

## VARIJANTNA REŠENJA HIDROENERGETSKOG I PLOVIDBENOG SISTEMA MORAVA

Božidar JOVANOVIĆ, dipl.inž. i dr Miodrag JOVANOVIĆ  
Građevinski fakultet — Beograd

### I UVOD

Ovaj rad sadrži izvode iz studije o korišćenju hidroenergetskog potencijala reka Južne i Velike Morave [1], u kojoj su pored hidroenergetskog korišćenja razmatrani i relevantni uslovi za plovidbu, odbranu od poplava, uklapanje budućih objekata u postojeću saobraćajnu infrastrukturu, itd. Osnovni cilj spomenute studije je bio da se varijantno označe karakteristike ovog složenog vodoprivrednog sistema u celini pre nego što se pristupi projektovanju pojedinih stepenica (što se, nažalost, upravo događa) i da se na taj način izbegnu greške koje bi kasnije ozbiljno mogle ugroziti eksploataciju ovog sistema.

Kao što je poznato, dosadašnje studije o uređenju Velike Morave davale su prioritet plovidbi [3]. U Vodoprivrednoj osnovi Srbije [5], međutim, konstatuje se nerentabilnost izgradnje ovog plovnog puta, a uređenje Velike Morave se posmatra uglavnom u kontekstu razvoja drugih vodoprivrednih delatnosti. Neosporna je činjenica da je elektroprivreda trenutno jedina privredna grana sa dugoročnim investicionim potencijalom i sposobnošću da putem proizvodnje energije vraća anuitete na uložena sredstva. Međutim, završetkom i puštanjem u rad plovnog sistema Rajna—Majna—Dunav (1992. godine) ponovo se aktuelizuje pitanje plovidbe, jer se pruža izvanredna mogućnost povezivanja unutrašnjosti Srbije sa mrežom evropskih plovnih puteva. Jasan je stoga značaj uređenja Velike, a delimično i Južne Morave ne samo kao hidroenergetskog, već i kao važnog plovnog sistema.

U ovom radu razmatraju se dve varijante uređenja Velike i Južne Morave kao hidroenergetskog i plovidbenog sistema: (1) prema shemi koja se zasniva na kanalisanju ovih reka s protočnim elektranama i plovnim putem u rečnom koritu („Rečna varijanta“) i (2) prema derivacio-

noj shemi sa lateralnim kanalima i objektima van rečnog korita („Kanalska varijanta“). Uporedna analiza ovih, konceptijski različitih varijanti, ukazuje na potrebu da se razmotre i druge međuvarijante, kako bi se došlo do optimalnog rešenja.

### II KANALISANJE VELIKE MORAVE I DELIMIČNO JUŽNE MORAVE („REČNA VARIJANTA“)

Prema ovoj shemi korišćenja razmatrane su odvojeno dve deonice: prva, koja obuhvata Veliku Moravu od ušća do Stalaća i Južnu Moravu od Stalaća do Niša, i druga, koja obuhvata Južnu Moravu od Niša do vododelnice kod Preševa. Ove deonice se sa gledišta uređenja bitno razlikuju, jer bi se po prvoj proizvodnja energije i plovidba obezbedila kanalisanjem rečnog korita, a po drugoj — izgradnjom posebnog, lateralnog plovnog kanala (sl. 1).

Uređenje druge deonice (od Doljevca do Preševa), usled nepovoljnih topografskih uslova, iziskuje izgradnju niza veoma skupih i složenih objekata (plovnih kanala, hidraulički lift, plovnih tunela), tako da do realizacije ovog dela sistema sigurno ne bi moglo doći u bližoj budućnosti. Iz tog razloga, u ovom radu će se detaljnije razmotriti samo varijanta uređenja prve deonice — od Dunava do Niša, dok će se za drugu dati samo neki osnovni podaci.

#### 1. Deonica od ušća V. Morave u Dunav do Niša

Regulacija reka Južne i Velike Morave, uz skraćivanje trase i produbljivanje korita, ima za cilj koncentraciju padova u 11 stepenica (sl. 1), i to 4 na Južnoj Moravi (HE Niš 2, HE Aleksinac, HE Đunis i HE Stalać), odnosno 7 na Velikoj Moravi (HE Paraćin, HE Čuprija, HE Bagrdan, HE Svilajnac, HE V. Plana, HE Vlaški Dol i HE Ljubičevo).

