

PRAĆENJE KOLIČINA NANOSA U AKUMULACIONOM BAZENU HE JABLANICA

Mirko PANDŽA — Mostar*

UVOD

Akumulacioni bazen Jablanice nastao je 1954. godine izgradnjom brane neposredno nizvodno od ušća rijeke Rame u Neretvu.

Sa osnovnim karakteristikama kao što su: položaj u kraškom području, veličina slivnog područja od 2940 km², dužina od 29,2 km — ne računajući dužinu zaljeva pritoka, prosječna širina od 343 m, veliki broj pritoka (vidi prilog br. 1), od kojih je većina čisto bujičnog karaktera, sa veoma razudenom obilom u ukupnoj dužini od nešto preko 100 km, ovaj akumulacioni bazen spada u red onih kod kojih se moglo očekivati znatnija zasipanja nanosom.

Iako je postrojenje projektirano prije više od četvrt vijeka, može se reći da su projektant (sadašnji Energoinvest) i tadašnja služba investitora pravilno shvatili značaj problema zasipanja i posvetili mu dužnu pažnju.

Naručena je Studija o zasipanju jezera nanosom od eminentnih stručnjaka (Knežević i kol. 1954. [1]). Poduzeta je izgradnja čitavog niza bujičnih pregrada, izvedeno je pošumljavanje i drugi biološki radovi (Hlebar 1977. [5]), na terenu je postavljen, stabiliziran i snimljen čitav niz profila (Aganović 1960. [2]). Time su u stvari dobivena nulta mjerenja na osnovu kojih su omogućena sva daljnja mjerenja količina nanosa pa i ova posljednja o kojima će u ovom članku biti riječi. Iz tih razloga zaslužuje da se o ovom sistemu nešto više kaže.

1. OSNOVNI SISTEM ZA MERENJE NANOSA

Idejni projekt rasporeda profila izradila je jedna komisija sastavljena od nekoliko hidrotehničkih i jednog geodetskog stručnjaka, a izvela ga je 1953. godine grupa geodetskih inženjera na čelu sa Ing. Ismetom Aganovićem, sada redovnim profesorom na Građevinskom fakultetu u Sarajevu.

Postavljeno je i snimljeno ukupno 163 profila, čiji je raspored vidljiv u situaciji u prilogu 1. Ista ekipa izvela je prvo mjerenje količina nanosa u septembru 1956. godine za vrijeme prvog i jedinog do sada pražnjenja ove akumulacije. Rezultati jednog i drugog rada objavljeni su u Geodetskom listu (Aganović 1960. [2]), iz kojeg se navode ukratko samo najosnovniji elementi.

* Adresa autora: Mirko Pandža dipl. inž. Hidroelektrane na Neretvi Mostar

Krajnje tačke profila stabilizirane su granitnim kamenjem dimenzije $12 \times 12 \times 60$ cm. Visinski i položajno vezane su na državni koordinantni sistem, a određivanje je izvršeno kombinacijom više metoda zavisno od konkretnog slučaja.

Strmi dijelovi profila snimani su autoredukcionim i tahimetom sa 3 konca, a ravni dijelovi nivelotahimetrijom. Profili su iscrtani na hamer papiru u mjerilu 1 : 1000 sa upisanom stacionažom i kotama detaljnih tačaka.

Tako sačinjeni elaborat sadrži sve terenske i kancelarijske trigonometrijske i nivelmanske zapisnike, kartu 1 : 5000 sa ucrtanom akumulacijom i profilima, te same poprečne profile u $M = 1 : 1000$.

2. PRVO MJERENJE KOLIČINE NANOSA SEPTEMBRA 1956. GODINE

Iako je bilo zamišljeno da se prvo mjerenje količine nanosa izvrši snimanjem profila na isti način kao i u nultom mjerenju, nije se moglo to ostvariti zbog kratkoće vremena, nemogućnosti da se pronađe kolje postavljeno na stajalištima i detaljnim tačkama u prvom snimanju. Visine nanosa izmjerile su se nakon pražnjenja neposrednim mjerenjem razmjernikom, a položaj mjerenjem tačke određivan je u profilu tahimetrijskim snamanjem ili odmjeravanjem od markantnih detaljnih tačaka profila. Visina tako izmjerenih nanosa korigirane su na visine potpuno suhog nanosa. Skupljanje nanosa — po visini zbog isušavanja ustanovljeno je da se kreće i do 20%. Količina nanosa tada dobijene preračunate na 1 godinu iznosile su 425.560 m^3 ili, izražene prosječnom visinom nanosa 2,89 cm (Aganović 1960. [2]).

Uz ove količine data je još napomena da su 1954. 1955. i 1956. godine bile oskudne sa padavinama i da se dobijeni podaci ne mogu smatrati prosječnim za duži period. Cjelokupni rezultati tada izvršenih mjerenja dati su u navedenom članku u jednoj tabeli i 6 grafičkih nacрта [2].

3. DALJNJA PERIODIČKA MJERENJA

Kao što se vidi iz dijagrama vodostaja (u prilogu br. 2), jezero nakon 1956. godine nije više bilo pražnjeno. Zbog toga se klasičnim geodetskim metodama nije više ni moglo mjeriti nanose u cjelokupnom bazenu. Da bi se imala kakva takva kontrola zasipanja, 1963. i 1967. godine izvršena su mjerenja nanosa tom metodom, ali samo na dijelovima bazena koji je tih godina ostao van vode, dok je dio bazena ispod kote 235 i nešto višoj (zbog vode i neprehodnosti zbog žitkosti) ostao prava nepoznanica.

