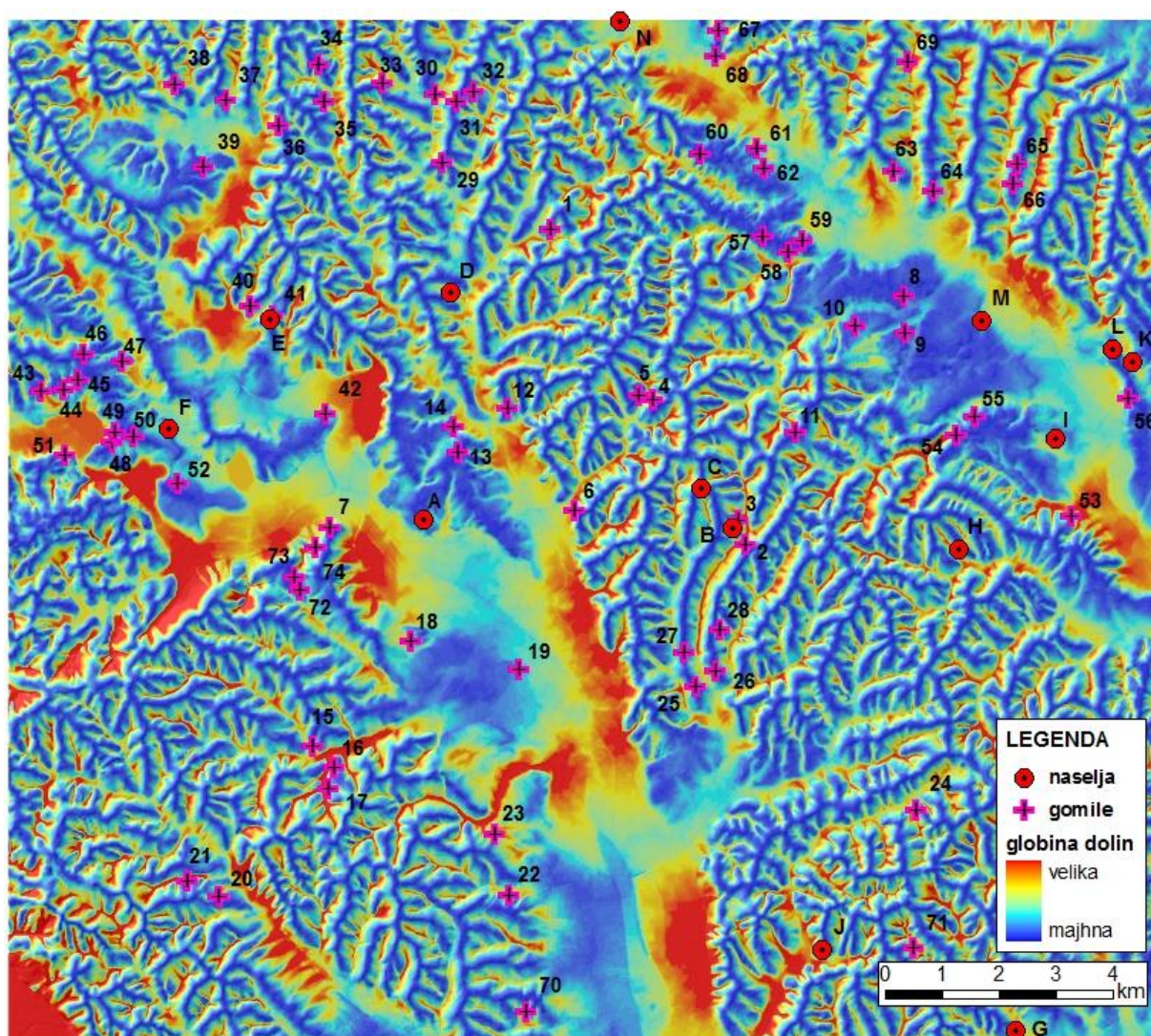
Slika 22: Vizualizacija spremenljivke dolžina pobočij, gomil in naselij

Na sliki 22 je vizualizirana spremenljivka dolžina pobočij. Frekvenčni histogram na sliki 23 kaže, da se gomile praviloma nahajajo na območjih, kjer je vrednost spremenljivke dolžina pobočij manjša od 30. Na tem intervalu, torej med vrednostmi 0 in 30, so gomile enakomerno porazdeljene. Opazimo lahko odstopanje razporeditve gomil od razporeditve naključno razporejenih lokacij.



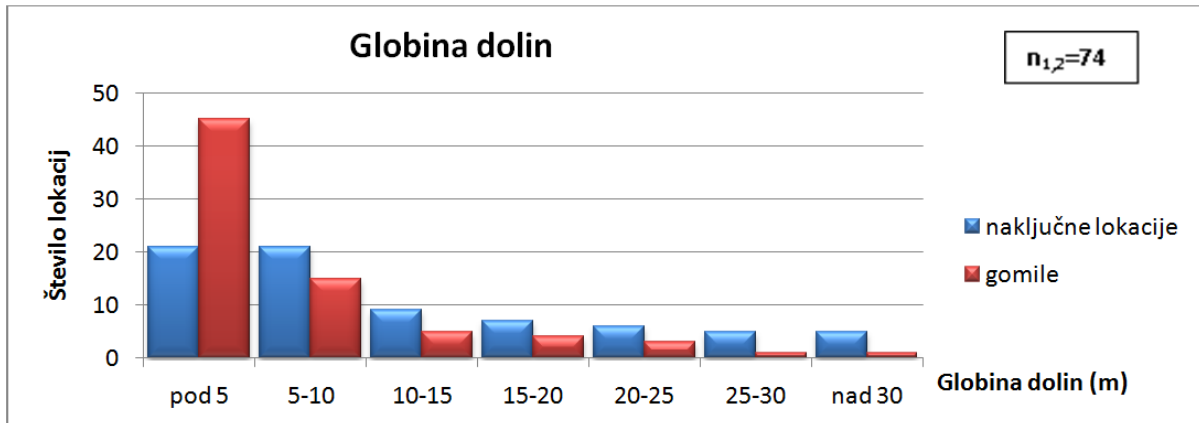
Slika 23: Dolžina pobočij na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

4.2.6 Globina dolin



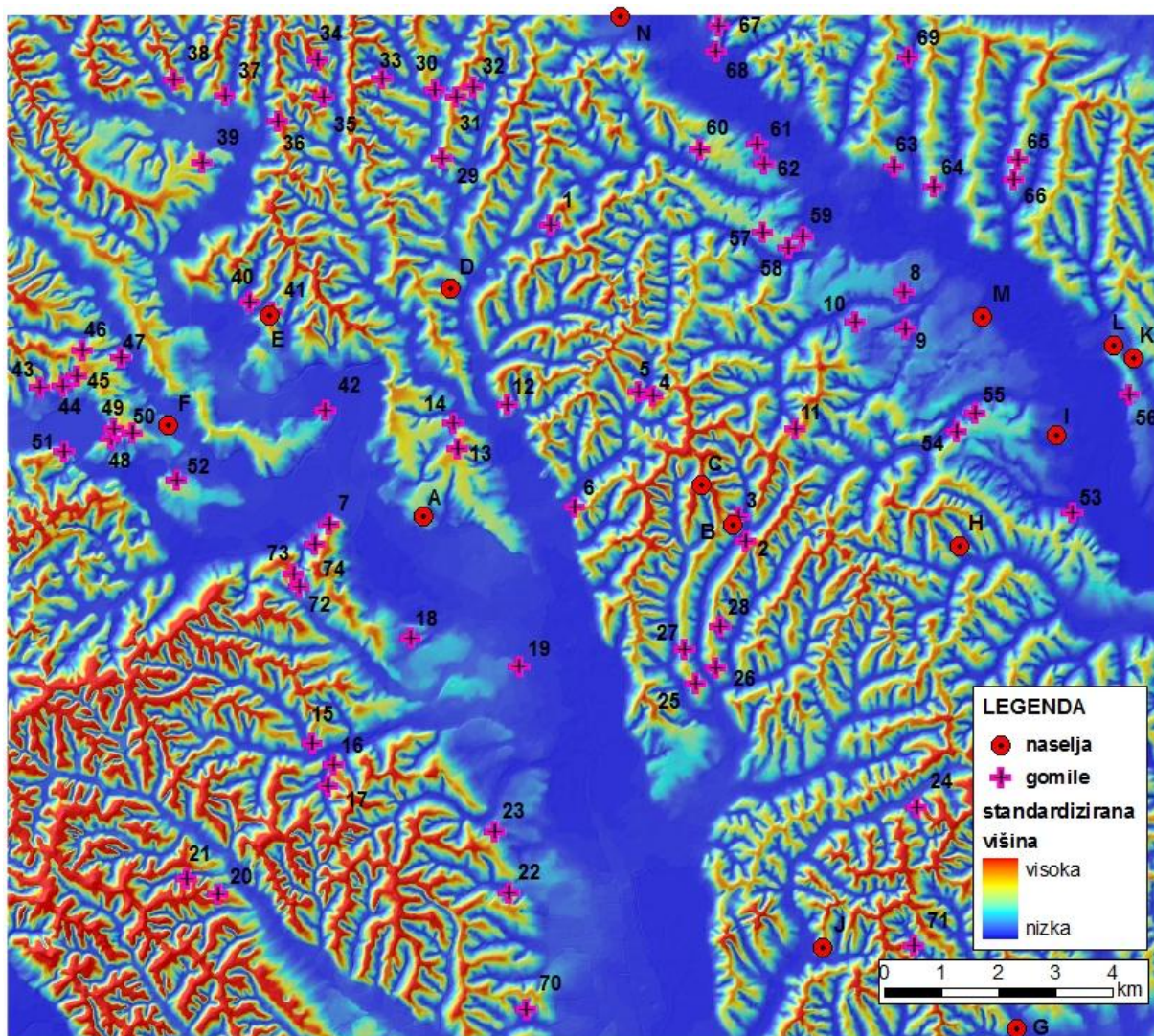
Slika 24: Vizualizacija spremenljivke globina dolin, gomil in naselij

Slika 24 predstavlja spremenljivko globina dolin. Skoraj polovica gomilnih grobišč se nahaja na območjih, kjer je vrednost spremenljivke globina dolin manjša od 5. Opazno je očitno odstopanje od razporeditve naključnih lokacij (slika 25).



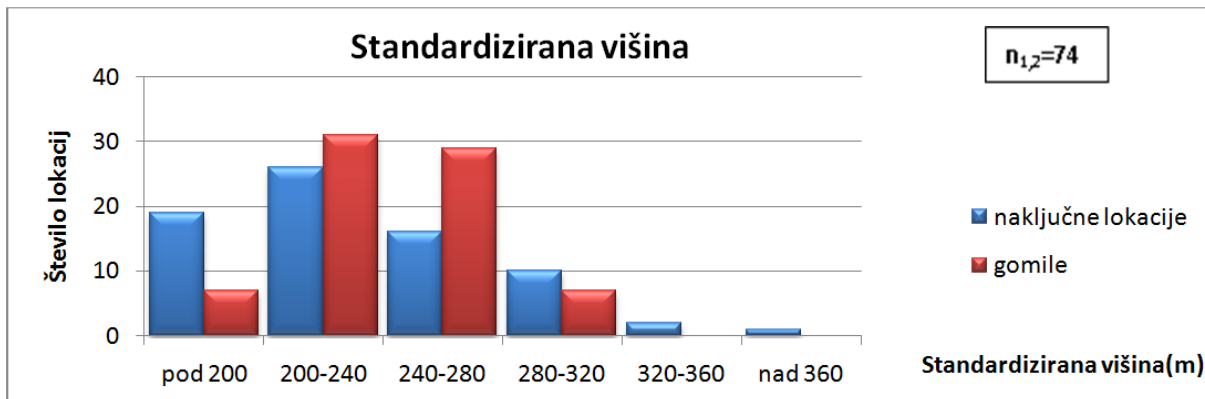
Slika 25: Globina dolin na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

4.2.7 Standardizirana višina



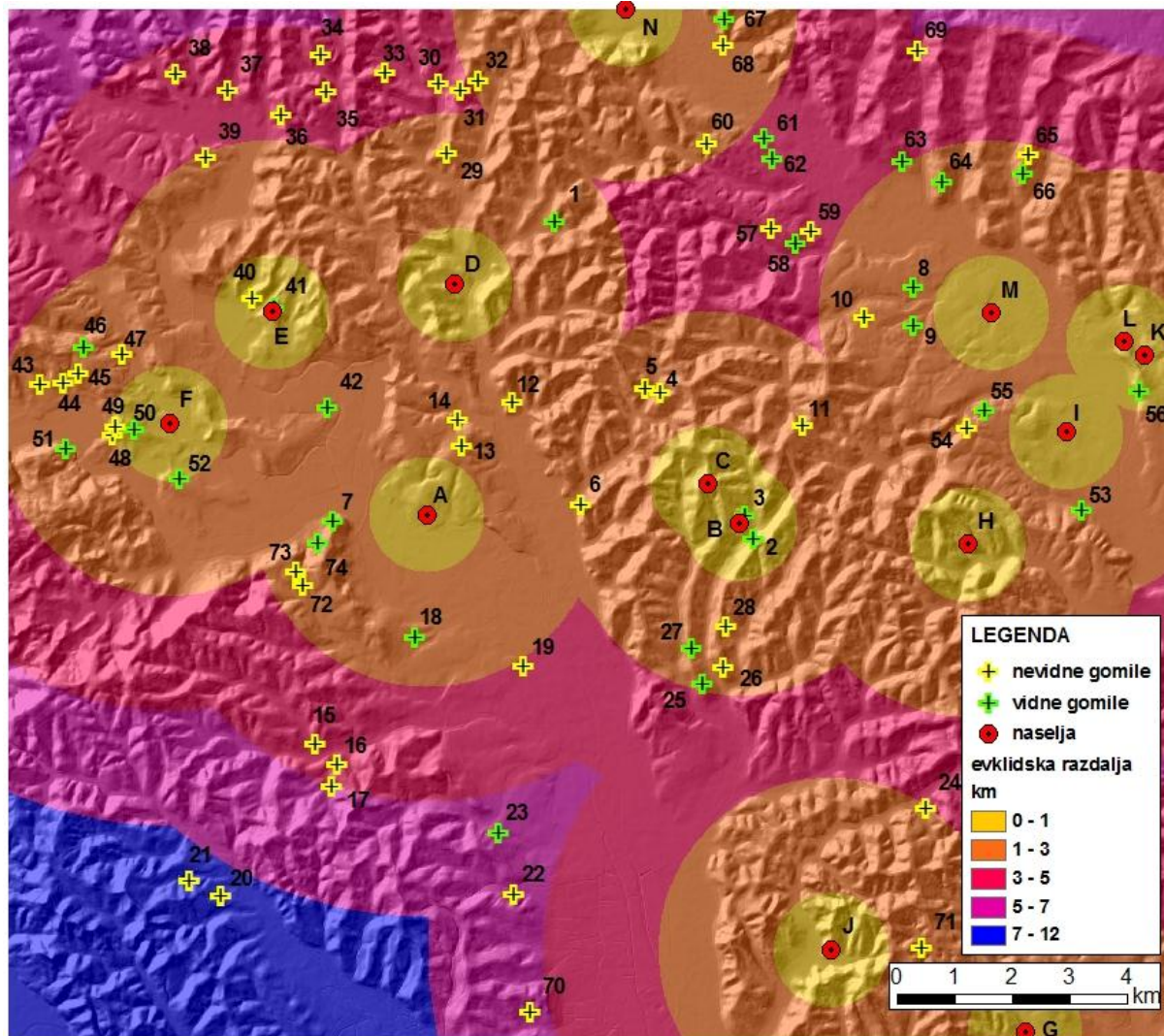
Slika 26: Vizualizacija spremenljivke standardizirana višina, gomil in naselij

Značilnosti lahko opazimo tudi pri razporeditvi gomil glede na spremenljivko standardizirana višina (slika 26). Okrog 80 % (60 od 74) se jih nahaja med vrednostmi 200 in 280. Prav tako je opazno odstopanje med razporeditvama gomil in naključnih lokacij (slika 27).