T a b. 1. — Hidroenergetski podaci za elektrane od Niša do Dunava prema „Rečnoj varijanti“

Reka elektrana	Neto pad (m)	$Q_{sr}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{ins}^{max/min}$ ( $m^3/s$ )	Broj agreg. (—)	$N_{ins}$ (MW)	$E_{pr} + E_{vr}^{*)}$ (GWh/god.)
<b>Južna Morava</b>						
1. Niš 2	14,2	91,8	200/30	3	24,1	53 + 40 = 93
2. Aleksinac	12,5	95,4	200/30	3	18,5	50 + 27 = 77
3. Djunis	22,3	99,3	200/30	3	37,9	110 + 55 = 165
4. Stalać	8,1	102,1	200/30	3	13,6	51 + 10 = 61
				$\Sigma$	<b>94,1</b>	<b>264 + 132 = 396</b>
<b>Velika Morava</b>						
5. Paraćin	6,4	221,8	500/67	3	27,2	66 + 26 = 92
6. Čuprija	7,7	245,8	500/67	3	32,8	96 + 33 = 129
7. Bagrdan	8,2	245,8	500/67	3	35,0	102 + 34 = 136
8. Svilajnac	8,2	245,8	500/67	3	35,0	82 + 42 = 124
9. V. Plana	6,5	255,0	500/67	3	27,6	81 + 27 = 108
10. Vlaški Dol	7,0	255,0	500/67	3	29,8	89 + 29 = 118
11. Ljubičevo	10,4	255,0	500/67	3	44,2	129 + 41 = 170
				$\Sigma$	<b>231,6</b>	<b>645 + 232 = 877</b>
				<b>Ukupno (1–11):</b>	<b>325,7</b>	<b>909 + 364 = 1274</b>

\*)  $E_{pr}$ ,  $E_{vr}$  = energija proizvedena u protočnom, odnosno vršnom režimu rada elektrana

Predviđeni hidroenergetski i plovidbeni sistem predstavljao bi tehničku i ekonomsku celinu. Sve elektrane bi bile srednjih snaga i proizvodnje. Iako veoma skupe, one bi svakako bile u stanju da vraćaju anuitete za uložene investicije i opravdaju sopstvenu rentabilnost, kao i sistema u celini. Položaj hidročvorova određeni je lokacijom velikih naselja — privrednih centara, vodeći računa o neprikosnovenosti postojećih saobraćajnica i mostova, kao i o tome da neophodno produbljenje rečnog korita bude minimalno.

Osnovni podaci za navedene hidroelektrane dati su u tab. 1.

