

Inž. Ante Jelavić,

Institut za jadranske kulture i melioraciju krša — Split

SADRŽAJ MULJA U VODI VELIKIH KRŠKIH IZVORA i erozija u krškim poljima

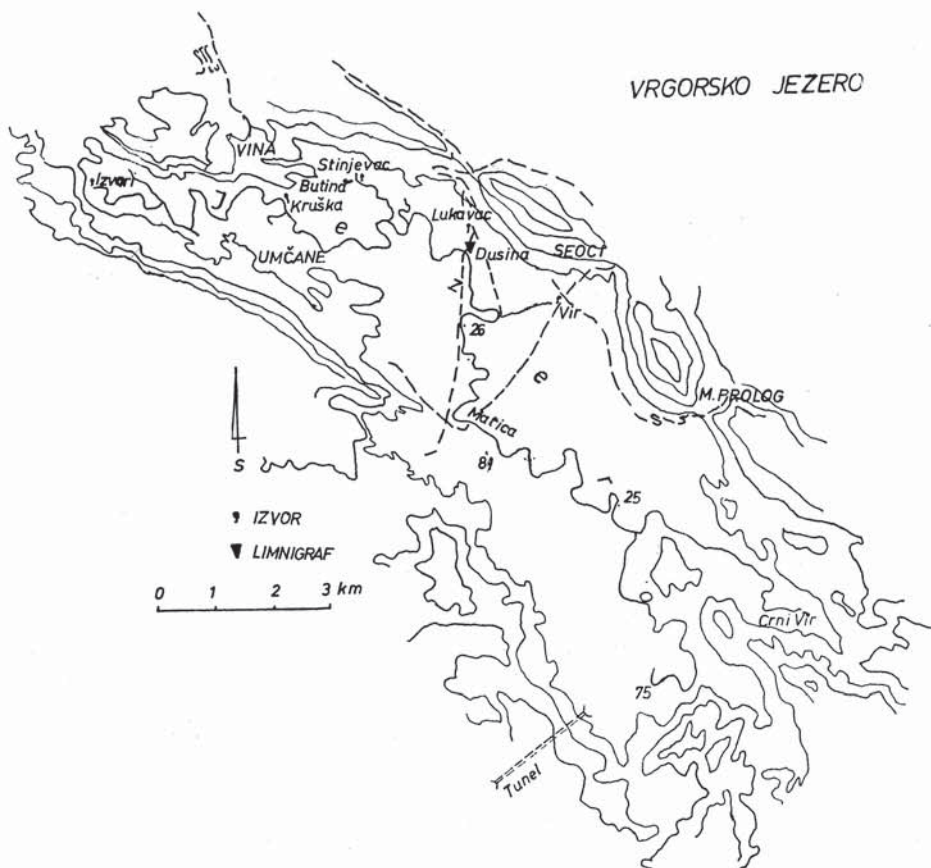
Sadržaj mulja u vodama velikih krških vrela (tipa vauelise) zanimljiv je uopće, a posebno povezano s krškim poljima. Donošenje mulja u krška polja i odnošenje mulja iz krških polja (erozija) imaju veliko značenje za melioracionu problematiku polja. Zbog tih razloga pristupilo se istraživanju tog problema.

1. Uvod

Hidrološke prilike na kršu predstavljaju vrlo značajnu i široku problematiku, možda širu nego na bilo kojem drugom području. Za poznavanje tih problema potrebno je znanstveno istraživanje raznih elemenata s različitih stajališta i za različite potrebe. Uz poznavanje svih izvora vode (izvori, vodotoci, jezera, akumulacije, podzemna voda i dr.), njihovih kapaciteta i kretanja stalnih i periodičnih kapaciteta, nužno je istraživanje i poznavanje kakvoće vode, tj. njenih kemijskih, fizičkih i bioloških osobina. U ovom radu iznosi se istraživanje sadržaja mulja (mutnoće) u velikim krškim vrelima po mjesecima u razdoblju od 36 mjeseci. Istraživanje je povezano s erozijom u krškim poljima, odnosno s donošenjem i odnošenjem mulja iz krških polja. Spomenuta istraživanja postavljena su u Vrgorskom jezeru (polju), koje spada u grupu zatvorenih krških polja. Voda dotječe u Vrgorsko jezero iz višebrojnih većih i manjih trajnih i periodičnih krških vrela i oborinske vode s vlastitog užeg orografskog sliva jezera 110 km². Slivno područje uže i šire, koje hrani krške izvore teško je odrediti po površini i njegovom pružanju, iako se o tome ima predodžba. Donošenje mulja u jedno otvoreno krško polje, površinskim vodotocima posve je različito od donošenja mulja izvornim vodama velikih krških vrela.

