

Salahudin Halilović

Salahudin Halilović je zgodovinar in geograf. Rojen je leta 1996 v Slovenj Gradcu. Obiskoval je OŠ Gorica v Velenju in nato Gimnazijo ŠCV. Od leta 2016 študira na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je leta 2020 diplomiral iz geografije in zgodovine. Trenutno je v zaključnem letniku na magistrski stopnji geografije, smer Regionalno planiranje in urbano-ruralne študije ter Uporabna geoinformatika. Je avtor več znanstvenih in poljudnoznanstvenih člankov.

ŠIRJENJE JEZER V ŠALEŠKI DOLINI ZARADI PREMOGOVNIŠKE DEJAVNOSTI: POROČILO Z GEOINFORMACIJSKIMI MODELI, SIMULACIJAMI IN MOŽNIMI SCENARIJI S POMOČJO ORODJA LAND CHANGE MODELER

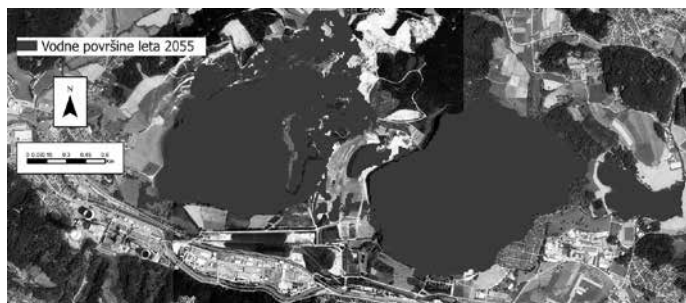
Uvod

Rudarjenje je v okolici Velenja in v Šaleški dolini nasploh pustilo za seboj ogromne gospodarske, demografske in okoljske posledice. Najbolj vidna sprememba je zagotovo ugrezanje tal in nastanek novih, umetnih jezer: Škalsko, Velenjsko in Družmirsko jezero. Premogovniška dejavnost, ki je na območju aktivna že dobrih 150 let, še danes oblikuje površje v okolici teh jezer, kar je možno nazorno razbrati z letalskih fotografij.

Namen tega sestavka je s pomočjo orodij v GIS okolju analizirati procese, ki spremljajo premogovništvo, ter oceniti njihov vpliv na spreminjanje

površja skozi čas. Za cilje sem si zadal procese izluščiti ter jih poimenovati in oceniti njihov obseg v prostoru. S pomočjo letalskih fotografij iz različnih obdobja je možno analizirati največje spremembe in določiti scenarije, ki bi lahko različno vplivali na spremembo površja v bližnji ali daljni prihodnosti. Snovanje scenarijev in njihova izpeljava je prav tako eden od ciljev projekta.

Za to temo sem se odločil zaradi njene lokacijske bližine; ta jezera namreč predstavljajo moje domače okolje in me njihovo spreminjanje skozi čas osebno zanima. S pomočjo sodobnih metod z GIS-i lahko nazorno vidimo, kako bi se lahko površje, ki se je spreminjalo hitreje od samega mesta Velenje, še naprej oblikovalo in posledično vplivalo na lastno bivalno okolje.



Hipotetično območje vodnih površin leta 2055.

Teoretična izhodišča

Velenjski premog so odkrili že pred dobrimi 200 leti, vendar so ga začeli bolj organizirano odkopavati šele v prvi polovici 19. stoletja. Premog so odkrivali na mnogih lokacijah v Šaleški dolini, saj so nanj naleteli pri raznih delih že na površini. Rudniški arhiv hrani številne mlajše izsledke iz širšega zaledja Šaleške doline.¹ Od leta 1829 do 1840 so kopali premog v Pesju

¹ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 8.

in Velenju, verjetno pa takrat še ni prišlo do znatnejšega ugrezavanja pri Pesju, saj so maloštevilni delavci nakopali samo 678,80 starih centov premoga.² Viri o odkopavanju postanejo številnejši po letu 1875, ko se pričnejo tudi prve prave geološke raziskave in globinsko vrtanje. Tako Franc Mages, lastnik premogovniške posesti, tega leta ugotovi, da se pod vrtino I/75 skriva slabih 40 m debel kakovosten sloj lignita, kar je spodbudilo nadaljnje raziskave in pripravljalna dela.³ V naslednjih desetih letih njegov naslednik Daniel Lapp nadaljuje iskanje z vrtinami in v Škalah odkrije kar 102,6 m globok sloj, kar motivira odprtje prvega pravega jaška (t. i. »Rudolf jašek I«) leta 1887. Ti začetni globinski odkopi so se nadaljevali do globine 118,2 metra in pri tem ugotovili debelino sloja 31,6 metra. Razen debeline sloja so raziskali še njegovo raztezanje v obeh smereh jaška s pomočjo dodatnih hodnikov. Izdelava jaška in hodnikov je pomenila tudi prve pridobljene tone iz glavnega lignitnega sloja. Kota ustja jaška je bila na nadmorski višini 397,1 metra, kar pomeni 24 m višje od zdajšnje gladine Škalskega jezera, ki že pokriva lokacijo omenjenega jaška.⁴ Naslednje leto so že odprli nov jašek z imenom »jašek Franc Jožef«, ki je nastal na lokaciji današnjega Starega jaška (danes tam deluje Muzej premogovništva Slovenije). V naslednjih letih se je z izgradnjo železnice do Pesja odkop močno razširil, zgrajenih je bilo več dodatnih rudnih polj in povezava med obema jaškoma. Sočasno se je počasi razvijal tudi zračni sistem, ki je pretočno deloval le ob razliki temperature med zrakom zunaj in zrakom v premogovniku.⁵ Z nevarno metodo »bočnega odkopavanja« so sicer povečali izkop na slabih 100.000 ton letno, a je takšno kopanje pustilo med rudarji tudi mnoge smrtne žrtve.

² Sore, *Montanogene ugreznine v Velenjski kotlini*, str. 11–25.

³ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 9–11.

⁴ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 11–12.

⁵ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 28–32.

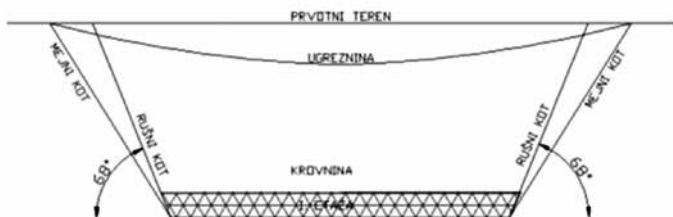


Začetno delovanje »Starega jaška«. Vir: Lukaček, 2019.

