

UDK 551.46.082:556.55(497.5):528.063.4:528.067:311
Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

Batimetrijska izmjera jezera Skradinskog buka

Ante ŠILJEG – Zadar¹, Mladen JURIŠIĆ – Osijek²,
Ivan MARIĆ – Zadar¹

SAŽETAK. Batimetrijsko istraživanje jezera na Skradinskom buku obuhvaćalo je širok spektar aktivnosti koje su se provodile u nekoliko faza prema standardima Međunarodne hidrografske organizacije. Mjerenja su izvedena integriranim mjernim sustavom koji je uključivao tri glavne sastavnice: jednosnopni dubinomjer Hydrostar 4300 i GPS uređaje Ashtech Promark 500 – bazni (base) i Thales Z-Max – pokretni (rover). Područje premjera obuhvatilo je 8 jezera ukupne površine 5,677 ha. Ukupno su prikupljene 2623 točke. Istraživanje je provedeno u svrhu: izrade batimetrijskih karta, klasifikacije jezerskog dna, upravljanja i zaštite flore i faune, infrastrukture podataka, turizma i ostalog. Osnovni su ciljevi rada: usporediti učinkovitost metoda interpolacije, odrediti najprikladnije interpolatore za izradu rasterskih modela jezera, izračunati površinu i volumen jezera i usporediti razlike u izračunu između rasterskih modela. Točnost metoda interpolacije ispitana je analizom 8 statističkih parametara koji su dobiveni metodom unakrsnog vrednovanja (cross-validation). Osim analize parametara, interpolacijske metode uspoređene su i vizualno, grafičkim prikazom podataka (dvodimenzionalno i trodimenzionalno). Utvrđeno je da je multikvadratna radijalna osnovna (ROF) metoda po svim parametrima najbolja deterministička, a obični kriging najbolja geostatistička metoda interpolacije. Izrađene su prve batimetrijske karte jezera na Skradinskom buku u Republici Hrvatskoj. Prikazani su novi znanstvenometodološki utemeljeni podaci o batimetrijskim značajkama, površini i volumenu jezera.

Ključne riječi: batimetrijska izmjera, jednosnopni dubinomjer, determinističke i geostatističke metode interpolacije, srednja kvadratna pogreška, Skradinski buk.

1. Uvod

Hidrografska izmjera obuhvaća proces mjerenja, proučavanja i prikaza konfiguracije dna oceana, mora, jezera, rijeka i drugih oblika vode na Zemlji (NOAA 1976). Hidrografija je grana primijenjene znanosti koja se bavi izmjerom i opisom fizičkih karakteristika vodnog dijela Zemljine površine s obalnim područjima (Schiller i dr.

¹ doc. dr. sc. Ante Šiljeg, Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, Trg kneza Višeslava 9, HR-23000 Zadar, Hrvatska, e-mail: asiljeg@unizd.hr,

Ivan Marić, mag. geogr., Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, Trg kneza Višeslava 9, HR-23000 Zadar, Hrvatska, e-mail: imariczadar@net.hr,

² prof. dr. sc. Mladen Jurišić, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayer u Osijeku, Trg Sv. Trojstva 3, HR-31000 Osijek, Hrvatska, e-mail: mjurisic@pfos.hr

2012). Glavni je cilj većine hidrografskih istraživanja dobivanje egzaktnih podataka za izradu pomorskih karata s naglaskom na mogućnosti koje utječu na sigurnost plovidbe (IHO 2005, Šiljeg i dr. 2015).

Suvremena batimetrija (grč. *bathus* – dubina) grana je hidrografije, a predstavlja znanost o određivanju dubina, odnosno utvrđivanju fizičkih značajki dna na temelju analize podataka iz snimljenih profila (Sandwell i dr. 2001, Šiljeg i dr. 2015). Predmet joj je istraživanja dno i njegov prikaz (Đapo i Medved 2003, Medak i dr. 2008).

Postoje različite metode i tehnike batimetrijske izmjere koje ovise o kompleksnosti projektnog zadatka (Smith i Sandwell 2004, Medak i dr. 2008, Šiljeg i dr. 2015). Zahtjevi za pouzdanim batimetrijskim kartama raznoliki su, a očituju se u procjeni opasnosti od tsunamija, planiranju komunikacijskih kanala i plinovoda (Sandwell i dr. 2001).

Danas su, bez obzira na rapidni razvoj tehnologije, većina prikupljenih (izmjerenih) podataka točkasti uzorci. Da bi se odredile fizičke značajke dna jezera, dobile kontinuirane površine, potrebno je procijeniti vrijednosti na neuzorkovanim područjima korištenjem pritom različite metode interpolacije (Collins i Bolstad 1996, Hartkamp i dr. 1999, Hu i dr. 2004, Naoum i Tsanis 2004).

Osnovni su ciljevi rada: 1) usporedba metoda interpolacije te određivanje najprikladnijih interpolatora za izradu rasterskih modela jezera, korištenjem pritom metodu unakrsne provjere, 2) određivanje najprimjerenije prostorne rezolucije, 3) izračun volumena jezera.

Za potrebe ostvarivanja ciljeva rada izvedena je batimetrijska izmjera osam jezera na Skradinskom buku. Područje premjera utjecalo je na izbor metoda batimetrijske izmjere, a obuhvatilo je ukupnu površinu jezera od 5,677 hektara.

Prikupljeni podaci poslužili su za generiranje batimetrijskih karata, turističkih panoa te perspektivnih prikaza dna jezera. Svi izlazni rezultati izvedeni su iz digitalnih modela reljefa jezera koji su u rasterski orijentiranom GIS-u osnova za izvođenje topografskih atributa ili generalnih informacija o terenu (Dikau i dr. 1995, Bishop i Shroder 2000, Millaresis i Argialas 2000).

Batimetrijska izmjera jezera na Skradinskom buku provedena je radi: izrade batimetrijskih karta, klasifikacije jezerskog dna, upravljanja i zaštite flore i faune, infrastrukture podataka, turizma itd. Primarna svrha trebala bi biti izrada batimetrijskih karta i različitih digitalnih analiza reljefa jezera za potrebe turizma i daljnjih istraživanja. Dobiveni su prvi egzaktni podaci o površini, opsegu vodnog lica jezera i volumenu svih osam jezera.

Tijekom istraživanja plan izmjere obuhvaćao je širok spektar aktivnosti, a sastojao se od nekoliko faza koje su prilagođene standardima hidrografske organizacije.