Razlog da se ustanove baš te količine koje ostaju pod vodom je, što se povlačenjem nivoa svake godine jednom ili dva puta (vidi prilog 2), premještaju u taj dio bazena znatne količine nanosa koje su se inače za vrijeme viših vodostaja taložile uzvodno.

Prvi pokušaj podvodnog snimanja nanosa u dijelu jezera ispod kote minimalnog radnog nivoa obavljen je 1972. godine. Ta su mjerenja zamišljena kao test mjerenja i od ukupno 100 profila na nešto širem području mrtve akumulacije izabrano je da se izmjeri samo 10. Bili su to profili br. 19, 30, 39, 67, 92, 94, 110, 121, 125 i 145.

Svaki od ovih profila izabran je sa određenim razlogom:

— broj 19 zato što je na početku mrtvog dijela ramskog kraka jezera; broj 39 i

67 jer su u području brane, odnosno ulazne građevine dovodnog tunela; broj 92, 94, 110 i 121, jer su u području ušća većeg broja pritoka i na ulazu u mrtvi dio akumulacije; broj 125, jer je na potoku koji nanosi velike količine materijala; a broj 145 odabran je radi mogućnosti upoređenja sa mjerenjima po suhom.

Izborom ovako relativno manjeg broja profila željelo se da se sa što manjim investicijama ispita (orijentaciono) raspored količine nanosa, njihove visine na najvitalnijim dijelovima bazena — kod brane, ulazne građevine i na počecima mrtvih dijelova akumulacije i ušćima pritoka. Na osnovu rezultata ovih snimanja trebalo je da se odluči da li da se obavi cjelovito premjeravanje. Rezultati ovog parcijalnog ispitivanja pokazali su da je to neophodno.

Mjerenja je izveo Institut za oceanografiju i ribarstvo iz Splita, pritom su dubine mjerene sondnim viskom (uteg na baždarenoj čeličnoj sajli), a stacionaže baždarenim mornarskim konopom sa plovcima. Početak i kraj konopa umjeren je sa krajnjih tačaka profila na geodetski način. Prilikom ovih mjerenja na svim profilima na stacionaži korita vađeni su i uporci nanosa. Zahvatanje je vršeno Petersonovim grabilom do dubine od cca 30 cm. Rezultati ovih mjerenja reducirani na 1967. godinu u kombinaciji sa ostalim snimanjima obavljenim te godine, poslužili su za obračun kubatura nanosa u toj godini (Prilog broj 3 — Dijagram sumiranih kubatura nanosa).

4. SNIMANJE NANOSA IZVRŠENO U 1977. GODINI

Nakon analize svih prethodnih rezultata i iskustva stečenih kroz sva ta premjeravanja napravljen je program, po kojem su se trebala izvršiti nova cjelovitija premjeravanja i ispitivanja nanosa. Taj se program sastojao iz 2 dijela:

— dijela kojim će se ustanoviti količine i raspored nanosa, i dijela kojim će se utvrditi vrsta, karakter i sastav nanosa.

Za snimanje je ovog puta odabran 71 profil, a vađenje uzoraka planirano je na 11 lokaliteta, ali sa znatno dubljim zahvatanjem. Obzirom da se ovog puta radilo o masovnom i detaljnijem premjeravanju, nije došlo u obzir da se mjerenje i zahvatanje izvedu na način kao 1972. godine. Kombinacija s klasičnim geodetskim snimanjem također nije dolazila u obzir, zbog niza poteškoća terenske i analitičke prirode. U potrazi za izvođačem dobro opremljenim za ova mjerenja, odlučeno je da se angažira Hidrografski institut RM iz Splita.

U međuvremenu dok su se vodili pregovori (1974. i 1975. godina) ekipa naše ustanove otkrivala je na terenu tačke i profile, prosijecala trase profila do vode i obnavljala uništene tačke. Tamo gdje se nije našla nijedna tačka profila, ili ih nije bilo zgodno obnoviti, zamjenjivan je taj profil susjednim povoljnijim. Tako je do ugovaranja posla definiran program (profili podebljani u prilogu br. 1) i pripremljen dio terenskih radova. Projektnim zadatkom koji je za ovu priliku napravio izvođač upratko se tražilo slijedeće:

Konfiguraciju podvodnog reljefa snimati eholotom sa kontinuiranom grafičkom registracijom. Tačnost snimanja dubina da bude $\pm 5-10$ cm. Radi boljeg pridržavanja pravca po profilu i tačnijeg određivanja stacionaža, stacionaže mjeriti baždarenom čeličnom sajlom. Dijelove profila van vode, ukoliko jezero ne bude na max. koti, snimiti tahimetrijom pomoću elektronskog daljinomjera.

Sve podatke snimanja u profilu vezati na stabilne krajnje tačke profila tako da se za svaku tačku profila mogu ustanoviti stacionaža i kota. Visinska »dubinska) mjerenja vezati još i na kotu jezera koja se na brani očitava svaki sat.

Za dio koji se odnosi na uzorkovanje nanosa tražilo se da se uzorci izvade na 11 lokaliteta prema rasporedu (u prilogu 1) i to na stacionaži korita i da dubina zahvatanja bude najmanje 3 metra.

Prema istom zadatku, izvođač je bio dužan predati slijedeću dokumentaciju: grafove eholota, numeričke podatke snimanja (pisane profile), nacрте novog stanja profila u $M = 1 : 1000$ nanasene na stare profile nultog stanja i makroanalizu izvađenih uzoraka. Računanja i sve druge obrade izvođač nije htio prihvatiti zbog zauzetosti na drugim poslovima.

