

# HIDROENERGETSKO-PLOVIDBENI SISTEM „MORAVA” HYDROPOWER AND NAVIGATION SYSTEM „MORAVA”

**Božidar Jovanović, dipl.gradj.inž.<sup>1</sup>, dr Miodrag Jovanović, dipl.gradj.inž.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Aleksinačkih rudara 15, 11070 Beograd

<sup>2</sup> Gradjevinski fakultet Beograd, Bul.Revolucije 73

**Rezime.** Rad prikazuje dva varijantna rešenja regulacije Velike i Južne Morave za plovidbu i proizvodnju električne energije. Jedno rešenje se bazira na kanalizanju ovih vodotoka sa 11 brana, a drugo, na izgradnji lateralnog kanala za plovidbu uz proizvodnju električne energije na 9 brana. Šema sistema sa branama i kanalima, data je za svaku od varijanti i prikazane su njihove prednosti i nedostaci.

**Ključne reči:** korišćenje vodnih snaga, plovidba, Velika Morava, Južna Morava

**Abstract.** This paper presents two concepts of regulation of rivers Velika Morava and Južna Morava for navigation and hydropower production. The first concept is based on canalization with a total of 11 dams, and the second, on construction of a lateral navigable canal with power production on a total of 9 dams. The layout of dams and canals is given for both options, and their advantages and disadvantages are discussed.

**Key words:** hydropower production, navigation, river Velika Morava, river Južna Morava

## 1. Sadašnje stanje projekta i opšte postavke rešenja

Sa početkom eksploatacije plovnog kanala Rajna-Majna, povezan je Dunav sa Severnim morem. Istovremeno je aktualizovana stara ideja jedne druge evropske plovne magistrale: Dunav-Morava-Vardar-Solun, koja bi spojila Egejsko i Severno more. Njome bi se plovni put skratio za oko 1200 km u odnosu na sadašnji preko Crnog mora, uz uštedu operativnih troškova plovidbe od 25-30%, ili 1.6-2.0 \$/t korisnog tereta.

Projekat „PIM”-a iz 1973. godine plovnog puta Dunav-Morava-Vardar-Aksios [1] dao je prednost plovidbi nad energetikom i pokazao tehničku izvodljivost i ekonomsku opravdanost poduhvata, utvrđujući trasu, niveletu i plovne gabarite za plovni put IV reda i plovila nosivosti 1350 t. Eksperti UN su revidovali i odobrili ovaj projekat, čime je on stekao međunarodni legitimitet, pa je na osnovu njega Evropska zajednica do 1990. godine finansirala studiju vodoprivrednog uređenja Vardara. Time su na odredjeni način otvaraju uslovi za koncesije i potencijalna ulaganja domaćeg i stranog kapitala.

U ovom radu će se prikazati rezultati renuvelacije navedenog projekta, ali samo za Moravski deo plovnog puta, između ušća Velike Morave u Dunav i Doljevca na Južnoj Moravi, polazeći od novih postavki:

- Uredjenje sliva i glavnih vodotoka - Južne i Velike Morave je celovito i višenamensko.
- Prednost u korišćenju voda se daje hidroenergetici (umesto plovidbi), uz smanjenje broja stepenica od 38 na 19. Poštovan je princip „što manjeg broja stepenica - hidročvorova”, sa što manjim trajnim potapanjem poljoprivrednog zemljišta i priobalnih objekata, a uz što veći nivo obezbeđenja vode za sve korisnike.
- Primenjeno je načelo neprikosновенosti postojeće infrastrukture (pruge, putevi, mostovi, itd.).

Višenamenska šema korišćenja Južne i Velike Morave je razradjena u dve varijante, nazvane „rečna” (kanalisanje vodotoka) i „kanalska” (izgradnja lateralnog kanala). Za obe varijante je utvrđen broj stepenica i određeni su: lokacija, padovi, instalisani protoci, investicije i rentabilnost. Posebna pažnja je posvećena proceni stepena sigurnosti sistema od zasipanja nanosom, što je po mišljenju autora najvažniji kriterijum, po značaju ispred svih ostalih kriterijuma (uključujući kriterijum investicija). Takodje je razmatrana i sigurnost objekata u priobalju od poremećaja režima podzemnih voda usled kanalanja vodotoka.

Plovni put je podeljen na dve deonice: Dunav-Niš-Doljevac („Deonica 1”) i Doljevac-Preševo-vododelnica („Deonica 2”). U ovom radu se prikazuje rešenje za Deonicu 1, dok je rešenje Deonice 2, (čija realizacija nije aktuelna u bližoj budućnosti), dato u radu [1].