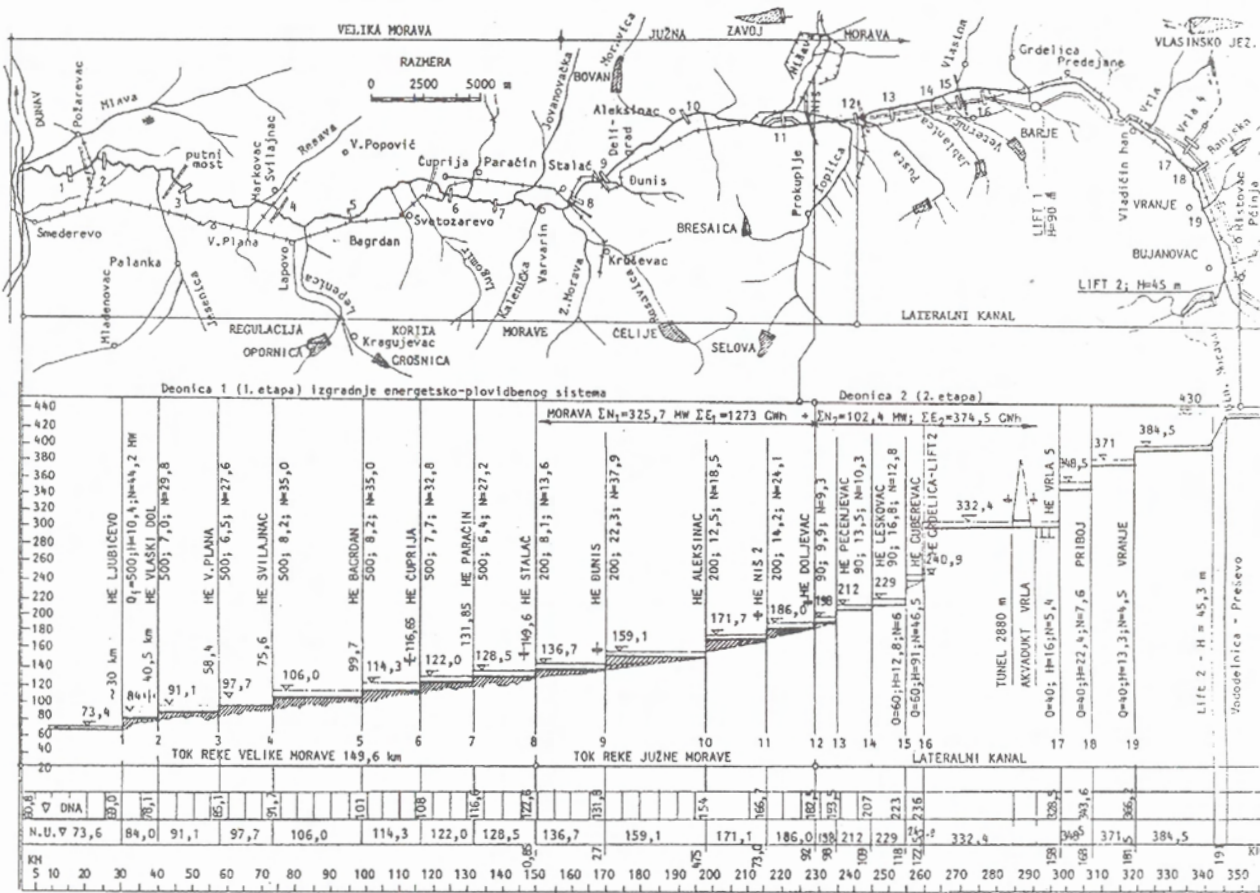
Kao što pokazuje sl. 1, uzdužni profil hidroenergetskog i plovidbenog sistema je prema ovoj varijanti baziran na studiji RO Ivan Milutinović [4], verifikovanoj od strane stručnjaka Ujedinjenih nacija. Ovom studijom su definisane minimalne kote uspora koje garantuju bezbednost plovidbe. Predlaže se nadvišenje ovih kota na Velikoj Moravi do 2 m (gornja granica), odnosno do 1 m na Južnoj Moravi. Ovim bi se stvorila (zajedno sa zapreminom kompenzacionih bazena) „dinamička zapremina“ u dovodima elektrana neophodna za njihov dnevni vršni rad. Sve elektrane u sistemu radile bi kao protočne 24 h/dan sa po jednim agregatom, a u dnevno-vršnom režimu punom instalisanom snagom — 3–4 h/dan. Izračunato je da bi pri instalisanom protoku brzine u plovnom putu bile u granicama 1–1,17 m/s, što je prihvatljivo sa gledišta plovidbe.

Padovi za elektrane ostvarili bi se izgradnjom nasipa (visine do 8 m) uzvodno od elektrana, a produbljenjem rečnog korita nizvodno od njih. Redosled izgradnje bio bi sa uzvodnog kraja, nizvodno (počev od HE Niš 2), i to po etapama, u zavisnosti od raspoloživih sredstava. Gradili bi se najpre nasipi, zatim brane (uz produbljenje korita), prevodnice, elektrane i ostali objekti u priobalju, sa težnjom da se elektrane što pre puste u eksploataciju. Pri tom bi se vodilo računa o postizanju definitivnih plovidbenih gabarita, kako bi se omogućila kasnija nadgradnja plovidbenog sistema izgradnjom pristaništa i drugih neophodnih objekata.

Svi građevinski objekti budućeg sistema bili bi maksimalno tipizirani, kao i sva hidromehanička, mašinska i elektro oprema. Ovo je omogućeno usvajanjem istog instalisanog protoka za sve elektrane u Južnoj, odnosno Velikoj Moravi, pri ujednačenim padovima od 7–12 m (izuzev HE Đunis). Treba naglasiti da je i sama dispozicija hidročvorova takođe tipizirana za levi i desni položaj elektrane, odnosno prevodnice.

Poprečni profil kanalisnog vodotoka sastojao bi se od osnovnog korita propusne moći jednake instalisanom protoku, i inundacija. Ukupna propusna moć složenog korita odgovarala bi protoku hiljadugodišnjeg povratnog perioda (tab. 2).