S terenskim radovima otpočelo se 27. juna. Radilo se u 2 ekipe. Ekipe za snimanje nanosa sastojala se od 2 predstavnika Instituta, jednog predstavnika HE, 2 vozača čamca i 2 pomoćna figuranta. Oprema u sastavu ekipe sastojala se od jednog brzog čamca sa distomatom, toki-voki uređajem i potrebnom dokumentacijom za pronalaženje profila i umjeravanje krajnjih tačaka sajle (planovi $1 : 5000$, kopije nacрта profila, trig. obr. br. 27 i terenski geodetski zapisnici) i jednog običnog čamca sa motorom (4 KS) u kojem je stajala ostala oprema: ultrazvučni hidrografska dubinomjer, aku-baterije, hidrografska sajla i pribor za ankerisanje sajle.

Ekipe za vađenje uzoraka sastojala se od 1 predstavnika Instituta i jednog predstavnika HE, vozača čamca i 3 pomoćna radnika. Oprema u njenom sastavu bila je 1 čamac tegljač, plovna kompa specijalno napravljena od benzinske buradi za ovu svrhu, vitlo sa sajlom, tornjem i sondom, te pribor za sidrenje i pribor za odlaganje uzoraka (sl. 1.). Kompa je bila dimenzije 5×3 m sa otvorom u sredini za spuštanje sonde (vidi sl. br. 1). Postupak izvođenja snimanja sastojao se u sljedećem:

Predstavnik HE gliserom bi išao naprijed, pronalazio profile, umjerio krajnje tačke na koje će se vezati sajla i snimio dio profila do vode. Nakon toga bi ekipa drugog čamca razvukla i nategla sajlu tako da stacionaža na sajli odgovara stacionaži profila.

Namještanjem čamca uz sajlu bokom na kojem je bio pričvršćen odašiljač ultrazvuka i laganim pokretanjem čamca otpočelo bi mjerenje. Davanjem impulsa registratoru pri prolazu pored stacionažnih oznaka sajle, određivana je stacionaža na grafikonu eholota.

Radeći tim postupkom u nešto produženom radnom vremenu cjelokupni posao (72 profila) bio je završen za 3 sedmice. Dnevni maximum snimanja bio je 6 profila. Baždarenje eholota obavljeno je u nekoliko navrata direktno spuštanjem kugle na baždarenoj sajli (na svakih 5 m dubine) i očitavanjem tih dubina eholotom. Tako dobijene korekcije iznosile su unutar 10—15 cm za maksimalne dubine. Prilikom izvođenja ovih mjerenja najviše poteškoća predstavljalo je pronalaženje tačaka profila, prosijecanje pravaca kroz šumu radi dogledanja i skretanja sajle zbog jakih bočnih vjetrova.

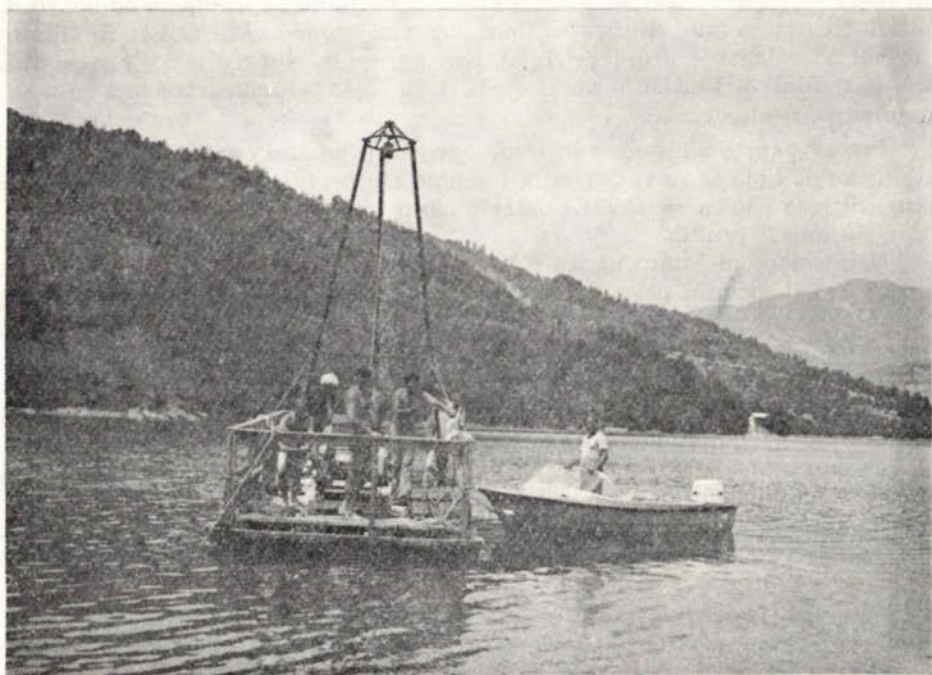
Postupak vađenja uzoraka sastojao se u tome da bi se kompa dovezla na mjesto obilježeno usidrenim plovkom, usidрила se, i sonda (duga 3 m i teška 300 kg) polagano spuštala do visine od 10—15 m iznad dna. Od te visine pustila bi se da slobodno padne i zarije se u nanos, nakon čega bi se vitlom vukla van i uzorak analizirao na licu mjesta i odložio u pripremljenu ambalažu.