## **2. Karakteristike hidroenergetskog i plovidbenog sistema „Morava”**

### *Osnovni podaci*

**„Rečna varijanta”**. U rečnom koritu Južne i Velike Morave rasporedjene su na ukupnoj dužini od 206 km brane - betonski pragovi sa ustavama visine od oko 8 m, pomoću kojih se formiraju akumulacije u koritu reke. Pored brane, svaki hidročvor ima elektranu, prevodnicu, pristanište i prilaze železnici i glavnom putu. Na deonici 1 rasporedjeno je 11 hidročvorova, 4 na Južnoj i 7 na Velikoj Moravi, na lokacijama: Niš 2, Aleksinac, Djunis, Stalać, Paraćin, Čuprija, Bagrdan, Svilajnac Velika Plana, Vladičin Dol i Ljubičevo (Slika 2).

**„Kanalska varijanta”**. Energetsko - plovidbeni lateralni kanal, ukupne dužine 206 km, pruža se od Doljevca desnom obalom reke do kompenzacionog bazena Niš 2, gde prima vode Nišave (Slika 1). Odatve trasa nastavlja desnom obalom do Djunisa, da bi Djunisku klisuru prošao levom obalom (naspram železničke pruge) do bazena „Stalać”. Ovaj bazen bi se formirao izgradnjom brane u koritu Južne Morave (nizvodno od pruge), sa ciljem prihvatanja i izravnavanja voda Južne i Zapadne Morave. Na trasi kanala su predviđena 4 hidročvora: Niš 2, Aleksinac, Djunis i Stalać, sa objektima u kanalu. Iz bazena „Stalać”, trasa energetsko-plovidbenog kanala ide levom obalom Morave (paralelno sa prugom, putem i rekom) do Ljubičeva, gde se završava u koritu Velike Morave. Na ovom potezu kanala je predviđeno 5 stepenica: Čuprija, Bagrdan, Svilajnac, Vlaški Dol i Ljubičevo. Na preostalom potezu do Dunava se za plovidbu koristi prirodno korito Velike Morave, uz neophodne korekcije.

Energetsko-plovidbeni kanal je trapeznog poprečnog preseka, širine u dnu 19 m, širine vodenog ogledala 43 m, nagiba kosina 1:4, dubine od oko 4 m. Predviđena je visina nasipa do 8 m, a iskopa do 12 m. Kanal je neobložen, ali je mestimično obezbedjen od erozije.

Bez obzira na varijantu, Deonica 1 (Dunav-Niš-Doljevac) obuhvata niz kapitalnih objekata od izuzetnog nacionalnog značaja, jer pokriva oko 40% teritorije Srbije sa oko 3 miliona stanovnika. Kao sistem objekata predstavlja tehničko-ekonomsku celinu, povezujući važne gradove: Smederevo, Požarevac, Veliku Planu (Kragujevac), Svetozarevo, Čupriju, Paraćin, Stalać (Kruševac, Kraljevo), Aleksinac i Niš (Leskovac). Uredjenje ove deonice omogućava celovito uredjenje sliva i vodotoka i razrešenje praktično svih hidrotehničkih problema na području od Dunava do Doljevca.

Deonica 1 je dužine 174 km na Velikoj Moravi i 89 km na Južnoj Moravi. Sadrži dva bazena (Niš 2 i Stalać), tri vodozahvata (Niš, Doljevac i Stalać), 9 elektrana (5+4), 9 prevodnica

dimenzija 190x12x3.5 m, koje omogućavaju robni promet od 20 miliona tona/god. Zahteva rok izgradnje od 13-15 godina.

#### *Karakteristike elektrana*

„Rečna” varijanta ima 7 stepenica na Velikoj, a 4 na Južnoj Moravi, sa ukupno 44 agregata. „Kanalska” varijanta ima 5 stepenica na Velikoj, a 4 na Južnoj Moravi, sa ukupno 27 agregata. U obe varijante su građevinski objekti i oprema tipizirani. Karakteristike pojedinih elektrana su prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1

Varijanta	Reka	Broj HE	Lokacija HE	Qin (m <sup>3</sup> /s)	Nin (MW)	Egod (GWh)	Evršno (GWh)
„rečna”	Južna Morava	4	Niš 2, Aleksinac, Djunis, Stalać	200	94	396	132
	Velika Morava	7	Paraćin, Čuprija, Bagrdan, Svilajnac, Velika Plana, V. Dol, Ljubičevo	500	232	877	232
„kanalska”	Južna Morava	4	Niš 2, Aleksinac, Djunis, Stalać	200	111	375	159
	Velika Morava	5	Čuprija, Bagrdan, Svilajnac, V. Dol, Ljubičevo	400	180	738	278