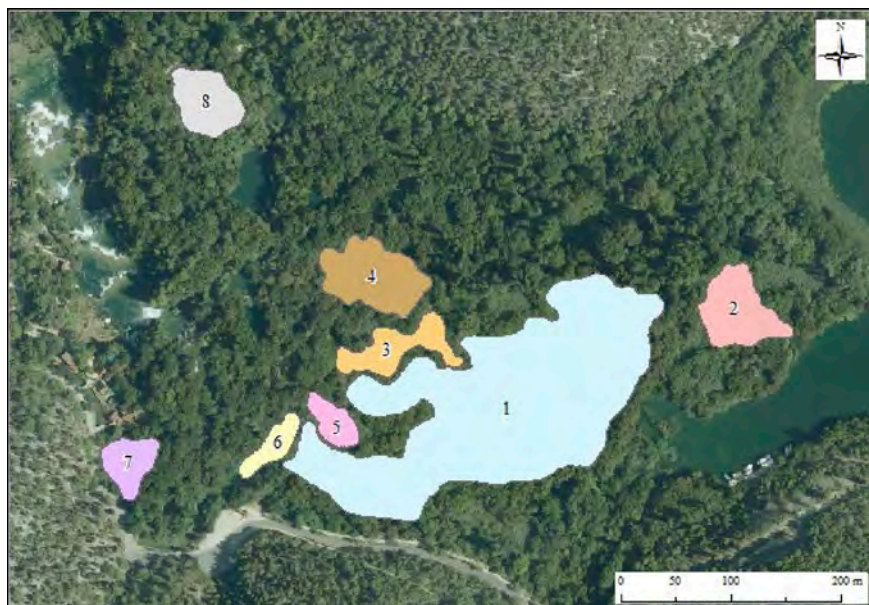
2. Područje istraživanja

Skradinski buk najveće je sedreno slapište Europe. Slap čine sedrene kaskade, otoci i jezera (slika 1). Područje premjera obuhvatilo je osam jezera (tablica 1). Područje jezera na Skradinskom buku karakterizira: znatna vertikalna raščlanjenost reljefa; bujna vegetacija u obalnom pojasu jezera; sezonske oscilacije razine jezera; nedostupnost do pojedinih jezera; protok vode.

Za batimetrijski premjer ekonomična je i efikasna uporaba jednosnopnog ultrazvučnog dubinomjera. Prednost je te tehnologije niža cijena opreme i lakša obrada izmjerenih podataka. Danas jednosnopni dubinomjeri imaju centimetarsku točnost (IHO 2005).

Tablica 1. Osnovni podaci o jezerima na Skradinskom buku.

Oznaka jezera	Naziv jezera	Opseg vodnog lica (m)	Površina vodnog lica (m ²)	Volumen (m ³)
1	Jezero pod Pločom	1248,450	36894,297	1328223,00
2	Jezero Vrtača nad Jarugom	270,732	4007,498	156140,86
3	Jezero Draga	346,256	3010,444	123971,80
4	Jezero Nad Pilama	306,940	4953,175	172860,20
5	Jezero Dedinac	160,758	1416,385	59056,97
6	Jezero Mala vrtača	181,457	1376,715	57601,30
7	Šupukovo jezero	184,585	1999,462	74848,93
8	Marasovića jezero	213,683	3116,920	86462,73
	Ukupno	2912,861	56774,895	2059165,79



1 = Jezero pod Pločom; 2 = Jezero Vrtača nad Jarugom; 3 = Jezero Draga; 4 = Jezero Nad Pilama; 5 = Jezero Dedinac; 6 = Jezero Mala vrtača; 7 = Šupukovo jezero; 8 = Marasovića jezero

Slika 1. Područje batimetrijskog istraživanja.

3. Metode i materijali istraživanja

3.1. Plan batimetrijske izmjere

Tijekom batimetrijske izmjere iznimno je važno detaljno planiranje koje omogućava praćenje razvoja i organizaciju izmjere. Plan izmjere obuhvaćao je širok spektar aktivnosti i sastojao se od nekoliko faza: 1) određivanja točnog područja istraživanja; 2) utvrđivanja svrhe batimetrijske izmjere; 3) primjene metode izmjere (tehnika, točnost, horizontalni i vertikalni referentni geodetski sustav, oprema itd.); 4) vremenskog roka (duži ili kraći); 5) prikupljanja različitih sekundarnih podataka (aerosnimke, vodostaj, protok, temperatura itd.); 6) uzimanja u obzir ograničavajućih faktora (proračun, logistika itd.); 7) obrade podataka (konvertiranje, filtriranje, metode interpolacije itd.).

3.2. Korištena oprema

Za batimetrijski premjer korišten je gumenjak (slika 2) dužine 2 metra. Batimetrijska mjerenja izvedena su integriranim mjernim sustavom (slika 3) koji je uključivao tri glavne sastavnice: dubinomjer Hydrostar 4300 i GPS uređaje Ashtech Promark 500 i Thales Z-Max (slika 4).



Slika 2. Korišteni gumenjak s montiranim drvenim nosačem.

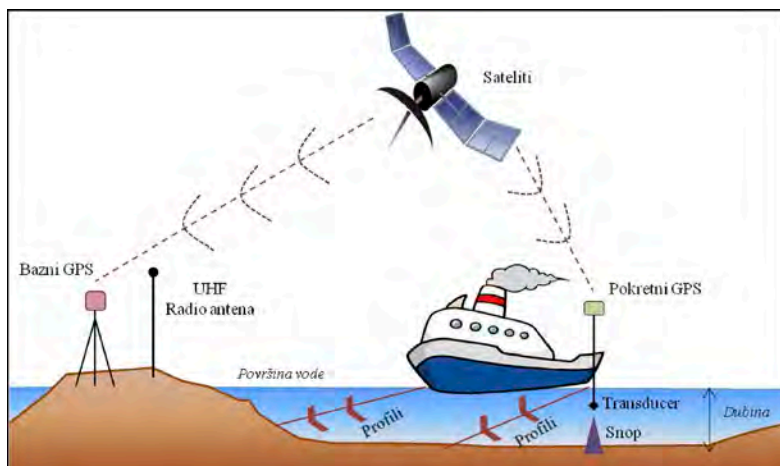


Slika 3. Pokretni GPS i dvofrekventna sonda.



Slika 4. Bazni GPS i UHF antena.

Osnovni profili mjerenja isplanirani su okomito na nagib reljefa. Nakon toga uneseni su u kontroler Allegro, koji je omogućio navođenje čamca na linije profila (slika 5). Planirane linije premjera (osnovni batimetrijski profili) osigurale su odgovarajuću pokrivenost odnosno dovoljno veliku rezoluciju u području premjera. U premjer je bio uključen i manji broj poprečnih profila koji se međusobno presijecaju s glavnim profilima, što je omogućilo usporedbu a time i kontrolu izmjerenih dubina u profilima.



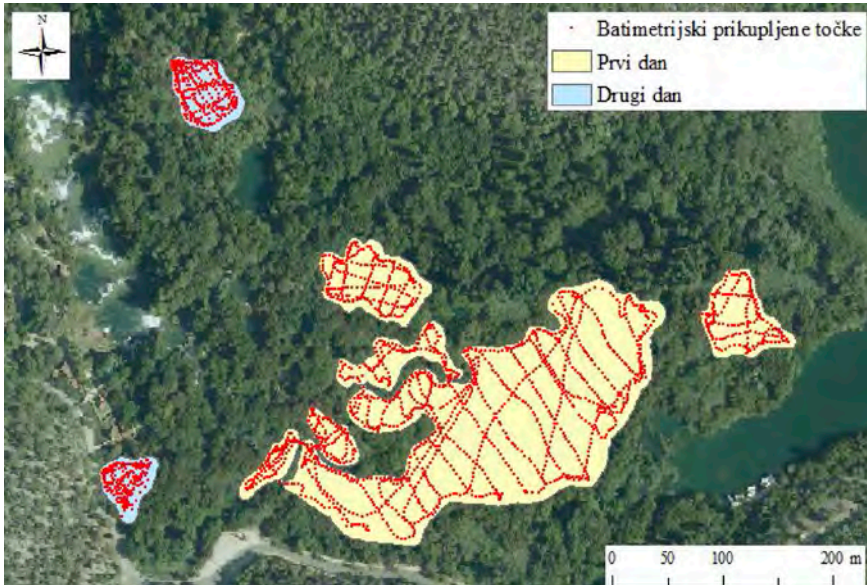
Slika 5. Integralni mjerni sustav – kombinacija GPS-RTK i dubinomjera.