Računska obrada je oduzela mnogo vremena zbog toga, što su se računanja, osim za cjelokupni bazen, obavila posebno još i za mrtvi dio akumulacije, te što je zbog više raznih podataka u investicionoj dokumentaciji, tu površinu trebalo nanovo računati.

Površine nanosa u profilima i ostali elementi računati su na računaru HEWLET PACKARD 9830b, za koje su napravljeni odgovarajući programi. Bez ovog računara efekt i kvalitet rada bi bio znatno umanjen, jer bi se površine profila pod nanosom morale raditi grafički. To bi bilo daleko nepreciznije i dugotrajnije, jer bi profile trebalo preraditi u neko krupnije mjerilo, pa tek onda primijeniti grafičku metodu obračuna.

Kubatura se inače računala na taj način da se odsječak površine jezera između dva profila množio sa srednjom prosječnom visinom nanosa iz ta dva susjedna profila, a prosječne visine dobijene su kao rezultat dijeljenja površine profila pod nanosom i širine lica vode u tom profilu (vidi tabelu 1).

Grafički i numerički prilozi ovom članku imaju za cilj da u kratkim crtama prikažu zadatak i kako se on izveo. U referatu [6] dati su kompletni rezultati premjeravanja koji mogu, sa ostalim parametrima (padavinama, dotocima, režimom rada elektrane, biološkim faktorima, te antierozionim zahvatima) poslužiti za najrazličitije studije problema zasipanja.



Sl. 1 Plovna kompa sa opremom za vađenje uzoraka nanosa

Broj profila	Stacionaža profila	Širina jezera u profilu	Površina nanosa u profilu	Visina nanosa			Površina jezera		Kubatura nanosa		Primjedba
				max.	prosječna	srednja	Pojedinačna ha	Ukupna ha	Pojedinačna m ³	m ³	
1	6702		0		0	0,882	51529	0	45448,6	0	
2	6315	166	292,9	4,87	1,764	1,496	49741	51529	74412,5	45449	
7	5991	119	146,0	2,81	1,227	1,391	88836	101270	123570,9	119861	
9	5606	228	354,6	2,94	1,555	1,708	83472	190106	142250,2	243432	
10	5243	187	348,0	3,92	1,761	1,197	26897	273587	32195,7	386022	
14	5090	150	79,9	3,68	0,531	1,157	43027	300475	49782,2	418198	
15	4815	195	347,7	4,32	1,783	2,564	180852	343502	462,332,4	467980	
19	4243	315	1053,4	7,41	3,344	2,762	184067	523854	508393,4	930312	
21	3635	281	612,8	4,19	2,181			707921		1438706	

RIJEKA RAMA

5. STEČENA ISKUSTVA I ZAKLJUČCI

Konstatacija prof. Aganovića da je na jezeru postavljen velik broj profila potvrđuju iskustva. Ovaj broj umjesto 163 mogao je sasvim opravdano biti upola manji. S druge strane nešto veći broj profila u nultnom snimanju može kasnije dobro doći, jer svi profili neće nikada biti sačuvani za duži period. U ovom slučaju prilikom traženja tačaka na terenu, 28% nisu se uspjele pronaći pa su se morale obnoviti ili profili zamijeniti.

Vremenski plan praćenja nanosa mora obavezno obuhvatiti nulta mjerenja i mjerenja kod prvog probnog pražnjenja. Frenkvencija mjerenja kasnije u pogonu treba biti određena iz interpretacije prvih rezultata dobijenih prilikom prvog pražnjenja jezera i ne bi trebala biti viša od 1 mjerenje na 3—5 godina. Ovo iskustvo važi samo za velike akumulacije. Ako se okasnilo, ili ako se ne traži velika tačnost mjerenja, postoje mogućnosti da se količine nanosa ustanove i bez tih unaprijed fiksiranih i snimljenih profila. Snimanje količina nanosa daleko je jednostavnije i brže izvoditi hidrografskim premeravanjem profila, nego klasičnim geodetskim snimanjem po suhu (prelazi preko rijeke, propadanje u mulj, vremenske nepogode za vrijeme niskih kota u jezerima itd). Međutim, na manjim akumulacijama snimanje ultrazvučnim dubinomjerima ne daje velike prednosti u brzini nad običnim mehaničkim sondiranjem.

Prednost snimanja eholotom je u tome što se dobije kontinualan grafikon koji omogućuje uvid u sve detalje snimanog profila. Nedostatak eholotom je što grafikon ne definira jasno liniju profila, nego daje jedan cijeli sistem sjena, čija debljina zavisi od vrste tla kojeg se snima. Zato je potrebna posebna obrada (interpretacija) i iskustvo da se dobiju definirane linije profila. Pri tome se mora obavezno voditi računa o korekcijama dubina s obzirom na različite sredine kroz koje ultrazvuk prolazi. Promjene nastaju zbog razlika u temperaturi, gustoći vode, bistrini (prisustvu mutnih struja) i td. Naročito je važno, posebno kod strmih dijelova profila, da odašiljač ultrazvuka prilikom rada stoji u vertikalnom položaju.

U slučaju tvrde podloge, linija ehograma je tanja i definiranija, dok kroz meko tlo ultrazvuk probija i do nekoliko metara dubine, pa se može postaviti pitanje pravilne interpretacije. (U prilogu br. 7 prikazan je lotogram profila 113 koji je snimljen Atlasom DESO 10 prikazanim u prilogu bu 6). Osmatranju nanosa u akumulacijama treba prilaziti s mnogo sistematičnosti i planski, imajući na umu šta se sve tačno želi postići.