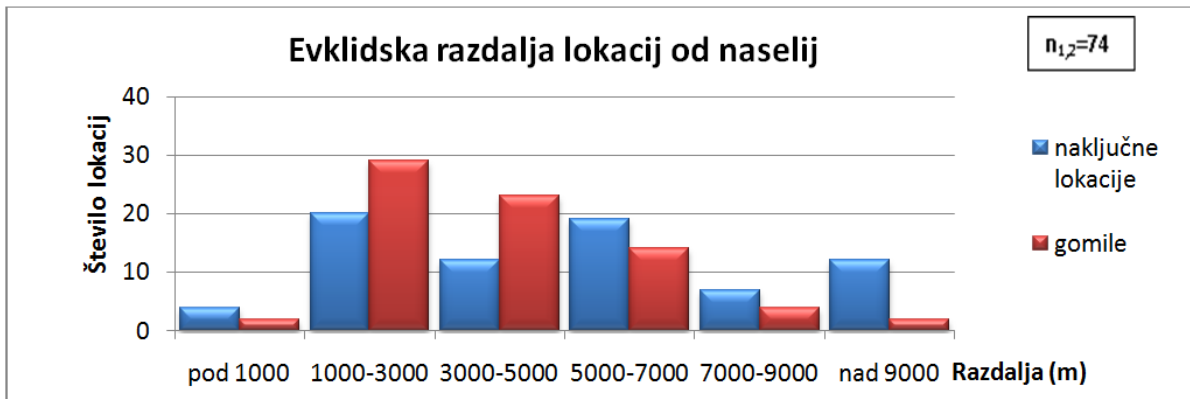
Slika 27: Standardizirana višina na lokacijah gomil in na naključno generiranih točkah

4.2.8 Evklidska ploskev oddaljenosti od nahajališč naselij



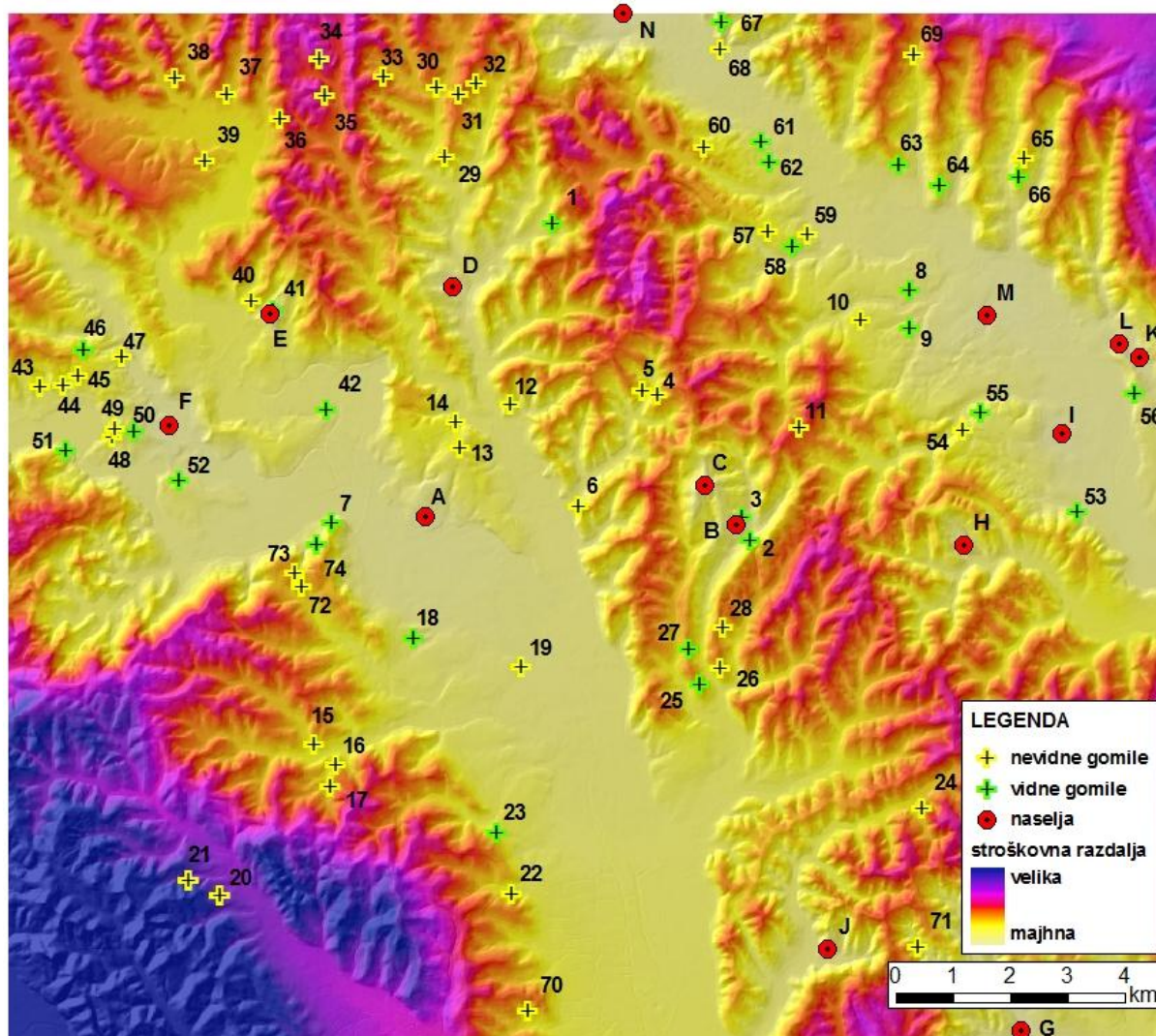
Slika 28: Evklidska ploskev oddaljenosti od nahajališč naselij s prikazom vidnih in nevidnih gomil z naselij

Slika 28 prikazuje distribucijo gomil okrog najdišč naselij. Opazimo lahko, da se le redke gomile nahajajo znotraj kilometrskega obročja okrog naselja. Isti podatek je viden tudi na sliki 29. Na sliki 28 je predstavljen tudi odnos med oddaljenostjo gomil od naselij in vidnostjo gomil z naselij. Na podlagi ocene slike 28 ne moremo trditi, da gre za korelacijo med spremenljivkama.



Slika 29: Evklidska razdalja gomil in naključno generiranih točk od naselij

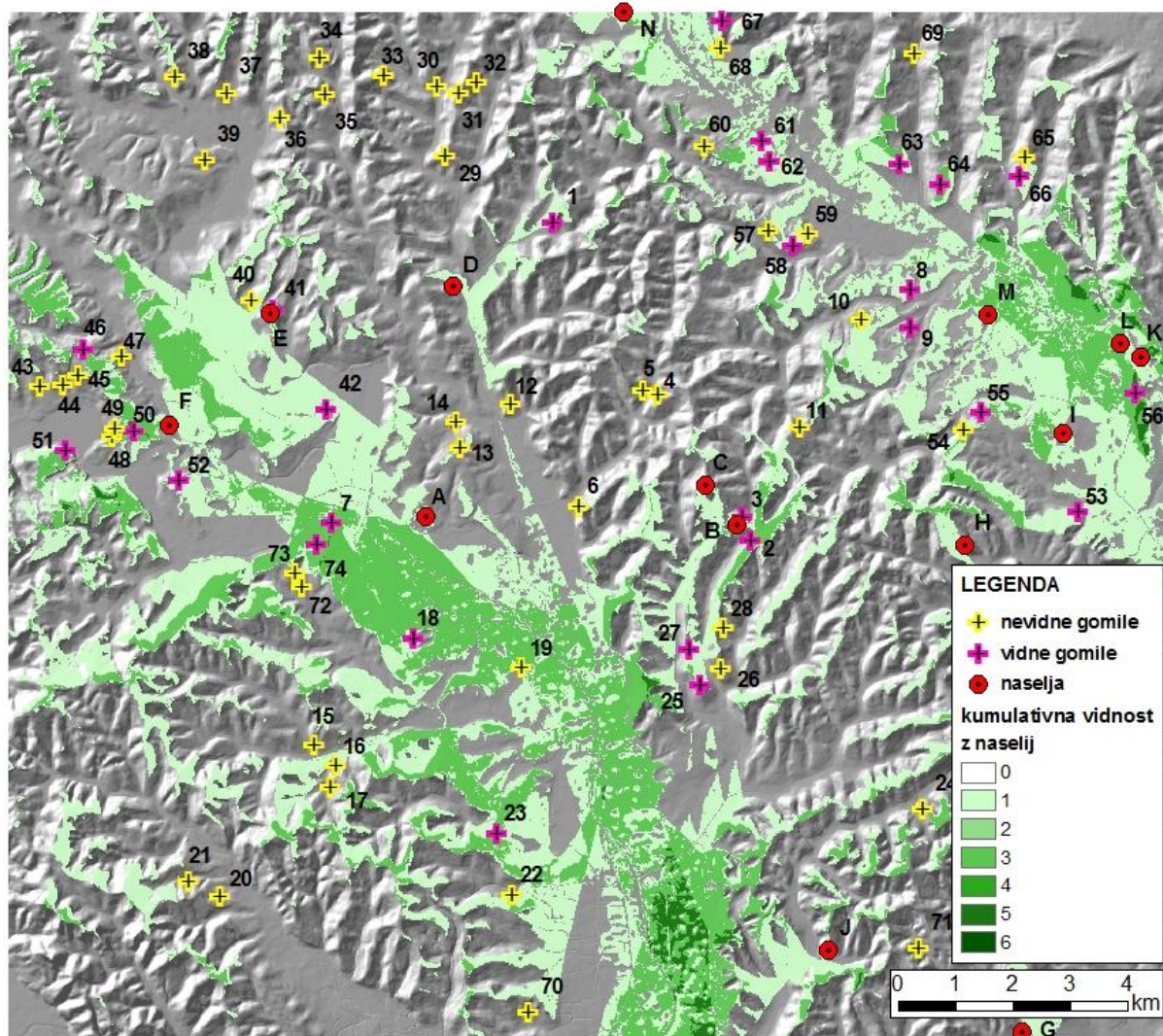
4.2.9 Stroškovna ploskev oddaljenosti od najdišč naselij



Slika 30: Stroškovna ploskev oddaljenosti od najdišč naselij s prikazom vidnih in nevidnih gomil z naselij

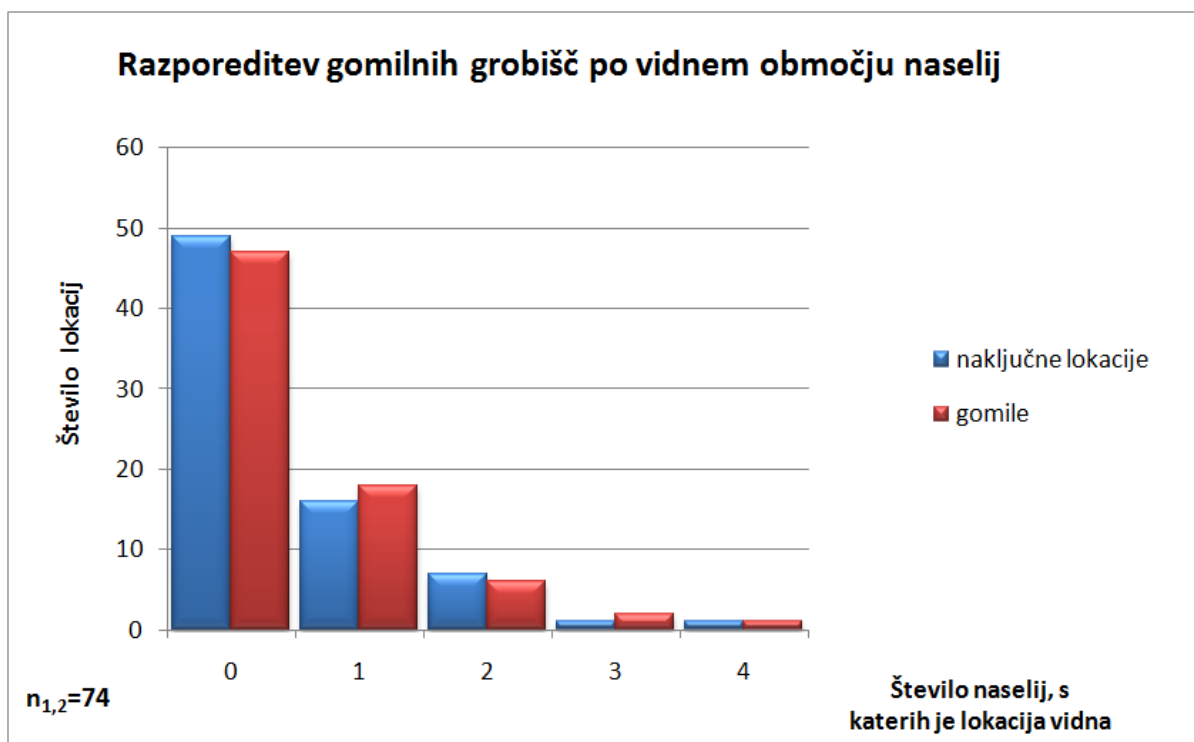
Stroškovna ploskev oddaljenosti na sliki 30 bolje ponazarja povezanost med gomilami in naselji od evklidske ploskve oddaljenosti na sliki 28. Ploskev je izračunana na podlagi razdalje in naklona površja.

4.2.10 Analize vidnosti

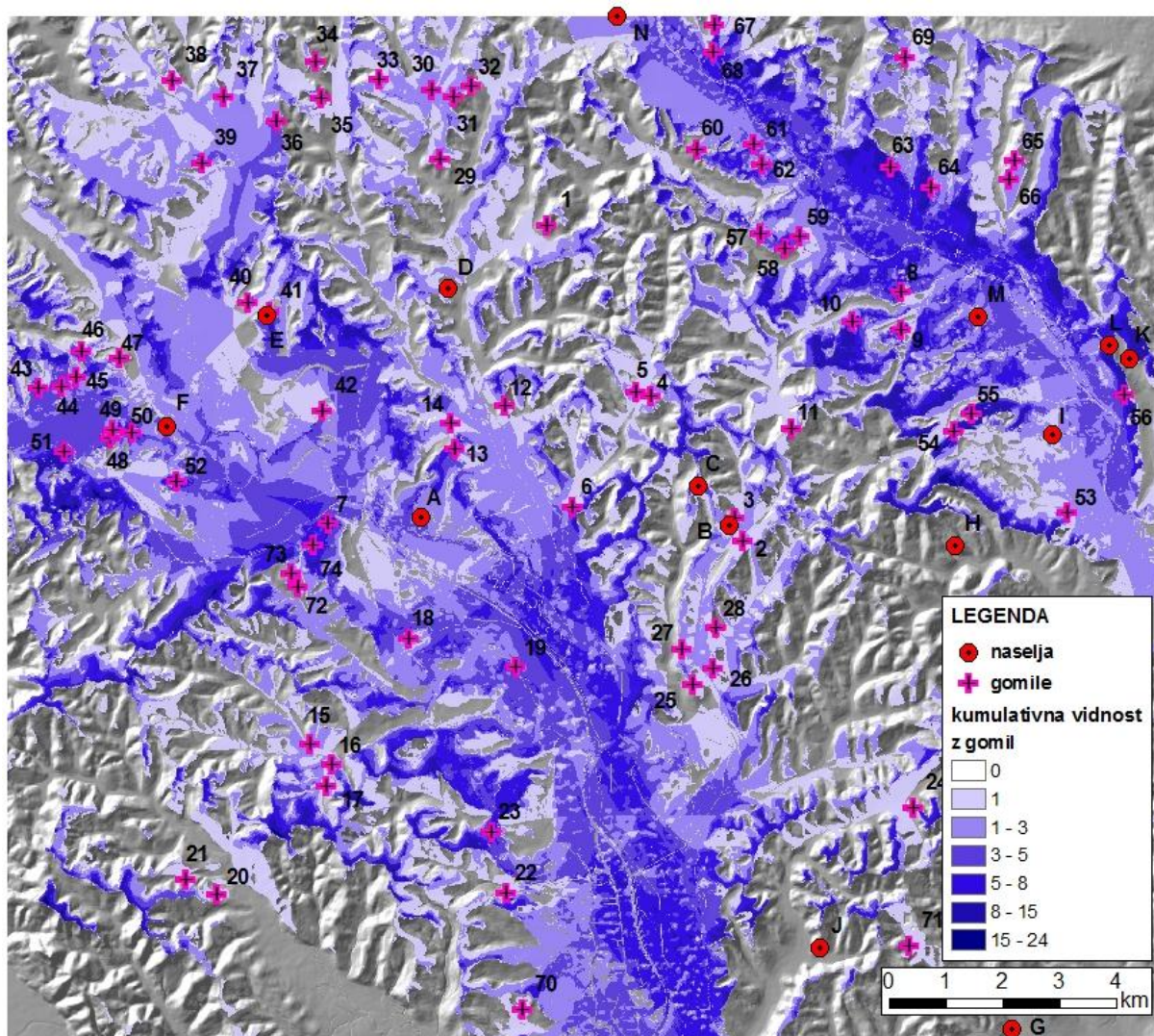


Slika 31: Kumulativna vidnost z naselij

Na sliki 31 so z zeleno barvo označena območja vidnosti z vseh nahajališč naselij hkrati. Sloj smo zato poimenovali kumulativna vidnost z naselij. Temnejši odtenki predstavljajo območja, ki so vidna z več naselij hkrati. Zanimala nas je vidnost gomil z nahajališč naselij: z vijolično so označene gomile, ki so izven vidnega območja naselij, z rumeno pa tiste gomile, ki so nahajališč naselij vidne. Slika 31 kot tudi frekvenčni histogram na sliki 32 kažeta, da se večina gomil nahaja izven območja vidnosti katerega koli naselja.