Hkrati z odkopavanjem lignita so se z rušenjem odkopane prostora na površini pojavljale razne deformacije v obliki ugreznin. Ugreznina je tisti del zemeljske površine, ki se je preoblikovala pod vplivom rudarskih (odkopnih) del.⁶ Ugreznine, nastale na površini, naj bi prostorninsko ustrezale odkopni praznini v jami. Višina rušenja krovnine (tj. terena na površju) je odvisna od odkopne višine, kamninske podlage in od koeficienta razsipa. Višina rušenja krovnine je bila premo sorazmerna z odkopno višino in obratno sorazmerna s koeficientom razsipa. Stopnja razsipa je bila odvisna od vrste hribin, a je bila vedno večja kot 1. začetni koeficient razsipa gline v krovlini velenjskega rudnika, po prvem rušenju znaša povprečno 1,89, po petem pa 1,59. Tudi po rušenju so bile hribine izpostavljene lastni teži in pritisku, razsipni material se je posedal, razsipna stopnja hribin pa se je sčasoma spremenila. Mehke plasti gline s peskom, kot so v Velenjski kotlini, se hitreje posedajo kakor npr. plasti laporja, apnenca, skrilavcev idr., zato rušenje površja pri prvih hitreje napreduje. Pri odkopu v manjših globinah so se poškodbe na površini pojavile prej kot pri globljih eksploatacijah. Tako so se prvi znaki ugreznanja v škalah pokazali že po treh dneh. Proces konsolidacije je bil sprva dokaj hiter in je dosegel v šestih me-

⁶ Tamše, *Rudarsko merjenje*, str. 15.

secih okrog 90 %, nato pa se je nadaljeval zelo počasi.⁷ Opazovanje dokončne konsolidacije je bilo težko izvedljivo, ker se je pogosto odkopavalo na območjih, kjer se površje po predhodnih delih še ni umirilo.⁸



Vpliv odkopane etaže na površino. Vir: Lukaček, 2019.

V prvih letih 20. stoletja so se na območjih nad etažami z odkopi že ustvarile večje ugreznine, v katerih se je nabirala voda. Prvi takšen primer se je pojavil med letoma 1907 in 1917 nad jugozahodno etažo, tj. nekaj deset metrov jugozahodno od obale današnjega Velenjskega jezera – šlo je za ribnik, imenovan Veliki ribnik, domače pa tudi Pesjanski tajht. Po prvi svetovni vojni se je ugreznanje pojavilo tudi nad današnjim Škalskim jezerom – takrat imenovan Špičkov tajht. Ta ugreznina se bo kasneje povečala v Škalsko jezero in ogrozila prve domačije na območju. Dodatni odkopi so se širili v okolici današnjega Škalskega jezera in na ravnini jugozahodno, zaradi nizkih cen premoga pa so leta 1928/29 zgradili termoelektrarno in mehanizirali ter elektrificirali proizvodnjo. Kljub temu je proizvodnja premoga stagnirala in v 30. letih po krizi tudi upadla na 60.000 ton letno.⁹ Druga svetovna vojna je gmotno vplivala na premogovnik, vojne potrebe po premogu so se povečale in letni odkop je narasel

⁷ Sore, *Montanogene ugreznine v Velenjski kotlini*, str. 11–25.

⁸ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 19–21.

⁹ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 49–57.

na 262.000 ton.¹⁰ Po padcu jugoslovanske vlade je z nemško okupacijo prišla dodatna potreba po premogu. Nemci so z zelo razsipno metodo razširili odkop tudi v varovalne stebre proti škalski cerkvi in pokopališču, proizvodnja je zrastle na 322.000 ton. Neupoštevanje varnostnih stebrov je hitro po prvih odkopih pustilo posledice na domačijah in cerkvi v bližini.

Po vojni se je spet začela konstantna rast proizvodnje, ki se je nadaljevala vse do leta 1986. Skupaj s povečanjem proizvodnje se je večalo tudi število poškodovanih objektov in druge infrastrukture na površini. Določenim merilom za lokacijo novega jaška je ustrezala vasica Preloge. V jami so preizkusili novo metodo z dolgim odkopom, kasneje znano kot široko čelo. Začela so se tudi prva sanacijska dela, med katerimi so našli tudi okostje mastodonta. Med letoma 1941 in 1946 so se vodne površine povečale za celih 12 hektarov, največ Špičkov tajht (Škalsko jezero) in Plevelovo jezero (Velenjsko jezero), drugod pa so se pojavljale manjše mlake. Z izgradnjo začasnega jaška na lokaciji vasice Preloge in odkupom že poškodovanih zemljišč v Škalah je premogovnik premaknil nove odkope na severno stran jaška v Škalah. Ob Škalskem jezeru, ki se je vztrajno širilo, se je v 50. letih začela tudi sanacija in gradnja turistično-rekreativne infrastrukture: restavracije, igrišča za mini-golf, letnega kina, počitniških hišic – večina teh objektov je do 80. let tudi sama doživela ugrezanje in uničenje. V začetku 60. let proizvodnja prvič preseže 2 milijona ton letno in je rastla z vsakim letom, v tem desetletju pa je pod gladino Plevelovega jezera izginila vas Pleterje. V začetku 70. let so odprli tudi novo jamo Preloge-jug, ki je začela prve spremembe na terenu današnjega Družmirskega jezera. Jezera so leta 1976 obsegala že skoraj 100 hektarov, prvo mesto pa je s slabimi 80 hektari prevzelo Plevelovo (Velenjsko) jezero, novo nastalo Družmirsko (Šoštanjsko) pa se je najhitreje širilo. Plevelovo jezero je bilo zaradi onesnaženja biološko mrtvo in skrajno alkalno (pH faktor je znašal nad 12). Glavni povzročitelj takšnega kritičnega stanja je bil elektrofilitrski pepel, ki

¹⁰ Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 59–62.

so ga odlagali neposredno v jezero. Prav za to je bila gradnja kakršnih koli turističnih in rekreacijskih objektov ob jezeru v tem času neprimerna. Poleg tega je jezero vsebovalo visok nivo sulfatov in molibdena, ki so prehajali v vodo iz bližnjega območja sanacije ugreznin.¹¹ V 80. letih so razširili še odkope v jami Preloge in povečali sanacijske posege, predvsem zaščitne nasipe zaradi različnih nadmorskih višin jezer. Začela se je tudi rekultivacija zemljišč, ob Velenjskem jezeru je začelo nastajati vrtičkarsko naselje Kinta Kunte. Leta 1984 je letna proizvodnja znašala dobrih 5 milijonov ton, nastalo je tudi prvo manjše turistično kopališče ob Velenjskem jezeru, Škalsko jezero pa je že imelo približno današnjo obliko.¹²

Škalsko jezero			Velenjsko jezero			Družmirsko (Šoštanjско) jezero		
globina (m)	površina (m ²)	prostornina (m ³)	globina (m)	površina (m ²)	prostornina (m ³)	globina (m)	površina (m ²)	prostornina (m ³)
18,2	164.780	936.444	62,4	1.443.479	33.469.329	88,1	781.295	21.573.643

*Obseg jezer v Šaleški dolini leta 2014.
Vir podatkov: Potočnik, 2015.*

Po letu 1986 se začne postopen upad proizvodnje, za nadaljnje eksploatacije pa se je načrtovala jama Šoštanj, ki bi v pripravljalnih delih imela tudi ekološki element. Del Škal je moral biti zaradi ugreznanja severno od Velenjskega jezera spet prestavljen, vključujoč šolo. Prav tako so morali premikati upravne in pomožne stavbe Premogovnika na območju jaška Preloge. Ti so se nahajali na območju, ki danes predstavlja nasip iz pepela med Velenjskim in Družmirskim jezerom. V devetdesetih letih se je opravljalo zlasti sanacijska dela, ena najpomembnejših sprememb pa je zagotovo oblikovanje lastnega vodnega kroga za odpadne vode. Konec 90. let se zapre tudi jašek Škale (Stari jašek), proizvodnja pa pade pod 4 milijone ton. V začetku 21. stoletja se oblikuje nova meja pridobivalnega območja, ki je uporabljena v

¹¹ Šterbenk, *Preobrazba ugrezninskega Velenjskega jezera*, str. 41–61.