#### *Režim rada elektrana*

Sistem elektrana će raditi kao celina, sa komandom iz jednog centra. Radiće 3-5 sati na dan u dnevnom vrhu sa instalisanom snagom, koristeći rezerve vode iz bazena i kanalske retenzije. Ostalih 21-19 sati na dan, radiće u protočnom režimu, pri minimalnom protoku koji obezbeđuje plovidbu i sa minimalnom snagom, akumulirajući vodu u retenzijama. U periodima velike potrebe za energijom, ovaj sistem će raditi u režimu sezonskih akumulacija Vlasine i Zavoja.

#### *Količine radova*

Količine glavnih radova uporedno su prikazane u Tabeli 2.

Tabela 2

Varijanta	Reka	Iskop 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Nasip 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Beton 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Armatura 10 <sup>3</sup> t	Ekproprijacija ha
„rečna”	J. Morava	11	2.0	620	27	1 019
	V. Morava	34	3.5	1 100	48	10 000
	Ukupno	45	5.5	1 720	75	11 019

„kanalska”	J. Morava	47	22	593	27	1 019
	V. Morava	61	41	481	39	1 824
	Ukupno	108	63	1 074	66	2 843

### *Osnovni ekonomski pokazatelji*

U Tabeli 3 prikazani su osnovni ekonomski pokazatelji za obe analizirane varijante, prema cenama iz 1994. godine. Trajanje izgradnje za obe varijante iznosi 13 godina.