2. Prirodne prilike Vrgorskog jezera

Vrgorsko jezero zove se »jezero« jer je do 1938. godine, uglavnom i bilo jezero, pošto je uvijek bilo poplavljeno osim kraće vremensko razdoblje (VI-IX) u nekim godinama. Poplava je redovito bila duboka od 12 do 15 m. Godine 1938. otvoren je odvodni tunel, koji ima odvodni kapacitet oko 35 m³/sek, a prirodni ponori, računa se, imaju isto takav kapacitet. Otvaranjem tunela,



Vrgorsko jezero je postalo polje i to zatvoreno krško polje u području donje Neretve. Ukupna površina polja iznosi 2.963 ha na nadmorskoj visini 18—28 m.

Geološka građa brda, koja zatvaraju polje je kredin vapnenac, osim što su padine s SJ strane polja građene dijelom od numulitnog materijala i ostataka flišnih pojaseva. Kvartarne taložine u polju su duboke, visokovapnene ilovače, na kojima je razvijeno visokovapneno ilovasto tlo.

Srednja godišnja temperatura je 16°C s najvišom temperaturom u srpnju 27,8°C i najnižom u siječnju 5,2°C. Godišnja termička amplituda je 22,6°C. Godišnje oborine iznose 1.741 mm u razdoblju 1967—1970. godine. Intenzitet oborina može biti vrlo jak i preko 60 mm/sat.

3. Pedološke prilike

Uže slivno područje građeno je od kredinog vapnenca koji uvjetuje stvaranje izrazitog krša. Široko slivno područje građeno je također pretežno od vapnenca i predstavlja razvijeni krš, osim manjih površina, koje su geološki građene od materijala koji ne uvjetuje razvoj dubokog i jače razvijenog krša. Tipovi tala na širokom slivu su veoma različiti.

Tlo u Vrgorskom jezeru se razvilo na dubokim jezerskim taložinama na visokovapnenoj ilovači, koja sadrži do 95% CaCO_3 . U tlu je malo gline (< 0,002) oko 7%, te je tlo po mehaničkom sastavu fino praškasta ilovača.

Sadržaj humusa kreće se do 1%. Malo gline, praškasta struktura, malo humusa čine da je tlo nestrukturano te slabo i nestabilno strukturalno. S obzirom na teksturu fizičke i kemijske osobine, lako je uočljivo da tlo spada u jače erodibilna tla. Prava specifična težina (Stp) kreće se oko 2,65, a volumno specifična težina (Stv) kreće se oko 1,3. Kapacitet za vodu je 40–42%, a za zrak oko 10%. Visina pH je oko 8,5 što ukazuje na jače alkalično tlo.

4. Hidrološke prilike

Kako je spomenuto, Vrgorsko jezero bilo je zatvoreno, te nije imalo površinskih vodotoka za dotjecanje niti za otjecanje. Ono je danas polje, prima vode iz višebrojnih velikih stalnih krških vrela (Butina, Stinjevac, Lukavac, Kruška i više drugih periodičnih vrela). Izvori daju godišnje oko 1 milijardu m^3 vode, a oborinske vode vlastitog sliva iznose oko 69 mil. m^3 vode (koeficijent otjecanja 0,35%) što znači da u tijeku godine dotječe u jezero oko 95% izvorne vode, a samo 5% sa užeg slivnog područja. Q min izvornih voda u jezeru je oko 1,2 m^3/sec , a Q maks. 120 m^3/sec . Može se kazati da za krška vrela vrijedi zakonitost da je Q maks. veći za oko 100 puta od Q min.