¹² Lukaček, *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*, str. 70–107.

enem od scenarijev. V tem obdobju tudi Velenjsko jezero dobi današnjo obliko. Odkopi so se nadaljevali na jami Preloge-jug in Gaberke, kar je razširilo in predvsem poglobilo Družmirsko (Šoštanjsko) jezero. To jezero je še precej v fazi sprememb, Velenjsko jezero pa se spreminja le v zahodnem delu.

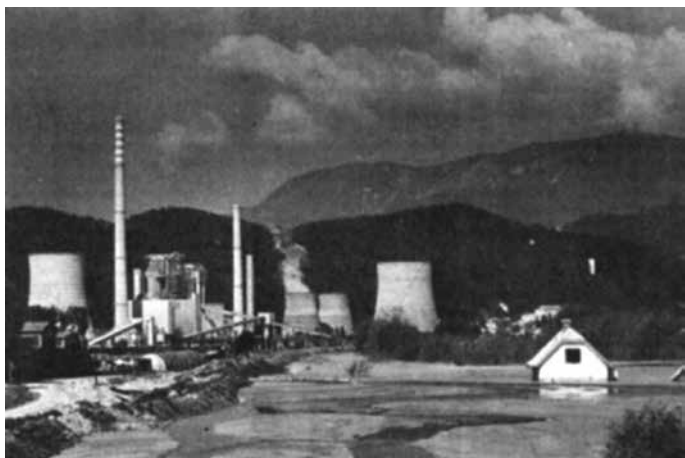
Na premogokopnem območju Premogovnik Velenje redno spremlja premike površja in objektov, za ta namen ima pripravljene opazovalne mreže in opravlja batimetrično izmero jezer (oblikovanje modelov jezerskega dna). Objekte spremljajo s pomočjo klasične geodetske izmere (s pomočjo terestričnih meritev z geometričnim nivelmanom), s samodejnim kontinuiranim GNSS sistemom in z uporabo terestičnega laserskega skeniranja. S pridobljenimi točkovnimi podatki v kombinaciji z ostalimi podatkovnimi sloji lahko zelo natančno napovedujejo vertikalne in horizontalne premike terena.¹³

Del podatkov, ki jih uporablja Premogovnik za svoj model, sem pridobil tudi sam, znane so lokacije nekdanjih, sedanjih in bodočih etaž ter vplivnega območja, pridobil sem tudi sloj plastnic, iz katerega lahko interpoliramo digitalni model reliefa. S pomočjo letalskih fotografij, ki sem jim klasificiral rabo tal, pa lahko sami osnujemo model s skupino orodij Land Change Modeler (LCM) v programskem orodju TerrSet. Land Change Modeler je orodje, namenjeno analizi in napovedovanju rabe tal, predvsem je uporabno pri prostorskem planiranju. Zbirka orodij uporablja časovno spremembo rabe tal za empirično modeliranje odnosa med tranzicijo rabe tal in neodvisnimi spremenljivkami, ki nanjo vplivajo, ter tako pripravi scenarije za prihodnost.¹⁴ Čeprav sta Premogovnik in podjetje Erico opravila že več analiz vpliva ugrezavanja ter njegovega obsega, so te raziskave usmerjene zlasti v ekološko sanacijo sprememb in so le delno javno dostopne (med tujo literaturo sem zasledil raziskavo indijskih znanstvenikov, ki je uporabila LCM za ugotavljanje rabe tal v mestu Muzaffarpur, in to rabo tudi napovedovali v prihodnosti). Čeprav je moj projekt namenjen opazovanju in razlagi vodnih

¹³ Potočnik, *Premogovniške in energetske aktivnosti na jezerih*, str. 10–15.

¹⁴ Eastman, *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*, str. 9.

površin in ne splošne rabe tal, so v članku uporabljene podobne metode in priprava podatkov – zlasti na podobne težave so naleteli pri pripravi submodelov, ki so imeli teoretično prenizko natančnost.¹⁵ Prav tako sem naletel na članek kolumbijskih raziskovalcev, ki so pripravili rabo tal v severozahodni Amazoniji in snovali več scenarijev spremembe rabe gozda v pašnike do leta 2030.¹⁶ Glede na to, da je časovni okvir podoben tistemu v lastnih scenarijih, je tudi ta raziskava prišla prav pri oblikovanju projekta.



Onesnaženje in poplavljanje zaradi nesmotrnega odlaganja rudniške halde in pepela. Vir: Lukaček, 2019.

Uporabljena metodologija

V projektu sem se prostorsko omejil na območje treh jezer v Šaleški dolini, približno 2 km severozahodno od središča v Velenju in približno 500 m vzhodno od centra Šoštanja, vpisane so tudi točne koordinate obrezanih območij v koordinatnem sistemu D48_Slovenia_TM (glej preglednico 2). Letalski posnetki

¹⁵ Varun, J. *Geogr. Inst. Cvijic*, str. 111–127.

¹⁶ Armenteras, *Global Ecology and Conservation*, str. 150–161.

za leto 2014 in 2019 so bili pridobljeni v Geodetski upravi Republike Slovenije (v nadaljevanju GURS). Časovno sta bili določeni dve obdobji napovedovanja: leto 2024, ki predstavlja 5-letno razliko med posnetkoma, ter leto 2055, ki za Premogovnik predstavlja zaključeno obdobje odkopavanja in zaprtje rudnika, za ta čas se je dobilo tudi podatke načrtovanih etaž z odkopi.



Preučevano območje s prikazom reliefa pred odkopavanjem. Vir podatkov: GURS, 2019; Lukaček, 2019



Preučevano območje s prikazom današnjega reliefa. Vir podatkov: GURS, 2019; Lukaček, 2019.

minimalni X odklon	504533 m
minimalni Y odklon	135992 m
maksimalni X odklon	508863 m
maksimalni Y odklon	138262 m

Prostorski obseg obravnavanega območja.

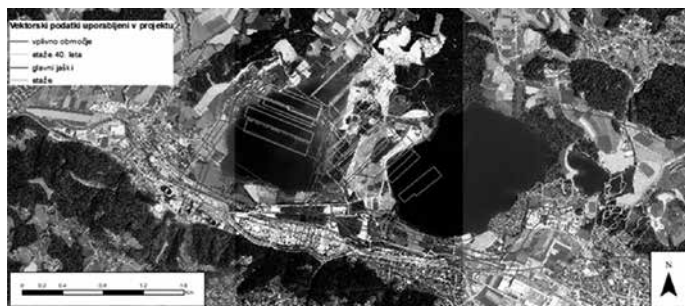
Letalski posnetki so bili pridobljeni v .tiff formatu in uvoženi v program ArcMap 10.8.1 kot rastr, tam smo jim dodelili tudi skupni koordinatni sistem in projekcijo s pomočjo ukaza Define projection. Vektorske podatke sedanjih in prihodnjih etaž, možnega pridobivalnega območja, glavnih rovov in jaškov ter odkopov v 40. letih sem pridobil iz zasebne zbirke Mirana Lukačka, ki je več desetletij urejal GIS na Premogovniku.

Te podatke smo najprej odprli v zbirki programskih orodij Autodesk AutoCad, jih strnili in izvozili iz Drawing formata v Shapefile format, ki se uporablja v orodjih ESRI. V programu ArcMap smo tudi tem podatkom dali skupno projekcijo. Te podatke smo za nadaljnjo rabo v programu TerrSet rasterizirali z ukazom Polygon to Raster, pridobili smo rastrske posnetke formata .tiff, z velikostjo celic 10 m².