3.3. Vremenski rok

Vremenski rok i dan početka premjera bili su uvjetovani vodostajem, protokom, vremenskim uvjetima i obvezama tima. Vodostaj je važan zbog nemogućnosti registriranja dubina dubinomjera u područjima jezera plićim od 0,5 metara, a protok zbog instaliranja integralnog mjernog sustava. Vremenski uvjeti su bitni zbog mogućnosti plovidbe i kvalitetne registracije podataka. Npr. vjetar, kiša, valovi i hladnoća ograničavajući su faktori (to se posebno odnosi na jezero 1). Mjerenja su obavljena u dvije faze (slika 6): 1) 16. prosinca 2013. godine i 2) 19. prosinca 2013. godine.

U prvoj fazi premjereno je 51 658,513 m² (područje jezera od 1 do 6) istočnog (gornjeg) dijela jezera na Skradinskom buku. Ukupna dužina premjerenih profila iznosila je 7,21 km, a broj prikupljenih točaka 2051. Vremenski uvjeti bili su idealni za plovidbu i premjer. Ograničavajući faktori u tom dijelu jezera bili su gusta vegetacija u rubnim dijelovima jezera (tršćaci i stabla). Premjer se stoga nije mogao obaviti u vegetacijskom razdoblju, jer su krošnje stabala onemogućavale ispravan rad integralnog mjernog sustava.

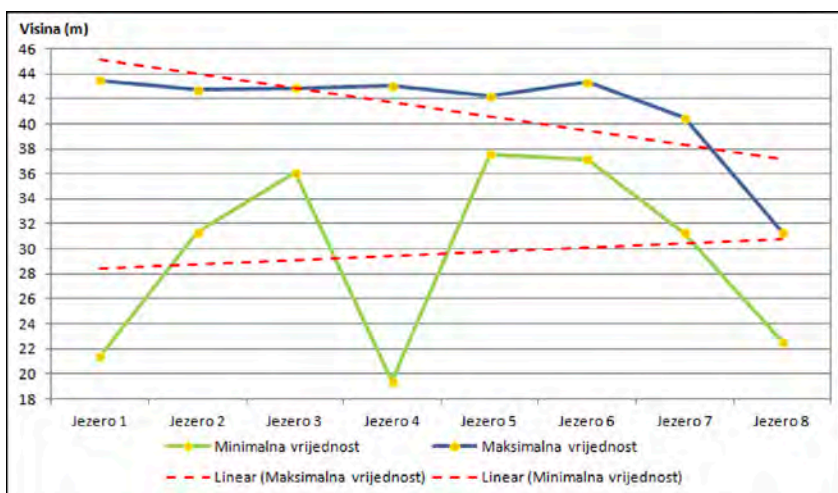
U drugoj fazi premjereno je (područje jezera 7 i 8) 5116,382 m² zapadnog (donjeg) dijela jezera na Skradinskom buku. Ograničavajući faktori bili su znatno veći: gusta vegetacija u rubnim dijelovima jezera (trstici i stabla), dostupnost i udaljenost jezera (dostupnost se odnosi na veliku vertikalnu raščlanjenost pojedinih jezera, čime je onemogućena instalacija opreme; udaljenost se odnosi na otežano



Slika 6. Faze i plan batimetrijske izmjere jezera na Skradinskom buku.

fizičko dopremanje opreme po turističkim stazama do jezera 8), protok (brzina protoka i dostupnost onemogućile su premjer dvaju jezera).

Ukupna dužina premjerenih profila iznosila je 1,7 km, a broj prikupljenih točaka 572. Raspored, gustoća i karakteristike prikupljenih visinskih točaka (tablica 2) uvjetovani su površinom, izgledom, dostupnosti do pojedinih dijelova jezera i planom izmjere (slika 7).



Slika 7. Prikaz minimalnih i maksimalnih vrijednosti prikupljenih visinskih točaka.

Tablica 2. Osnovni podaci o batimetrijski prikupljenim točkama.

Oznaka	Naziv jezera	Broj visinskih točaka	Minimalna vrijednost (m)	Maksimalna vrijednost (m)	Raspon vrijednosti (m)	Zbroj vrijednosti (m)	Srednja vrijednost (m)	Standardno odstupanje (m)
1	Jezero pod Pločom	1218	21,463	43,492	22,029	44393,42	36,447	4,168
2	Jezero Vrtača nad Jarugom	197	31,325	42,721	11,396	7576,109	38,457	3,141
3	Jezero Draga	155	36,137	42,889	6,752	6160,852	39,747	1,637
4	Jezero Nad Pilama	272	19,382	43	23,618	9079,832	33,381	6,223
5	Jezero Dedinac	102	37,576	42,258	4,682	4118,808	40,380	1,273
6	Jezero Mala vrtača	107	37,184	43,36	6,176	4210,474	39,350	1,397
7	Šupukovo jezero	226	31,263	40,487	9,224	7847,881	34,725	2,243
8	Marasovića jezero	346	22,569	31,338	8,769	9314,565	26,920	2,108

3.4. Sekundarni podaci

Dobivanje sekundarnih podataka je proces koji je uključivao prikupljanje svih podataka potrebnih za optimalno planiranje batimetrijske izmjere. DOF i HOK korišteni su kao podloge za isrtavanje okvirne granice jezera i profila. Pomoću izohipsi s HOK-a je analiziran reljef, nakon čega je utvrđen pravac pružanja profila.

Analizom aerofotogrametrijskih podataka dobivenih od DGU-a posredstvom NP Krka, uočeno je da linija visokih voda nije jasno utvrđena. Razlog su mala jezera i bujna vegetacija. Čak ni terenskim radom ne može se pouzdano odrediti granica koja bi reprezentirala određeni vodostaj, jer se granica između vodene i kopnene površine neprestano mijenja. Stoga je granica određena na temelju predloška, DOF-a i terenskih zapazanja.

Odlučeno je da se linija granice jezera interpolira na temelju podataka o dubinama i visinama (dodani skup visinskih točaka) izvan prije definirane granice obalne linije. Na taj način moguće je u softveru zadati određeni vodostaj i tada odrediti površinu jezera. Podaci o temperaturi bitni su zbog izračuna brzine zvuka u vodi. Dobivena vrijednost važan je parametar prilikom kalibracije dubinomjera.

3.5. Obrada batimetrijskih podataka

Izmjereni podaci su preko kontrolora Juniper System-Allegro i programskog paketa Fast Survey prebačeni u stolno računalo na daljnju obradu i interpretaciju. Obrada podataka uključivala je filtriranje podataka od šumova, podešavanje provjerenih dubina na zajedničku referentnu razinu i na kraju interpolaciju.

Filtriranje podataka izvedeno je pomoću kreiranog programa koji omogućuje uklanjanje grubih pogrešaka u registraciji podataka.

Pri mjerenju dubine ultrazvučnim dubinomjerom pojavljivali su se šumovi. Pojednostavljeno rečeno, ultrazvučni se snop odbija od prve prepreke na koju naiđe, dubinomjer određuje udaljenost i prikazuje ju kao dubinu. To npr. mogu biti različiti materijali u vodi, plankton, riba ispod transducera ili vrhovi vegetacije na dnu. Sve te šumove potrebno je ili reducirati ili filtrirati da bi se dobili korektni i upotrebljivi podaci.