Treba napomenuti da uređenje vodotoka u energetskom i plovidbenom smislu podrazumeva rešenje niza proble-



Sl. 1. — Energetsko—plovidbeni sistem „Morava“ — „Rečna varijanta“

T a b. 2. — Instalirani protoci i protoci merodavni za dimenzionisanje rečnog korita („Rečna varijanta“)

Reka	$Q_{ins}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{0.1\%}$ ( $m^3/s$ )	Profil
V. Morava — 7 elektrana	500	4385	Ljubičevo
J. Morava — 4 elektrane	200	3100	Stalać
J. Morava—Doljevac—Niš	130	1358	Niš
Nišava — od Niša do HE	70	1238	Niš

ma povezanih sa zaštitom dovoda i plovnog puta od zasipanja rečnim nanosom, kao i od erozije koja se može pojaviti u periodu velikih voda ili usled prolaska plovila. Pored antierozivnih mera u slivu, na glavnim vodotocima i pritokama predviđeni su posebni objekti za odstranjivanje vučenog nanosa pre upuštanja u regulisani dovod. (Takvi objekti bili bi izgrađeni na Nišavi kod Gromađa, na Južnoj Moravi kod Doljevca i na Zapadnoj Moravi kod Mrzenice).

Za dimenzionisanje plovnog puta usvojeni su gabariti i podaci o merodavnim plovilima koji važe za plovnu mrežu Rajna—Majna—Dunav, a koji su prihvaćeni od strane zemalja EZ. Merodavna plovila su samohodni motorni teretnjaci nosivosti 1350 t, dimenzija 80/9,5/2,5 m i potisnice nosivosti 1250 t, dimenzija 70/9,5/2,5 m. Optimalna brzina kretanja ovih plovila na plovnom putu iznosila bi 8,5 km/h. Na celoj dužini plovnog puta slobodna visina iznad merodavnog nivoa u mostovskim profilima iznosila bi 5,25 m, a minimalni poluprečnik krivine 800 m. Kao što je već napomenuto, sve prevodnice ovog plovidbenog sistema (osim one uz HE Đunis i HE Priboj) su jednostepene, tipizirane i usaglašene sa onim na kanalu Rajna—Majna—Dunav. Kapaciteta su od oko 20 miliona t/god., a dimenzija 190/12/3,5 m. Prevodnice uz HE Djunis i HE Priboj su dvostepene, dimenzija 2 x 190/12/3,5 m.

## 2. Deonica od Doljevca do Preševa

Uređenje deonice od Doljevca do vododelnice kod Preševa podrazumeva izgradnju lateralnog kanala uz

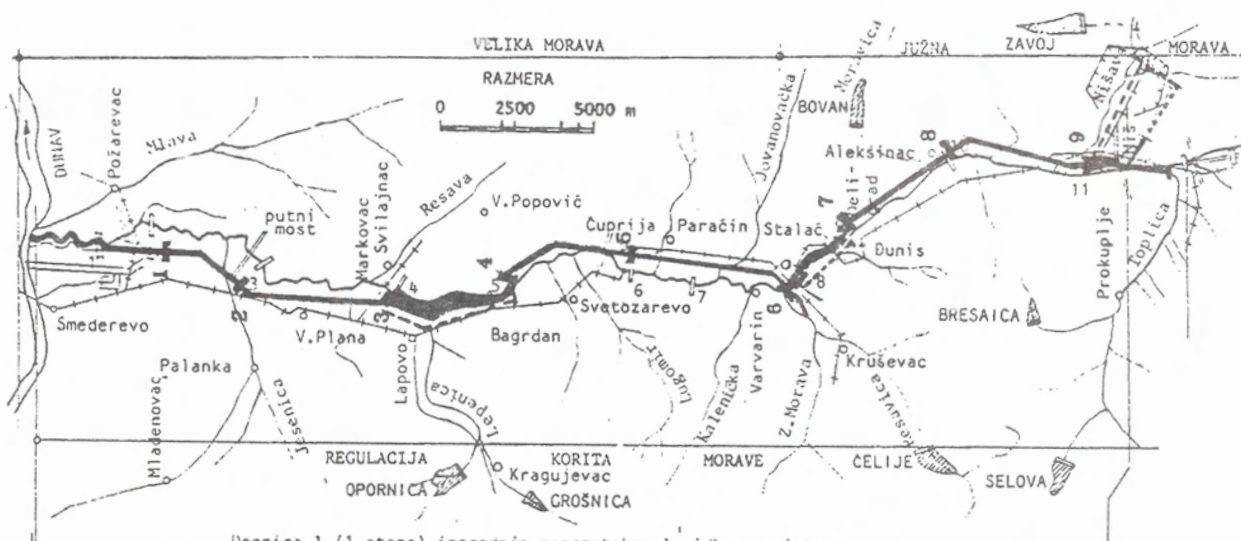
korito Južne Morave. Izuzetno teški topografski uslovi (posebno na sektoru Grdeličke klisure), bujični karakter hidrografske mreže sa velikim količinama nanosa, kao i nisko položene saobraćajnice (put i željeznička pruga) nameću veoma složena i skupa rešenja, pa se u sadašnjem trenutku uređenje ove deonice u energetskom i plovidbenom smislu čini kao stvar daleke budućnosti.