Sledilo je urejanje ortofotov in obrezovanje ostalih podatkov na preučevano območje, kar smo uspešno storili z ukazom Extract by Mask v ArcMap-u. Ortofote in rasterizirane podatke s Premogovnika smo nato z ukazom GeoTIFF to Idrisi uvozili v program TerrSet. Za nadaljnjo rabo v modelih smo rasterizirane podatkovne sloje spremenili v Boolove karte dejavnikov, iz katerih smo nadalje izdelali karte oddaljenosti s pomočjo orodja Distance. Podatke digitalnega modela nadmorskih višin pa smo s pomočjo orodja Slope spremenili v karto naklonov. Za obdelavo v orodju Land Change Modeler smo za letnici opazovanja potrebovali raster z definirano rabo tal, kar smo naredili z ločitvijo letalskih posnetkov na posamezne pasove (orodje Composite). Sledila je izdelava podpisa – tj. izdelava kategorij in določanje učnih vzorcev za strojno učenje programa (s pomočjo ukaza MakeSig). Glede na spektralni vzorec odbojnih vrednosti smo določili 4 kategorije: voda, pozidano, gozd in ostalo/drugo. Kategoriji voda in gozd sta predstavljali vodne in zaraščene površine, kategoriji pozidano in ostalo pa naseljene, posekane in sanirane površine v okolici jezer, pa tudi njivske površine, ki so imele podobno odbojno vrednost. Za obe letnici ortofotov smo nato opravili (pol)avtomatsko klasifikacijo z metodo najmanjše razdalje (ukaz MinDist), metodo največje verjetnosti (ukaz MaxLike) in paralelpipedno metodo (ukaz Piped). Najnatančnejša se je izkazala metoda največje verjetnosti, ki smo jo uporabili tudi za končni prikaz rabe tal. Po opravljeni klasifikaciji smo primerjali

klasificirano rabo z originalnimi ortofoti in opazili večje napake pri strojni klasifikaciji, predvsem sta se mešali kategoriji voda in gozd zaradi podobnih odbojnih vrednosti med jezeri in bližnjimi gozdnimi površinami. Prav tako so bile manjše napake na območjih, kjer se naseljene površine izmenjujejo z zelenimi površinami. Popravek vseh večjih napak je bilo zaradi težavnih odbojnih vrednosti najlažje popravljati ročno. Klasificirane posnetke rabe smo zato spet izvozili v ArcMap s pomočjo ukaza Idrisi to GeoTIFF. Nato smo jih v ArcMap-u vektorizirali s pomočjo ukaza Raster to Polygon. Napačno klasificirane poligone smo nato reklasificirali (s pomočjo orodja Select by Atributte) in po potrebi preoblikovali, da so ustrezali originalnim podatkom na ortofotu. Končne popravljene slike rabe tal smo nato spet rasterizirali s pomočjo ukaza Polygon to Raster in jih izvozili v obliki .img formata zaradi težav pri ponovnem uvozu v TerrSet. V le-tega smo jih ponovno uvozili s pomočjo ukaza Image to Idrisi.

S pripravljenimi podatki smo v programu TerrSet začeli uporabljati orodje Land Change Modeler. Najprej smo analizirali spremembe rabe med letoma 2014 in 2019 ter jih kvantificirano predstavili. Trend, ki smo ga opazili v podatkih, je bil temelj nadaljnje raziskave in postavitve treh podmodelov, ki so predstavljali najopaznejše procese na območju: zasipavanje, ugrezanje in poseko. Nato smo izdelali scenarije za obdobji 2024 in 2055. Rezultatom smo s pomočjo orodja Calculate Geometry izračunali površino in dobljene slike analizirali. Končne scenarije smo nato izvozili v ArcMap in jih uredili v kartografske prikaze.



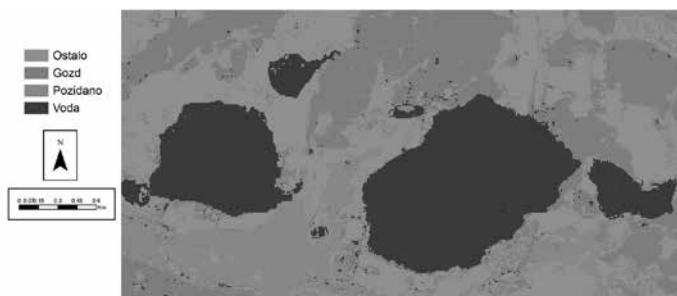
*Prikaz uporabljenih podatkov. Vir podatkov: GURS, 2019;
Lukaček, 2019.*



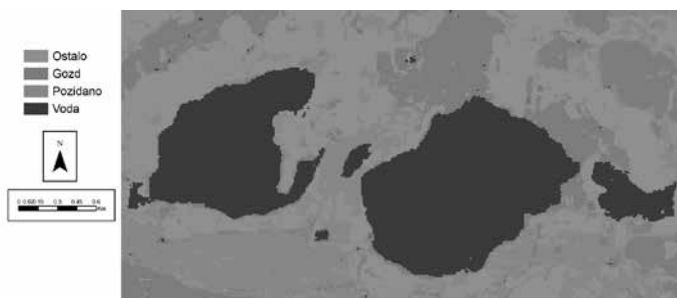
Shematičen prikaz projekta.

Snovanje scenarijev širjenja jezer v Šaleški dolini zaradi premogovniške dejavnosti

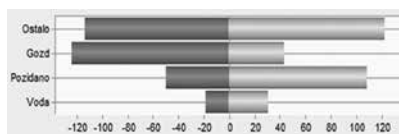
Pred oblikovanjem scenarijev smo v Land Change Modeler-ju analizirali spremembe v letih med 2014 in 2019. Želeli smo v zavihku Change Analysis, v katerem smo izračunali procentualne in hektarske spremembe v kategorijah med letoma 2014 in 2019 (glej sliko 11 in 12). Na osnovi te analize smo izdelali tudi karto sprememb, ki nam omogoča prostorski obseg sprememb (glej sliko 13). Glede na rezultate smo oblikovali podmodele, ki spremljajo procese na območju. V zavihku Transition Potentials smo oblikovali te podmodele: **zasipavanje** (spremembe kategorije voda v kategorije ostalo, gozd in pozidano), **ugrezanje** (spremembe kategorije pozidano, gozd in ostalo v kategorijo voda) in **poseka** (spremembe kategorije gozd v kategorije ostalo in pozidano). Spremembe kategorije pozidano v kategoriji gozd in ostalo ter kategorije ostalo v kategoriji pozidano in gozd nismo obravnavali zaradi napak v klasifikaciji.



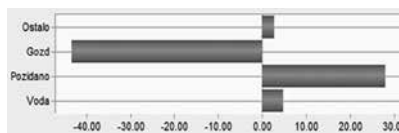
Raba na preučevanem območju leta 2014. Vir podatkov: GURS, 2014.



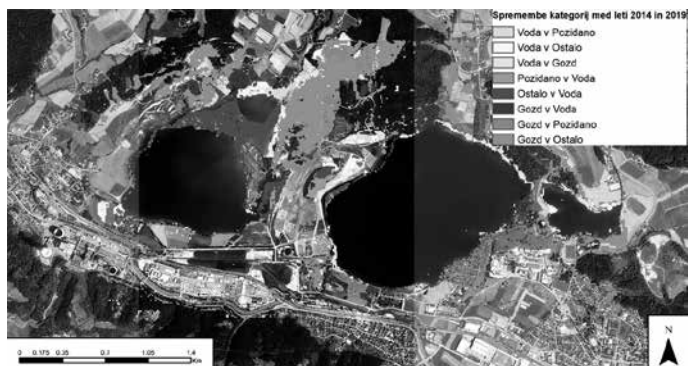
Raba na preučevanem območju leta 2019. Vir podatkov: GURS, 2019.