3.6. Metode interpolacije

Interpolacija se definira kao proces determinističke ili geostatističke procjene vrijednosti neuzorkovanih područja na temelju skupa izmjerenih vrijednosti s poznatim koordinatama, u svrhu dobivanja kontinuirane površine s nizom vrijednosti (Šiljeg 2013). Iako postoji dosta radova koji istražuju točnost interpolacijskih metoda u generiranju digitalnih modela reljefa, još uvijek se javlja potreba za njihovom procjenom (Chaplot i dr. 2006, Šiljeg i dr. 2015).

U radu su uspoređene tri metode interpolacije implementirane unutar ekstenzije *Geostatistical Analyst*. Od determinističkih metoda korištene su inverzna udaljenost (*inverse distance weighting* – IDW) i radijalna osnovna funkcija (ROF) – multikvadratna (*radial basis function* – MQ). Od geostatističkih metoda korišten je obični kriging (*ordinary kriging* – OK).

Inverzna udaljenost je često korištena metoda interpolacije (Li i Heap 2008). Glavni faktor koji utječe na točnost izlaznih rezultata je eksponent udaljenosti (*power*). Radijalne osnovne funkcije egzaktni su interpolator, a upotrebljava se više radijalnih Kernelovih funkcija, među ostalim i multikvadratnu. Na temelju njih definira se optimalni skup težinskih koeficijenata koji se dodjeljuju izmjerenim točkama, ovisno o udaljenosti (Šiljeg i dr. 2015).

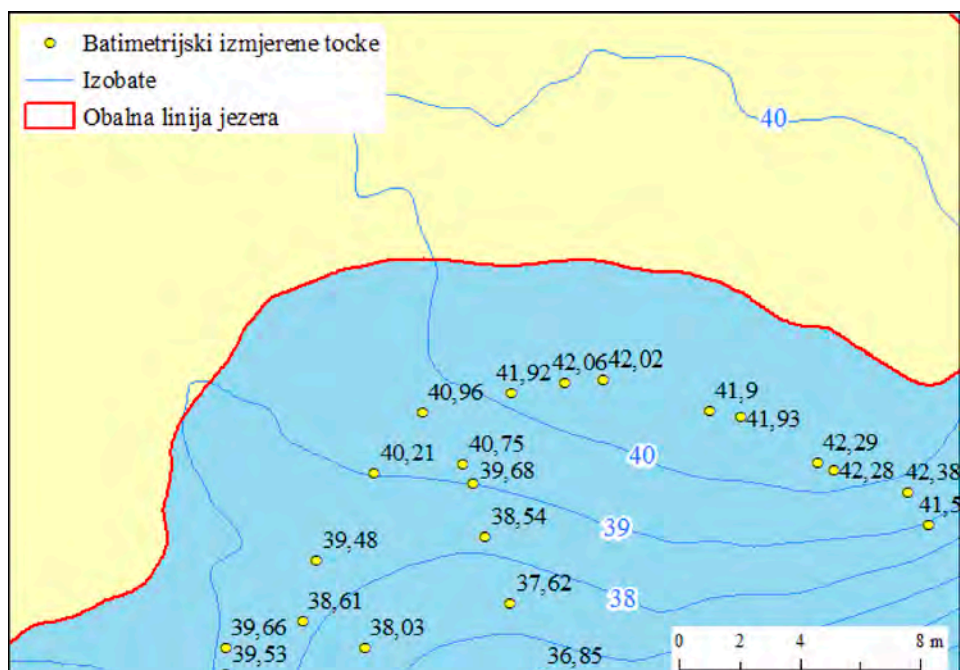
Kriging je geostatistička interpolacijska metoda svrstana u kategoriju najboljega linearnog nepristranog procjenitelja. Smatra se najzahtjevnijom metodom interpolacije, za čije je pravilno i uspješno korištenje potrebno opsežno znanje (Medved i dr. 2010, Šiljeg 2013). Kriging zadržava trendove koji su izraženi u ulaznim podacima, odnosno njihove vrijednosti pri postupku interpolacije uzima kao fiksne (Medved i dr. 2010). U radu je najprikladnija metoda interpolacije odabrana na temelju 8 statističkih parametara (Šiljeg i dr. 2015). Od statističkih parametara treba izdvojiti parametar standardne devijacije ili srednje kvadratne pogreške. Ona je u svijetu najkorištenija mjera za ocjenjivanje točnosti digitalnih modela (Yang i Hodler 2000, Aguilar i dr. 2005). Za usporedbu točnosti metoda interpolacije korištena je metoda unakrsnog vrednovanja (*cross-validation*).

4. Rezultati istraživanja

4.1. Interpolacija podataka prikupljenih batimetrijskom izmjerom

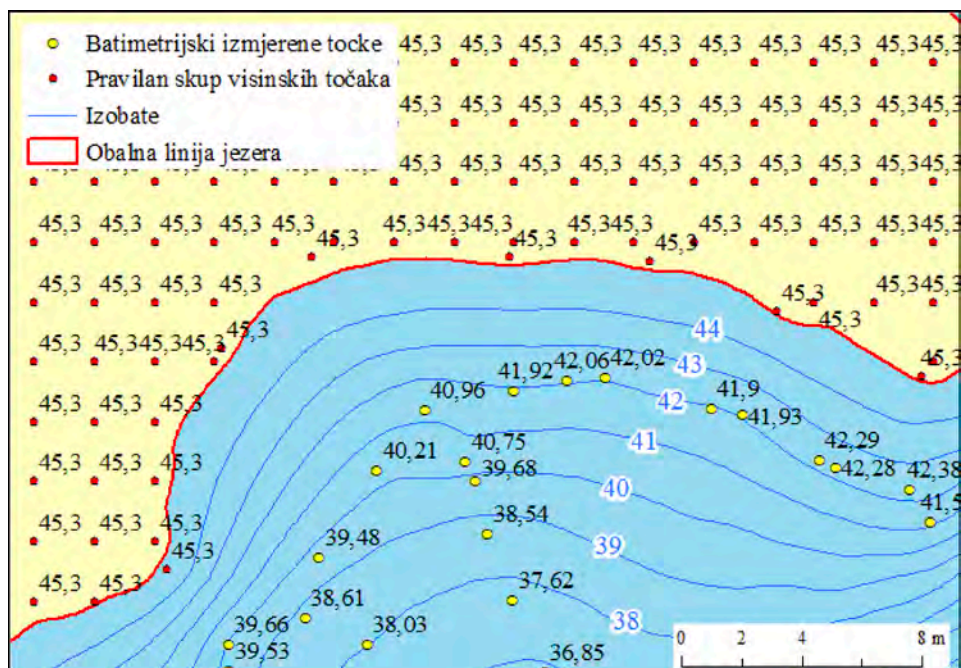
Kako bi se dobile kontinuirane površine potrebne za proučavanje, a time i poznavanje dna jezera na Skradinskom buku, treba procijeniti vrijednosti na neuzorkovanim područjima koristeći pritom interpolacijske metode.