Tabela 1 Mjesečne srednje protoke izvorne vode m^3/sec i oborine

Mjesec	1967.		1968.		1969.		1970.	
	m^3/sec	mm	m^3/sec	mm	m^3/sec	mm	m^3/sec	mm
I		194	41,90	246	47,39	209	113,70	344
II		97	25,77	85	73,40	450	102,80	221
III		66	14,37	92	100,29	189	75,20	238
IV		220	6,49	42	27,50	95	38,40	206
V		40	5,95	30	16,00	89	6,39	9
VI		121	5,90	103	15,45	128	4,41	52
VII		41	7,24	9	6,44	14	4,87	67
VIII	8,22	40	7,20	234	6,78	166		91
IX	13,95	206	8,64	82	23,26	216		0
X	8,68	46	6,24	142	4,13	0		119
XI	12,10	100	63,34	237	24,35	314		160
XII	42,65	225	50,89	223	70,80	429		235

Srednje mjesečne protoke izvorne vode, koje su obračunate prema dnevnim protokama za razdoblje VIII 1967 — VII 1970. i oborine.

Najmanje količine dotjecanja vode su u mjesecu srpnju i kolovozu. U jesenjim i zimskim mjesecima pritjecanje vode je redovito najviše. Najveće količine protječu u ožujku zbog proljetnog oborinskog maksimuma, porasta temperature i otapanja snijega na širem vanjskom slivu jezera.

5. Istraživanje mulja u izvornim i otjecajnim vodama

Da bi se ova istraživanja mogla bolje upoznati bilo je potrebno iznijeti nekoliko prednjih podataka, koji se odnose na ambijetalne prilike postavljenih istraživanja. Ova istraživanja postavljena su zbog slijedećih razloga:

- da se istraži sadržaj i kretanje mulja u vodi velikih krških vrela u toku jedne godine,
- da se ustanovi donošenje mulja putem izvora i odnošenje mulja u otjecajnim vodama i tako ustanovi razlika u kretanju mulja.

Za ustanovljenje spomenutih vrijednosti bilo je potrebno raspolagati s protjecajnim količinama vode iz izvora i sa sliva i to na limnigrafu »Dusina« i vodokazu pred tunelom i ponorima. To je bilo omogućeno pomoću postojećeg limnigrafa i vodokaza Hidrometeorološke službe u Zagrebu.

6. Metodika ispitivanja

U tijeku ispitivanja uzimani su uzorci s nekoliko velikih krških vrela (Butina, Stinjevac, Lukavac, Kruška i drugi) i to 1 l vode s dubine 0,60 m svako 3—5 dana. Isto tako su uzimani uzorci pred ulazom u odvodni tunel i prirodne ponore. Uzorci vode su filtrirani, ostatak sušen i vagan. Iz više dnevnih analiza u mjesecu ustanovljen je srednji mjesečni sadržaj mulja, koji sa srednjim mjesečnim dotjecajem izvorne vode daje količine mulja u pojedinom mjesecu i ukupno. Određivanje mulja u otjecajnim vodama, daje količinu mulja, koje voda iznese iz Vrgorskog jezera. Za neke uzorke napravljene su analize za određivanje suhog ostatka u vodi i alkaliniteta izvorne i otjecajne vode.

Za uvid u stanje i kretanje mulja iznosi se srednji sadržaj mulja po mjesecima za nekoliko godina (graf. 1), tabela 2.

Srednje vrijednosti sadržaja mulja u izvornim vodama i onima koje otječu iz jezera odnose se na izvornu vodu na izvorima Butina i Stinjevac, te vode iz Prigona — matice. Dnevni podaci o sadržaju mulja razlikuju se neznatno u pojedinom izvoru, te su kao osnovni podaci uzeti oni sa izvora Butine. Izvor Butine je trajni i najizdašniji izvor u Vrgorskom jezeru.