Kao što se vidi na uzdužnom profilu sl. 1, ovde se predviđa izgradnja 8 stepenica sa hidročvorovima u zoni većih naselja. Sve elektrane na ovoj deonici bile bi kanalsko-derivacionog tipa. Njihove karakteristike, kao i karakteristike lateralnog plovnog kanala date su dru-

gom radu [2], pa se ovde neće navoditi.

### 3. Hidroenergetski podsistemi u slivu Morave

Analiza hidroenergetskog potencijala Južne i Velike Morave neizbežno je morala obuhvatiti i razmatranje hidropotencijala pritoka spoemnutih reka. U hidroenergetskom smislu, sistem Morava je kompletan jedino uz uključnje odgovarajućih podsistema na pritokama Jerma, Visočica, Nišava, Veternica, Jablanica, Toplica i Moravica. Ovi podsistemi su detaljno analizirani i sheme njihovog energetskog korišćenja su date u radu [2].



Deonica 1 (1 etapa) izgradnje energetske-plovidbene sistema

DUNAV	LJUBIČEVO		SVILAJINAC	BAGRAN	ČUPRIJA	STALAC	DJUNIS	ALEKSIRAC	NIS 2	DOLJEVAC
	Qins 400	Niš F (CWh) 32.3 155								
	400	31.0 122								
200			400	400	400	400	200	200	200	200
100	73.4	76.1	94.3	103.4	116.0	128.6	135.8	159.2	171.8	186
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	V. MORAVA			J. MORAVA						
kota NV	76.1	85.2	94.3	103.4	116	128.6	135.8	159.2	171.8	186
kota DNO	68.5	78.2	87.3	97.4	109	121.6	131.8	154.2	166.8	181
KM	19.2	30	61	89	111	139	157.5	178	203	218

Sl. 2. – Energetske-plovidbeni sistem „Morava“ – „Kanalska varijanta“

### III. DERIVACIONA SHEMA UREĐENJA HIDRO-ENERGETSKO-PLOVIDBENOG SISTEMA MORAVA („KANALSKA VARIJANTA“)

Kao u prethodnoj varijanti, i ovde je reč o višenamenskoj shemi korišćenja voda Južne i Velike Morave, ali s tom razlikom što su elektrane derivacionog tipa, dakle van rečnog korita. Ova „kanalska“ varijanta se zasniva na zahvatanju vode oslobođene rečnog nanosa na Južnoj Moravi kod Doljevca, Nišave kod Niša i Zapadne Morave kod Stalaća, i to u onim količinama koje omogućavaju višenamensko korišćenje – proizvodnju energije, plovību i navodnjavanje. Ovako zahvaćene vode bi tekle lateralnim energetsko-plovidbenim kanalima, čija bi se trasa pružala duž rečnog korita od Doljevca do Dunava. Preostale količine – biološki minimum, odnosno količine vode optimalne sa ekološkog stanovišta, kao i velike vode, tekle bi i dalje postojećim koritima Južne i Velike Morave.

Na sl. 2 prikazana je trasa lateralnih kanala i dispozicija objekata „Kanalške varijante“.

Kanal duž Južne Morave trasiran je od tesnaca kod Doljevca i pruža se desnom obalom, paralelno sa putem, sve do bazena Niš 2. Vode Nišave se zahvataju nizvodno od Niša i sprovode tunelski (van postojećeg naselja) do spoja sa spomenutim lateralnim kanalom (na lokaciji K.P. dom). Alternativno tunelskom dovodu može se izgraditi i kanalski dovod duž korita Nišave (sl. 2).

Hydročvor Niš 2 ostaje u međurečju Nišave i Južne Morave sa bazenom i objektima na njemu kao u „Rečnoj varijanti“.

Prva deonica energetsko-plovnog kanala Morava počinje od bazena Niš 2, a završava se kod Đunisa. Trasirana je na desnoj obali Južne Morave (sl. 2). Kod Đunisa se voda ponovo vraća u rečno korito i njime teče kroz klisurasti deo sve do Stalaća. Predviđa se izgradnja dvostepene prevodnice kod Đunisa. Dovod Južne Morave završava se bazenom Stalać sa branom nizvodno od železničke pruge. U isti bazen ulivaju se i vode Zapadne Morave.