Za statističku usporedbu metoda interpolacije korištena je metoda unakrsnog vrednovanja. Deskriptivna statistika izračunata je posebno za svako jezero. Razlozi su sljedeći: različita površina vodnog lica jezera i gustoća uzorkovanja prilikom prikupljanja visinskih podataka. U slučaju korištenja samo visinskih točaka prikupljenih batimetrijskom izmjerom pojavio bi se problem ekstrapolacije u obalnim područjima jezera (slika 8). Taj problem riješen je dodavanjem pravilnog skupa visinskih točaka (razmak između točaka 2 metra) oko svakog jezera (slika 9). Dakle, ako se na područje kopna ne postave točke s istim vrijednostima dubina, pogreške u obalnim područjima modela bit će izrazito velike, što će utjecati na izlazne rezultate naknadnih analiza (slika 8). U istraživanju je dokazano da generalno postoje i znatnija odstupanja između izobata s istim vrijednostima kada se kao ulazni podaci upotrebljavaju samo batimetrijski izmjerene točke i kada je istima pridodan pravilni skup visinskih točaka. Odstupanja su uvjetovana većim brojem visinskih točaka, što se reflektira na promjenu interpolacijskih parametara. Kod determinističkih metoda to se odnosi na eksponent udaljenosti (primarni parametar) i udaljenost, a kod geostatističkih na gotovo sve parametre pri kreiranju semivariograma.



Slika 8. Problem ekstrapolacije u obalnim područjima jezera.

Kod determinističkih metoda interpolacije na izlazne rezultate standardne devijacije i drugih statističkih parametara utječu eksponent udaljenosti, broj susjeda, udaljenost i tip sektora (tablica 3). Za sve determinističke metode vrijedi pravilo da eksponent udaljenosti ovisi o broju susjeda i tipu sektora. Povećanjem



Slika 9. Primjer mogućeg rješenja ekstrapolacije u obalnim područjima.

eksponenta udaljenosti, smanjuje se utjecaj (težinski koeficijent) onih točaka koje su udaljenije.

Za determinističke metode interpolacije udaljenost za svako jezero je različita (tablica 3). Korišten je kružni izotropni model. Glavna je pretpostavka da na točku za koju se procjenjuje vrijednost okolne izmjerene točke utječu ravnomjerno (bez definiranog smjera).

Brojem susjeda određuje se koliko će točaka utjecati na izlazni rezultat točke za koju se procjenjuje vrijednost. Broj susjeda koji su utjecali na izlazne rezultate točke za koju se procjenjuje vrijednost bio je 15. Može se zaključiti da je nepotrebno povećavati broj susjeda koji bi trebali utjecati na izlazne rezultate točaka za koje se procjenjuje vrijednost.

U ekstenziji *Geostatistical Analyst* postoje četiri tipa sektora: sektor bez podjele, sektor podijeljen na četiri dijela, sektor podijeljen na četiri dijela pod nagibom od 45° i sektor podijeljen na osam dijelova. Dakle, o odabranom sektoru ovisi broj i raspored susjednih točaka. Na izlazne rezultate geostatističkih metoda utječe izrađeni semivariogram, broj susjeda i tip sektora. Pri kreiranju semivariograma najvažniji su parametri teorijski model i udaljenost na kojoj se podaci uspoređuju. Oni utječu na doseg, prag i odstupanje, a time i na izlazne statističke pokazatelje. Za razliku od determinističkih metoda interpolacije, udaljenost je kod geostatističkih metoda podijeljena na odmake.

Tablica 3. *Parametri metoda interpolacije.*

Oznaka jezera	Metoda interpolacije	EkspONENT udaljenosti (m)	Model	Doseg (m)	Prag (m)	Odstupanje	Odmak	Udaljenost (m)	Broj odmaka	Broj susjeda	Sektor (kvadrant)
Jezero 1	IDW	2						120,960		15	1
	MQ	0						120,960		15	1
	OK		Sferni	149,193	8,056	0	18,386	220,632	12	5	4 (45°)
Jezero 2	IDW	2						42,145		15	1
	MQ	0						42,145		15	1
	OK		Sferni	58,900	5,722	0	7,350	88,2	12	5	4 (45°)
Jezero 3	IDW	2						44,418		15	1
	MQ	0						44,418		15	1
	OK		Sferni	42,176	2,486	0	4,513	54,156	12	5	4 (45°)
Jezero 4	IDW	2						44,905		15	1
	MQ	3,018						44,905		15	1
	OK		Sferni	60,515	22,320	0	7,905	94,86	12	5	4 (45°)
Jezero 5	IDW	2						25,811		15	1
	MQ	0						25,811		15	1
	OK		Sferni	37,104	3,547	0	3,824	45,888	12	5	4 (45°)
Jezero 6	IDW	2						28,657		15	1
	MQ	0,172						28,657		15	1
	OK		Sferni	35,724	3,920	0	3,971	47,652	12	5	4 (45°)
Jezero 7	IDW	2						26,518		15	1
	MQ	0,459						26,518		15	1
	OK		Sferni	37,312	17,492	0	5,018	60,216	12	5	4 (45°)
Jezero 8	IDW	2						33,301		15	1
	MQ	0,084						33,301		15	1
	OK		Sferni	46,710	10,241	0	6,163	73,956	12	5	4 (45°)

1 = Jezero pod Pločom; 2 = Jezero Vrtača nad Jarugom; 3 = Jezero Draga; 4 = Jezero Nad Pilama; 5 = Jezero Dedinac; 6 = Jezero Mala vrtača; 7 = Šupukovo jezero; 8 = Marasovića jezero

Za sve metode broj odmaka (klasa) bio je 12 (optimalan broj u korištenom softveru). Kod geostatističkih metoda optimiziran broj susjeda je 5, a s obzirom na sektor (4 pod nagibom od 45°) broj susjeda koji utječu na točku za koju se procjenjuje vrijednost je 20.

Tablica 4. Rezultati za metodu unakrsnog vrednovanja.