Razlike v kategorijah na preučevanem območju med letoma 2014 in 2019 (v hektarjih).



Razlike v kategorijah na preučevanem območju med letoma 2014 in 2019 (končna razlika v odstotkih sprememb).



Prostorske spremembe kategorij na preučevanem območju med letoma 2014 in 2019. Vir podatkov: GURS, 2019.

	površine 2014 (v ha)	površine 2014 (v %)	površine 2019 (v ha)	površine 2019 (v %)
voda	255.7	26.01	268.51	27.32
pozidano	149.9	15.25	208.4	21.20
gozd	265.83	27.05	185.38	18.86
ostalo	311.48	31.69	320.62	32.62

Spremembe površin na proučevanem območju med letoma 2014 in 2019.

Scenarije širjenja jezer v Šaleški dolini smo torej zasnovali na osnovi rabe tal, predstavljenih podatkov premogovniške dejavnosti in podatkov, pridobljenih z analizo sprememb v letih med 2014 in 2019. Ti elementi, ki predstavljajo osrednje elemente scenarijev, so vplivali tudi na težo oz. pomembnost posameznih procesov – zasipavanja, ugrezavanja in poseke. Osrednji elementi se med seboj razlikujejo po površini in lokaciji. Poleg osrednjih dejavnikov vplivajo na scenarije tudi gonilni dejavniki, ki so za našo analizo zlasti predpostavljeni: plan premogokopnega območja, državna zakonodaja in strateške usmeritve Evropske unije.

Na gonilne dejavnike močno vplivajo najnovejši dokumenti na državni in lokalni ravni, npr. Vizija in strategija MO

Velenje do leta 2025, Občinski prostorski načrt MO Velenje, Celostna prometna strategija 2017–2022, Nacionalna strategija za izstop iz premoga in prestrukturiranje premogovnih regij v skladu z načeli pravičnega prehoda ter številni drugi strateški dokumenti, ki so trenutno v pripravi.¹⁷ Na proučevano območje vplivajo predvsem dokumenti, ki se tičejo zapiranja oz. preusmeritve Premogovnika Velenje, saniranja degradiranih površin, turistične rabe jezer in gradnje 3. razvojne osi.

Na osnovi omenjenih dejavnikov smo zasnovali štiri scenarije, in sicer: Trend zaprtja, Premogovski plan, Polno kopanje in Nemška sabotaža. Kratki predstavitvi samih scenarijev sledi še izvedba scenarijev širjenja jezer v Šaleški dolini zaradi premogovniške dejavnosti s preglednicami sprememb in kratko obrazložitvijo.

¹⁷ Mori, *Trajnostna urbana strategija za Velenje do leta 2030*, str. 2–5.

Ime scenarija: Trend zaprtja
Opis temeljnih posebnosti scenarija: Prvi scenarij se nanaša na zadnje smernice države in Evropske unije, ki načrtujejo čim prejšnje zaprtje premogovnika in hiter vstop v ogljično nevtralno družbo. Evropska komisija je v okviru misije Podnebno nevtralna in pametna mesta izbrala 100 podnebno nevtralnih in pametnih mest, med katerimi so tudi tri slovenska: Ljubljana, Kranj in Velenje. Izbrana mesta bodo v prihodnjih letih prejela vso podporo in evropska sredstva, da bodo do leta 2030 postala podnebno nevtralna. Vlada je posledično v začetku letošnjega leta sprejela t. i. Nacionalno strategijo za izstop iz premoga in prestrukturiranje premogovnih regij v skladu z načeli pravičnega prehoda, kar pomeni zaprtje in prestrukturiranje Premogovnika v dobrem desetletju.
Temeljne (kvantificirane – izmerjene ali predpostavljene) povezave med dejavniki in osrednjimi elementi scenarija: Glede na omenjene posebnosti smo se odločili povečati težo vrednosti procesov zasipavanja v matriki za 10 %, zmanjšati vrednost poseke za 50 %, vrednost ugrezanja pa zmanjšati za približno 60 %. V modeliranju smo dodatno uporabili podatke DMNV in lokacije glavnih rudniških jaškov.
Temeljni (kvantificirani) rezultati scenarija (po posameznih spremenljivkah oz. osrednjih elementih scenarija): Površina jezer se zmanjša v manjši meri do leta 2024, nato pa se nadalje zmanjšujejo na račun kategorij ostalo in pozidano. Kategoriji gozd in voda se tako vztrajno zmanjšujeta. Zlasti je viden vpliv DMNV, jezera se navidežno izsušijo po plastnicah. Natančnejši rezultati so predstavljeni v naslednjem poglavju.

Ime scenarija: Premogovniški plan
Opis temeljnih posebnosti scenarija: Drugi scenarij temelji na izvirnem načrtu Premogovnika, ki je načrtoval postopno črpanje glavnih zalog premoga v kotlini do leta 2050. V tem scenariju bi se odkop nadaljeval v načrtovanih etažah, lociranih predvsem na zahodu in severozahodu jezer, zlasti pod Družmirskim jezerom. Odkopi na tem območju so že pustili trajne ugreznine v bližini naselij Šoštanj, Gaberke in Škale, s polnim nadaljevanjem odkopavanja bi se te vrzeli še širile ter spravile v nevarnost tudi prebivalstvo in njihovo imetje. Nadaljevanje odkopavanja bi logično nadaljevalo tudi sanacijska dela v okviru Premogovnika, ki pa jih težko napovemo in vstavimo v scenarij.
Temeljne (kvantificirane – izmerjene ali predpostavljene) povezave med dejavniki in osrednjimi elementi scenarija: V tem scenariju smo se odločili za minimalno spreminjanje matrike, saj je že sprememba med letoma 2014 in 2019 nakazovala veliko odkopavanje in spremembe na površju. V modeliranju smo dodatno uporabili podatke DMNV, lokacije glavnih rudniških jaškov in etaže odkopov.
Temeljni (kvantificirani) rezultati scenarija (po posameznih spremenljivkah oz. osrednjih elementih scenarija): Obseg jezer se občutno poveča na račun kategorij <u>ostalo</u>, <u>pozidano</u>, zlasti pa se zmanjša površina gozda. To kaže na močan porast procesov ugrezanja in poseke. Najbolj se razširi območje Družmirskega in Velenjskega jezera, na ugreznjenih območjih, ki so nastala nad območji etažnih odkopov, se oblikujejo posamezni otočki površja nad gladino. Natančnejši rezultati so predstavljeni v naslednjem poglavju.

