

ZASIPANJE AKUMULACIJE „ĆELIJE“ (1979 – 2017)

SEDIMENT ACCUMULATION OF ĆELIJE LAKE (1979 – 2017)

TOMISLAV PETROVIĆ¹
JOVAN KOVAČEVIĆ²

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24131P

Rezime: Krajem 2017. godine, hidrometrijskom metodom izvršeno je snimanje poprečnih profila na teritoriji Akumulacije „Ćelije“, radi utvrđivanja količine deponovanog nanosa između dve merne epohe (1979-2017.god.). Realizovana su merenja na 25 poprečnih profila, na koti 277,00 mnm, sa ukupno 3.988 stacionaža. Metodologijom proračuna količine nanosa kreiranjem digitalnog modela dna, utvrđene su kubature za svaku epohu, dok je količina nanosa izračunata iz njihove razlike. Deponovana količina nanosa na teritoriji Akumulacije „Ćelije“ (do kote normalnog uspora 277,00 mnm), u eksploatacionom periodu od 38 godina, iznosi 3,3 mil/m³.

Ključne reči: Ćelije, zasipanje, jezero

Abstract: The hydrometric method was used to record the cross-sectional profiles on the territory of lake „Ćelije“ accumulation at the end of the year 2017, in order to determine the amount of deposited sediment between the two measuring epochs (1979 - 2017). Measurements were carried out on 25 cross-section profiles, at ground level 277 masl, with a total of 3988 stationeries. By methodology of calculating the amount of the sediment by creating the digital model of the lake floor, the volumes for each epoch was determined, and the amount of the sediment volume is calculated from their difference. The calculated amount of sediment in the territory of the Ćelije accumulation (up to the level of normal deceleration 277,00 mnm), in the exploitation period of 38 years, is 3.3 mil / m³.

Key Words: lake Ćelije, sediment accumulation, lake

1. Uvod

Formiranjem Akumulacije „Ćelije“ utvrđena je bruto zapremina jezera do kote maksimalnog uspora (284,00 mnm), u iznosu od $68 \times 10^6 \text{ m}^3$. Od bruto zapremine akumulacije, određenu zapreminu za nanos predstavlja prostor od $20 \times 10^6 \text{ m}^3$.

¹ Tomislav Petrović, JKP „Vodovod-Kruševac“, Dušanova 46, Kruševac, tomlavpetrovic@gmail.com, ORCID: 0009-0002-1447-1447

² Jovan Kovačević, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, jkovacevic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-9980-5797

Neposredno pre punjenja akumulacije vodom, 1978. godine, kompanija Energo-projekt je izvršila nulto snimanje akumulacije, na 30 poprečnih profila. Krajem 2017. godine, izvršena su merenja na identičnih 25 poprečnih profila ustanovljenih od strane Energoprojekta, uz apstrahovanje poslednjih pet poprečnih profila koji se gotovo nikada nisu nalazili pod vodom.



Slika 1. Raspored tačaka profila merenja iz 1978. godine na OSM podlozi
Figure 1. The distribution of measurement profiles points in 1978 on the OSM basemap

Ulazni podaci istraživanja predstavljaju merenja dubine jezerskog dna iz dve epohe:

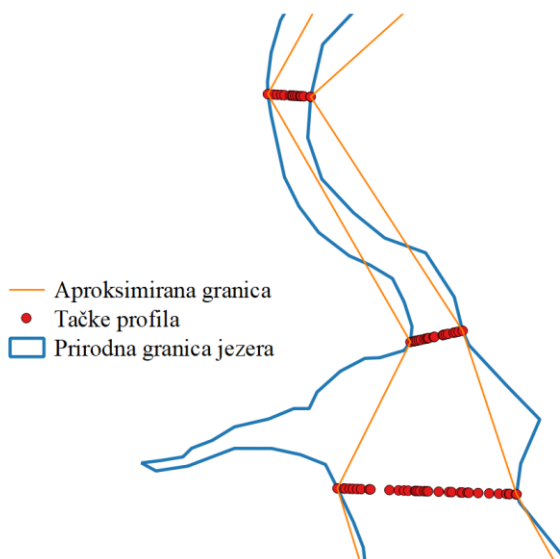
- Nulto stanje – 1978. godina
- Kontrolno merenje 2017. godina

Nulto stanje obuhvata merenja izvršena prilikom projektovanja buduće akumulacije, a pre punjenja (kreiranja) jezera. Realizovala ih je kompanija „Energoprojekt“ radi određivanja zapremine buduće akumulacije.