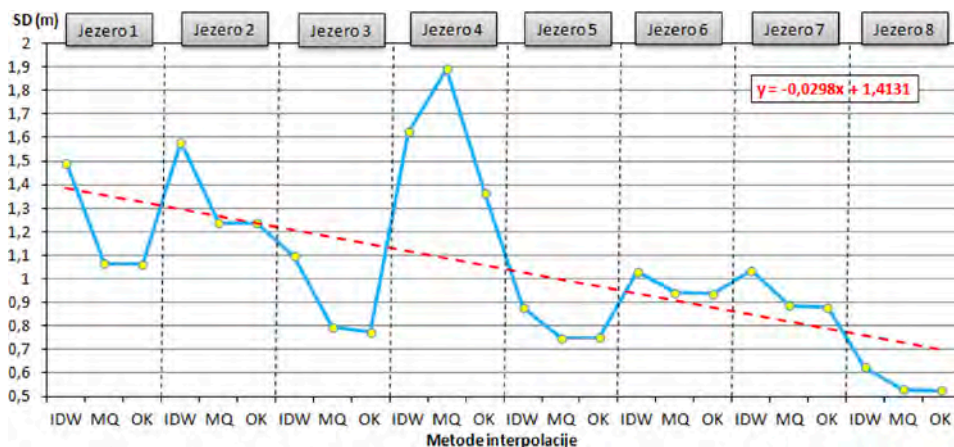
Oznaka jezera	Metoda interpolacije	Broj izmjerenih točaka	Minimalna vrijednost (m)	Maksimalna vrijednost (m)	Doseg (m)	Zbroj vrijednosti (m)	Srednja vrijednost (m)	Varijanca (m ²)	Standardno odstupanje (m)
Jezero 1	IDW	1218	-4,915	9,996	14,911	844,911	0,694	2,222	1,491
	MQ	1218	-4,772	8,626	13,398	262,914	0,216	1,135	1,065
	OK	1218	-4,821	8,586	13,407	260,992	0,214	1,126	1,061
Jezero 2	IDW	197	-3,967	7,605	11,572	138,763	0,704	2,500	1,581
	MQ	197	-4,374	6,047	10,421	37,639	0,191	1,531	1,237
	OK	197	-4,309	6,052	10,361	35,692	0,181	1,532	1,238
Jezero 3	IDW	155	-1,608	4,417	6,025	135,891	0,877	1,202	1,096
	MQ	155	-1,641	2,864	4,505	56,916	0,367	0,630	0,794
	OK	155	-1,637	2,834	4,471	52,709	0,340	0,599	0,774
Jezero 4	IDW	272	-5,547	5,767	11,314	162,337	0,597	2,643	1,626
	MQ	272	-7,841	7,644	15,484	8,496	0,031	3,577	1,891
	OK	272	-4,831	4,768	9,599	56,447	0,208	1,864	1,365
Jezero 5	IDW	102	-0,090	3,966	4,056	120,615	1,182	0,773	0,879
	MQ	102	-1,106	3,028	4,134	41,040	0,402	0,561	0,749
	OK	102	-0,920	3,142	4,062	40,758	0,400	0,562	0,750
Jezero 6	IDW	107	-4,044	3,170	7,214	40,933	0,383	1,063	1,031
	MQ	107	-3,716	2,966	6,682	22,350	0,209	0,885	0,941
	OK	107	-3,360	2,952	6,312	23,525	0,220	0,875	0,935
Jezero 7	IDW	226	-2,121	5,935	8,056	46,849	0,207	1,076	1,037
	MQ	226	-2,480	3,941	6,422	38,648	0,171	0,787	0,887
	OK	226	-2,114	3,842	5,956	41,274	0,183	0,774	0,880
Jezero 8	IDW	346	-2,216	2,756	4,971	51,968	0,150	0,390	0,624
	MQ	346	-2,064	2,399	4,463	30,099	0,087	0,282	0,531
	OK	346	-2,010	2,415	4,424	29,132	0,084	0,277	0,526

1 = Jezero pod Pločom; 2 = Jezero Vrtača nad Jarugom; 3 = Jezero Draga; 4 = Jezero Nad Pilama; 5 = Jezero Dedinac; 6 = Jezero Mala vrtača; 7 = Šupukovo jezero; 8 = Marasovića jezero

Usporedbom dviju determinističkih i jedne geostatističke metode interpolacije mogu se uočiti razlike u izlaznim vrijednostima. Iz tablica 3 i 4 vidljivo je koliko ulazni parametri, broj visinskih točaka i raščlanjenost reljefa utječu na izlazne rezultate pojedine metode interpolacije. Raspon minimalnih vrijednosti kada se

analiziraju točke unutar svih jezera posebno kreće se od $-0,09$ (jezero 5, IDW) do $-7,841$ m (jezero 4, MQ), a maksimalnih vrijednosti (m) od $2,399$ m (jezero 8, MQ) do $9,996$ m (jezero 1, IDW).

Na temelju minimalne i maksimalne vrijednosti izračunava se doseg (u m) (raspon između maksimalne i minimalne vrijednosti). Zbroj vrijednosti je pokazatelj ravnomjernosti između pozitivnih i negativnih vrijednosti. Ako je zbroj vrijednosti pozitivan, veći je udio pozitivnih vrijednosti i obrnuto. Srednja je vrijednost bitna jer upućuje na karakterizaciju distribucije frekvencija. Najbolja metoda po svim pokazateljima, generalno za svih osam jezera, geostatistička je metoda obični kriging. Standardno odstupanje za visinske točke unutar jezera kreće se od $0,526$ (jezero 8) do $1,365$ (jezero 4) (slika 10, tablica 4).



Slika 10. Standardno odstupanje za metode interpolacije.



Slika 11. Minimalne i maksimalne vrijednosti za metodu unakrsnog vrednovanja.

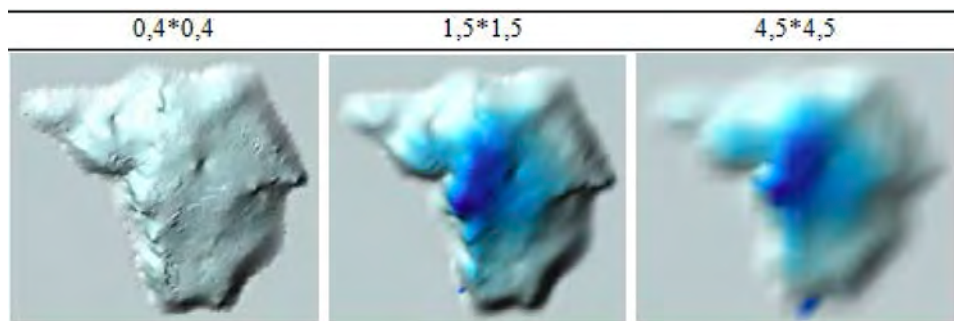
Vrijednost standardne devijacije u jezeru 4 jasan je pokazatelj utjecaja vertikalne raščlanjenosti na izlazne rezultate interpolacijskih metoda. Parametar standardne devijacije je bitan, međutim, jasno je da i najbolje metode interpolacije imaju znatne pogreške koje se kroz ovaj parametar generaliziraju (sintetiziraju), jer standardno odstupanje pokazuje odstupanje minimalnih i maksimalnih vrijednosti (slika 11).

4.2. Odabir prostorne rezolucije

Određivanje veličine piksela unutar *grida* (mreže) jedan je od središnjih problema izrade DMR-a i prostorne analize. U procesu određivanja veličine piksela potrebno je postaviti odgovarajuća znanstvena pitanja:

- 1) koju metodu upotrijebiti za odabir prostorne rezolucije
- 2) kako usporediti metode odabira prostorne rezolucije
- 3) o čemu ovise izlazni rezultati.

Uspoređene su četiri metode (tablica 5) za izračun prostorne rezolucije: McCullaghova metoda, metoda kontrolnih točaka, metoda gustoće uzoraka (*random, regular, composite*) (Šiljeg 2013).



Slika 12. Prikaz utjecaja prostorne rezolucije na izlazne rezultate (metoda OK i jezero 2).

Iz trodimenzionalnih grafičkih prikaza za jezero 2 uočljivo je da McCullaghova metoda nije dobra jer previše zaglađuje i generalizira reljefne oblike jezera (slika 12). Isto tako, vidljivi su nedostaci metode kontrolnih točaka (prostorna rezolucija 0,4 metra), posebice na zaravnjenim područjima gdje se javlja problem „pruskih šljemova“. U tablici 5 bold su označene metode koje su najprikladnije s obzirom na gustoću, raspored uzoraka i površinu jezera te analizirane dvodimenzionalne i trodimenzionalne prikaze.