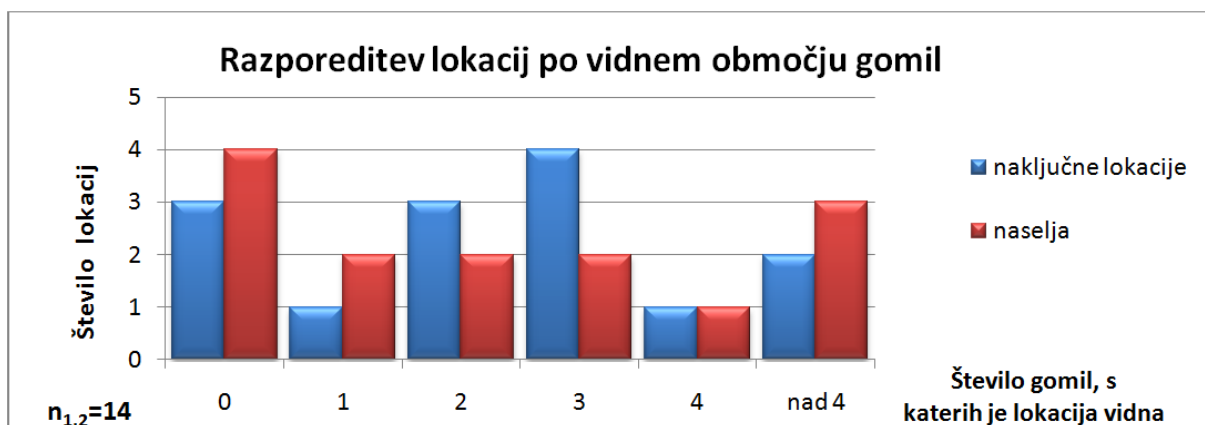


Slika 32: Razporeditev lokacij gomilnih grobišč in naključno generiranih točk, ki so vidne z naselij



Slika 33: Kumulativna vidnost z gomil

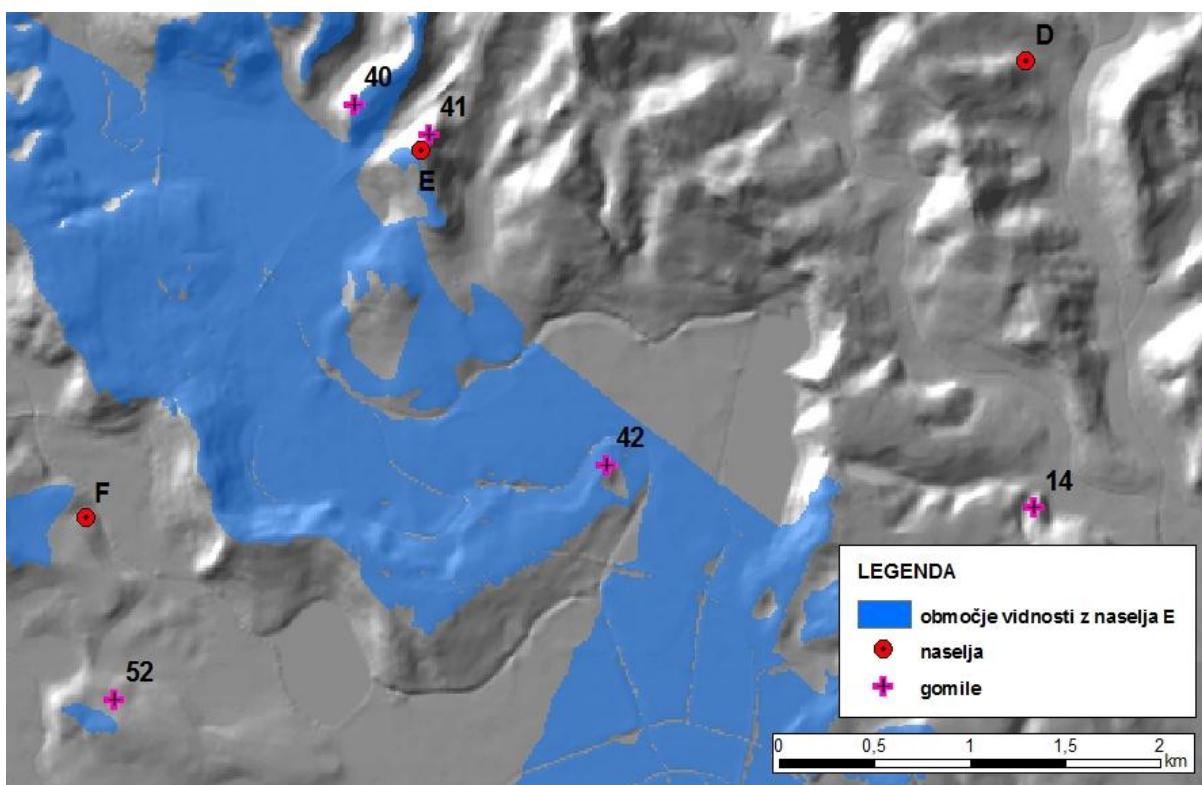
Na sliki 33 so z modro barvo označena območja vidnosti z vseh najdišč gomil. Temnejši odtenki predstavljajo območja, ki so vidna z več gomil hkrati. V primerjavi z vidnim območjem naselij (slika 31) je očitno, da je v primeru gomil površina kumulativne vidnosti veliko večja. Slika 34 prikazuje distribucijo naselij in naključnih točk v območju vidnosti z gomilnih grobišč.



Slika 34: Distribucija naselij in naključno generiranih točk v vidnem območju gomilnih grobišč

4.2.11 Detajli vidnosti

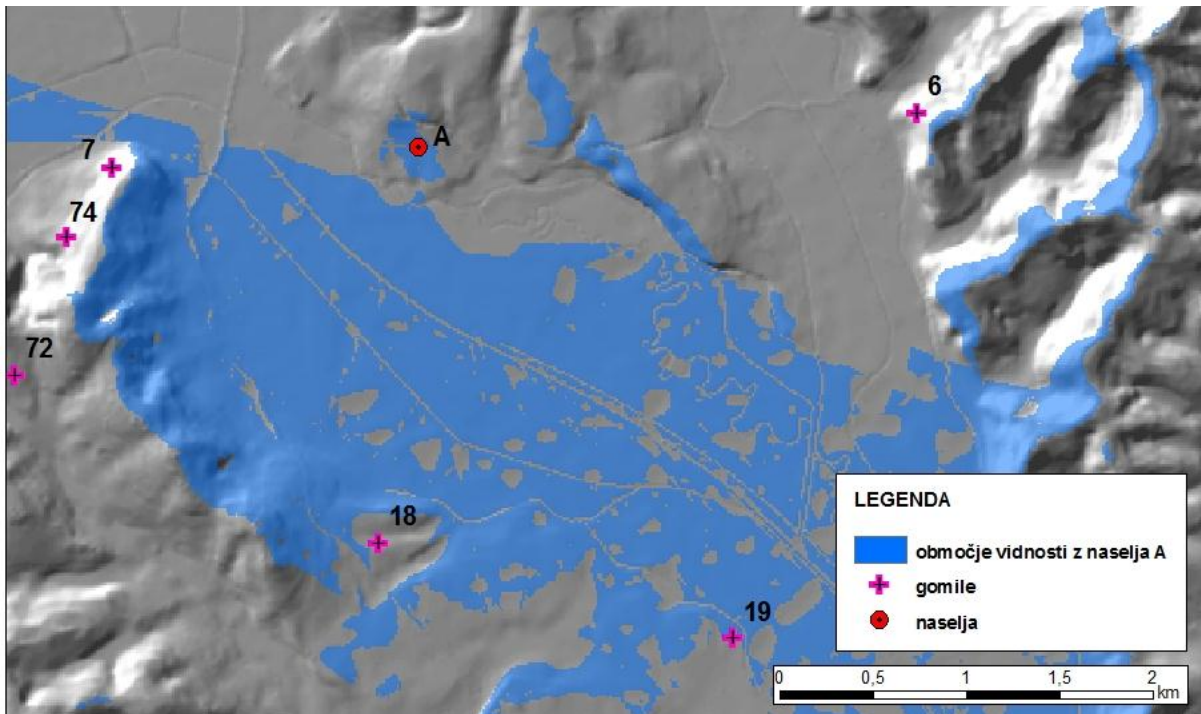
Z analizo detajlov vidnosti smo ugotavljali natančnost podatkov iz zbirke podatkov ter interpretirali območja vidnosti, ki so zanimiva za delo arheologov.



Slika 35: Območje vidnosti z naselja E (Spodnji Porčič)

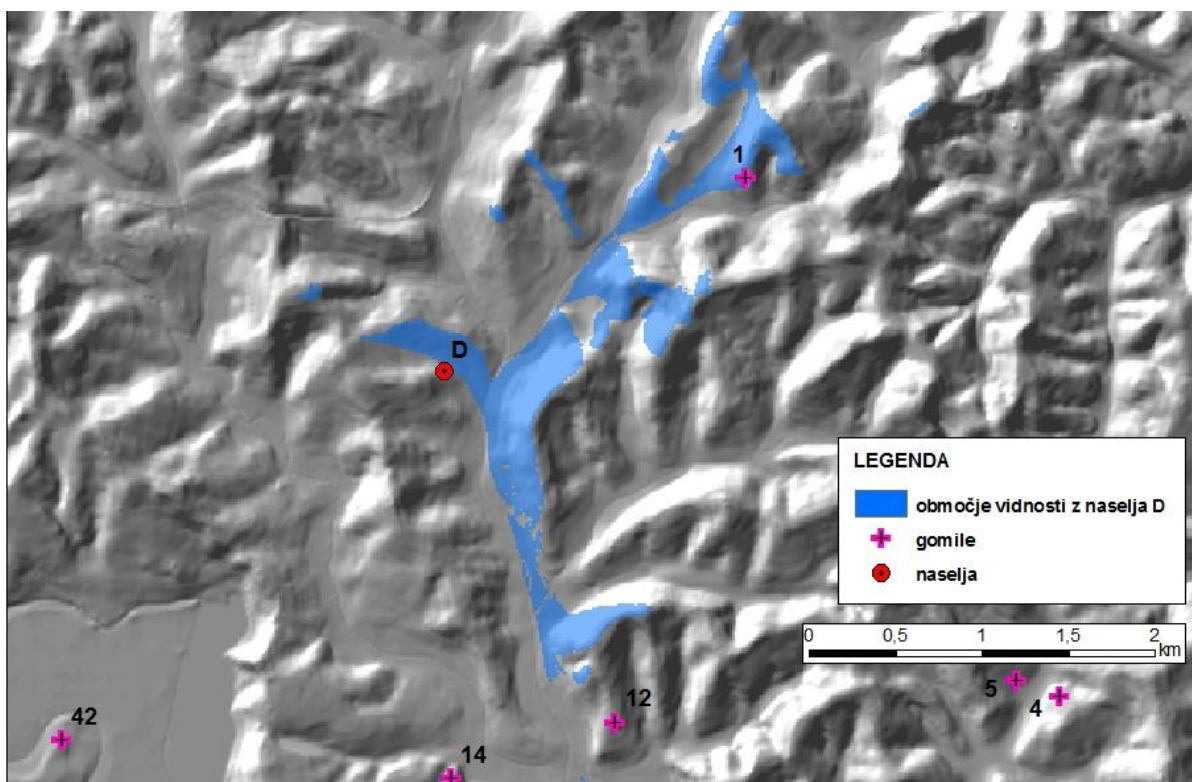
Gomila s številko 40 se nahaja izven območja vidnosti naselja E, tik ob robu (slika 35). Ker smo pri prenosu podatkov o lokacijah najdišč iz baze podatkov kulturne dediščine poligone

spremenili v točke, je popolnoma mogoče, da se najdišče s številko 40 nahaja v vidnem polju naselbine E.

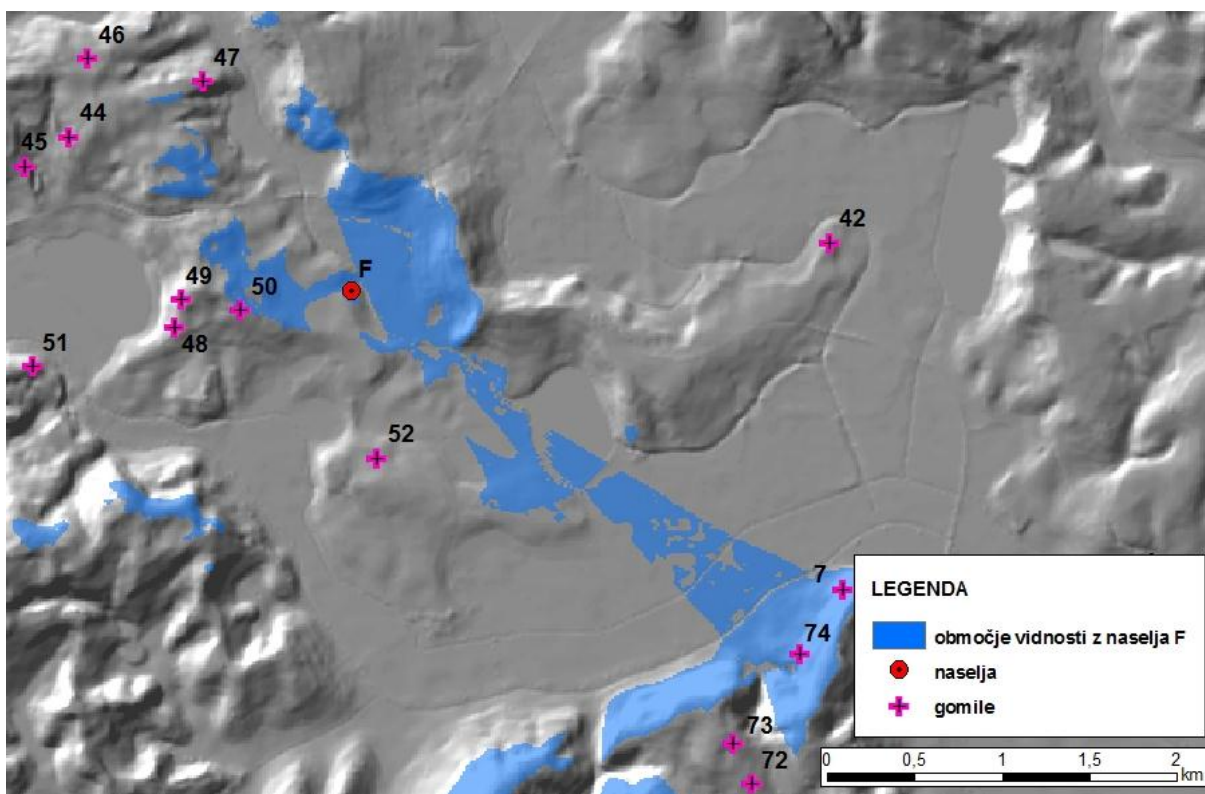


Slika 36: Območje vidnosti z naselja A (Spodnja Senarska)

Z naselja A sta vidni le gomili 18 in 19 (slika 36). Na robu vidnega polja se nahaja tudi gomila s številko 6.



Slika 37: Območje vidnosti z naselja D (Trotkova)



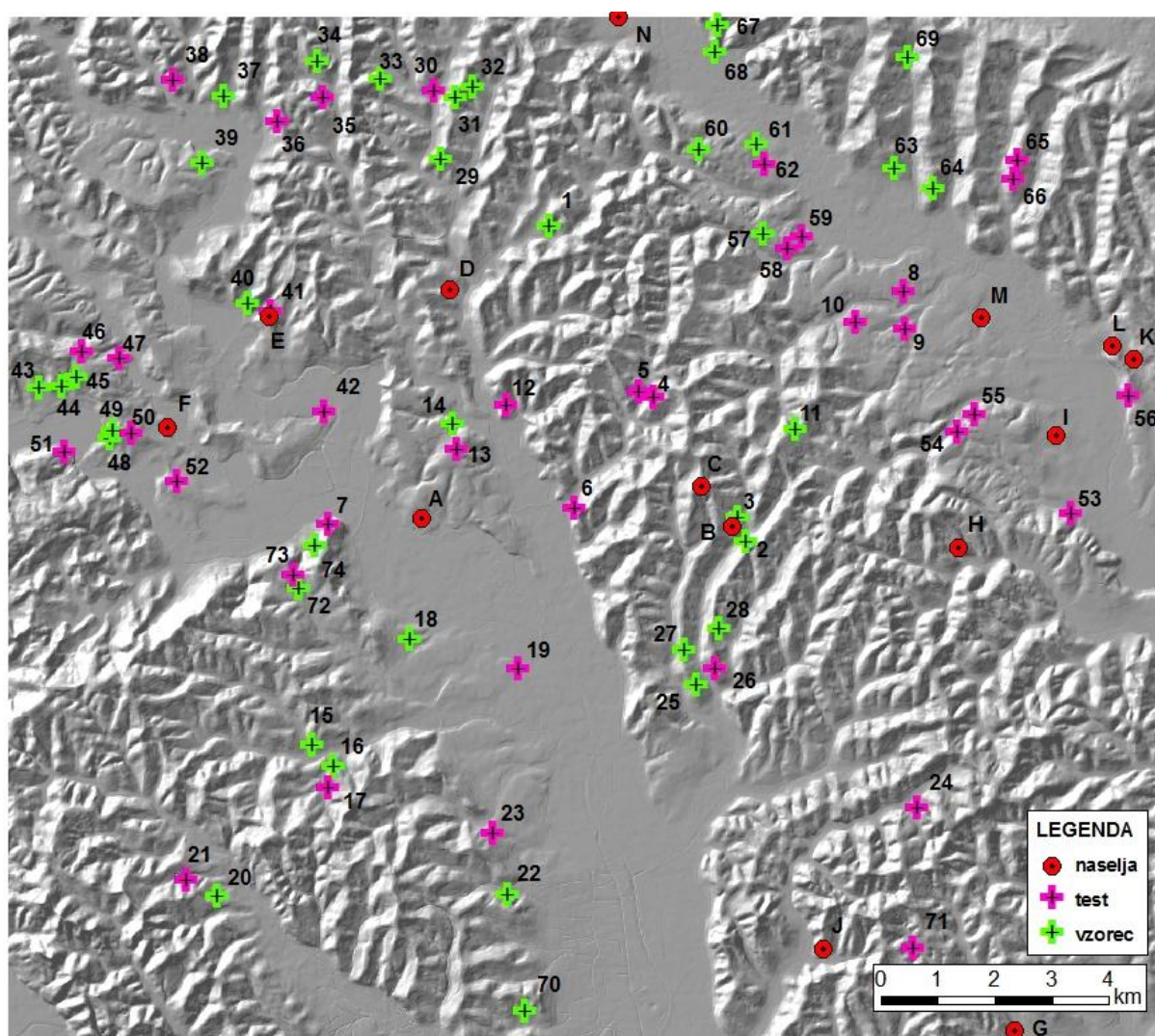
Slika 38: Območje vidnosti najdišča F v Lormanjah

Naselje D leži na razmeroma zaprtem območju, kar lahko opazimo glede na ozko območje vidnosti (slika 37). V njenem vidnem polju pa se nahaja najdišče 1, v katerem je 57 gomil.

V okolici rimske vile v Lormanjah se nahaja veliko število gomil (slika 38). Zanimivo je, da je večina gomil izven vidnega polja vile. Od bližnjih je vidno le najdišče 50, medtem ko sta vidni najdišči 7 in 74 dokaj oddaljeni.

4.3 Vzorčenje

V drugem sklopu modeliranja smo gomilna grobišča z naključnim vzorčenjem razdelili na dve skupini. Prvo polovico smo uporabili za izdelavo modelov, drugo pa za njihovo testiranje (slika 39).



Slika 39: Prikaz naključnega vzorčenja in delitve gomilnih grobišč na vzorčno in testno skupino

4.4 Statistične analize

V raziskavi smo uporabili osnovne statistične tehnike: teste normalnosti porazdelitve in teste značilnosti.

4.4.1 Test normalnosti porazdelitve

Za določitev normalnosti spremenljivk smo uporabili Shapiro-Wilkov test. Pri uporabljenem testu normalnosti porazdelitve gre torej za testiranje ničelne hipoteze, ali vzorec posamezne spremenljivke izhaja iz normalno porazdeljene populacije ali ne. Ničelna hipoteza je zavrnjena, kadar je vrednost testne statistike W manjša od 0,95 (preglednica 1).