Graf. 1 SADRŽAJ MULJA U IZVORNIM I OTJECAJNIM VODAMA

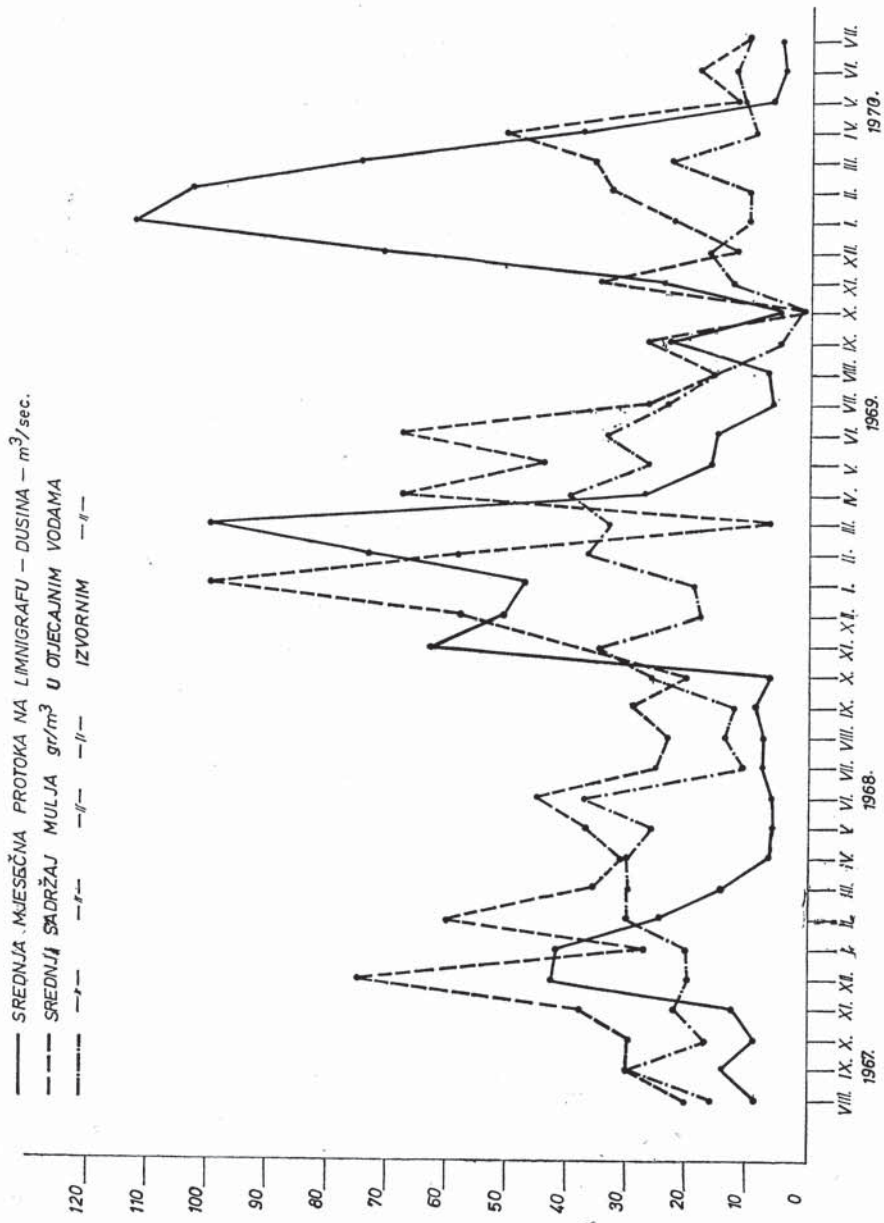


Tabela 2 Sadržaj mulja

Mjesec	1967.			1968.			1969.			1970.		
	Butina g/l	Prigon g/l	Razlika ±	Butina g/l	Prigon g/l	Razlika ±	Butina g/l	Prigon g/l	Razlika ±	Butina g/l	Prigon g/l	Razlika ±
I				0,020	0,072	+0,052	0,019	0,100	+0,081	0,010	0,022	0,012
II				0,030	0,065	+0,035	0,037	0,059	+0,022	0,010	0,050	+0,040
III				0,030	0,036	+0,006	0,034	0,006	-0,028	0,023	0,036	+0,013
IV				0,033	0,031	-0,002	0,040	0,068	+0,028	0,009	0,051	+0,042
V				0,026	0,037	+0,011	0,027	0,044	+0,017	0,011	0,012	+0,001
VI				0,038	0,045	+0,007	0,034	0,068	+0,034	0,012	0,018	+0,006
VII				0,011	0,025	+0,017	0,024	0,027	0,003	0,010	0,010	0,000
VIII	0,016	0,020	+0,004	0,014	0,023	0,009	0,016	0,016	0,009			
IX	0,030	0,020	-0,010	0,012	0,029	0,027	0,005	0,027	0,022			
X	0,017	0,030	+0,013	0,026	0,020	0,006	0,002	0,001	0,000			
XI	0,022	0,038	+0,016	0,035	0,040	0,006	0,013	0,035	+0,022			
XII	0,020	0,075	0,055	0,018	0,058	0,040	0,017	0,012	-0,005			