Tablica 5. *Metode odabira prostorne rezolucije.*

Metoda	Formula	Jezero	Površina (m ²)	Prikupljeni broj točaka	Preporučena veličina piksela
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 1	36 894,297	1218	5,5
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,4
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,4
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				2,8
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				2
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 2	4 007,498	197	4,5
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,4
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,1
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				2,3
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,7
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 3	3 010,444	155	4,4
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,3
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,1
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				2,2
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,6
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 4	4 953,175	272	4,3
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,3
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,1
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				2,1
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,5

Tablica 5. *Metode odabira prostorne rezolucije (nastavak).*

Metoda	Formula	Jezero	Površina (m ²)	Prikupljeni broj točaka	Preporučena veličina piksela
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 5	1 416,385	102	3,7
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,3
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,9
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,8
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,4
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 6	1 376,715	107	4,2
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,3
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				2,1
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,6
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 7	1 999,462	226	3
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,2
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,7
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,5
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,1
McCullaghova	$p = \sqrt{\frac{A}{n}}$	Jezero 8	3 116,920	346	3
Kontrolnih točaka	$p = 0,0791 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,2
Gustoće uzoraka (<i>random</i>)	$p = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				0,7
Gustoće uzoraka (<i>regular</i>)	$p = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,5
Gustoće uzoraka (Šiljeg 2013)	$p = 0,375 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}}$				1,1

4.3. Određivanje površine i volumena jezera

Završna faza procesa batimetrijskog istraživanja određivanje je površine i obujma ili volumena vode u jezerima na Skradinskom buku. Volumen se može definirati kao količina vode koja zauzima određeni prostor između površine i dna jezera izražen u kubičnim jedinicama. Danas se, zahvaljujući modernoj tehnologiji, postupak izračuna volumena maksimalno ubrzao (Diolaiuti i dr. 2005, Ahmed 2010).

Na tržištu su zastupljeni različiti programi koji omogućuju pregledan prikaz svih rezultata te njihovu laku usporedbu. Izlazni rezultati volumena ovise: o metodi prikupljanja podataka, raščlanjenosti dna jezera, gustoći i rasporedu točaka, prostornoj rezoluciji (veličini piksela), algoritmima i metodi interpolacije.

Volumen jezera najjednostavnije se može izračunati pomoću pravilne mreže dobivene određenom metodom interpolacije. Postupak izračuna za područje jezera na Skradinskom buku bio je jednostavan budući da je poznat broj piksela, površina (m^2) i dubina (Z) unutar koordinatnog sustava. Piksela u ovom slučaju predstavlja trodimenzionalni objekt (kocku ili kvadratnu prizmu) kojem se može izračunati volumen. Volumen se može izračunati pomoću zadane formule:

$$V = P_p \cdot B_p \cdot Z_p, \quad (1)$$

gdje su:

P_p – površina piksela

B_p – broj piksela

Z_p – visina piksela.

Radi usporedbe s drugim algoritmima, volumen je izračunat za pravilnu prostornu mrežu dobivenu metodom interpolacije koja se pokazala najboljom (obični kriging). Izlazni rezultati određivanja volumena pomoću pravilne mreže ovise ponajprije o prostornoj rezoluciji; što je ona veća to će izračun biti točniji, jer će i skokovi između piksela biti manji.

Za izračun volumena optimalno je upotrijebiti Newton-Cotesove formule: 1) produljeno trapezoidno pravilo, 2) produljeno Simpsonovo 1/3 pravilo te 3) produljeno Simpsonovo 3/8 pravilo (Press i dr. 1988).

Newton-Cotesove formule vrlo su korisne i izravne tehnike za aproksimativno izračunavanje integrala uz pomoć numeričkih metoda i algoritama (njihova uporaba rezultira različitim stupnjem pogrešaka u izračunu) (Medved i dr. 2010). Upotrebljavaju se za izračun površine i volumena različitih oblika. Simpsonovo pravilo aproksimira integral pomoću Lagrangeova polinoma koji prolazi kroz tri točke, a trapezoidno pravilo pomoću Lagrangeova polinoma koji prolazi kroz dvije točke (Palata 2003).

S obzirom na to da svaka od metoda pokazuje određenu pogrešku u procjeni volumena, izračunata je i aritmetička sredina za tri metode (tablica 6). Granicu jezera u svim modelima predstavljaju izobate koje su dobivene interpolacijom batimetrijski izmjerenih podataka o dubinama i pravilnog skupa visinskih točaka oko jezera.

Tablica 6. Podaci za vrijednost volumena, površinu i opseg vodnog lica jezera.

Metoda interpolacije	Obični kriging (<i>Ordinary Kriging – OK</i>)							
Jezero	Jezero pod Pločom	Jezero Vrtača nad Jarugom	Jezero Draga	Jezero Nad Pilama	Jezero Dedinac	Jezero Mala vrtača	Šupukovo jezero	Mara-sovića jezero
Vodostaj (m)	45	45	45	45	45	45	43,5	33
Prostorna rezolucija (m)	3,5	1,5	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5
Trapezoidno pravilo (m ³)	329184,1	29282,5	14313,3	56597,8	7795,8	7485,5	15308,7	19239,0
Simpsonovo pravilo (m ³)	329079,2	29130,0	14314,4	54943,6	7752,8	7449,2	15259,9	19134,4
Simpsonovo 3/8 pravilo (m ³)	329138,0	28298,3	13392,2	56231,5	7300,7	6925,5	15277,7	18634,1
Aritmetička sredina (m ³)	329133,8	28903,6	14006,6	55924,3	7616,4	7286,8	15282,1	19002,5
Površina vodnog lica jezera (m ²)	36894,298	4007,497	3010,441	4953,181	1416,391	1376,719	1999,459	3116,918
Opseg vodnog lica jezera (m)	1248,449	270,732	346,256	306,939	160,758	181,457	184,585	213,683

4.4. Primjer izrade turističkih panoa

Digitalni modeli reljefa dna jezera uz korištenje primjerenih tehnika vizualizacije poslužili su za izvođenje dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih prikaza i profila jezera koji su potom upotrijebljeni u izradi informativnih turističkih panoa. Vertikalni profili jezera dobiveni su presjekom vertikalne ravnine i dobivenih trodimenzionalnih prikaza jezera.

Geografska vizualizacija iskorištava umnu sposobnost da se lakše uvide i razumiju kompleksni odnosi kroz jasne vizualne oblike pružajući tako jasno razumijevanje određene pojave, smanjujući vrijeme pretraživanja te otkrivanje novih odnosa koji nisu bili primijećeni prije spomenutog procesa (Dodge i dr. 2008).

5. Zaključak

Na osam jezera Skradinskog buka izvedena je batimetrijska izmjera u svrhu generiranja digitalnih modela reljefa dna jezera. Primjenom suvremene tehnologije te upotrebom specifičnih metoda, tehnika i procedura dobiveni su pouzdani podaci koji mogu služiti kao osnova za daljnja istraživanja i analize. U radu je dokazano da se primjenom specifične tehnologije prikupljanja podataka, metodom interpolacije te prostorne rezolucije dobivaju različiti prikazi rezultata izmjere koji u manjoj ili većoj mjeri odstupaju od realnog izgleda područja. Usporedbom osam statističkih parametara kao najbolja metoda interpolacije za svih osam jezera utvrđena je geostatistička metoda obični kriging (*ordinary kriging*).

Ovisno o odabiru metode interpolacije, prostorne rezolucije, gustoće uzorkovanja te o korištenim algoritmima, mijenjanju se i podaci o izračunu volumena jezera, površine i opsega vodnog lica jezera. Kao najprimjereniji podatak o volumenima jezera korištena je aritmetička sredina vrijednosti koje su dobivene formulama produljenoga trapezoidnoga, produljenog Simpsonova 1/3 i 3/8 pravila. Dakle, na temelju dobivenih modela pouzdano su određeni površina vodnog lica, opseg vodnog lica i volumen svakog jezera.