Spremenljivka	W	p-vrednost	95 %
Ukrivljenost terena	0,9806	0,3119	+
Višina	0,9744	0,1386	+
Standardizirana višina	0,9574	0,0138	+
Dolžina pobočij	0,9517	0,0066	+
Naklon	0,9472	0,0038	
Evklidska razdalja	0,9348	0,0009	
Osončenost	0,9271	0,0004	
Ekspozicija	0,9134	0,0001	
Stroškovna razdalja	0,8603	0,0000	
Oddaljenost od rek	0,7930	0,0000	
Globina dolin	0,7671	0,0000	
Akumulacija toka	0,1771	0,0000	

Preglednica 2: Rezultati testa normalnosti porazdelitve

4.4.2 Testa značilnosti porazdelitve

Izvedli smo dve vrsti testov značilnosti, Wilcoxonov test in Mann-Whitneyev U test. Želeli smo ugotoviti ali posamezne spremenljivke za lokacije gomilnih grobišč izkazujejo drugačne značilnosti kot za celotno raziskovalno območje. V ničelni hipotezi smo testirali, ali je srednja vrednost izbrane spremenljivke na lokacijah gomil enaka srednji vrednosti celotnega območja. To pomeni, da smo v test vključili oba vzorca: lokacije gomilnih grobišč in lokacije naključno generiranih točk. Rezultati testov so prikazani v poglavju 5 (preglednici 3 in 4).

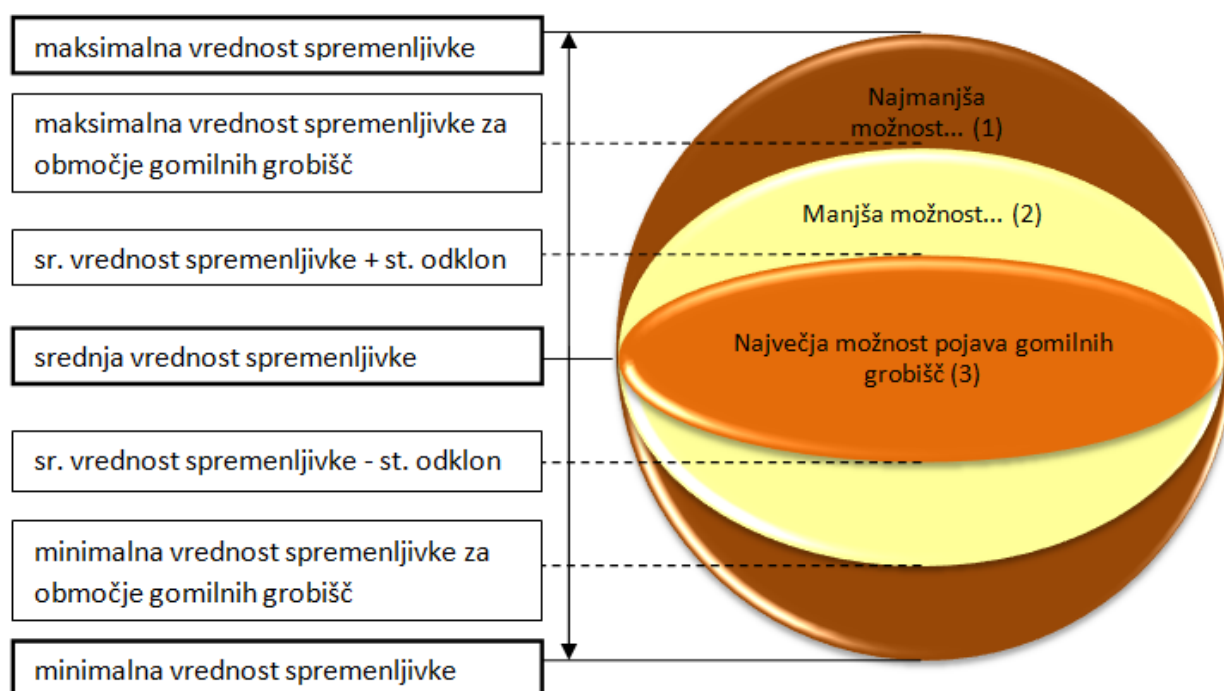
5 IZVEDBA MODELOV

Izdelali smo več modelov, ki prikazujejo potencialna območja za pojav gomilnih grobišč. Modeli se med seboj razlikujejo tako po vhodnih podatkih kot tudi po metodah. V prvem sklopu smo se modeliranja lotili s celotnim naborom podatkov o gomilnih grobiščih. V drugem sklopu, kjer smo uporabili bolj prefinjene metode, smo bazo gomilnih grobišč naključno razdelili na pol. Prvo polovico smo uporabili kot vzorec za modeliranje, druga pa nam je služila za testiranje modela.

5.1 Prvi sklop modeliranja – modeliranje z delitvijo na razrede

Vse spremenljivke smo preklasificirali tako, da smo njihove vrednosti razdelili v naslednje tri razrede:

- Največja možnost pojavljanja gomilnih grobišč (na sliki 40 označena s (3)) je v območju med spodnjo in zgornjo vrednostjo standardnega odklona od srednje vrednosti spremenljivke.
- Manjša možnost pojavljanja gomilnih grobišč (na sliki 40 označena z (2)) je v obeh območjih med vrednostma standardnega odklona spremenljivke ter najmanjšo (in največjo) vrednostjo spremenljivke znotraj katere se pojavljajo gomile.
- Najmanjša možnost pojavljanja gomilnih grobišč (na sliki 40 označena z (1)) je v dveh intervalih, ki sta izven območja pojavljanja gomilnih grobišč.



Slika 40: Grafični prikaz razdelitve razredov pri modeliranju

Pri uporabi klasificiranih spremenljivk (slika 40) smo izdelali dva modela. Koeficiente uteži posameznih spremenljivk smo določili na dva različna načina: pri prvem modelu po Mann-Whitneyevi metodi, pri drugem pa po Wilcoxonovi. Zaradi uporabe različnih metod imata modela tudi različne vhodne spremenljivke. Analize smo izvedli s programom OpenStat.

Spremenljivka	Statistika U	Delež	Utež
Višina	3383,5	0,0864	8,64
Evklidska razdalja	2754,0	0,0704	7,04
Osončenost	2849,5	0,0728	7,28
Oddaljenost od rek	3537,5	0,0904	9,04
Dolžina pobočij	3443,5	0,0880	8,80
Standardizirana višina	3155,0	0,0806	8,06
Globina dolin	3868,5	0,0988	9,88
Ukrivljenost terena	3693,0	0,0943	9,43
Stroškovna razdalja	3410,0	0,0871	8,71
Naklon	2935,0	0,0750	7,50
Ekspozicija	2881,0	0,0736	7,36
Akumulacija toka	3233,0	0,0826	8,26
Vsota	39143,5	1	100

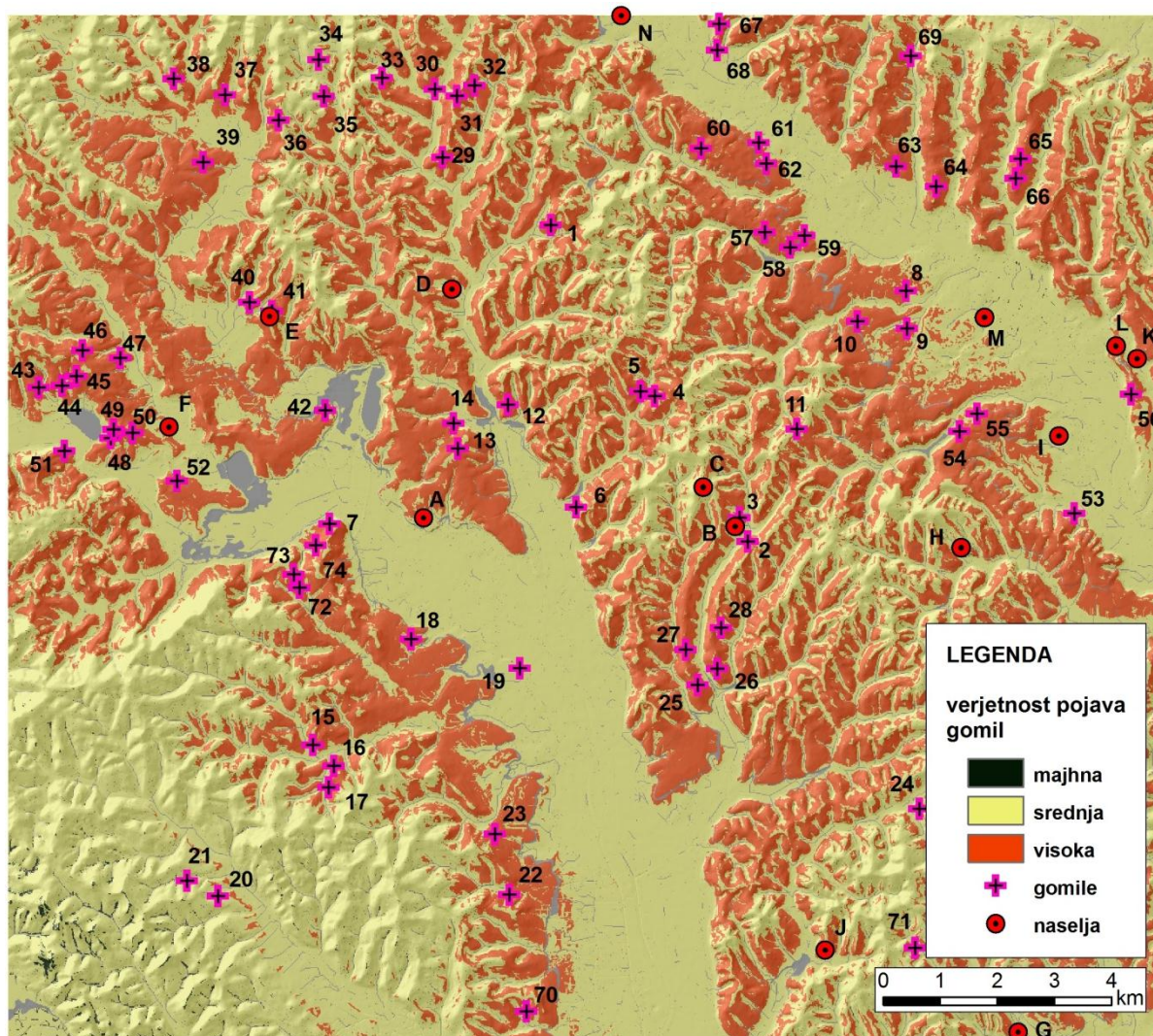
Preglednica 3: Koeficienti uteži po metodi »Mann-Whitney« (izhodišče za 1. model)

Spremenljivka	Statistika W	Delež	Utež
Ekspozicija	501,0	0,1034	10,34
Osončenost	819,0	0,1690	16,90
Dolžina pobočij	367,5	0,0758	7,58
Evklidska razdalja	985,0	0,2032	20,32
Standardizirana višina	712,0	0,1469	14,69
Naklon	546,0	0,1127	11,27
Ukrivljenost terena	916,0	0,1890	18,90
Vsota	4846,5	1	100
Akumulacija toka	55,0	spremenljivka ni vključena	
Oddaljenost od rek	137,0	spremenljivka ni vključena	
Globina dolin	0,0	spremenljivka ni vključena	
Stroškovna razdalja	231,0	spremenljivka ni vključena	
Višina	61,0	spremenljivka ni vključena	

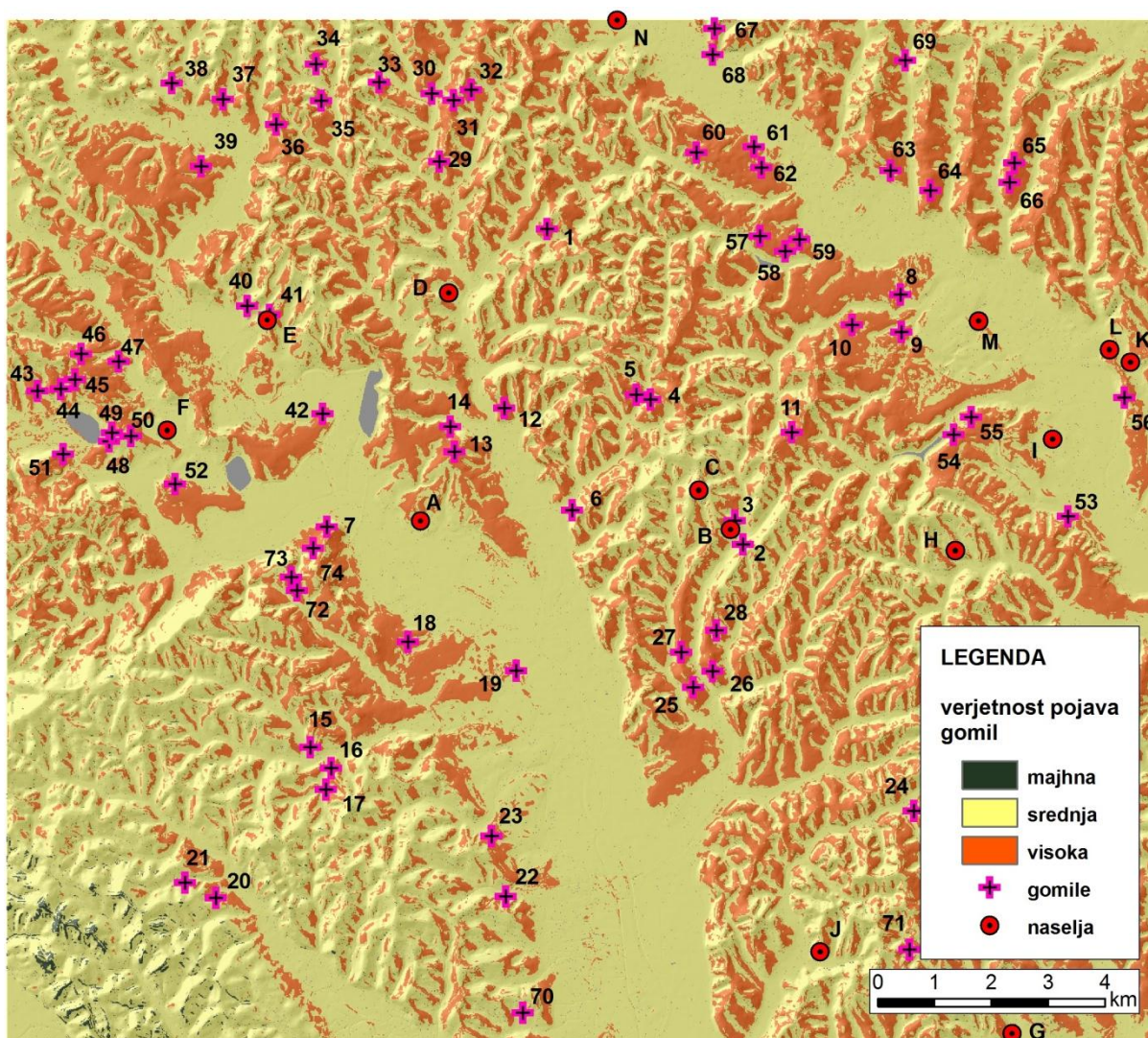
Preglednica 4: Koeficienti uteži po metodi »Wilcoxon« (izhodišče za 2. model)

Statistiki U (Mann-Whitneyev test) in W (Wilcoxonov test) predstavljata korelacijo med vzorcem gomil in vzorcem naključnih točk. Večja kot je statistika, manjša je korelacija med

vzorcema. Manjša korelacija pomeni večje odstopanje porazdelitve vzorca gomil od porazdelitve vzorca naključnih točk. Torej, večja kot je vrednost U oz. W pri posamezni spremenljivki, bolj je spremenljivka pomembna pri modeliranju. To dejstvo smo upoštevali pri določevanju uteži. Pri prvi metodi (preglednica 3) smo za modeliranje uporabili vse spremenljivke, pri drugi (preglednica 4) pa le sedem spremenljivk od dvanajstih. Merilo za selekcijo pri drugi metodi je bilo medsebojno razmerje med utežnimi koeficienti, ki v nobenem primeru ne presega razmerja 1 : 3. Določanju utežnih koeficientov in selekciji spremenljivk je sledilo utežno prekrivanje, ki smo ga izvedli v programu ArcGIS z orodjem »weighted overlay«.



Slika 41: Model 1 – potencial pojavljanja gomil po metodi »Mann-Whitney U test«



Slika 42: Model 2 – potencial pojava gomil po metodi »Wilcoxon«

Opazimo lahko, da je visok potencial pojava gomil koncentriran v hribovitih predelih. Pri obeh modelih (sliki 41 in 42) imajo ravninska območja občutno manjši potencial. Drugi model bolj natančno določa območja z visokim potencialom - oranžne površine so glede na prvi model manjše (slika 42). Kljub temu takšen model ni primeren za konkretno lociranje nahajališč. Predstavlja začetno fazo razvijanja, nakazuje v katero smer naj poteka nadaljnji razvoj. V drugem sklopu modeliranja smo na podlagi rezultatov iz prvega sklopa za določevanje utežnih koeficientov izbrali metodo »Wilcoxon«, ki smo jo uporabili pri modelu 2 (slika 42).

5.2 Drugi sklop modeliranja – izdelava zveznih modelov

V tem delu smo za izgradnjo modelov uporabili polovico naključno izbranih gomil. Druga polovica nam je služila za testiranje kakovosti modelov. Spremenljivke smo prevrednotili na drugačen način kot v prvem sklopu. Najprej smo za vsako spremenljivko določili območja vrednosti, znotraj katerih se nahajajo gomile. Na podlagi teh podatkov smo nato izvedli reklasifikacijo spremenljivk v sloje z vrednostma 0 in 1:

- z 1 so označena območja, znotraj katerih je potencial obstoja gomil
- z 0 so označena območja, kjer gomil najverjetneje ni.

Utežne koeficiente spremenljivk smo določili z Wilcoxonovo metodo. Vrednosti koeficientov predstavljeni v preglednici 5 veljajo za modela A in B (predstavljena v nadaljevanju).

Spremenljivka	Statistika T	%/100	Utež
Višina	315	0,1129	11,29
Evklidska razdalja	298	0,1068	10,68
Osončenost	287	0,1029	10,29
Oddaljenost od rek	246	0,0882	8,82
Dolžina pobočij	234	0,0839	8,39
Standardizirana višina	194	0,0696	6,96
Globina dolin	140	0,0502	5,02
Stroškovna razdalja	323	0,1158	11,58
Naklon	347	0,1244	12,44
Akumulacija toka	247	0,0886	8,86
Ukrivljenost terena	139	0,0498	4,98
Vsota	2789	1,000	100

Preglednica 5: Utežni koeficienti pri zveznem modeliranju

Modeliranje smo izvedli s seštevanjem vseh prevrednotenih spremenljivk. V programu ArcGIS smo uporabili orodje »weighted sum« (vsota uteženih spremenljivk). Rezultat takšnega postopka je model, v katerem so sešteta območja spremenljivk z oznako 1.