Umjesto na hamer, orginale (nulta mjerenja) dobro je odmah predstavljati na jednu od savremenih transparentnih folija u formatu A4 (po visini) tako da se mogu bez preinačavanja kopirati i ulagati u elaborate, a isto tako da se na nacrtu nultog stanja ostavi dovoljno mjesta za upisivanje (numerički i grafički) podataka snimanja za bar nekoliko narednih mjerenja. Kada se dobro isplanira i dobro pripremi, sam posao snimanja je mnogo olakšan.

LITERATURA

- [1] Knežević B., Jevđević V., Bata G.: Problem zasipanja nanosom Jablaničkog jezera, Saopštenje Drugog savjetovanja stručnjaka Jugoslavije o visokim branama, Beograd, 1954.
- [2] Aganović I.: Mjerenje nanosa u Jablaničkom jezeru, Geodetski list 1960. 4—6, 147—170.

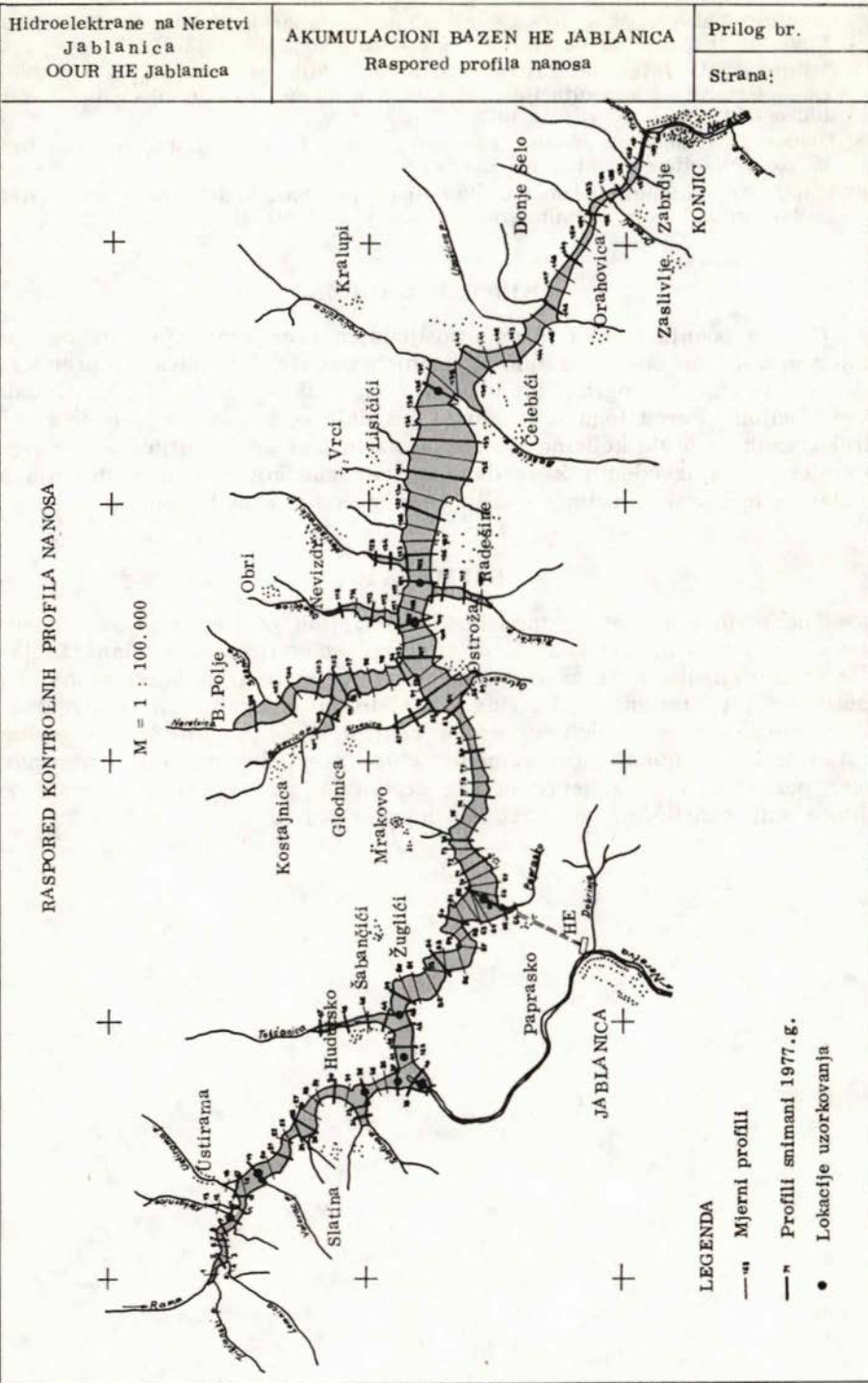
- [3] Rezultati batimerijskog istraživanja dna akumulacionog bazena HE Jablanica, Elaborat Instituta za očeonografiju i ribarstvo, Split 1973.
- [4] Selimović M.: Intenzitet zasipanja nanosom akumulacionog jezera HE Jablanica — Referat za konsultacije o problemima nanosa u akumulacionim bazenima hidroelektrana, B. Koviljača 1977.
- [5] Hleber V.: Raspodjela nanosa u akumulacionom bazenu HE Jablanica — Referat sa Konsultacije o problemima nanosa kao kod 4
- [6] Pandža M.: Snimanje nanosa u akumulacionom bazenu HE Jablanica — Referat za konsultacije o problemima nanosa, kao kod (4) str. II—6/1—27.