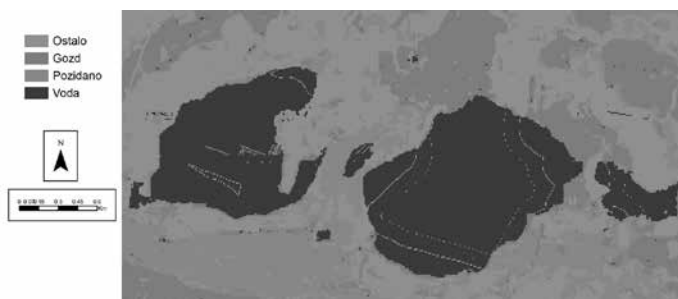
Ime scenarija: Polno kopanje
Opis temeljnih posebnosti scenarija: Tretji scenarij izvira na predpostavki globalne energetske krize, v kateri niti lokalne niti državne oz. evropske vladajoče strukture niso kos pomanjkanju energije. Temu sledeče je Slovenija prisiljena zapustiti načrt nizkoogljičnih energetskih virov in investira v še obsežnejše kopanje premoga za Termoelektrarno Šoštanj. V tem scenariju bi se odkop, enako kakor v drugem scenariju, nadaljeval v načrtovanih etažah, lociranih predvsem na zahodu in severozahodu jezer, zlasti pod Družmirskim jezerom. Odkopi na tem območju bi zagotovo pustili trajne posledice tudi na poseljenih območjih.
Temeljne (kvantificirane – izmerjene ali predpostavljene) povezave med dejavniki in osrednjimi elementi scenarija: Ker gre za skrajn primer in nujno izkopavanje vseh zalog lignita v Šaleški dolini, smo za ta scenarij občutno zmanjšali vpliv zasipavanja v matriki. Podobno kakor v drugem scenariju pa smo povečali vrednosti spreminjanja kategorij v vodo ter spreminjanje kategorije gozd v kategorije voda, ostalo in pozidano. V modeliranju smo dodatno uporabili podatke DMNV, podatke etažnih odkopov in podatek vplivnega območja, ki predstavlja skrajno mejo vpliva Premogovnika.
Temeljni (kvantificirani) rezultati scenarija (po posameznih spremenljivkah oz. osrednjih elementih scenarija): Kakor pričakovano, se obseg jezer močno poveča na račun kategorij <u>ostalo</u>, <u>pozidano</u>, zlasti pa se zmanjša površina gozda. To kaže na močan porast procesov ugrezanja in poseke. Najbolj se razširi območje Družmirskega in Velenjskega jezera, na ugreznjenih območjih, ki so nastala nad območji etažnih odkopov, se oblikujejo posamezni otočki površja nad gladino. Za razliko od drugega scenarija je površina vode še obsežnejša. Med otočki se oblikuje tudi povezava med Družmirskim in Velenjskim jezerom. Natančnejši rezultati so predstavljeni v naslednjem poglavju.

Ime scenarija: Nemška sabotaža
Opis temeljnih posebnosti scenarija: Gre za alternativen scenarij, ki je osnovan na zgodovini Premogovnika med drugo svetovno vojno. Kakor je omenjeno v poglavju Teoretična izhodišča, so Nemci med okupacijo z razsipno metodo odkopa in neupoštevanjem varnostnih stebrov povzročili hude posledice na površini. V našem primeru bi Nemci prevzeli sedanje stanje in poskušali s ponovnim odkopom zalog pod Škalskim jezerom, le da bi v tem scenariju upoštevali ugrezanje jezera ter bi s sprotnim zasipavanjem poskušali zakrpati ugreznjeno površje. Rezultat bi bil večji odkop premoga, a bi Šaleška dolina plačala visoko ceno zaradi razširjene onesnaženosti, nesmotrne sanacije in nekvalitetnega bivalnega okolja v neposredni bližini bivalnega območja.
Temeljne (kvantificirane – izmerjene ali predpostavljene) povezave med dejavniki in osrednjimi elementi scenarija: Osnova za ta scenarij so podatki odkopov iz 40. let, ki so locirani na jugu in jugovzhodu Škalskega jezera. V matriki smo za 10 % zmanjšali težo procesov ugrezanja in poseke, zaradi sanacije odkopov pod Škalskim jezerom pa za 40 % povečali težo vplivov zasipavanja, torej spremembe kategorije vode v kategorije ostalo, gozd in pozidano. V modeliranju smo dodatno uporabili podatke DMNV, podatke etažnih odkopov in podatke odkopov iz 40. let.
Temeljni (kvantificirani) rezultati scenarija (po posameznih spremenljivkah oz. osrednjih elementih scenarija): Navkljub spremembam v matriki se je površina vode zopet povečala zaradi ugrezanja v okolici Družmirskega jezera, najverjetneje so na to vplivali podatki etaže odkopov. Prav tako se pojavi vodna površina na severu preučevanega območja, kar lahko upoštevamo za napako v klasifikaciji. Pravilna pa je bila domneva o zasipavanju, saj se zlasti Škalsko jezero zmanjša na račun kategorij ostalo in pozidano, deloma pa se razširijo tudi površine gozda, predvsem v Velenjsko jezero. Natančnejši rezultati so predstavljeni v naslednjem poglavju.

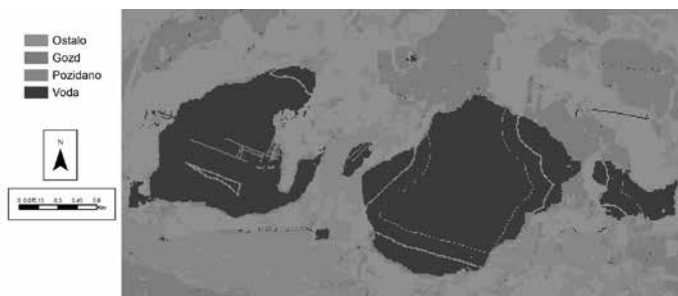
Scenarij Trend zaprtja

kategorija	površine 2014 (v ha)	površine 2014 (v %)	površine 2019 (v ha)	površine 2019 (v %)
voda	255.7	26.01	268.51	27.32
pozidano	149.9	15.25	208.4	21.20
gozd	265.83	27.05	185.38	18.86
ostalo	311.48	31.69	320.62	32.62
kategorija	premogov- niški plan 2024 (v ha)	premogov- niški plan 2024 (v %)	premogov- niški plan 2055 (v ha)	premogov- niški plan 2055 (v %)
voda	264.71	26.93	360.91	26.64
pozidano	209.92	21.36	211.44	21.51
gozd	184.88	18.81	184.38	18.76
ostalo	323.4	32.90	326.18	33.19

Površina posameznih kategorij med leti za izbrani scenarij.



Proučevano območje leta 2024 glede na scenarij Trend zaprtja. Vir podatkov: GURS, 2019.



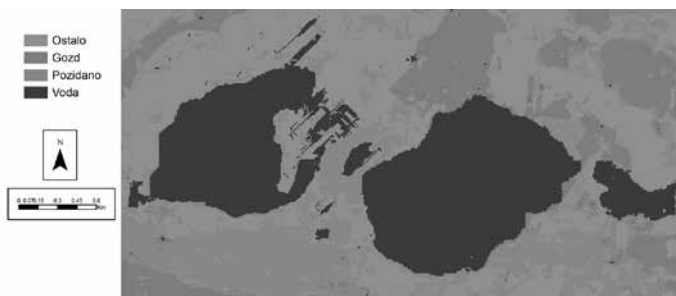
Proučevano območje leta 2055 glede na scenarij Trend zaprtja. Vir podatkov: GURS, 2019.