S obzirom na teške topografske uslove na ovom potezu, kao alternativno rešenje može se izgraditi kanal manjeg gabarita duž leve obale Južne Morave, koji bi imao isključivo plovidbenu namenu, dok bi vode koje se koriste u energetske svrhe tekle rečnim koritom. U tom slučaju, dvostepenu prevodnicu kod Đunisa zamenile bi dve jednostepene – jedna kod Đunisa, a druga uzvodno od Stalaća.

Trasa sledeće deonice energetsko-plovnog kanala počinje od bazena Stalać, pruža se desnom (ili alternativno, levom) obalom Velike Morave, preseca meander kod Čurpije i završava se kod Bagrdana. Na ulazu u Bagrdanski tesnac, kanalska voda se ponovo vraća u rečno korito i sa preostalom vodom formira akumulaciju Bagrdan (sl. 2), sa branom kod Svilajнца. (Alternativno, moguć je i energetsko-plovni kanal duž akumulacije Bagrdan). Odavde kanal ide levom obalom Velike Morave do preseka sa železničkom prugom kod Ljubičeva. Tu prolazi ispod puta i pruge i uliva se u rečno korito.

Na potezu od Ljubičeva do Ušća Morave u Dunav, na dužini od 19 km, moguća su dva rešenja: kanalisanje rečnog korita, uz eventualno bagerovanje, ili izgradnja lateralnog plovnog ili energetsko-plovnog kanala na levoj obali reke (sl. 2).

T a b. 3. – Hidroenergetski pokazatelji elektrana „Kanalške varijante“

Reka – elektrana	Padovi			Protoci			Snaga $N_{ins}$ (MW)	Proizvodnja $E_{pr} + E_{vr}$ (GWh/god.)
	$H_{max}$	$H_{min}$ (m)	$H_{neto}$	$Q_{gr}$	$Q_{ins}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{min}$		
Velika Morava								
1. Ljubičevo	9,5	4,6	9,1	255	400	60	32,3	117 + 38 = 155
2. Vlaški Dol	9,1	4,8	7,7	255	400	60	31,0	74 + 48 = 122
3. Svilajnac	9,1	6,2	8,2	246	400	60	31,0	86 + 58 = 144
4. Bagrdan	12,6	8,5	11,4	246	400	60	43,0	93 + 64 = 157
5. Čurpija	12,6	8,4	11,2	221	400	60	43,0	90 + 70 = 160
$\Sigma$	52,9	32,5	47,6				180,3	460 + 278 = 738
Južna Morava								
6. Stalać	7,6	7,1	7,3	214	400	60	26,0	58 + 31 = 89
7. Đunis	23,3	15,5	21,3	99	200	30	39,5	86 + 53 = 139
8. Aleksinac	12,5	8,4	10,7	95	200	30	21,2	33 + 33 = 66
9. Niš 2	14,2	12,4	13,5	92	200	30	24,2	39 + 42 = 81
$\Sigma$	57,6	43,4	52,8				110,9	216 + 159 = 375
						Ukupno:	291,2	676 + 437 = 1113

T a b. 4. — Procena količina glavnih radova „Kanalske varijante“

Reka — elektrana	I s k o p <sub>3</sub> (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		Nasipi (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Beton (x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Armatura (x10 <sup>3</sup> t)	Ekspropr. (ha)
	u suvom	u reč. koritu				
<b>Velika Morava</b>						
1. Ljubičevo	7,660	—	4,241	291	10,65	230
2. Vlaški Dol	2,810	—	7,021	291	10,65	130
3. Svilajnac	6,560	—	0,421	376	10,72	478
4. Bagrdan	6,560	2,243	2,894	291	10,65	240
5. Čuprija	14,630	2,642	5,971	376	13,22	448
Σ	48,220	4,885	20,548	1625	55,89	1526
<b>Južna Morava</b>						
6. Stalać	1,669	2,500	0,210	80	3,70	113
7. Djunis	9,900	—	7,700	114	4,70	148
8. Aleksinac	12,146	—	6,100	80	3,72	268
9. Niš 2	17,163	1,000	5,313	262	8,15	490
Σ	40,877	3,500	19,323	536	20,27	1019
Ukupno (1—9):	89,097	8,385	38,871	2161	76,16	2545

Ukupna dužina kanala u ovoj varijanti iznosila bi na Južnoj Moravi 89 km, a na Velikoj Moravi 117 km. Kanali su trasirani tako da je maksimalna dubina iskopa 12 m, a maskimalna visina nasipa 8 m. Širina u dnu kanala određena je (na nivou studije) 19 m, a širina na nivou vode koji odgovara instalisanom protoku — 49 m. Na deonicama kanala u nasipu prosečna širina kanala na nivou krune nasipa iznosila bi 65 m (Južna Morava), odnosno 80 m (Velika Morava). Nagibi kosina u iskopu bili bi 1:4, a u nasipu 1:2. Širina nasipa u kruni iznosila bi 5 m.