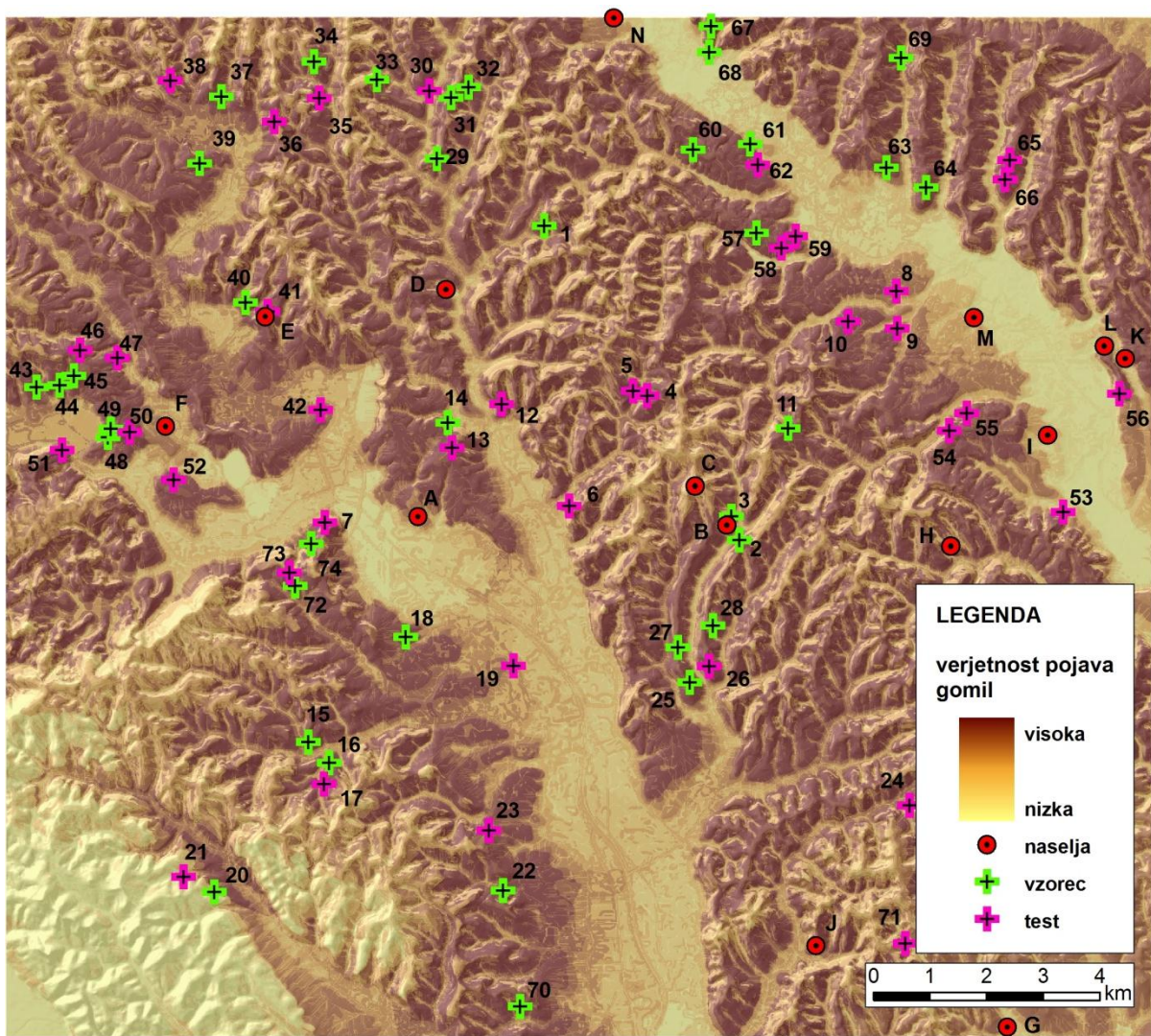
Razlika med modeloma A in B torej ni v utežnih koeficientih spremenljivk, ampak v velikostih območij 1 in 0, ki smo jih določili posameznim spremenljivkam (preglednica 6). Preklasifikacijo smo izvedli na naslednji način:

- vsem spremenljivkam pri modelu A smo z vrednostjo 1 označili celotno območje, znotraj katerega se nahajajo gomile (interval od minimalne do maksimalne vrednosti posamezne spremenljivke, znotraj katerega se nahajajo gomile);

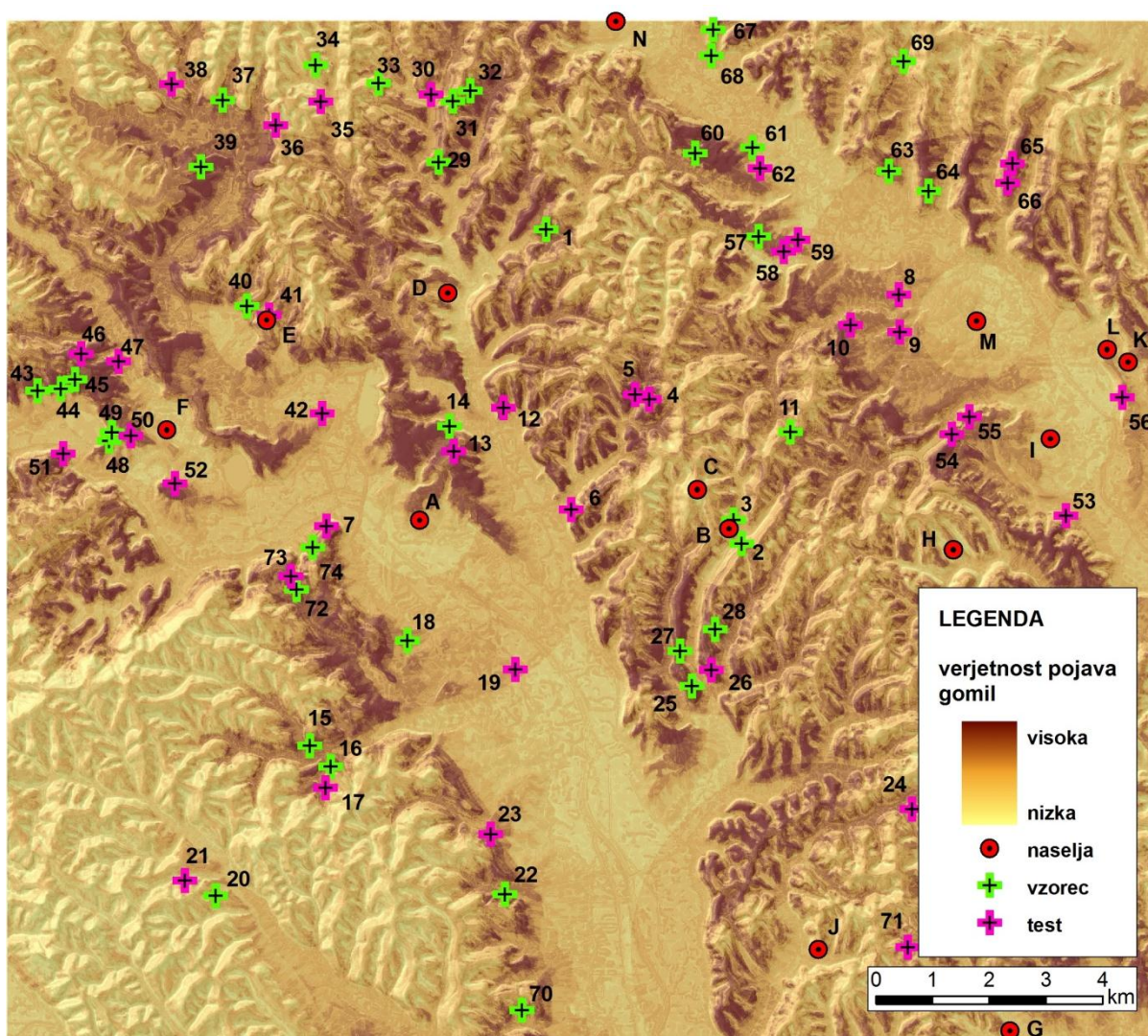
- vsem spremenljivkam pri modelu B smo z vrednostjo 1 označili le območje, znotraj katerega so gomile najbolj zgoščene (interval vrednosti spremenljivke, znotraj katerega se nahaja 70 % gomil).

Spremenljivka	Model A		Model B	
	Spodnji rob	Zgornji rob	Spodnji rob	Zgornji rob
Višina	219	300	248	275
Evklidska razdalja	168	7540	1020	3300
Osončenost	5420	5927	5570	5870
Oddaljenost od rek	515	11912	1000	4500
Dolžina pobočij	2,17	36,33	5,00	30,00
Standardizirana višina	193	287	220	272
Globina dolin	1,21	23,96	1,21	10,00
Stroškovna razdalja	934	12930	2800	5340
Naklon	0,38	13,50	0,38	8,00
Akumulacija toka	0	17	0	7
Ukrivljenost terena	-1,61	1,25	-0,36	0,58

Preglednica 6: Robne vrednosti pri preklasifikaciji spremenljivk za modela A in B



Slika 43: Model A



Slika 44: Model B

Modela A (slika 43) in B (slika 44) lahko primerjamo na podlagi vizualne ocene, saj sta razpona vrednosti pri obeh enaka (0,000 - 0,994). Med njima je opazna razlika. Model A je s pretežno temnim izgledom vse prej kot uporaben – območja vrednosti z visokim potencialom so obširna. Pri modelu B so ta področja bolj omejena.

Preglednica 7 prikazuje rezultat testiranja modelov A in B. Vrednosti so podane za vzorčne in testne lokacije gomil. Vzorčne lokacije so tiste, na podlagi katerih smo ustvarili modele (na slikah 43 in 44 označene z zeleno), s pomočjo testnih pa smo izvedli analizo kakovosti modelov (na slikah 43 in 44 označene z vijolično). Vrednosti vzorčnih in testnih lokacij se razmeroma dobro ujemajo pri obeh modelih. Vrednosti so nižje pri modelu B, kar je razumljivo glede na to, da so območja z visokim potencialom pri tem modelu natančneje opredeljena (slika 44).

	Model A		Model B	
	Vzorec	Test	Vzorec	Test
	0 - 0,994	0 - 0,994	0 - 0,994	0 - 0,994
1	0,717	0,520	0,336	0,089
2	0,740	0,553	0,378	0,153
2	0,820	0,601	0,456	0,241
3	0,831	0,629	0,464	0,292
4	0,894	0,707	0,473	0,366
5	0,894	0,717	0,474	0,443
6	0,894	0,772	0,520	0,464
7	0,894	0,824	0,523	0,483
8	0,894	0,831	0,570	0,500
9	0,894	0,831	0,570	0,500
10	0,894	0,856	0,584	0,523
11	0,894	0,894	0,595	0,588
12	0,894	0,894	0,651	0,601
13	0,894	0,894	0,660	0,611
14	0,894	0,894	0,677	0,615
15	0,894	0,894	0,677	0,645
16	0,944	0,894	0,717	0,645
17	0,944	0,894	0,717	0,658
18	0,944	0,894	0,724	0,678
19	0,944	0,894	0,724	0,682
20	0,944	0,944	0,763	0,695
21	0,944	0,944	0,765	0,695
22	0,944	0,944	0,767	0,715
23	0,944	0,944	0,767	0,717
24	0,944	0,944	0,767	0,717
25	0,944	0,944	0,771	0,721
26	0,944	0,944	0,781	0,767
27	0,944	0,944	0,831	0,811
28	0,944	0,944	0,881	0,811
29	0,944	0,944	0,887	0,831
30	0,944	0,944	0,887	0,841
31	0,944	0,944	0,944	0,870
32	0,944	0,944	0,944	0,881
33	0,944	0,944	0,944	0,881
34	0,944	0,944	0,944	0,944
35	0,944	0,944	0,944	0,944
36	0,944	0,944	0,994	0,944

Preglednica 7: Vrednosti testnih in vzorčnih lokacij na modelih A in B

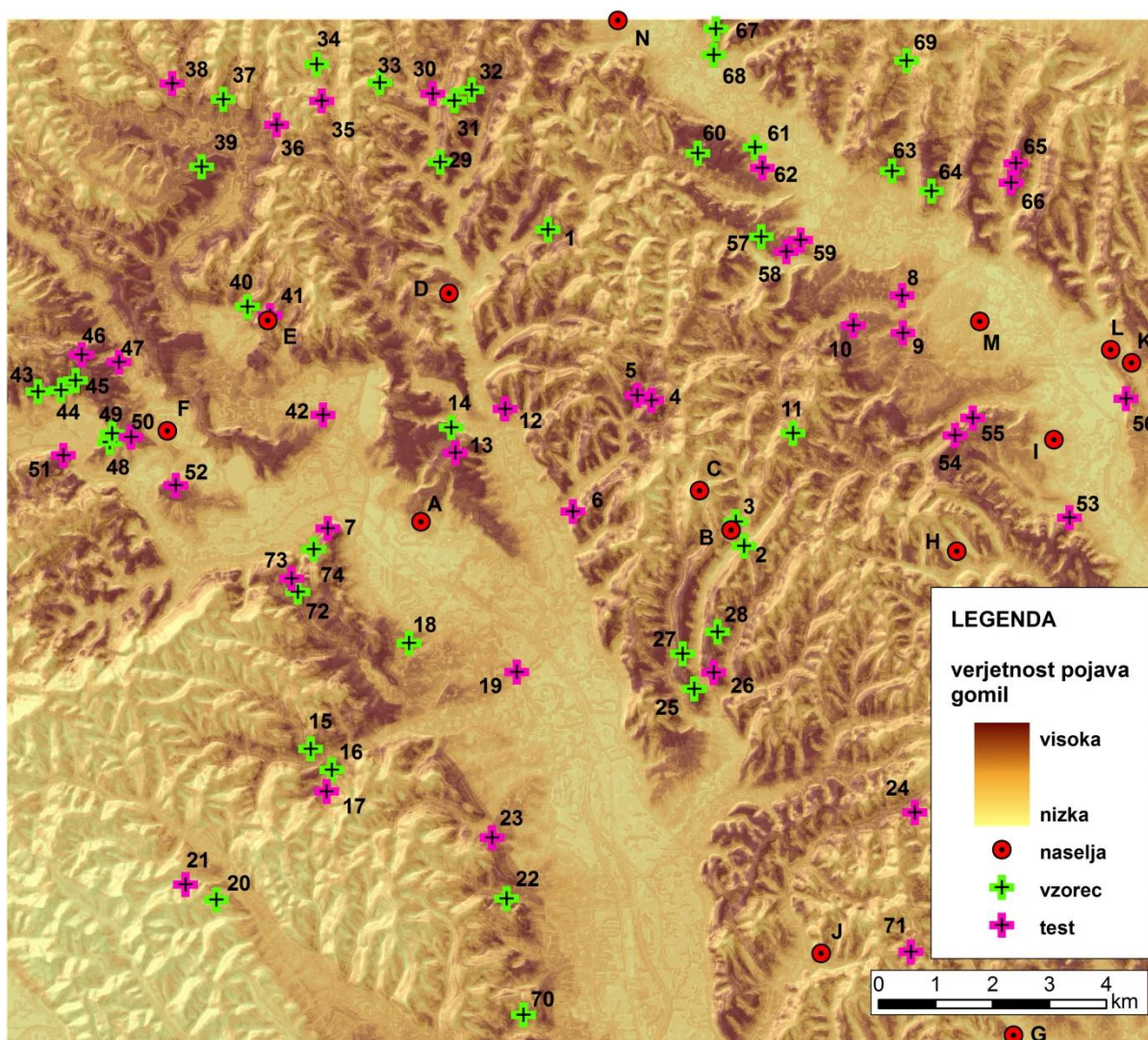
Na koncu smo izdelali še kombinirani model. Izpeljali smo ga iz modelov A in B, katerima smo glede na testne vrednosti določili meje razredov. Pri modelu A smo ustvarili tri razrede, pri modelu B pa štiri. Razlog za to je bil naš cilj, da čim bolj specificiramo območje največjega potenciala nahajališč. To je dosti bolje določeno pri modelu B.

Meje in pripadajoče razrede smo določili po občutku na naslednji način:

model A	model B
0,00-0,52 – vrednost 0	0,00-0,30 – vrednost 0
0,52-0,90 – vrednost 1	0,30-0,57 – vrednost 1
0,90-0,99 – vrednost 2	0,57-0,71 – vrednost 2
	0,71-0,99 – vrednost 3

Ko smo sešteli preklasificirana modela z orodjem »weighted sum« (vsota uteženih slojev) v ArcGIS-u, smo kot rezultat dobili model, ki je sestavljen iz šestih razredov. Razredi predstavljajo potencial pojava gomil:

- 0 – ekstremno nizka
- 1 – zelo nizka
- 2 – nizka
- 3 – srednja
- 4 – visoka
- 5 – zelo visoka



Slika 45: Kombinirani model

Kombinirani model na sliki 45 je »zlitje« modelov A in B (sliki 43 in 44). To je opazno tudi, ko modele med seboj primerjamo vizualno. Ker kombinirani model temelji na modelu B (glej preklasifikacijo na prejšnji strani), so območja z visokim potencialom pri kombiniranem modelu zelo podobno opredeljena kot pri modelu B. Ostre meje, ki so opazne pri modelih A in B, so pri kombiniranem bolj mehke. Hkrati pa je pri kombiniranem modelu večja je dinamika med odtenki, kar je pokazatelj, da je model kompleksnejši od modelov A in B.