Kakor smo napovedali v prejšnjem poglavju, scenarij Trend zaprtja napoveduje omejitev odkopavanja in pospešeno zasipavanje nastalih ugreznin. Če opazujemo spremembe v površini (glej preglednico 4), hitro opazimo postopno zmanjšanje vodnih in zelenih oz. gozdnih površin ter povečanje kategorije *pozidano in ostalo*. Vodna telesa se navidezno »izsušijo« v prvih 5 letih napovedi za slabe 4 hektarje, zlasti na območju glavnih rudniških jaškov. V Velenjskem in Škalskem jezeru nastajajo nenavadne proge kopnega, ki najverjetneje sledijo plastnicam na DMNV. Povečanje kategorij *ostalo in pozidano* lahko povežemo s širjenjem naselij ob jezeru, gradnjo turistično-rekreativnih objektov v bližini in splošno sanacijo ugreznin.

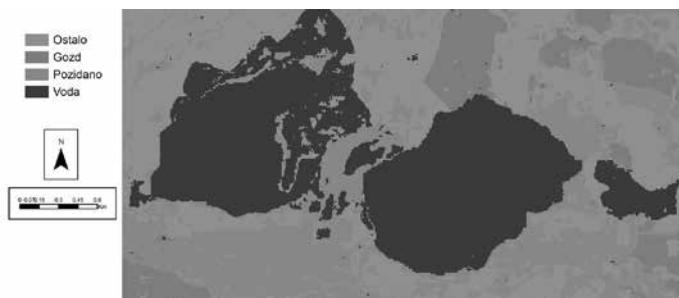
Scenarij Premogovniški plan

kategorija	površine 2014 (v ha)	površine 2014 (v %)	površine 2019 (v ha)	površine 2019 (v %)
voda	255.7	26.01	268.51	27.32
pozidano	149.9	15.25	208.4	21.20
gozd	265.83	27.05	185.38	18.86
ostalo	311.48	31.69	320.62	32.62
kategorija	premogov- niški plan 2024 (v ha)	premogov- niški plan 2024 (v %)	premogov- niški plan 2055 (v ha)	premogov- niški plan 2055 (v %)
voda	279.71	28.46	333.08	33.89
pozidano	221	22.48	253.5	25.79
gozd	143.66	14.62	90.67	9.22
ostalo	338.54	34.44	305.66	31.10

Površina posameznih kategorij med leti za izbrani scenarij.



Proučevano območje leta 2024 glede na scenarij Premogovniški plan. Vir podatkov: GURS, 2019.



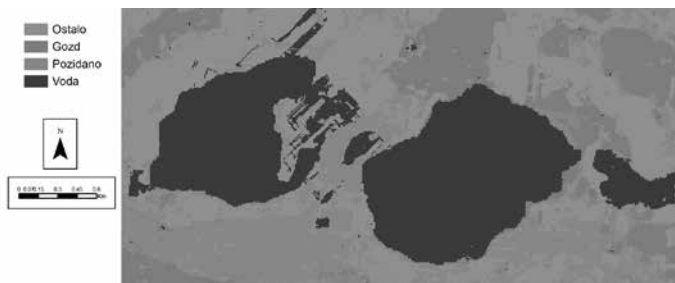
Proučevano območje leta 2055 glede na scenarij Premogovniški plan. Vir podatkov: GURS, 2019.

Scenarij Premogovniški plan napoveduje odkopavanje do leta 2050, kar se lepo kaže tudi v spremembah na površju. Vodne površine se zlasti povečajo na območju načrtovanih etaž, ki se nahajajo pod Družmirskim jezerom ter zahodno in severno od njega. Prav tako se zahodno širi tudi Velenjsko jezero. V roku petih let se ugreznine povečajo ne le v posamezne vodne bazene, temveč se širi tudi kategorija ostalo. To lahko razlagamo kot posledico hitrega premikanja površja, plazenje pa poleg zemljine odnaša tudi rastje. Kategoriji ostalo in voda se tako povečata najbolj na račun kategorije gozd, ki se do leta 2024 zmanjša za več kot 40 ha, do leta 2055 pa za celih 95 ha oz. več kot polovico proučevanega območja. Deloma je zato kriva tudi napaka v klasifikaciji, saj izginjajo tudi gozdne površine južno od jezera, v okolici Pesja. Do leta 2055 se navkljub začetni rasti tudi kategorija ostalo zmanjša, obseg pozidanih površin pa vztrajno raste. Na območju Družmirskega jezera zaradi razlik v reliefu nastanejo posamezni otočki. Sodeč po podatkih v scenariju, bi skupna površina jezer leta 2055 tako preseгла površino Bohinjskega jezera.

Scenarij »Polno kopanje«

kategorija	površine 2014 (v ha)	površine 2014 (v %)	površine 2019 (v ha)	površine 2019 (v %)
voda	255.7	26.01	268.51	27.32
pozidano	149.9	15.25	208.4	21.20
gozd	265.83	27.05	185.38	18.86
ostalo	311.48	31.69	320.62	32.62
kategorija	polno kopanje 2024 (v ha)	polno kopanje 2024 (v %)	polno kopanje 2055 (v ha)	polno kopanje 2055 (v %)
voda	286.12	29.11	344.82	35.08
pozidano	220.7	22.45	261.7	26.63
gozd	159.55	16.23	73.45	7.47
ostalo	316.54	32.20	302.94	30.82

Površina posameznih kategorij med leti za izbrani scenarij.



Proučevano območje leta 2024 glede na scenarij Polno kopanje. Vir podatkov: GURS, 2019.



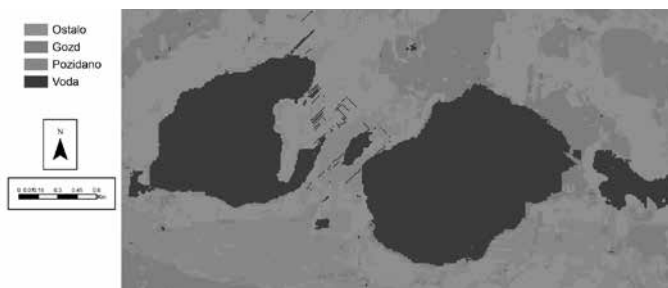
Proučevano območje leta 2055 glede na scenarij Polno kopanje. Vir podatkov: GURS, 2019.

Podobno kakor v scenariju Premogovniški plan, zlasti zaradi uporabe podobnih podatkov in predpostavljajanja v matriki, se tudi v scenariju Polno kopanje močno širi kategorija voda, predvsem na območju etaž. Ker smo v slednjem scenariju upoštevali še podatek vplivnega območja, se jezera grezajo še hitreje in agresivneje, zopet v škodo gozdnih površin. Za razliko od drugega scenarija pa voda poplavi skrajna severna pobočja in preseže mejo proučevanega območja. Tako bi ugreznine na zahodu zagotovo ogrozile naselja v občini Šoštanj, širjenje jezera severno pa bi lahko presekale glavno cestno povezavo naselij Gaberke – Škale – Hrastovec. Poleg tega bi severno v naslednjih desetletjih lahko pričakovali večje poplave potoka Velunja, ki se izliva v Družmirsko jezero. Če to kombiniramo s širjenjem Velenjskega jezera zahodno in ugrezanjem nasipa oz. deponije med obema jezeroma, bi to močno vplivalo na gradbeno izvedbo načrtovane hitre ceste 3. razvojne osi. Prav tako bi ta proces združil jezera in oblikoval ogromno vodno telo, ki bi se svojo velikostjo približalo Ptujskemu jezeru, tretjemu največjemu jezeru v Sloveniji. Kakor v drugem scenariju se tudi tukaj zaradi razlike v reliefu pojavijo otočki, le da jih je v slednjem scenariju še več. Za razliko od drugega scenarija pa kategorija *ostalo* vztrajno pada, kategorija *gozd* pa se drastično zniža, namreč za več kot 110 hektarjev v 36 letih.