Prema ovoj varijanti, ukupni padovi za energetske korišćenje su na Velikoj Moravi 52,9 m, a na Južnoj Moravi 57,6 m. Predviđeno je da se ovi padovi koncentrišu u 5 stepenica na Velikoj Moravi (Ljubičevo, Vlaški Dol, Svilajnac, Bagrdan i Čuprija), odnosno u 4 stepenice na Južnoj Moravi (Stalać, Đunis, Aleksinac i Niš 2) (sl. 2, tab. 3).

Kao što se iz tab. 3 vidi, instalisani protok svih elektrana na Velikoj Moravi bio bi 400 m<sup>3</sup>/s, a na Južnoj 200 m<sup>3</sup>/s. Sve elektrane imale bi 3 agregata i cevne turbine sa minimalnim protokom od 60 m<sup>3</sup>/s na Velikoj Moravi, a 30 m<sup>3</sup>/s na Južnoj, što je u oba slučaja 45% instalisanog protoka. Sve elektrane bi bile derivacione, osim HE Svilajnac i HE Stalać, koje bi bile izgrađene u rečnom koritu.

U cilju uporedne analize sa prethodnom varijantom izvršena je procena količina glavnih radova za svih 9 elektrana iz tab. 3, a dobijeni rezultati sumirani su u tab. 4.

#### IV UPOREDNA ANALIZA RAZMATRANIH VARIJANTI

Jasno je da obe analizirane varijante imaju objektivno svojih prednosti i nedostataka. Dobre strane prve, „Rečne varijante“, ogledaju se u ovim prednostima:

- Koncentrisanjem padova u 7+4 stepenice neosporno se na najbolji način koriste padovi i protoci voda. Protoci se regulišu u kompenzacionim bazenima i dovodima i ne remete priobalje i ušće pritoka;
- Plovni put i objekti na njemu mogu se fazno realizovati i sukcesivno dograđivati. Ovo je veoma važno, jer je na Velikoj Moravi od 174 km potrebno produbiti 59 km (oko 14 miliona m<sup>3</sup>), uz osiguranje neprikosnovnosti pruge i železničkih mostova;
- Trasa i gabarit plovnog puta već su verifikovani od strane eksperata Ujedinjenih nacija, što može biti značajno u fazi realizacije i u svetlu saradnje sa zemljama EZ.

Nedostaci uređenja i korišćenja voda prema ovoj varijanti su:

- Trajno se potapaju značajne priobalne površine. Samo na Velikoj Moravi trajno bi se izgubilo oko 10.000 ha plodnog zemljišta;
- Kanalisanjem vodotoka neminovno bi se poremetili elementi prirodne ravnoteže korita Velike i Južne Morave. Smanjenje prosečnog pada od oko 0,6‰ na oko 0,2‰ dovešće neizbežno do zasipanja akumulacija i izdizanja rečnog dna. Ovaj proces je u suprotnosti sa sadašnjom tendencijom produbljenja korita Velike

Morave za oko 1–3 m u periodu 1973–1989 [4], što omogućava viši stepen zaštite od velikih voda pri postojećim kotama nasipa. Upravo delikatnost problema zasipanja rečnog korita nakon njegovog kanalsanjanja uslovljava potrebu da se razmotre i radikalno drugačija rešenja koja se temelje na različitim shemama derivacionog tipa.

Prednosti derivacionog korišćenja („Kanalska varijanta“):

- Znatno se smanjuje gubitak plodnog priobalnog zemljišta na Južnoj, a posebno na Velikoj Moravi (za oko 8.500 ha);

Prirodni režim protoka vode i nanosa Velike i Južne Morave se menja u manjoj meri nego u prethodnoj varijanti. Kontrolisanjem raspodele protoka u lateralnim kanalima i u rečnom koritu može se uticati na sistem funkcionisanje na najbolji ekonomski i ekološki način. U tom smislu naročito je važno očuvati ravnotežu prirodnih faktora koji utiču na formiranje rečnog korita, a time i postojeće tendencije njegovog samo–produbljenja, što omogućava viši stepen zaštite od velikih voda;