KRATAK SADRŽAJ

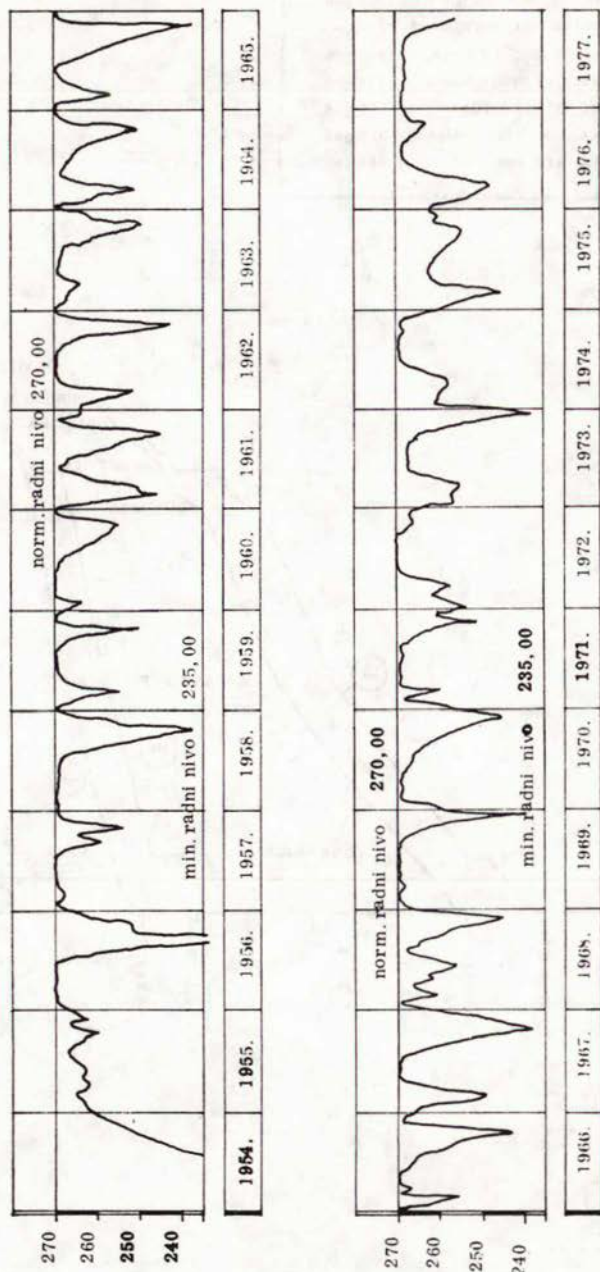
Glavna poanta članka je opis posljednjeg premjeravanja količine nanosa kojeg su vode deponirale u akumulacioni bazen HE Jablanica. To premjeravanje je izvedeno hidrografskim ultrazvučnim dubinomjerom sa kontinualnom registracijom. Pored toga u tekstu se još daje opis osnovnog sistema profila preko kojih se prate količine zasipanja, način izvršenja nultih i svih narednih premjeravanja izvedenih kroz dvadesetjednogodišnji period postojanja akumulacije, te iznose iskustva sa zaljučcima stečenim kroz taj period.

SUMMARY

The main point of the article is description of recent measurements of the silt deposits in the storage of the Hydroelectric Power Plant Jablanica. The measurements were executed by means of hydrographic ultrasonic depth-metre with continuing registering. In addition a description is given of the basic profile system which serves for control of filling up, of the method of initial and subsequent measurements which are being executed over past 21 year period of the existence of the accumulation, as well as certain experience with conclusions acquired during this period.



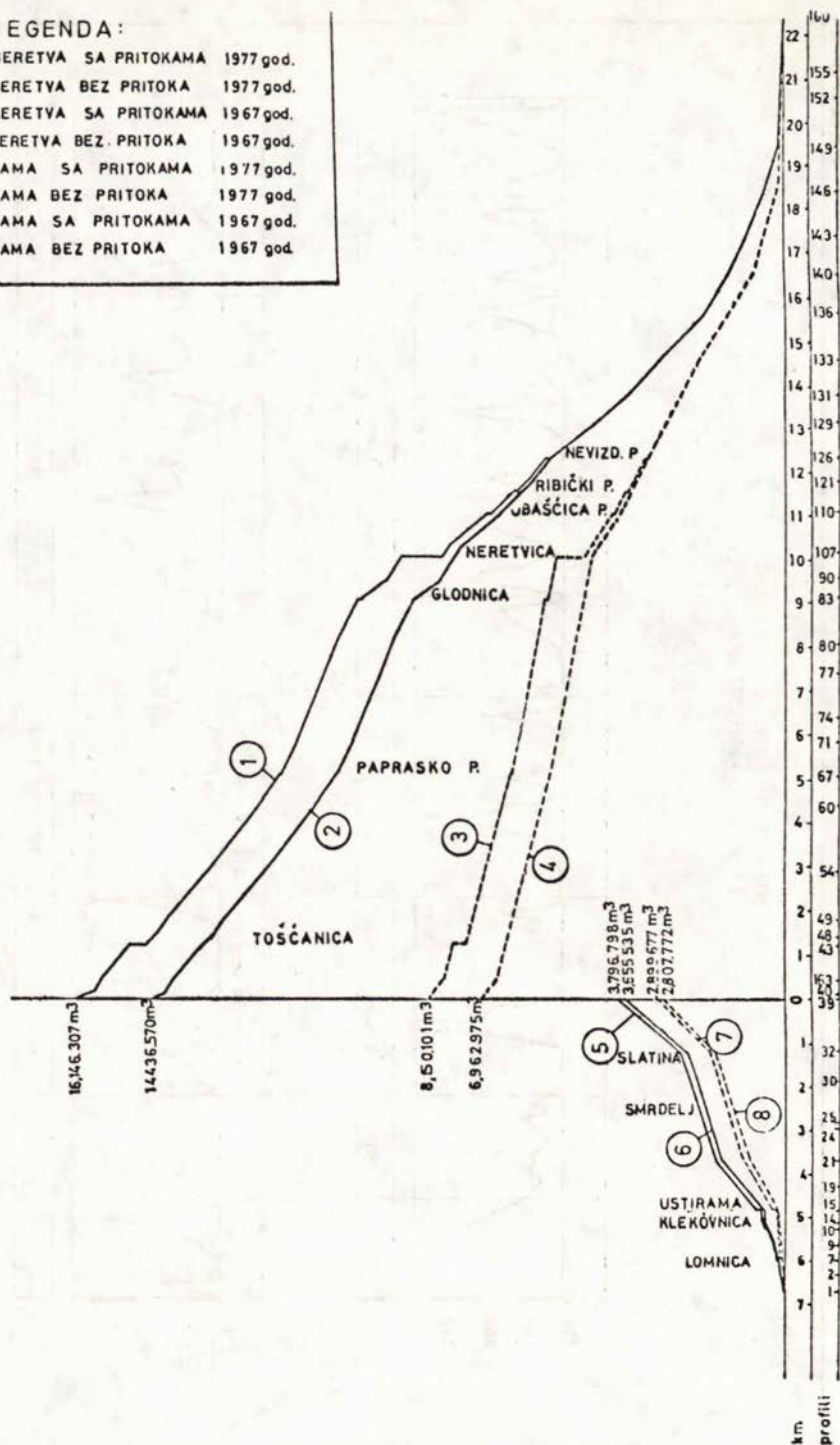
NIVO AKUMULACIJE HE JABLANICA
ZA PERIOD 1954-1977. GOD.