5.3 Modeliranje poti

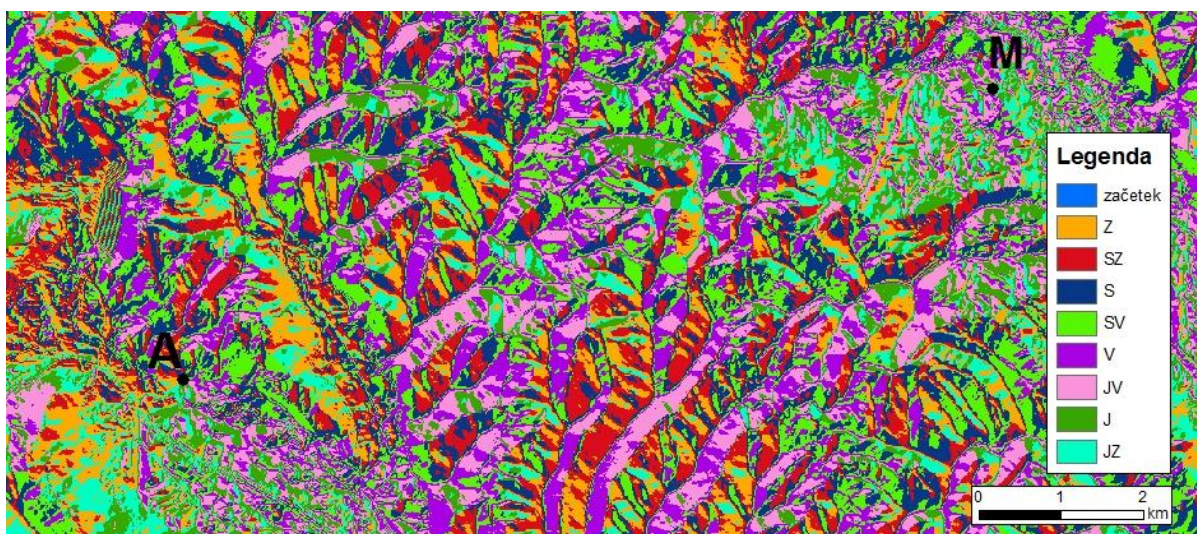
Poseben del naloge predstavlja model mreže poti, ki smo ga izdelali s programom ArcGIS. Namen tega dela je določiti, kje so nekdaj potekale povezave naselje – naselje in gomilno grobišče – naselje. Prikazuje povezave med naselbinami, temelji pa na stroškovnih analizah. Osnova za izdelavo modela je bil DMV 12,5, iz katerega smo generirali sloj naklonov površja.

Za modeliranje smo v programu ArcGIS uporabili algoritem iskanja optimalne poti. Ustvarili smo:

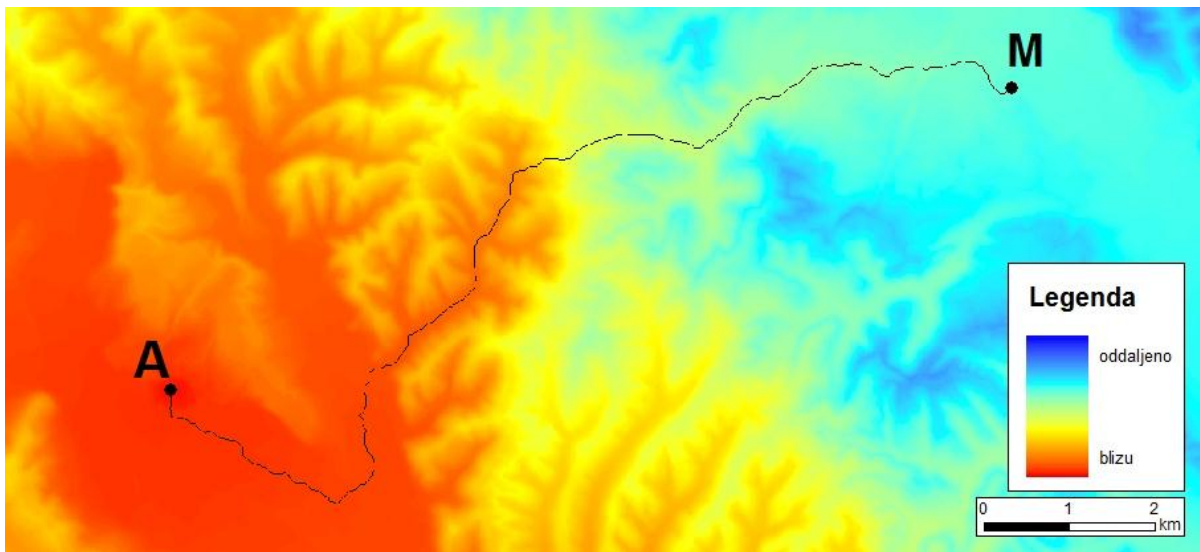
- **Ploskev povratne povezave**¹⁹ – izdelana iz sloja naklonov površja. Ploskev za vsako rastrsko celico prikazuje smer najmanjšega stroška. Vsaka smer je podana z barvo – 8 barv označuje 8 smeri (sliki 46 in 47)
- **Stroškovno ploskev**²⁰ – izdelana iz sloja naklonov površja, na podlagi katerega so določene vrednosti za vsako posamezno celico. Ploskev predstavlja relativne razlike med potovanji na različne dele območja iz določenega izhodišča. V našem primeru so to nahajališča naselbin (primer povezave med naseljema A in M je na sliki 48).



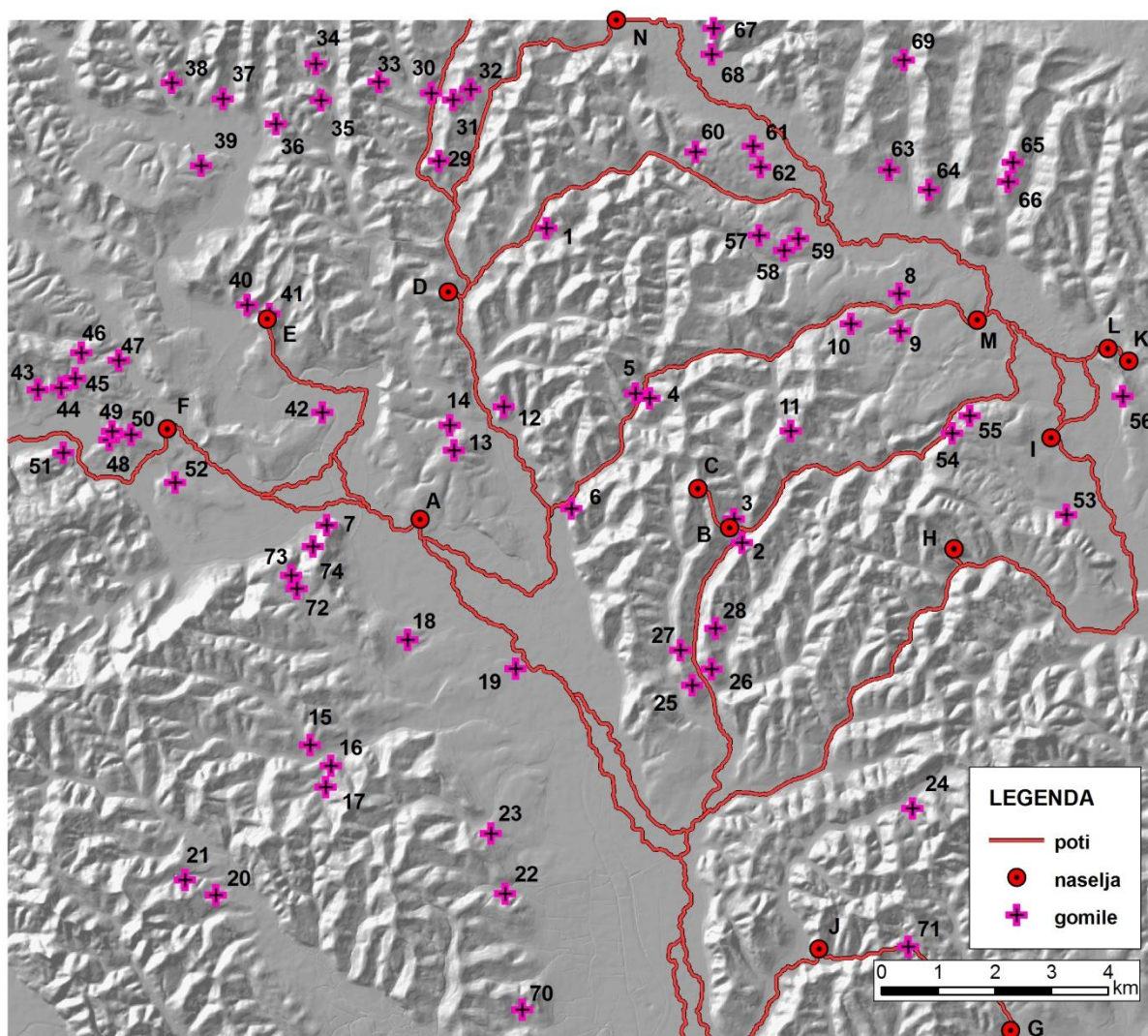
Slika 46: Primer ploskve povratna povezava



Slika 47: Sloj povratna povezava točke A – prvi vhodni podatek za modeliranje poti A - M



Slika 48: Stroškovna ploskev z nasebine A – drugi vhodni podatek za modeliranje poti od naselja A do naselja M



Slika 49: Rezultat modeliranja poti

Slika 49 predstavlja končni izdelek modeliranja – mrežo poti. Z rjavo črto so označene najbolj ekonomične povezave med najdišči naselbin. Dolini Pesnice in Ščavnice sta zaradi poplav skozi zgodovino spreminjali svojo podobo, zato je na teh območjih težko določiti trase nekdanjih prometnic. V smislu napovedovanja so bolj zanesljivi odseki poti, ki vodijo skozi ožje doline Slovenskih goric.

6 RAZPRAVA O REZULTATIH

6.1 Razprava o napovedovalnih modelih gomilnih grobišč

Modela 1 in 2 (sliki 41 in 42), ki sta nastala v prvem sklopu modeliranja, sta vodila do končnih izdelkov. Njuna vloga je bila poskusna, zato jima v diskusiji ne bomo namenili posebne pozornosti. Posvetili se bomo predvsem končnim rezultatom naloge.

V drugem sklopu modeliranja smo najprej ustvarili modela A in B, ki predstavljata osnovo za izdelavo končnega izdelka. Kombinirani model je torej rezultat vseh predhodnih analiz in preizkušanj. Vizualna ocena kombiniranega modela je zadovoljiva: območja z visokim potencialom so relativno majhna, vidno pa je tudi ujemanje testne skupine gomilnih grobišč z območji višjega potenciala.

Več podrobnosti razkrijejo analize modela. S preglednico 8 in frekvenčnim histogramom na sliki 50 smo prikazali, kako so v kombiniranem modelu razporejene površine razredov. Na primer: verjetnost, da naključno izbrana lokacija pade v območje razreda 5, je 10,5 %.

Vrednost	Število celic na sloju	Delež (%)
0 – ekstremno nizka	104771	4,5
1 – zelo nizka	302099	13,0
2 – nizka	843904	36,2
3 – srednja	550792	23,6
4 – visoka	287326	12,3
5 – zelo visoka	243895	10,4
Vsota	2332787	100,0

Preglednica 8: Deleži posameznih stopenj verjetnosti pojava gomilnih grobišč (povezava s sliko 48 – kombinirani model)

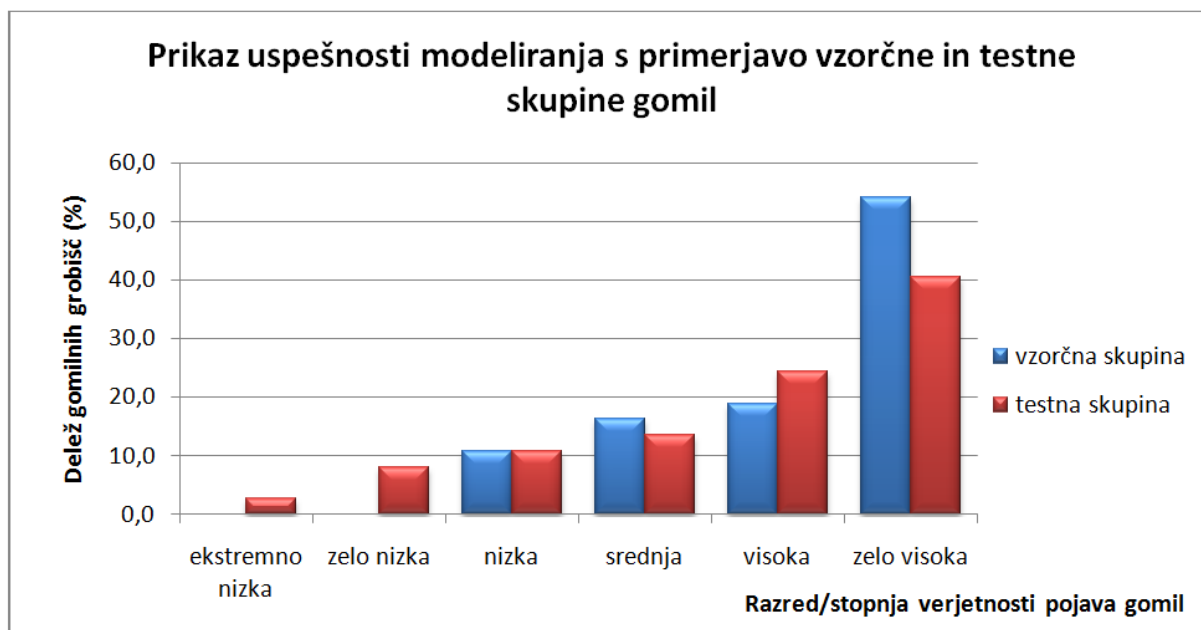


Slika 50: Deleži posameznih stopenj verjetnosti pojava gomil, izraženi v odstotkih skupne površine na karti (povezava s sliko 45)

Preglednica 9 predstavlja, kako so razporejene lokacije vzorčne in testne skupine glede na verjetnost pojava gomil, ki je predstavljena v kombiniranem modelu.

Razredi modela gomilnih grobišč	Vzorčna skupina	Delež (%)	Testna skupina	Delež (%)
0 – ekstremno nizka	0	0,0	1	2,7
1 – zelo nizka	0	0,0	3	8,1
2 – nizka	4	10,8	4	10,8
3 – srednja	6	16,2	5	13,5
4 – visoka	7	18,9	9	24,3
5 – zelo visoka	20	54,1	15	40,5
Vsota	37	100,0	37	100,0

Preglednica 9: Razporeditev vzorčnih in testnih lokacij v kombiniranem modelu



Slika 51: Razporeditev vzorčne in testne skupine gomilnih grobišč glede na stopnjo verjetnosti v kombiniranem modelu.

Frekvenčni histogram na sliki 51 prikazuje kakovost modela. Veliko gomilnih grobišč testne skupine se nahaja v razredu z zelo visoko stopnjo verjetnosti - 40,5 % gomilnih grobišč. To kaže, da je model reprezentativen in relativno učinkovit.

6.2 Razprava o modelu poti

Model poti je težko vrednotiti z vidika natančnosti. Sklicujemo se lahko le na natančnost uporabljenega DMV-ja. V komentarju slike 49 smo že omenili, da je v dolinah Pesnice in Ščavnice težje določiti trase nekdanjih prometnic, kot v ozkih dolinah Slovenskih goric. Slednji odseki poti so zato v smislu napovedovanja bolj zanesljivi.

7 ZAKLJUČEK

V uvodnem delu naloge smo postavili hipotezi, ki sta ključni vodili naše študije. Obe se nanašata na preučevana antična gomilna grobišča na območju Slovenskih goric. Hipotezo, da so spremenljivke, pridobljene na osnovi geomorfoloških analiz pri uporabi DMV-ja učinkovite pri izgradnji arheoloških napovedovalnih modelov, lahko potrdimo. Ugotovili smo, da ob izključni uporabi spremenljivk pridobljenih na osnovi DMV-ja, v območje z največjo zanesljivostjo za pojavljanje gomilnih grobišč pade 40,5 odstotkov testne skupine gomilnih grobišč.

Z drugo hipotezo smo predpostavili, da lahko na osnovi geomorfoloških spremenljivk pri izključni uporabi DMV-ja ustvarimo arheološki napovedovalni model, ki je zanesljivo v pomoč pri odkrivanju najdišč. Tudi to lahko na osnovi rezultatov napovedovalnega modela potrdimo. Delež gomilnih grobišč, ki pri kombiniranem modelu pade v območje z visokim oz. zelo visokim potencialom je 64,8 odstotkov.

Za bolj točne rezultate je v napovedovalni model potrebno vključiti tudi druge okoljske spremenljivke. To so predvsem spremenljivke, ki niso ustvarjene na podlagi DMV-ja (sloj rabe tal, sloj geološke strukture tal, sloj pedološke strukture tal) in spremenljivke, ki so sicer ustvarjene iz DMV-ja, ampak se za njihovo izdelavo uporabi naprednejše algoritme.

Napovedovalne modele lahko dodelamo z različnimi izboljšavami. Boljše rezultate bi na primer dosegli s selektivnim vzorčenjem gomilnih grobišč. Z upoštevanjem atributov najdišč bi lahko gomilna grobišča klasificirali glede na njihove lastnosti (lokacija, obdobje, namembnost, itd.) in na podlagi teh izdelali natančnejše napovedovalne modele.

Omejitev pri študiji je tudi velikost preučevanega območja. Za celostno sliko o zgodovinskem in arheološkem ozadju bi bilo potrebno v modeliranje vključiti celotno regijo Slovenskih goric z okoliškimi antičnimi kraji (Ptuj, Ljutomer). Umestitev območja znotraj celotne pokrajine lahko ključno vpliva na rezultate modeliranja. Omejitev na izbrano območje ima za posledico nereprezentativnost predvsem robnih delov modela. Ti ne odražajo povezanosti s kraji, ki so izven preučevanega območja. Zaradi pomanjkljivosti informacij o robnih območjih torej prihaja do napake robov območja.