Ukupno su određene dubine na 783 lokacije, raspoređene na 25 poprečnih profila. Prostorni raspored profila u odnosu na OSM (Open Street Map) podlogu, prikazan je na slici 1. Kontrolno merenje izvršeno je 2017. godine. Profili po kojima je izvršeno merenje definisani su na osnovu tačaka koje su korišćene kao početne i krajnje tačke profila za merenja iz 1978. godine. Kako nije moguće obezbediti vidljivost krajnje i početne tačke sa površine jezera (zbog vegetacije), bilo je neophodno kreirati pomoćne tačke na samoj obali jezera uvođenjem u pravac između

krajnje i početne tačke svakog profila. Primenjeno je merenje u pojedinim tačkama duž svakog pravca, koristeći kombinovano hidrometrijsku i akustičnu metodu. Merenja su vršena prilikom apsolutno mirne vode, tako da nije bilo neophodno uvoditi popravke usled povijenosti pantljike. Za udaljenost od repnih tačaka, korišćen je laserski daljinomer. Ovom metodom izmerene su dubine jezera na 3.988 lokacija, raspoređene na 25 profila utvrđenih od strane Energoprojekta.

Opšti pristup određivanja zapremine nanosa između dve epohe podrazumeva da se na osnovu raspoloživih podataka za svaku epohu izračuna zapremina akumulacije, i da se količina nanosa odredi iz njihove razlike. Primena geodetskih metoda određivanja zapremine tela na osnovu vertikalnih preseka (profila) predstavlja pristup koji se intenzivno koristi u inženjerstvu. Međutim, primena je u konkretnom slučaju bila otežana iz sledećih razloga: velikog rastojanja između susednih profila (≥ 300 m), i neparalelnosti susednih profila usled kontura obala akumulacije.



Slika 2. Prikaz aproksimacije prilikom računanja zapremine na osnovu vertikalnih profila

Figure 2. The display of approximation when calculating the volume based on vertical profiles.

Neparalelnost susednih profila je posebno izražena u severnom delu akumulacije (Vodozahvatni basen), gde profili obrazuju oblik zvezde i gde bi računanje zapremine navedenim metodama uvodilo veliku aproksimaciju. Dodatno, prethodno navedena metoda podrazumeva prave linije između susednih profila, što, kada se uzme u obzir veliko rastojanje između susednih profila, produkuje površinu jezera

koja zanemaruje veliki broj zaliva i u nekim delovima značajno odstupa od prirodne površine jezera (slika 2). Kao alternativa metodi određivanja zapremine na osnovu vertikalnih preseka, iskorišćen je pristup baziran na digitalnom modeliranju terena. Pod time se podrazumeva da se od ulaznih podataka prvo kreira digitalni model terena dna jezera svake epohe, zatim da se izračuna zapremina akumulacije svake epohe kao zapremina tela koju digitalni model obrazuje sa horizontalnom ravni nulte kote vode, a konačna količina nanosa odredi kao razlika te dve zapremine.

Digitalni model terena – DMT (u originalu Digital Terrain Model – DTM), je prosto statistička predstava kontinualne površi zemljišta preko velikog broja izabranih tačaka sa poznatim X, Y i Z koordinatama u proizvoljnom koordinatnom sistemu. Digitalni model dna DMD, predstavlja poseban tip DMT-a, gde se tačke odnose na dno vodene površine koja se modelira. Neparalelnosti profila ne utiču na proračun ovom metodom, ali problem koji se odnosi na preveliko rastojanje susednih profila i dalje ostaje. Dodatno, metoda je osetljiva na različitu gustinu tačaka poput onog kakav je u ulaznim podacima (velika gustina tačaka duž profila i bez tačaka između profila). Ovakav nepovoljan raspored ulaznih tačaka može prouzrokovati artefakte, ravne delove površi terena i što se na kraju odražava pogrešnom vrednošću izračunate površine. Zbog toga je izvršeno progušćavanje ulaznih podataka novim tačkama, i to:

- Tačkama prirodne granice jezera;
- Tačkama između profila.

Popunjavanje tačkama kojima se diskretizuje prirodna granica jezera se vrši kako bi se ograničilo područje kreiranja DMD-a i suzbilo pojavljivanje neželjenih artefakta. Na ovaj način takođe se rešava i problem aproksimacije koji se javlja kada se granična linija definiše krajnjim tačkama profila. Kako se u okviru ovog proračuna nije raspolagalo zvaničnim podatkom poligona/linije granice jezera, ona je obezbeđena manualnom digitalizacijom sa zvaničnog sajta GeoSrbija.