PRILOG 3

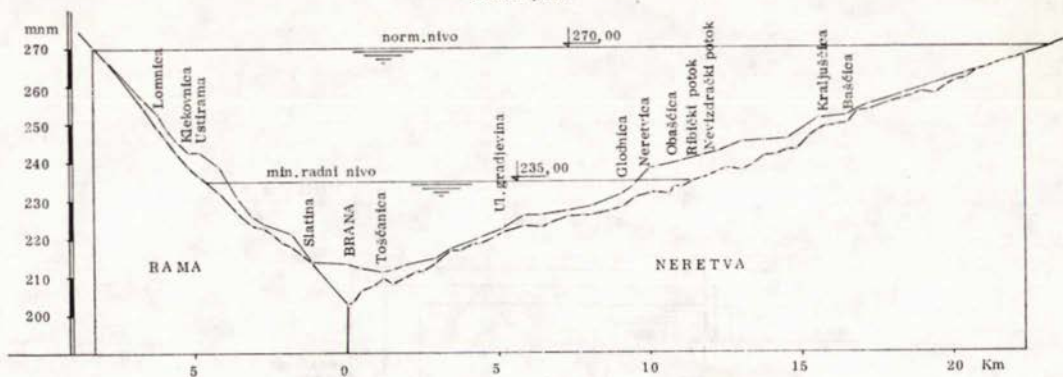
LEGENDA:

- 1 NERETVA SA PRITOKAMA 1977 god.
- 2 NERETVA BEZ PRITOKA 1977 god.
- 3 NERETVA SA PRITOKAMA 1967 god.
- 4 NERETVA BEZ PRITOKA 1967 god.
- 5 RAMA SA PRITOKAMA 1977 god.
- 6 RAMA BEZ PRITOKA 1977 god.
- 7 RAMA SA PRITOKAMA 1967 god.
- 8 RAMA BEZ PRITOKA 1967 god.

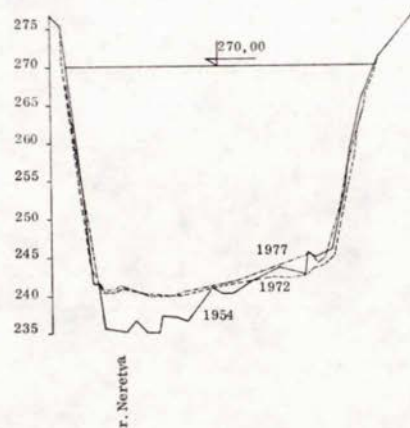
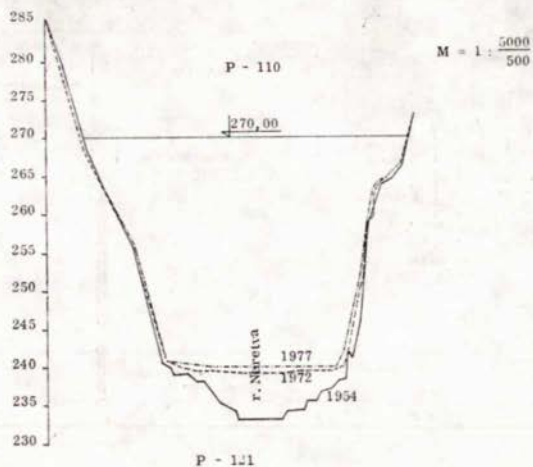