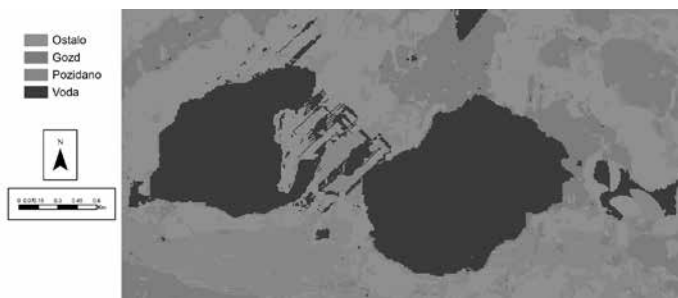
Scenarij Nemška sabotaža

kategorija	površine 2014 (v ha)	površine 2014 (v %)	površine 2019 (v ha)	površine 2019 (v %)
voda	255.7	26.01	268.51	27.32
pozidano	149.9	15.25	208.4	21.20
gozd	265.83	27.05	185.38	18.86
ostalo	311.48	31.69	320.62	32.62
kategorija	nemška sa- botaža 2024 (v ha)	nemška sa- botaža 2024 (v %)	nemška sa- botaža 2055 (v ha)	nemška sa- botaža 2055 (v %)
voda	269.84	27.45	275.51	28.03
pozidano	210.71	21.44	213.04	21.67
gozd	177.37	18.05	171.36	17.43
ostalo	324.99	33.06	323	32.86

Površina posameznih kategorij med leti za izbrani scenarij.



Proučevano območje leta 2024 glede na scenarij Nemška sabotaža. Vir podatkov: GURS, 2019.



Proučevano območje leta 2055 glede na scenarij Nemška sabotaža. Vir podatkov: GURS, 2019.

Zadnji scenarij je bil predpostavljen na povsem alternativnih in nestvarnih smernicah. Navkljub večje teže procesa zasipavanja v matriki so vodne površine vztrajno rastle vse do leta 2055, najbolj na območju etažnih odkopov med obema jezeroma. Tukaj moramo upoštevati tudi večjo napako v klasifikaciji, na območju Škal se namreč pojavi in širi vodno telo, ki ga ne moremo logično razlagati. Čeprav se je kategorija voda povečala za 7 hektarov, pa lahko opazimo na južnih bregovih Škalskega jezera postopno zasipavanje. To lahko razlagamo kot sanacijo del v okolici rudniškega jaška, ki so ga Nemci izkoriščali v 40. letih prejšnjega stoletja in bi ga v predvidenem scenariju zopet odprli. Do leta 2024 že nastaneta dva nasipa na skrajnem južnem pobočju jezera, ki se do leta 2055 razširita do sredine jezera in skoraj presekata jezero na dva manjša bazena. S severa se jima pridruži še en krak zasutja s kategorijo *ostalo*. Na vzhodni in severovzhodni obali Velenjskega jezera lahko prav tako opazimo širjenje gozda v samo jezero. Zaradi uravnovešene matrike se nobena od kategorij ne spremeni drastično, optimistična je zlasti ocena gozdnih površin, ki se do leta 2055 zmanjša le za 14 ha.

Zaključek

V opisanih štirih scenarijih v dveh časovnih obdobjih lahko ocenimo, da so bili namen in cilji naše raziskave doseženi. Glede na razlike v površju med letoma 2014 in 2019 bi lahko napovedali, da se bo velikost jezer še dalje širila, a nam regulative in smernice iz države in Evropske unije kažejo na hitrejšo zaprtje rudnika in preobrazbo pokrajine, kot smo sprva pričakovali. Skupno lahko zaključimo, da se bodo na preučevanem območju širili vsi trije obravnavani procesi: ugrezanje, zasipavanje in poseka. Brez upoštevanja dodatnih faktorjev, natančnejših podatkov in načrtov Mestne občine Velenje ter usode Premogovnika pa težko ovrednotimo do kolikšne mere, kje in kako bodo omenjeni procesi vplivali na percepcijo Šaleške doline.

Uporabljena metoda se je glede na zastarelost programske opreme in kvaliteto podatkov precej dobro obnesla. Za konkreten primer bi seveda potrebovali še mnogo drugih podatkov, še posebej šibko smo upoštevali pomen sanacij in urejanja okolja, ki ga vrši Premogovnik Velenje. Prav tako je večino osrednjih in gonilnih dejavnikov zelo težko kvantificirati zaradi same narave problema. Programsko orodje Land Change Modeler je v osnovi dobro izhodišče za napoved sprememb glede na ustaljene trende, vendar je sam vpliv spremenljivk, uporabljenih podatkov in raba matrike zelo nestanovit, zahteven in spremenljiv. Skratka, že manjše spremembe v osnovnem modelu pripeljejo do široko različnih rezultatov, ki so lahko nelogični, zlasti pa težko preverljivi.

Analizirani scenariji so v praksi težko uporabni in še težje unovčljivi, saj Premogovnik v svojih analizah uporablja veliko bolj natančne podatke in številnejše podatke, ki so utemeljeni na realnejših predpostavkah. Je pa postopek zanimiv za širšo javnost, samo metodologijo bi pa lahko ponudili javnim institucijam, npr. Mestni občini Velenje.

Viri in literatura

- Armenteras, D., Murcia, U., Marisol Gonzalez, T., Javier Baron, O., Eliecer Arias, J. »Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness.« V: *Global Ecology and Conservation*, 17, 2019, str. 150–161.
- Drev, J. *Analiza ugrezninskega območja Šaleške doline, s poudarkom na spremembah, nastalih v 21. stoletju*. Velenje: Visoka šola za varstvo okolja, 2017.
- Eastman, J. R., Toledano, J. »A Short Presentation of the Land Change Modeler (LCM).« V: Camacho Olmedo, M.T. (ur.). *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*. Hamburg: Springer International Publishing, 2018.
- Lukaček, M. *Premogovniška dejavnost in njen vpliv na površinsko območje Šaleške doline*. Velenje: Premogovnik, 2019.
- Mori, I., Sitar, K., Gradišnik, B., Grudnik, D., Knez, H., Petkovšek, A., Pritrznik, M., Rednjak, A., Sovinc, A. *Trajnostna urbana strategija za Velenje do leta 2030 – novelacija*. Velenje: Mestna občina Velenje, 2022.
- Potočnik, D. *Premogovniške in energetske aktivnosti na jezerih*. Velenje: Premogovnik, 2015.
- Sore, A. »Montanogene ugreznine v Velenjski kotlini.« V: *Geografski vestnik*, 46, str. 11–25, 1974.
- Sušec, L. *Sanacija območja ugreznin na pregradi med Velenjskim in Družmirskim jezerom*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 2012.
- Šterbenk, E., Ramšak, R., Glinšek, A., Mavec, M. »Preobrazba ugrezninskega Velenjskega jezera.« V: *Dela*, 47, 2017, str. 41–61.
- Tamše, M. *Rudarsko merjenje*. Ljubljana: Zavod SR Slovenije za šolstvo, 1989.
- Varun, N. M., Praveen, K. R., Kshitij, M. »Prediction of Land Use Changes Based on Land Change Modeler (LCM) Using Remote Sensing: a Case Study of Muzaffarpur (Bihar), India.« V: *J. Geogr. Inst. Cvijic.*, 64(1), 2014, str. 111–127.