Sadržaj mulja u izvornim vodama ispitan je za vremensko razdoblje od 36 mjeseci. U tom razdoblju sadržaj mulja se je mijenjao u mjesecima i u godišnjim dobima. Ispitivanjem se je ustanovilo da izvorne vode sadrže najviše mulja u proljetnim mjesecima — ožujku, travnju i to nešto preko 0,02 g/l. Ovo je zbog toga što u proljeću nastupa drugi oborinski maksimum, što se povisuje temperatura zraka i tla zbog čega slijedi otapanje snijega i odmrzavanje tla na širem području sliva Vrgorskog jezera. Od 215 uzoraka (VIII—68 do X—69) izvornih voda 115 uzoraka ima sadržaj mulja do 0,02 g/l (53,5%), dok je 46,5% uzoraka iznad 0,02 g/l. Od 104 uzorka vode s Prigona — Matice kod ulaza u odvodni tunel u 53 uzorka (50,4%) ima mulja do 0,020 g/l, a u 49,6% uzoraka sadržaj mulja je preko 0,020 g/l. Sadržaj mulja u otjecajnim vodama je nešto veći nego u izvornim vodama, i uzorci preko 0,020 g/l u otjecajnim vodama su veći nego oni u izvornim vodama. Veći sadržaj mulja u otjecajnim vodama redovito je u vezi s oborinama na vlastitom slivu. U zimskim i jesenjim mjesecima — studeni, veljače, sadržaj mulja je nešto manji nego u proljetnim mjesecima, a u nekim godinama je tako nizak da je jednak sadržaju mulja u sušnim mjesecima; to je zbog nešto manje oborina, niže temperature i smrzavanja. Najmanji sadržaj mulja u izvornim vodama je u sušnom razdoblju u VII—VIII i IX-om mjesecu i kreće se od 0,000 do 0,020 g/l, što znači da se količine mijenjaju, ali su te promjene u uskim razlikama.

Napominje se da u listopadu 1969. nije bilo nikakvih oborina, te je sadržaj mulja u izvornoj vodi iznosio 0,002 g/l, i 0,001 g/l na Prigonu. Promjene u sadržaju mulja u izvornim vodama nastupile su uslijed većih oborina, koje su padale na širem slivnom području Vrgorskog jezera. Te oborine su djelomično otjecale površinskim tijekovima izvan Vrgorskog jezera i sigurno je da su nosile više mulja. Vode koje su infiltrirane u tlo filtriraju se do podzemne kanalske mreže, a dio sadržajnog mulja se odloži u podzemnim akumulacijama, tako da izvori daju vodu razmjerno s malo mulja i koji se neznatno mijenja. U proljeće kad izvorne vode nose najviše mulja, a površine polja su dijelom poplavljene nastaje taloženje jednog dijela mulja u zajezernoj vodi, tako da je sadržaj mulja niži u otjecajnim vodama (ožujak 1969). Kad je polje poplavljeno nema erozije u Vrgorskom jezeru zbog čega je i manji sadržaj mulja u otjecajnim vodama.

Prema tome kvartarne taložine u Vrgorskom jezeru donešene su u ranijem kvartaru, kad je protjecalo mnogo više vode i s više mulja. Međutim može se reći da je najveći dio ranijih taložina, vapneni materijal (CaCO_3), koji se izlučivao iz otopine i obrao na dno jezera kao što se danas zbiva isti proces u Vranskom jezeru.

6. 1. Suhi ostatak u izvornoj i otjecajnoj vodi

Za bolje upoznavanje kvaliteta voda određen je suhi ostatak u vodi u različitim mjesecima.

Suhi ostatak u izvornim vodama poslije filtriranja, kreće se od 0,450 do 0,700 g/l u mjesecima IV—VI-om. U mjesecima X—XI kreće se od 0,150 do 0,250 g/l. Suhi ostatak je nešto veći u toplijim mjesecima, a niži u hladnijim

Tabela 3

Mjesto uzorka vode	Dan i mjesec	Sadržaj mulja g/l	Ispareni (suhi ostatak) g/l	Dan mjesec	Sadržaj mulja	Suhi ostatak g/l
Butina	5. 5. 1968.	0,040	0,450	27. 10.	0,042	0,150
Butina	6. 5.	0,030	0,700	10. 11.	0,831	0,250
Butina	10. 6.	0,090	0,450	21. 11.	0,065	0,200
Butina	15. 6.	0,030	0,600			
Lukavac	20. 6.	0,040	0,450			
Lukavac				10. 11.	0,345	0,300
Stinjevac				21. 11.	0,062	0,250
Prigon	25. 4.	0,030	0,350	13. 9.	0,017	0,750
Prigon	15. 6.	0,400	0,700	26. 9.	0,017	0,800
Prigon	10. 7.	0,050	0,500	20. 9.	0,673	0,550
Prigon				5. 11.	0,136	0,450

mjesecima, što je posve normalno, jer je otapanje vapnenca jače u toplijim mjesecima i protoka je znatno manje.