Izrađeni digitalni modeli mogu se upotrebljavati kao ulazni podatak za izradu dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih grafičkih prikaza, različitih karata koje služe za prikaz slojnica, jezerskog reljefa sjenčanjem, žičanih modela, nagiba, itd. Vizualna komponenta ima bitnu ulogu u turizmu jer omogućuje da se izrađeni grafički prikazi usporede sa stvarnim reljefnim oblicima. Tako se posjetitelju na konkretnim primjerima (pojednostavljenim prikazima) egzaktno predočuju kompleksni reljefni oblici. Vizualizacija podataka generiranih iz digitalnog modela jezera može imati važnu ulogu u daljnjem promoviranju jezera, educiranju i podizanju svijesti o zaštiti koja je nužna za očuvanje tih prirodnih fenomena.

Važno je naglasiti značaj odabira odgovarajućega programskog paketa koji na primjeren način zadovoljava potrebe trodimenzionalnog modeliranja.

Literatura

- Aguilar, F. J., Agüera, F., Aguilar, M. A., Carvajal, F. (2005): Effects of terrain morphology, sampling density and interpolation methods on grid DEM accuracy, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71, 7, 805–816.
- Ahmed, S. (2010): Water Volume Calculation of Hill Country Trinity Aquifer Blanco, Hays and Travis Counties, Central Texas GIS and GPS Applications in Earth Science, http://www.geo.utexas.edu/courses/371C/project/2010F/Ahmed_Project.pdf, (6. 5. 2015.).
- Bishop, M. P., Shroder, J. F. (2000): Remote sensing and geomorphometric assessment of topographic complexity and erosion dynamics in the Nanga Parbat massif, In: *Tectonics of the Nanga Parbat Syntaxis and the Western Himalaya*, Khan, M. A. et al. (ed.), Geological Society London, London, 181–199.
- Chaplot, V., Darboux, F., Bourennane, H., Leguédou, S., Silvera, N., Phachomphon, K. (2006): Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density, *Geomorphology*, 77, 1–2, 126–141.
- Collins, F. C., Bolstad, P. V. (1996): A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation, In: *Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Proceedings*, Santa Fe, New Mexico, Santa Barbara, 21–25 January, CA, USA, National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara.
- Dikau, R., Brabb, E. E., Mark, R. K., Pike, R. J. (1995): Morphometric landform analysis of New Mexico, *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. F. Suppl.-Bd. 101, 109–126.
- Diolaiuti, G., Kirkbride, M. P., Smiraglia, C., Benn, D. I., D'Agata, C., Nicholson, L. (2005): Calving processes and lake evolution at Miage Glacier (Mont Blanc, Italian Alps), *Annals of Glaciology*, 40, 207–214.

- Dodge, M., McDerby, M., Turner, M. (2008): Geographic Visualization, Concepts, tools and applications, 1–9.
- Đapo, A., Medved, I. (2003): Trodimenzionalni geodetski model jezera šljunčare Novo Čiče, Ekscentar, 5, 13–18.
- Hartkamp, A. D., De Beurs, K., Stein, A., White, J. W. (1999): Interpolation Techniques for Climate Variables, NRG-GIS Series 99-0, CIMMYT, Mexico, D. F.
- Hu, K., Li, B., Lu, Y., Zhang, F. (2004): Comparison of various spatial interpolation methods for non-stationary regional soil mercury content, Environmental Science, 25, 3, 132–137.
- IHO (2005): Manual of Hydrography, Publication M-13, 1st edition, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- Li, J., Heap, A. D. (2008): A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, Geoscience Australia, Record 2008/23, Canberra.
- Medak, D., Pribičević, B., Krivoruchko, K. (2008): Geostatistička analiza batimetrijskih mjerenja na primjeru jezera Kozjak, Geodetski list, 3, 131–142.
- Medved, I., Pribičević, B., Medak, D., Kuzmanić, I. (2010): Usporedba metoda interpolacije batimetrijskih mjerenja za praćenje promjena volumena jezera, Geodetski list, 2, 71–86.
- Millaresis, G. C., Argialas, D. P. (2000): Extraction and delineation of alluvial fans from digital elevation models and Landsat Thematic Mapper images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66, 9, 1093–1101.
- Naoum, S., Tsanis, I. K. (2004): Ranking spatial interpolation techniques using a GIS based DSS, Global Nest: the International Journal, 6, 1, 1–20.
- NOAA (1976): Hydrographic Manual, 4th edition, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce.
- Palata, D. (2003): Newton-Cotesove formule numeričke integracije.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P. (1988): Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, New York.
- Sandwell, D. T., Smith, W. H., Gille, S., Jayne, S., Soofi, K., Coakley, B. (2001): Bathymetry from space, In: Report of the High-resolution Ocean topography Science working Group Meeting, 2001–2004.
- Schiller, L., Böder, V., Schenke, H. W. (2012): A comprehensive definition and systematic subdivision of hydrography, http://proceedings.utwente.nl/266/1/Hydro12_No_49_Schiller_et_al.pdf, (20. 10. 2015.).
- Smith, W. H., Sandwell, D. T. (2004): Conventional bathymetry, bathymetry from space and geodetic altimetry, Oceanography, Washington DC, Oceanography Society, 17, 1, 8–23.
- Šiljeg, A. (2013): Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero, doktorski rad, Prirodoslovno-matematički odjel, Geografski odsjek, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Šiljeg, A., Lozić, S., Šiljeg, S. (2015): A comparison of interpolation methods on the basis of data obtained from a bathymetric survey of Lake Vrana, Croatia, Hydrology and Earth System Sciences, 19, 8, 3653–3666.
- Yang, X., Hodler, T. (2000): Visual and statistical comparisons of surface modeling techniques for point-based environmental data, Cartography and Geographic Information Science, 27, 2, 165–175.

Bathymetric Measures of the Lakes Skradinski Buk

ABSTRACT. Bathymetric survey of the lake at Skradinski noise has included a wide range of activities that were carried out in several stages according to the standards of the International Hydrographic Organization. The measurements were made integrated measuring system that included three main components: sonar Hydrostar 4300 and GPS devices Ashtech Promark 500 – base (base) and Thales Z-Max – mobile (rover). Area survey included 8 lakes total area of 5.677 ha. Total has collected 2623 points. The survey was conducted for several reasons: making bathymetry map, lake bottom classification, management and protection of flora and fauna, data infrastructure, tourism and others. The main objectives of the work are to compare the efficacy of the method of interpolation, determine the most appropriate interpolator to produce raster models lakes, calculate the area and volume of the lake and to compare the differences in the calculation between raster models. The accuracy of the interpolation method was tested by analysing eight statistical parameters obtained by the method of cross-evaluation (cross-validation). Besides the analysis parameters, interpolation methods were compared and visually, the graphic representation of data (two-dimensional and three-dimensional). It was found that multiquadrics radial basic (ROF) in all parameters best deterministic, and ordinary kriging best geostatistical methods of interpolation. Made first bathymetric map of Lake at Skradinski buk in Croatia. Shown are new scientific and methodological compelling data on bathymetric features, surface and volume of the lake.

Keywords: bathymetric survey, sonar, deterministic and geostatistical interpolation methods, mean square error, Skradinski buk.

Primljeno / Received: 2016-07-18

Prihvaćeno / Accepted: 2016-08-30