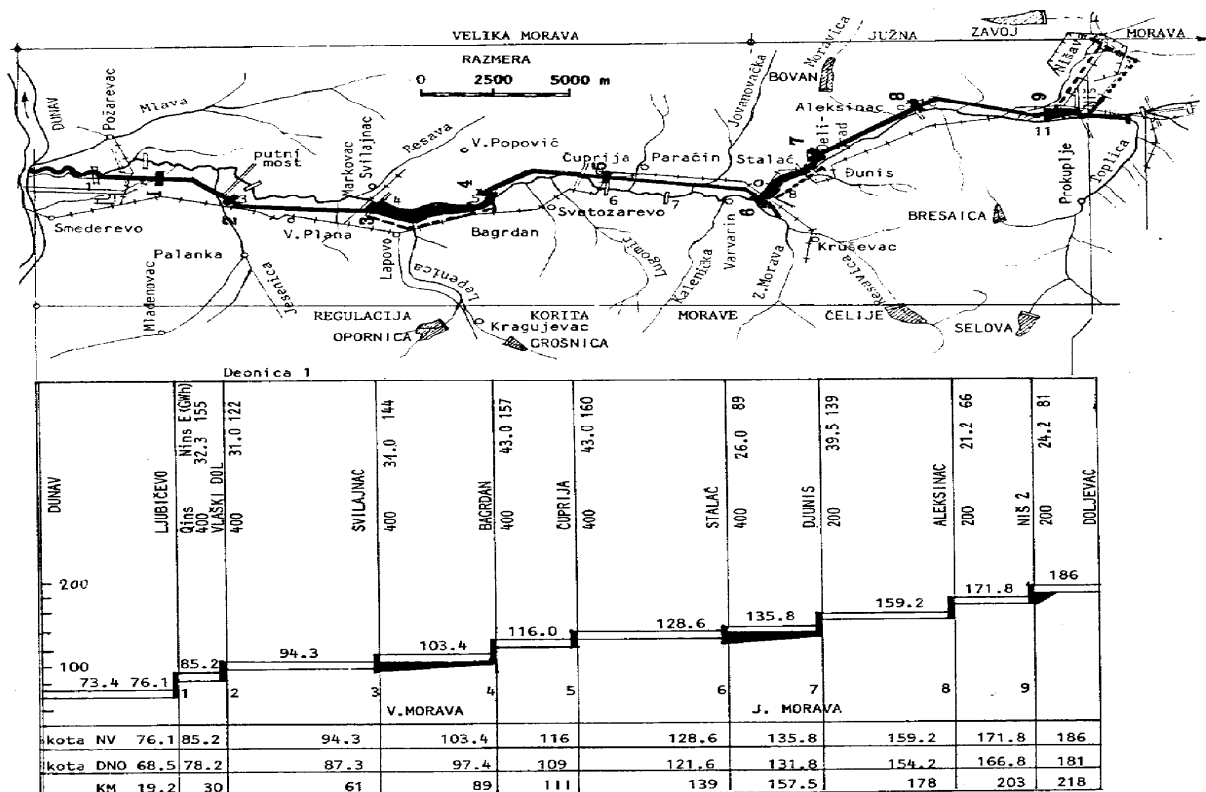
Tabela 3

Ekonomski pokazatelji	„rečna” varijanta	„kanalska” varijanta
Investicije za energetiku	753 x 10 <sup>6</sup> \$ (82.5%)	658 x 10 <sup>6</sup> \$ (83.5%)
Investicije za plovidbu	159 x 10 <sup>6</sup> \$ (17.5%)	130 x 10 <sup>6</sup> \$ (16.5%)
Ukupne investicije	912 x 10 <sup>6</sup> \$ (100%)	788 x 10 <sup>6</sup> \$ (100%)
Godišnji troškovi energetike	61 x 10 <sup>6</sup> \$/god	53 x 10 <sup>6</sup> \$/god
Godišnji troškovi plovidbe	15 x 10 <sup>6</sup> \$/god	12 x 10 <sup>6</sup> \$/god
Specifični troškovi energetike	0.047 centi/kWh	0.047 centi/kWh
Specifični troškovi plovidbe	0.77 \$/km	0.63 \$/km
Specifični troškovi plovidbe po toni	26.5 \$/god	21.6 \$/god

### *Uporedna analiza varijanti*

Analizom „rečne” i „kanalske” varijante na Deonici 1 može se konstatovati da „kanalska” varijanta ima određene prednosti:

- Višenamensko korišćenje sistema (energetika, plovdba, vodosnabdevanje, navodnjavanje) postiže se u ovoj varijanti sa manjim brojem stepenica (9 umesto 11), pa je obim investicija i godišnjih troškova manji. Veći obim zemljanih radova kompenzovan je manjim utroškom skupog materijala - betona i gvoždja.
- Postiže se optimalni režim voda na glavnim rekama i pritokama. Vode Nišave i Južne Morave se dnevno regulišu u bazenu „Niš 2”, a Južne i Zapadne Morave u bazenu „Stalać”. Sve protoci iznad instalisanog protoka, kao i tehničko-biološki minimum, kontrolisano se ispuštaju u korita Južne i Velike Morave.
- Eliminiraju se nepovoljne morfološke promene rečnog korita koje nastaju kao posledica kanaliziranja vodotoka. Nema pregrada ni bazena u koritu, ne smanjuje se prirodni pad (sa 0.6 na 0.2 promila), ne remeti se prirodni režim vode i nanosa i ne stvaraju se uslovi za regresivnu eroziju rečnog korita. Zadržavanjem postojećeg prirodnog režima (pri čemu je na Velikoj Moravi prisutna tendencija produbljavanja korita), eliminiraju se opasnost od istaložavanja nanosa u akumulacionim bazenima i od izdizanja korita, što bi uslovalo neophodnost nadvišenja nasipa. Ne remeti se nivo podzemnih voda u priobalju.
- Eliminiraju se nepovoljne ekološke posledice koje bi nastale usporavanjem reka i podizanjem nivoa podzemnih voda.
- Ne potapaju se trajno velike površine zemljišta u priobalju, a rešenje se u potpunosti uklapa u postojeću saobrašajnu infrastrukturu (pruga, putevi, mostovi) i štiti ostale infrastrukturne objekte u priobalju (vodovode, kanalizacije, bunare, pumpne stanice).



Slika 1 Energetsko-plovidbeni sistem „Morava” - „kanalska varijanta”  
 Fig. 1 Hydropower and navigation system „Morava” - solution with the lateral canal