6. 2. Alkalinitet vode

Nakon određivanja sadržaja mulja u vodi, uzeti su neki filtrati i u njima je određen alkalinitet vode. Ta ispitivanja su obavljena u izvornoj vodi Butine i Stinjevca te u otjecajnoj vodi Prigona (tabela 4).

Očito je da je alkalinitet u toplijim mjesecima nešto veći nego u hladnijim mjesecima. U ranijoj jezerskoj fazi kad je jezero bilo trajno i duboko poplavljeno (12—15 m), u višim toplinskim prilikama, postojala je mogućnost bogatog obaranja otopljenog vapna iz poplavnih voda što pokazuju i visoko vapnene taložine u Vrgorskom jezeru. U razdoblju viših godišnjih temperatura > 14°C, kad je i alkalinitet bio veći zbivao se je proces obaranja vapna iz poplavnih voda, a u isto vrijeme odlagale su se i manje količine mulja iz poplavnih voda, naročito uz izvore i uz obale Matice.

7. Erozija tala u Vrgorskom jezeru

Rečeno je da je prije izgradnje odvodnog tunela, Vrgorsko jezero skoro trajno plavilo a i u svakom slučaju u razdoblju IX—VI mjeseca. Visoke poplavne vode štatile su površine jezera od svih erozionih djelovanja. Otvaranjem tunela jezero je ispražnjeno, te su površine jezera ostale nezaštićene i razvila se je uglavnom duboka jaružasta i bočna erozija, koja je odnosila velike količine tla, koje se lako erodiralo zbog mehaničkih, fizičkih i kemijskih oscbina. Izravnim mjerenjem erodiranih jaruga i bočnih erozija ustanovljeno je da je u razdoblju od 30 godina (1938—1968) erozija odnijela ukupno 1,539.330 m³ tla ili 51.311 m³ godišnje. Volumna specifična težina tla je 1,3 te je ukupno erodirano 51.311 x 1,3 = 66.704 tone godišnje ili po 1 ha 22,4 tona. Poslije otvaranja tunela proces duboke erozije napao je najosjetljivije točke i erozija je bila najjača u prvim godinama. Erozija je bila osobito jaka zbog toga što se poslije izgradnje tunela nije osigurala zaštita od vanjskih voda, nije uređen vodotok Matice niti je izgrađena detaljna odvodnja površina.

Tabela 4 Alkalinitet vode

Dan, mjesec godina	Butina		Stinjevac		Prigon	
	me/1 CO ₃	me/1 HCO ₃	me/1 CO ₃	me/1 HCO ₃	me/1 CO ₃	me/1 HCO ₃
18. I 1968.			0,10	1,51		
18. III 1968.				2,91		
20. XII 1968.		4,09	0,10	2,96		
19. XII 1968.					0,10	1,56
18. I 1968.	0,10	1,88	0,10	1,51		
17. I 1968.					0,43	2,32
28. I 1968.					0,32	2,32
14. II 1968.		3,02				
16. II 1968.					0,21	2,53
18. III 1968.	0,10	2,69		2,91		
20. III 1968.					0,21	1,99
22. V 1968.	0,48	3,10	0,28	2,95		
18. V 1968.					0,22	2,73
18. VI 1968.	0,24	2,70		2,94		
20. VI 1968.					0,11	3,13
20. VII 1968.	0,21	3,14	0,34	3,31		
20. VII					0,11	3,13

7. 1. Kasnija duboka i površinska erozija

Da bi se ustanovilo stanje današnje erozije ispitan je sadržaj mulja u izvornim vodama i otjecajnim vodama, a bilo je potrebno ustanoviti i srednje dnevne i srednje mjesečne protoke izvorne i oborinske vode s vlastitog sliva. Prema odgovarajućem obračunu odnošenje mulja iz Vrgorskog jezera je veće od onoga koje odnose izvorne vode, za razdoblje od VIII—XII 1967. do I. VII 1970. odneseno je 31.577 tona godišnje ili 287 tona na 1 km². S obzirom na erodibilnost tla, može se cijeliti da od erodiranog materijala otpadnu na materijal iz Vrgorskog jezera oko 50 do 75% tj. 15.788 t do 23.682 t odnosno 5,3 t/ha do 7,9 t/ha.