Metričke razlike prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Metričke razlike u prirodne i aproksimirane granice jezera

Table 1. Metric differences between natural and approximated lake boundaries

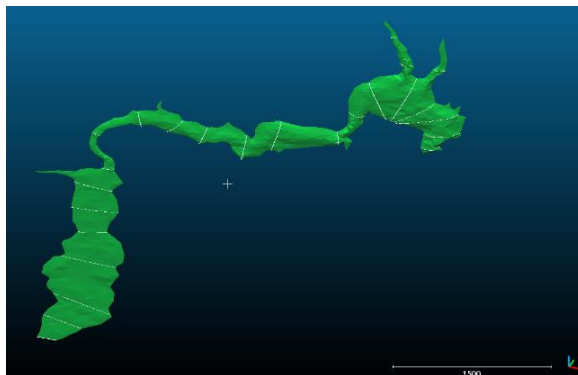
	Površina [ha]	Obim [km]
Prirodna granica	323.5427	24.028
Aproksimovana granica	295.5803	18.711

Prirodna granica je diskretizovana sa 863 tačke, kojima je dodeljena visinska kota 277 m, pošto se radi o visini koja predstavlja nulti nivo vode i na koju su redukovana sva merenja visina (dubina) ulaznih tačaka.

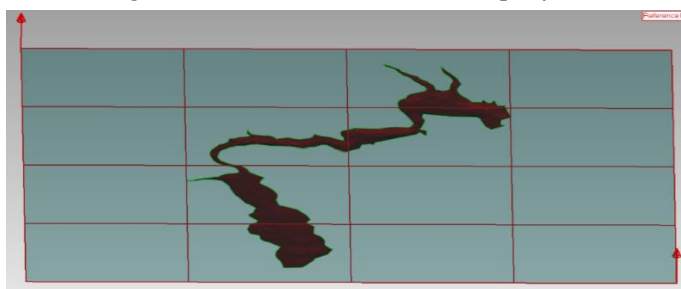
Popunjavanje tačkama između profila izvršeno je korišćenjem geostatističkim metodama – regresionim kriningom. Postupak podrazumeva da se na osnovu tačaka u kojima je poznata visina (tačke profila i tačke granice jezera), izvrši predikcija visine u tačkama od interesa. Prilikom predikcije mogu se koristiti i neke dodatne informacije (prediktori) koje mogu poboljšati rezultate. U konkretnom slučaju izvršena je predikcija visine (dubine) u 2102 tačke, kojima je selektivnim uzorkovanjem pokriveno područje između profila, pri čemu je vođeno računa da gustina tačaka približno svugde bude jednaka. Kao prediktori korišćene su sledeće informacije:

- Predikcija 1978. godine – korišćena je informacija o odaljenosti tačke od obale;
- Predikcija 2017. godine – pored informacije o udaljenosti od obale, korišćena je i informacija o visini (dubini) jezera u toj lokaciji iz nulte epohe.

Na osnovu ulaznih tačaka, tačaka granice i tačaka između profila izvršena je triangulacija i kreiranje 3D modela (slika 3).



Slika 3. Kreirani 3D model sa profilima
Figure 3. Created 3D model with profiles



Slika 4. Prikaz preseka 3D modela i referente ravni na visini 277 mm
Figure 4. The display of the cross section of the 3D model and the reference plane at a height of 277 masl.

Računanje zapremine je vršeno kao odsečak kreiranog modela sa horizontalnom ravni na visini 277,00 mm (slika 4).

Rezultati zapremine modela prikazani su u sledećoj tabeli:

Tabela 2. Rezultati zapremine

Table 2. Volumes results

Epoha	1979.	2017.	Razlika
Zapremina [10 ⁶ m ³]	41.0	37.7	3.3

2. Zaključak

Rezultati istraživanja ukazuju da je početna zapremina za nanos Akumulacije „Ćelije“, koja iznosi 20 mil/m³, nakon 38 godina eksploatacionog perioda, umanjena za 3,3 mil/m³, kao posledica zasipanja nanosom, što ukazuje da preostala zapremina za nanos iznosi 16,7 mil/m³.

Ukoliko se dinamika zasipanja akumulacije nanosom nastavi dosadašnjim tempom, bez značajnijih prirodnih ili antropogenih negativnih uticaja, može se očekivati da će preostala zapremina za nanos biti potpuno zasuta za ≈ 180 godina.

3. Literatura

- [1] Nulto snimanje Akumulacije „Ćelije“, Energoprojekt, 1978.