### 3. Zaključci

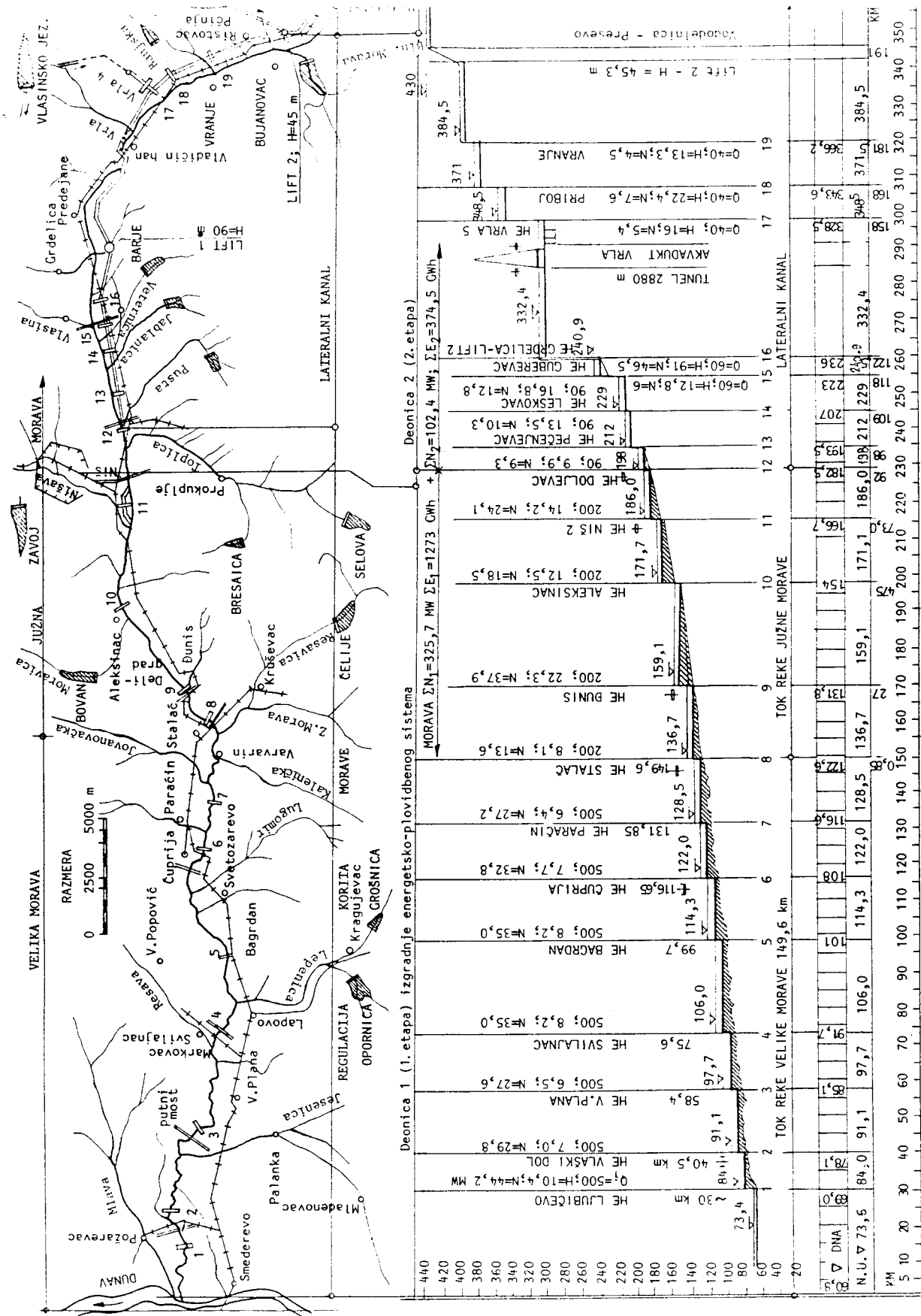
Izgradnja energetsko-plovidbenog sistema „Morava” ne samo da je tehničko izvodljiva i ekonomski opravdana, već će se realizacija ovog svakako najznačajnijeg vodoprivrednog poduhvata neminovno postaviti pred Srbiju u narednih nekoliko decenija.

Preliminarnom analizom varijantnih rešenja - „rečne” i „kanalske”, može se konstatovati da ova druga ima određene prednosti, ali se konačan zaključak može doneti tek nakon detaljnijeg izučavanja obe varijante.

Investicionu dokumentaciju većih zahvata u koritima Južne i Velike Morave (videti [3]) ne treba raditi dok se ne usvoji opšta koncepcija (šema) korišćenja voda Južne i Velike Morave, odnosno dok se konačno ne utvrdi da li je povoljnija „rečna” ili „kanalska” varijanta. Izuzetak su dva hidročvora - HE Niš 2 i HE Stalać, koji se uklapaju u obe ponudjene varijante, bez prejudiciranja daljih rešenja na glavnim vodotocima.

### Literatura

- [1] Plovni put Morava-Vardar (Aksios), studija PIM, Beograd, 1973.
- [2] Jovanović, B. i Jovanović, M. 1991: Varijantna rešenja hidroenergetskog i plovidbenog sistema „Morava”, Vodoprivreda, 23, 129-130 (1991/1-2), str. 75-82.
- [3] Predinvesticiona studija korišćenja hidroenergetskog potencijala reke Velike Morave, Energoprojekt, Beograd, 1987.



Slika 2. Hidroenergetsko-plovidbeni sistem „Morava” - „rečna varijanta”  
 Fig. 2. Hydropower and navigation system „Morava” - canalization of rivers