8. ZAKLJUČAK

Svrha ovih ispitivanja bila je da se ustanovi sadržaj i kretanje mulja u velikim krškim izvorima i u otjecajnim vodama iz zatvorenih krških polja. Iz dobivenih rezultata ustanovljeno je slijedeće:

- Sadržaj mulja u vodama velikih krških vrela, u zatvorenom krškom polju, je stabilan i neznatno se mijenja u pojedinim godinama, godišnjim dobima i mjesecima.
- Sadržaj mulja u izvornim vodama kreće se u najviše postotka do 0,020 g/l, a u stanovitim vremenskim razdobljima, sadržaj mulja kreće se nešto i preko 0,020 g l. Izvorne vode sadrže najviše mulja u proljetnim mjesecima, ožujak, travanj, a najmanje u sušnom razdoblju VII—IX mjesecu.
- Sadržaj mulja u otjecajnim vodama je također najviši do 0,020 g/l, a nekada se povećava iznad sadržaja u izvornim vodama. To povećanje je uvijek bilo u vezi s oborinama na užem slivnom području Vrgorskog jezera.
- Iz razlike sadržaja mulja u izvornim i otjecajnim vodama dobila se je količina viška iznesenog mulja iz Vrgorskog jezera. Ta količina iznosi 31.577 tona godišnje ili 287 t/km² ukupnog užeg sliva. S obzirom na erodibilnost tla, može se ocijeniti da 50—75% erodiranog tla otpada na površine Vrgorskog jezera, što znači 15.785 tona do 23.682 tona godišnje ili 5,3 t/ha do 7,9 t/ha.

Prema iznesenim podacima može se zaključiti da je erozija u Vrgorskom jezeru značajna. Da bi se ta erozija spriječila ili svela na minimalne količine erozije, potrebno je u skupu melioracijskih radova poduzeti sve tehničke i druge mjere za zaštitu tla od erozije. Uz tehničke zaštitne mjere treba sprovesti i gospodarske protiverozione mjere na površinama krških polja.

Conclusion

These researches aimed at establishing of the content of mud suspended (and their relative variations) in the strong karstspring waters (vauclyse type) of the karst and in the streams that run through the close karst polje. The following results have been obtained:

- The quantity of mud in the water sources of the karst springs in a close karst polje, is steady with slight annual, seasonal and monthly variations.
- The percentage of mud in the spring-waters reaches 0,020 gr/l and in certain periods it rises even higher. During the spring months of march and april the percentage of deposits is highest while in the period of drought from July to September the rate of deposits is lowest.
- The percentage of mud in the running waters reaches also 0,020 gr/l and at times goes beyond the percentage contained in the spring-waters. This increase is always due to the precipitations within the narrow watershed of the lake of Vrgorac (110 km²).
- The difference between the percentage of mud in the spring and running waters represents the surplus quantity of deposits which is brought out of the Lake of Vrgorac. This quantity reaches 31.577 tons annually or 287 t/km² within the limited watershed. Considering the soil erosion it results that the 50%—75% of the eroded materials deposit in the Lake of Vrgorac, which means an amount of 15.785 tons or 5,3 t/ha to 7,9 t/ha.

From the above data it becomes evident that the erosion in the Lake of Vrgorac is considerable. In order to check the erosions or diminish their effects to a minimum a series of technical and other reclaiming measures are necessary. Besides technical devices other protective measures should be applied in the cultivation of the karst poljen.

L I T E R A T U R A

A. Jelavić: Gospodarske melioracije Vrgorskog jezera (Pedološke prilike)
Biljna proizvodnja br. 6. 1951 g. str. 249—254.

Dr. A. Je de Groot:
International institut
for land reclamation
and improvement

Mud transport studies in coastol Waters from the
Western Scheldt to the danish frontier. Bulletini
6. International institute for land reclamation and
improvement — Wageningen 1964.

Miloš Golevski:
Zavod za vodostopin-
stvo Skopje

Rečni suspendovani nanos i analiza mutnih toko-
va — Prvi Kongres o vodama Jugoslavije I knji-
ga 1969.