Podatke o lokacijah gomilnih grobišč smo pridobili iz dveh baz podatkov: manjši del iz Arheološkega katastra Slovenije, glavnino pa iz Registra nepremičnin kulturne dediščine (RKD). Podatki Arheološkega katastra so zabeleženi s centimetrsko natančnostjo. Vendar, ker so bili zajeti s topografske karte z merilom 1 : 25.000, je njihova dejanska natančnost 20–25 m. Register kulturne dediščine ne vsebuje koordinat posameznih lokacij, ampak le

vizualne oznake parcel, na katerih se nahajajo gomilna grobišča. Pri določevanju lokacij je zaradi tega lahko prišlo do velikih odstopanj, tudi 30 m. Takšni pogreški lahko vplivajo na izvedbo modela, saj je velikost celice DMV-ja v naravi 12,5 m. Poleg položajnih pogreškov pri uporabi DMV-ja prihaja tudi do napak rastriranja. Za bolj kakovosten napovedovalni model bi vsekakor potrebovali natančnejše podatke o lokacijah gomilnih grobišč.

Model poti je v veliko pomoč pri dojetju prostora kot celote. Vizualna predstavitev verjetnih tras prometnic doda novo dimenzijo pri razumevanju, povezovanju in odkrivanju novih arheoloških najdišč. Z vizualizacijo stroškovno najbolj ugodnih povezav med najdišči naselij je moč izluščiti tiste različice, ki so bile najverjetneje nekoč dejanske poti. V našem primeru so zaradi že prej omenjenih razlogov pomembne predvsem poti, ki povezujejo dolino Pesnice z dolino Ščavnice. Na teh območjih so gomile dokaj očitno razporejene ob »napovedanih« prometnicah. To potrjuje točnost oz. zanesljivost modela.

Z diplomskim delom smo preučili možnosti pridobivanja geomorfoloških spremenljivk z uporabo DMV-ja in dokazali njihovo učinkovitost pri napovedovalnem modeliranju na primeru arheološkega napovedovalnega modela gomilnih grobišč. Pomembno vlogo pri zadani nalogi nosijo GIS-i. Ti so se izkazali za ustrezno orodje, saj so uporabni pri vseh stopnjah izgradnje modela: od organizacije, analiz in prikazovanja prostorskih podatkov, do izdelave in izpopolnjevanja arheološkega napovedovalnega modela.

VIRI

Asadoorian, M., Kantarelis, D. 2005. Essentials of inferential statistics. Lanham, University Press of America: str. 286.

Bohte, Z. 1991. Numerične metode, Zbirka Matematika – fizika. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije.

Dalla Bonna, L. 1994. Cultural heritage resource predictive modelling project, Volume 3. Methodological considerations. Thunder Bay, Lakehead University.

ESRI. 2007.

<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/> (Pridobljeno 23. 8. 2011.)

Hirzel A., Guisan A. 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, 157, 2-3: str. 331-341.

Gaffney, V. in van Leusen, P.M. 1995. GIS, environmental determinism and archaeology. V Lock, G. in Stančič, Z. 1995 (ur.). *Archaeology and geographical information systems: a European perspective*. London: str. 366-382.

Guisan, A. in Zimmermann, N. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. V *Ecological Modelling*, 135, 2-3. Neuchatel, Švica, Swiss Center for Faunal Cartography: str. 107-122.

Jež, M. 1996. Naravna dediščina občine Lenart. V Zorko, B. (ur.) 1996. *Zbornik občine Lenart*. Lenart, Občina Lenart: str. 148-150.

Jež, E. in Podobnikar, T. 2011. Napovedovalni model mokrotnih travnikov pri uporabi digitalnega modela višin. V Perko, D. in Zorn, M. (ur.) 2009-2010. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji*. Ljubljana, Založba ZRC SAZU: str. 181-188.

Jež, E. 2010. Geomorfološke analize pri uporabi digitalnega modela reliefa za izdelavo napovedovalnega modela mokrotnih travnikov. *Diplomska naloga*. Nova Gorica, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju.

Kvamme, K. L. 1997. Ranters corner: Bringing the camps together: GIS and ED. V *Archaeological Computing Newsletter* št. 47: str. 1-5.

Kvamme, K. L. 1998. Modelling Archaeological Distributions: Introductory Concepts.

Kvamme, K. L. 1999. Recent Directions and Developments in Geographical Information Systems. V *Journal of Archaeological Research* 7, 2: str. 153-201.

<http://www.springerlink.com/content/x336631r18vr8l2q/> (Pridobljeno 22. 6. 2011.)

Lah, A. 1996. O geografskih značilnostih Lenarta v Slovenskih goricah. V Zorko, B. (ur.) 1996. Zbornik občine Lenart. Lenart, Občina Lenart: str. 11-14.

Leusen van, P.M. 1995. GIS and archaeological resource management: a European agenda. V Lock, G. in Stančič, Z. 1995: *Archaeology and GIS: A European Perspective*. London, Taylor&Francis: str. 27-43.

Lock, G. in Stančič, Z. 1995. *GIS and Archaeology: European Perspective*. London, Francis&Taylor.

Lowry, R. 2008. *Concepts & Applications of Inferential Statistics*. Poughkeepsie, Vassar College.

Montgomery, D. in Runger, G.C. 1999. *Applied statistics and probability for engineers*. Druga izdaja. New York.

Nestorovič, A., Preložnik, A. 2010. Arheološka dediščina občine Starše. V: Radovanovič, S. (ur.) *Starše skozi čas*. Starše, Občina Starše: str. 55-71.

Nyerges, T. in Jankowski, P. 2009. *Regional and urban GIS: a decision support approach*. New York, Guilford Press: str. 299.

Pahič, S. 1961. *Lormanje – Varstvo spomenikov 8*, Ljubljana.

Pahič, S. 1972. *Nov seznam noriško-panonskih gomil*. Razprave SAZU VII/2. Ljubljana, Založba ZRC SAZU: str. 113-212.

Pahič, S. 1976. *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji*. V *Predkovinske kulture Slovenije*. Ljubljana, Filozofska fakulteta: str. 29-83.

Pahič, S. 1996. *Prazgodovinske najdbe v občini Lenart*. V Zorko, B. (ur.). *Zbornik občine Lenart*. Lenart, Občina Lenart: str. 16-19.

Pahič, S. in Lorber, V. 1954. Arheološka najdišča pri Cerkvjenjaku v Slovenskih goricah. Arheološki vestnik 12-13. Ljubljana, Inštitut za arheologijo ZRC SAZU: str. 320-355.

Pevec, D. 2009. Ocenjevanje zanesljivosti posameznih klasifikacij z lokalnimi metodami. Diplomaska naloga. Ljubljana, Fakulteta za računalništvo in informatiko.

Podobnikar, T. 2006. Digitalni model reliefa iz različnih podatkov. Življenje in tehnika 57-4. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije.

Podobnikar, T. 2009a. Posledice negotovih podatkov in informacij pri prostorskem modeliranju kulturne krajine. Ljubljana, ZRC SAZU.

Podobnikar, T. 2009b. Methods for visual quality assessment of a digital terrain model. S.A.P.I.EN.S. 2: str. 1-10.

<http://sapiens.revues.org/index738.html> (Pridobljeno 12. 5. 2011.)

Podobnikar, T. in Oštir, K. 2008. Geographical Information Systems and Remote Sensing Analysis. V: Šprajc, I. (ur.). Reconocimiento arqueológico en el sureste del estado de Campeche, Mexico. Oxford, Archaeopress: str. 243-261.

Schiffer, M. 1986. Advances in Archaeological Method and Theory. Academic Press.

Slana, A. 1996. Lenart skozi stoletja. V Zorko, B. (ur.). Zbornik občine Lenart. Lenart, Občina Lenart: str. 28-30.

Thode, H. 2002. Testing for normality. New York, Marcel Dekker: str. 479
ideas.repec.org/a/bes/jnlasa/v98y2003p765-765.html (Pridobljeno 23. 6. 2011.)

Tomaž, A., Jezeršek, M. in Djurić, B. 2010. Gomile pri Lenartu v Slovenskih goricah. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije: str. 6-9.

Truhlar, F. 1975. Krajevna imena Gradišče, Gomila, Groblje, Žale. V Bolta, L., Gabrovec, S. et al, Arheološka najdišča Slovenije. Ljubljana, Državna založba Slovenije: str. 106-112.

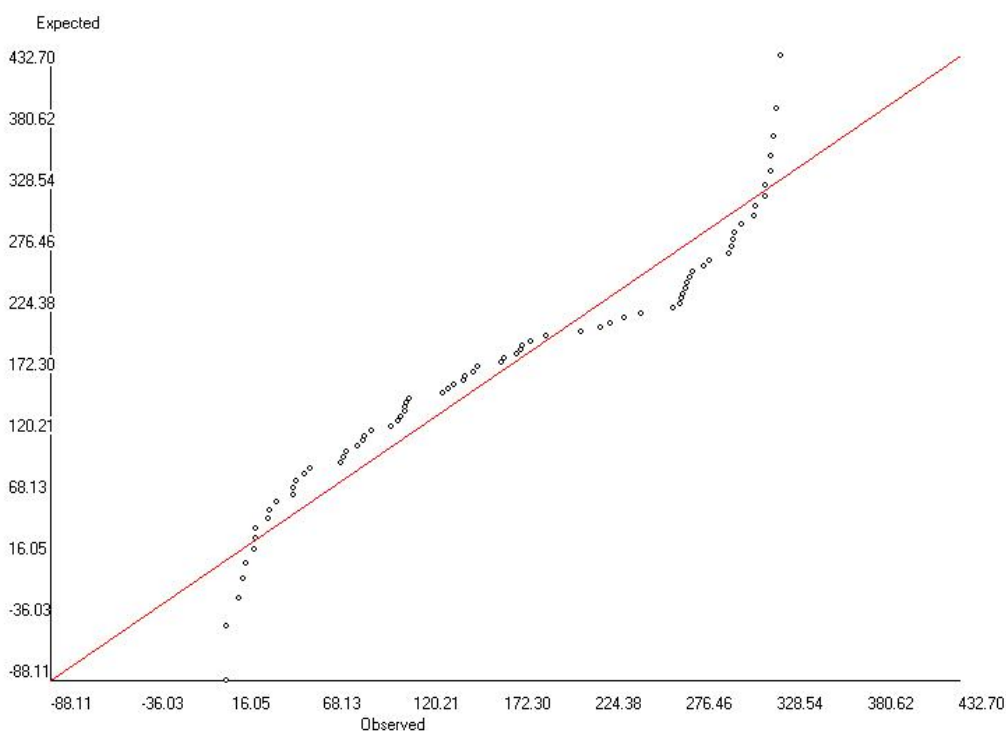
Tušek, I. 1996. Gomilna grobišča v občini Lenart. V Zorko, B. (ur.). Zbornik občine Lenart. Lenart, Občina Lenart: str. 20-24.

Turk, G. 2009. Verjetnostni račun in statistika. Delavna Različica učbenika. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

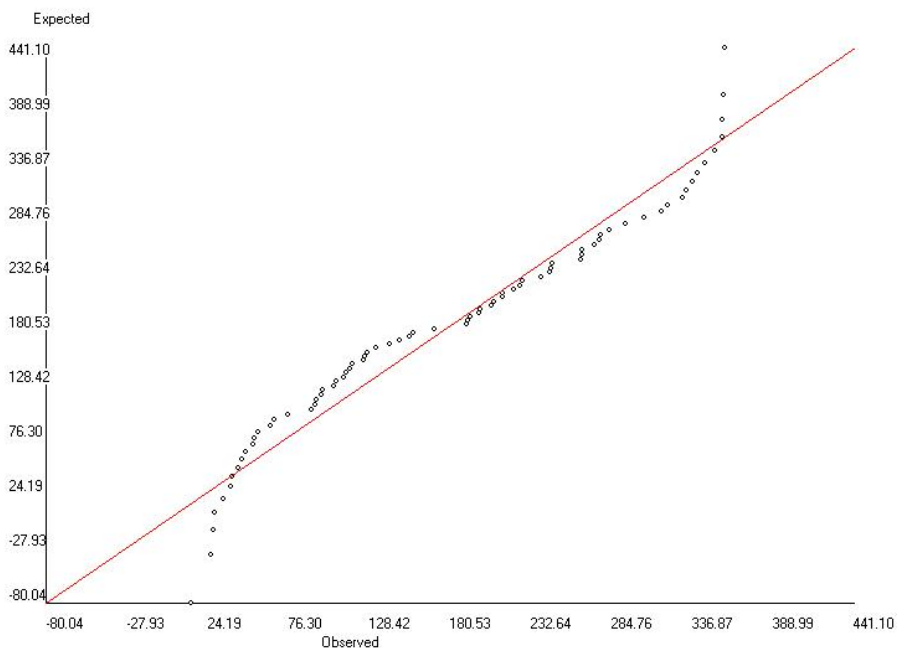
<http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf> (Pridobljeno 24.6. 2011.)

Veljanovski, T. 1999. Prostorsko modeliranje in napovedovanje lokacij arheoloških najdišč.
Diplomska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

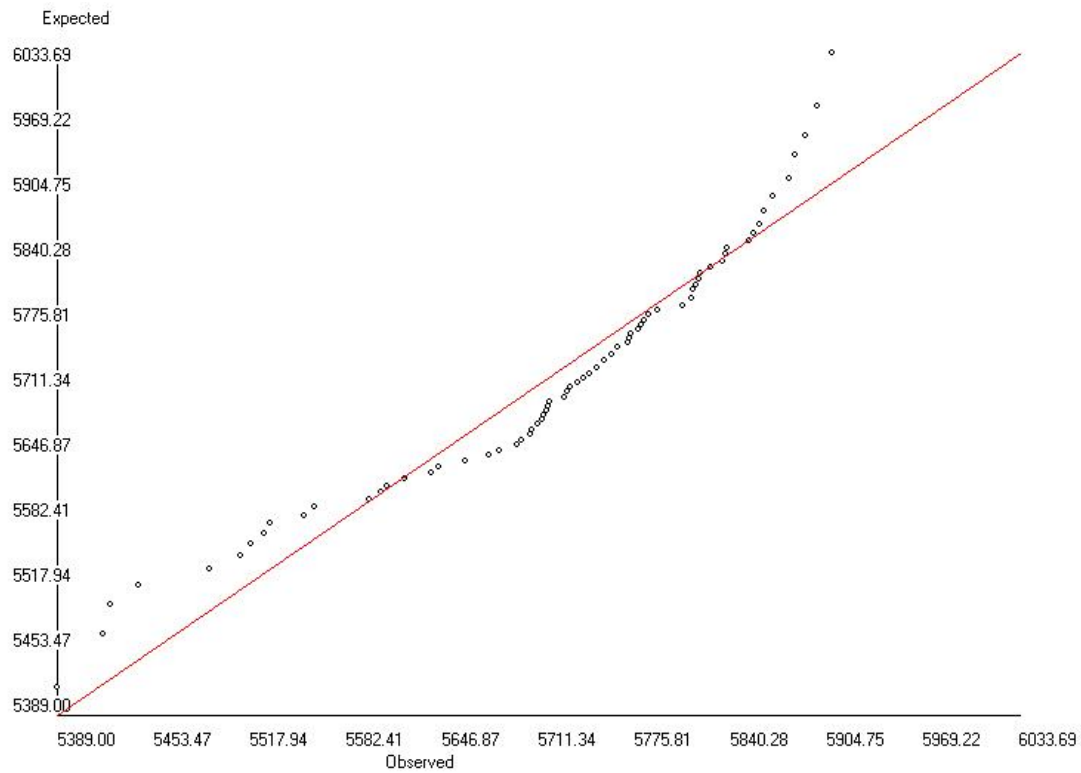
PRILOGA: Grafikoni analiz prostorskih spremenljivk



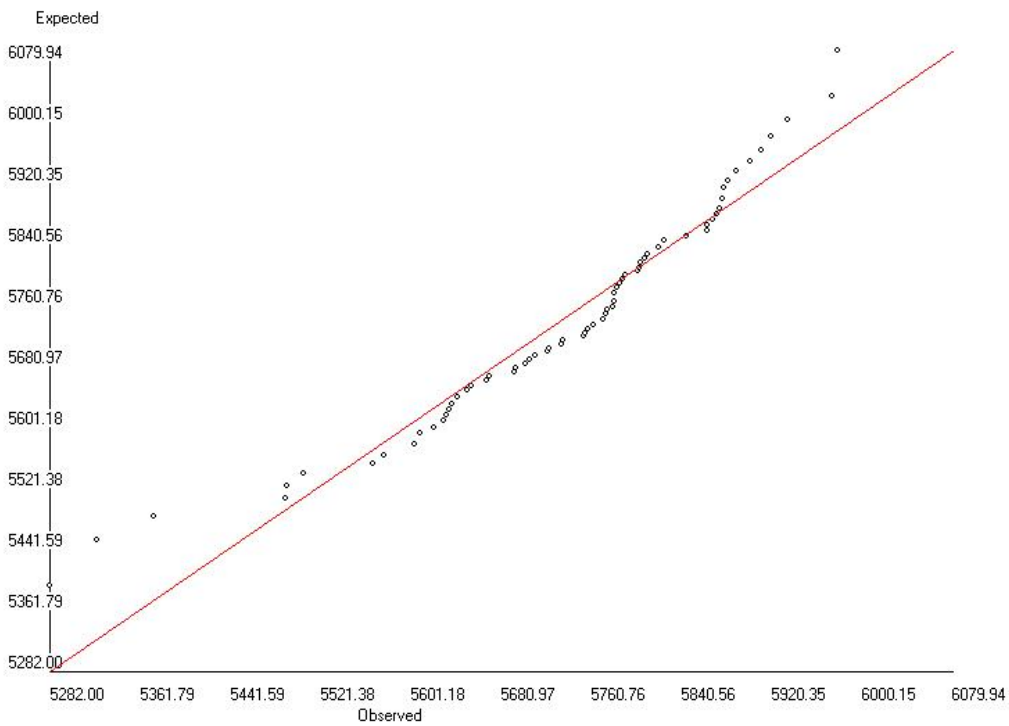
Grafikon 1: QQ analiza spremenljivke »ekspozicija lokacij gomilnih grobišč« s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