Dijagram sumarnih kubatura nanosa

JABLANIČKO JEZERO
Uzdužni profil

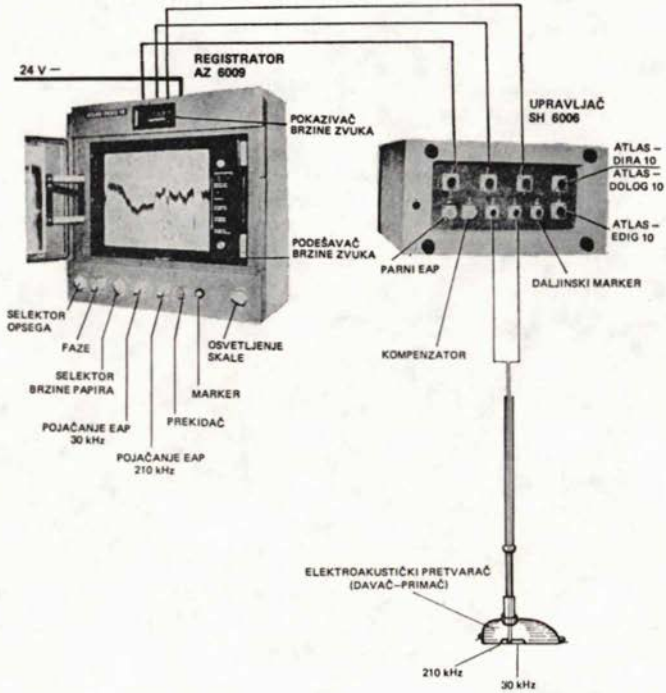


KONTROLNI PROFILI 110 4 121



PRILOG 6

ATLAS - DESO 10
AN 1021



PRILOG 7

LOGOGRAM PROFILA 113



Profil k. 113

AB → 177 (177-172)

d = 2 m

0...0.0 (2m) doka

2...110

5 m

2.07.77.

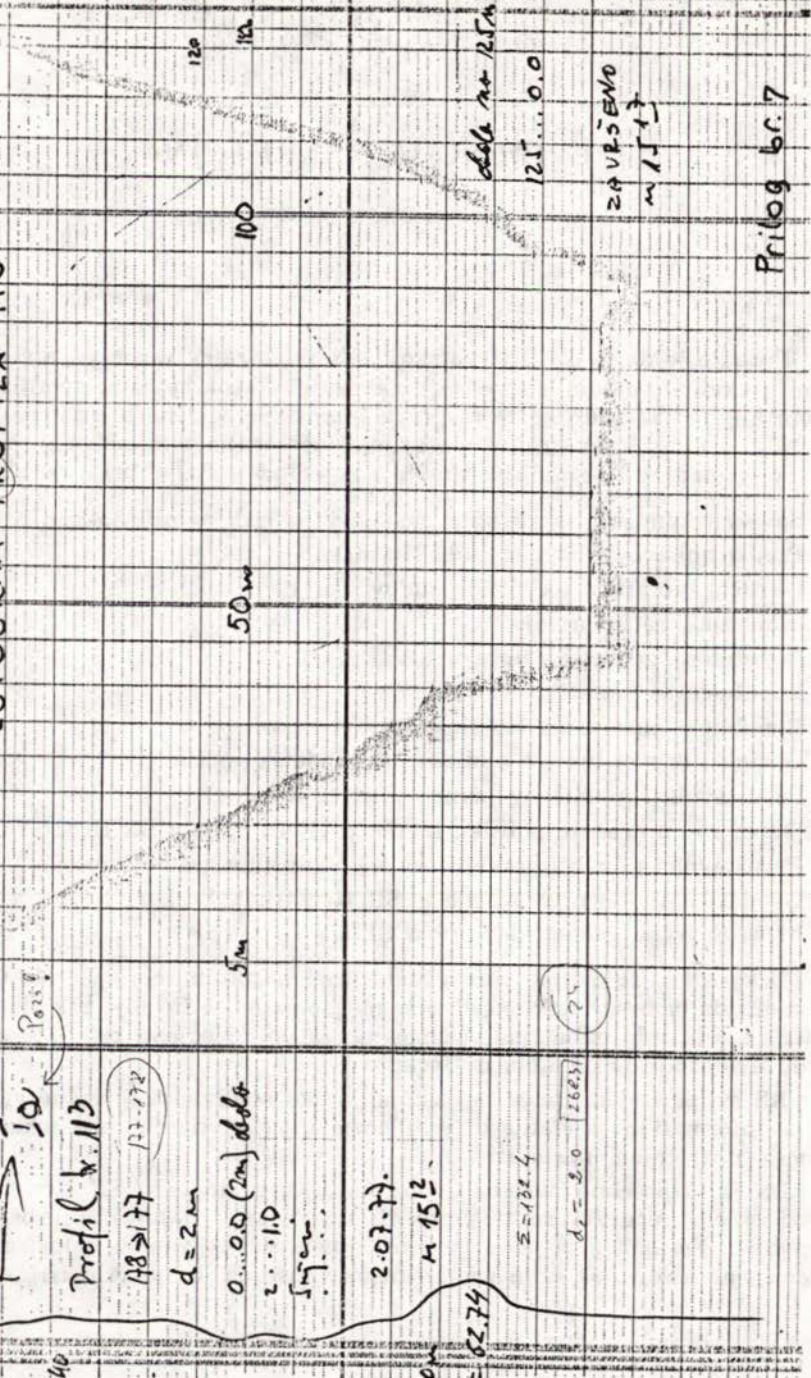
M 1512.

62.74

S = 124.4

d₁ = 3.0 (26.5)

25



ZAVRŠENO
M 1512

Prilog br. 7