- U obe varijante predviđeno je taloženje vučenog nanosa pre upuštanja vode u energetsko–plovidbeni sistem (na zahvatu Nišave kod Niša, zahvatu Južne Morave kod Doljevca i na zahvatu Južne i Zapadne Morave kod Stalaća). Na ovim zahvatima postoje uslovi za komercijalnu eksploataciju šljunka;
- Derivaciona shema sa energetsko–plovnom kanalima omogućava izgradnju ključnih objekata van rečnog korita, „u suvom“, sa mogućnošću istovremenog aktiviranja proizvodnje energije i plovidbe, kao i stvaranja uslova za navodnjavanje i odvodnjavanje. Primenjiva je jednostavnija tehnologija građenja. Iako su količine iskopa veće u derivacionoj varijanti (na Velikoj Moravi 53 u odnosu na 14 miliona m<sup>3</sup>), investicije za iskop su u obe varijante uporedive s obzirom na odnos jediničnih cena iskopa u vodi u *u suvom* (4:1). S druge strane, značajne su uštede na betonu i armaturi, koje proizilaze iz činjenice da „Rečna varijanta“ predviđa 11, a „Kanalska“ 9 stepenica (od kojih samo dve u rečnom koritu). Kako se kanalske stepenice sastoje samo od elektrane i prevodnice (bez brane), to u „Kanalskoj varijanti“ ima u koritima Južne i Velike Morave 8 brana manje nego u „Rečnoj varijanti“. Uštede na betonu i armaturi u „Kanalskoj varijanti“ u odnosu na „Rečnu“ kompenziraju investicije za višak zemljanih radova.

Derivaciona shema korišćenja voda podrazumeva nešto nižu ukupnu instalisanu snagu elektrana (294 prema 326 MW) pri približno istoj proizvodnji električne energije

(1.113 odnosno 1.274 GWh/god.). (U ovoj studiji nisu analizirani gubici vode u energetsko–plovničkim kanalima.)

## V UMESTO ZAKLJUČAKA

Na osnovu sprovedene analize za dve varijante uređenja i korišćenja Velike i delimično Južne Morave u hidroenergetske i plovidbene svrhe mogu se izneti ove konstatacije:

- U razmatranju mogućih rešenja za kanalsanje ovih reka (kao što je na primer „Rečna varijanta“, izložena u ovom radu) treba početi od toga da će neminovno doći do nepovoljnih efekata: trajnog potapanja plovnog priobalnog zemljišta, zasipanja akumulacija i izdizanja rečnog korita. Moguće su i druge ekološki nepovoljne posledice po ove reke koje se u ovom trenutku ne mogu sagledati;
- Imajući u vidu potrebu da se nepovoljni efekti svedu na najmanju moguću meru, tj. da se što više očuva plodno priobalno zemljište i zaštiti prirodni režim Velike i Južne Morave, treba razmotriti i različite sheme derivacionog tipa, kao što je „Kanalska varijanta“ opisana u ovom radu;
- Jedino spoznajom sistema u celini, prema postojećim i novim varijantnim rešenjima, može doći do ekonomski optimalnog rešenja koje će svesti sve nepovoljne posledice na najmanju moguću meru;
- Tek nakon usvajanja optimalne sheme korišćenja voda na nivou studije, može se pristupiti istražnim radovima i izradi investicionih projekata pojedinih hidročvorova i objekata. Nažalost, ovaj jedino racionalan redosled aktivnosti u suprotnosti je sa našom trenutnom praksom.

## LITERATURA

- [1] Jovanović, B.: Hidroenergetski i plovidbeni sistem Morava, Studija deonice od Dunava do Niša (neobjavljeno), Beograd, 1990.
- [2] Jovanović, B.: Hidroenergetski i plovidbeni sistem Morava, Elektroprivreda – JUGEL, br. 5–6, 1989.
- [3] Plovni put Morava–Vardar (Aksios), Studija PIM, Beograd, 1973.
- [4] Predinvesticiona studija korišćenja hidroenergetskog potencijala reke Velike Morave, Energoprojekt, Beograd, 1990.
- [5] Vodoprivredna osnova Srbije, Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Energoprojekt, Građevinski fakultet, Beograd, 1987.

VARIANTS OF THE MORAVA HYDROELECTRIC AND NAVIGATION SYSTEM

by

Božidar JOVANOVIĆ, B.Sc. and Miodrag JOVANOVIĆ, D.Sc.  
Faculty of Civil Engineering, Beograd

S u m m a r y

This paper presents two concepts of regulation of the Velika Morava and Južna Morava Rivers for navigation and hydro-power generation. The first concept is based on construction of eleven dams regulating the flow of the two rivers, and the second concept is based on construction of lateral canals for navigation

and power production, with a total of nine dams. The layout of dams, canals, locks and other structures is given for each option, and their advantages and disadvantages are discussed.

Redigovano 27.02.1991.