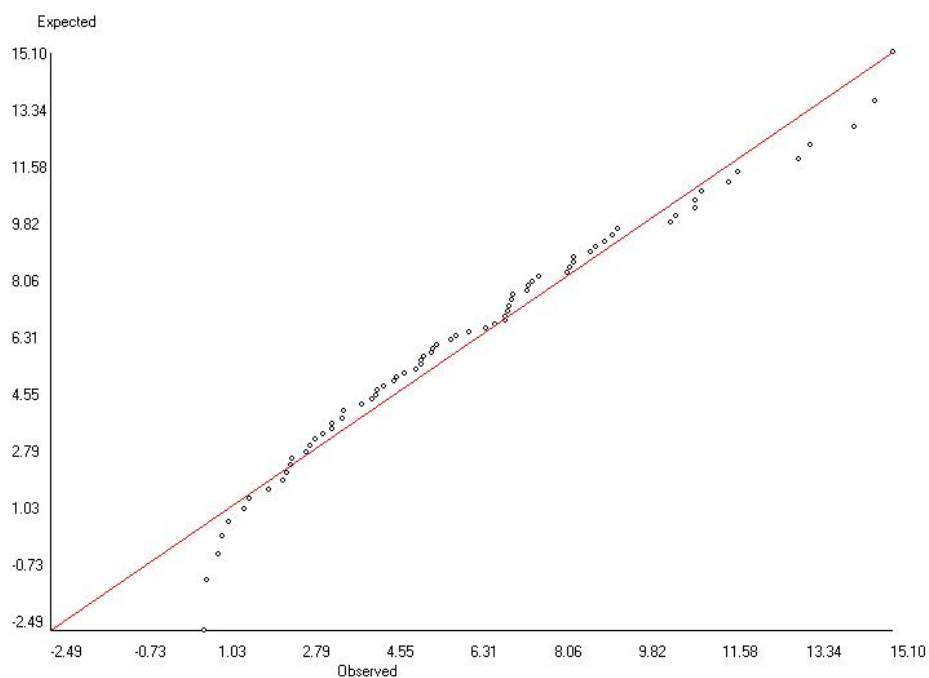
Grafikon 2: QQ analiza spremenljivke »ekspozicija naključnih točk« s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



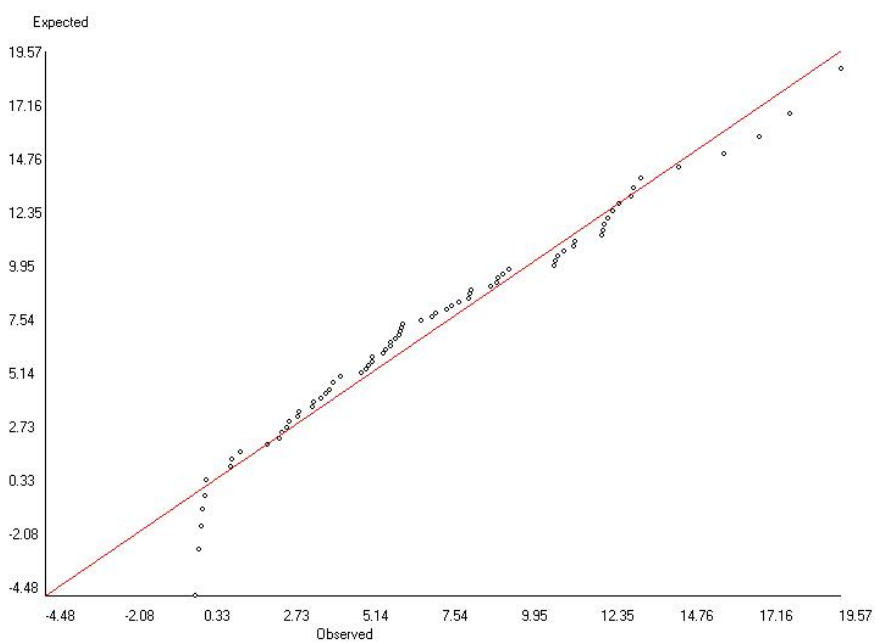
Grafikon 3: QQ analiza spremenljivke »osončenost terena« na lokacijah gomilnih grobišč s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



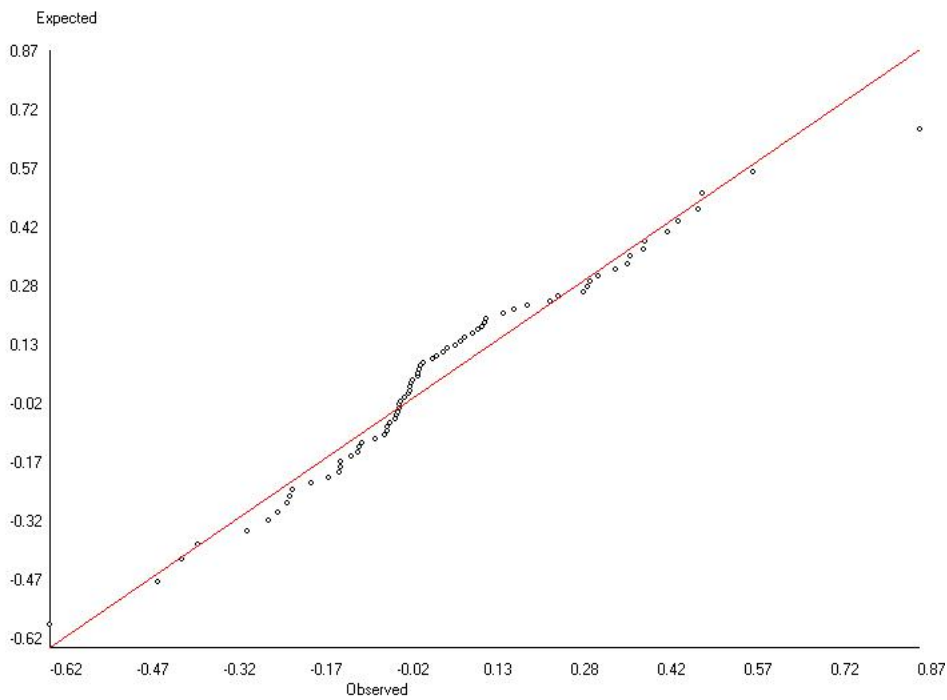
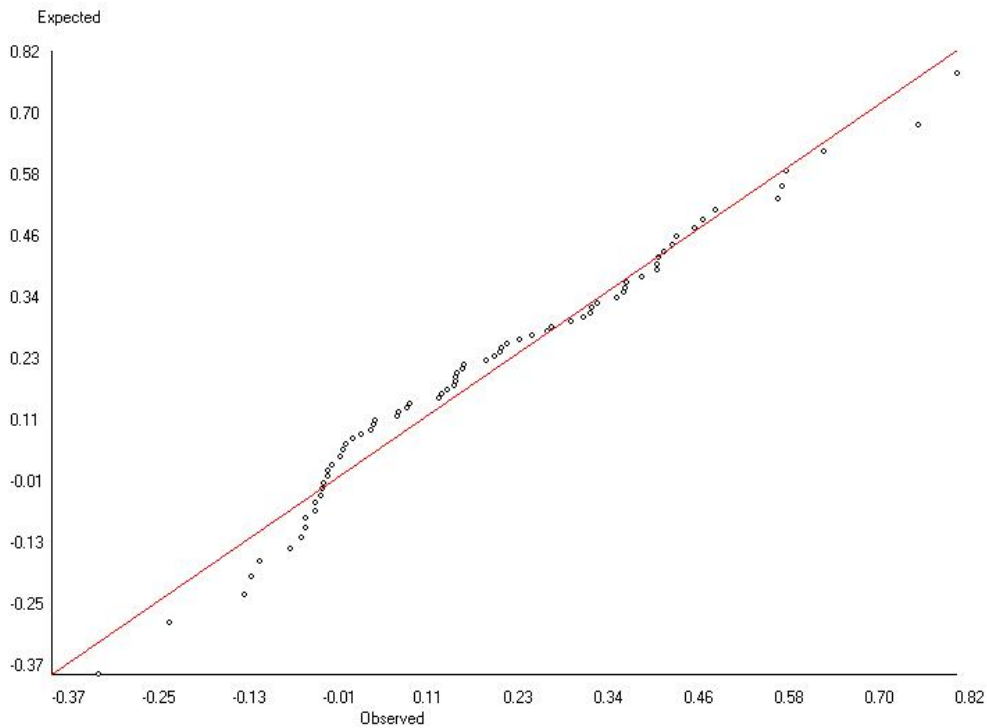
Grafikon 4: QQ analiza spremenljivke »osončenost terena« na naključnih točkah s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



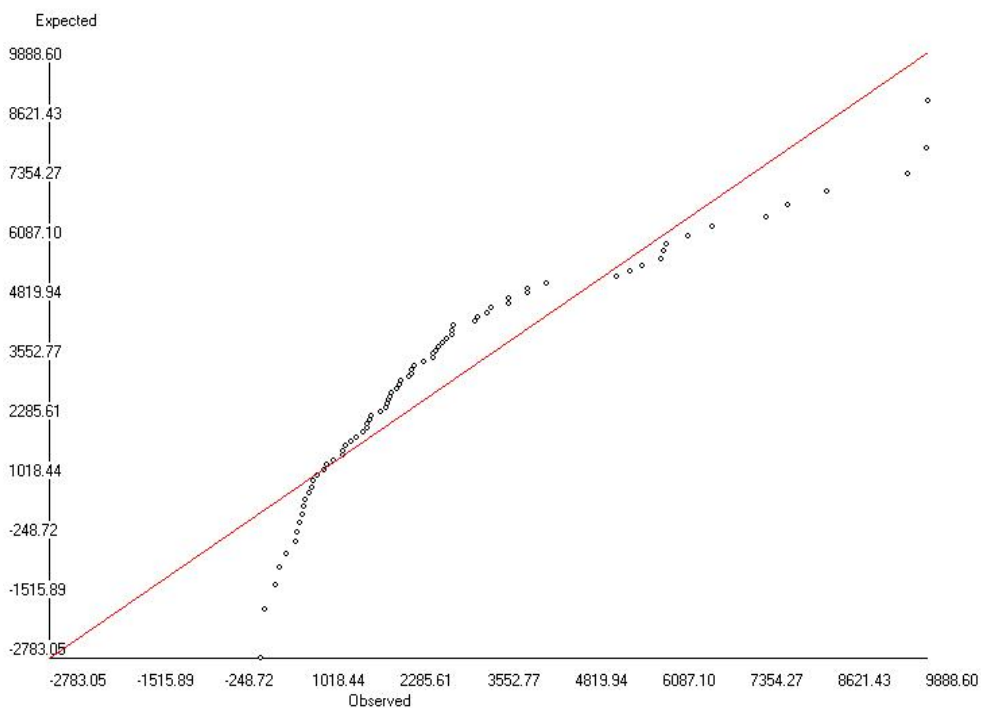
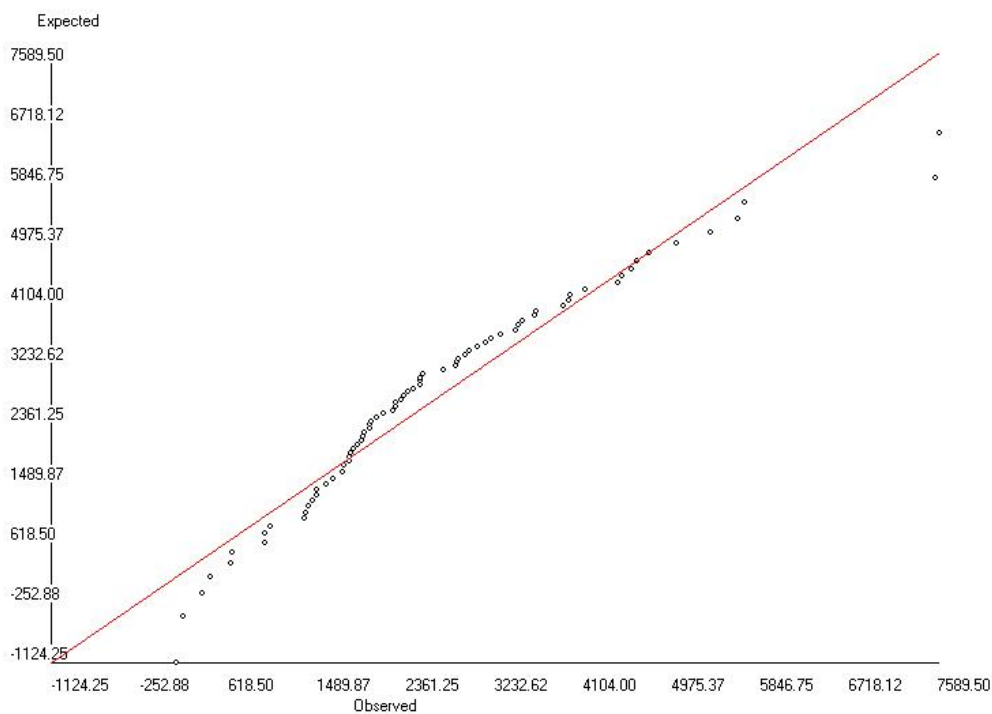
Grafikon 5: QQ analiza spremenljivke »naklon terena« na lokacijah gomilnih grobišč s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



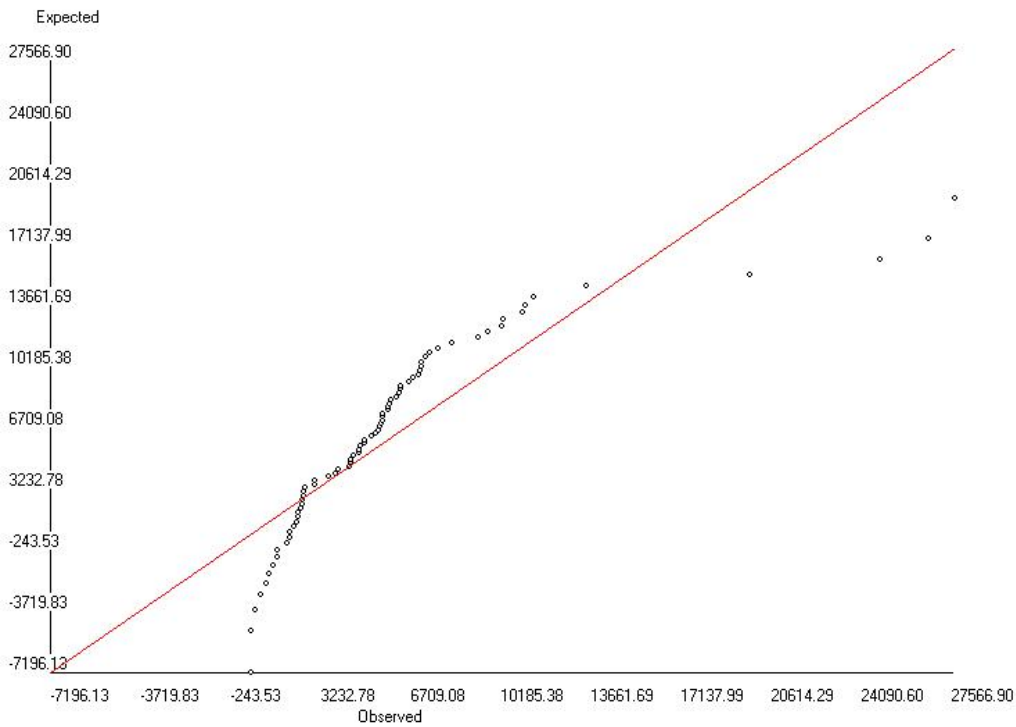
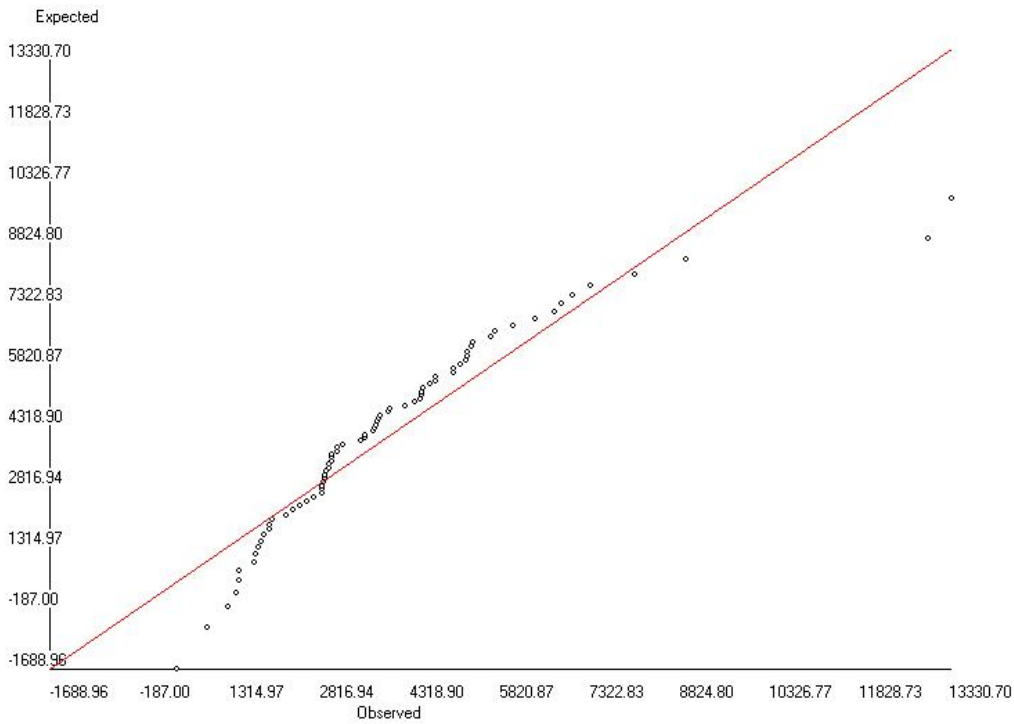
Grafikon 6: QQ analiza spremenljivke »naklon terena« na naključnih točkah s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



Grafikona 7 in 8: QQ analiza spremenljivk »ukrivljenost terena« na lokacijah gomilnih grobišč (zgoraj) in na naključnih točkah (spodaj). V obeh primerih smo predpostavili normalno porazdelitev.



Grafikona 9 in 10: QQ analiza spremenljivke »evklidska razdalja gomilnih grobišč od naselij« (zgoraj) in »evklidska razdalja naključno izbranih točk od naselij« (spodaj) s predpostavljeno normalno porazdelitvijo



Grafikona 11 in 12: QQ analiza spremenljivke »stroškovna razdalja gomilnih grobišč od naselij« (levo) in »stroškovna razdalja naključno izbranih točk od naselij« (desno) s predpostavljeno normalno porazdelitvijo.