

**Jure MLAČNIK \*****Martin BOMBAČ \***

## VPLIV NEUREJENIH ODOČNIH RAZMER V ZALEDJU NA PROJEKTIRANJE HIDROELEKTRARN NA SPODNJI SAVI

### UVOD

Urejenost razmer v povodju predstavlja za vodno gospodarstvo zelo širok pojem, ki pušča večini opazovalcev precej nejasnosti. Če k temu dodamo še energetske vidike, se nejasnost glede tega, kaj ta urejenost zajema, še poveča. Še bolj je nejasen odgovor na vprašanje kdo je za kateri del urejenosti v povodju zadolžen oziroma odgovoren. Odgovornost za takšno stanje je jasna in je na strani države, ki je tudi dolžna pravilno razdeliti pooblastila in odgovornosti za posamezen vidik urejanja povodij. Posledice tega čutimo vsi: najbolj prebivalci območij, ki zaradi tega trepetajo pred vsakim močnejšim deževjem, v veliki meri pa tudi lastniki, projektanti in raziskovalci hidroenergetskih objektov, proti katerim taka območja gravitirajo. Pri projektiranju hidroelektrarn na spodnji Savi moramo imeti iz tega izhajajoče probleme že v osnovi za praktično nespremenljiv robni pogoj. Ne upoštevamo več običajnih obratovalnih kriterijev, ko projektant dokaj suvereno predpiše način obratovanja glede na največji možni izplen električne energije v danih hidroloških pogojih ob upoštevanju vseh varnostnih parametrov. Vse nove hidroelektrarne na spodnji Savi projektiramo upoštevajoč kompromis med maksimalnim možnim energetskim izkoristkom in maksimalnim izogibanjem težavam zaradi močnega transporta plavja po vodotoku v času visokih vod. V porečju z urejenim zaledjem to ne bi pomenilo večje težave, na spodnji Savi pa to nikakor ne drži.



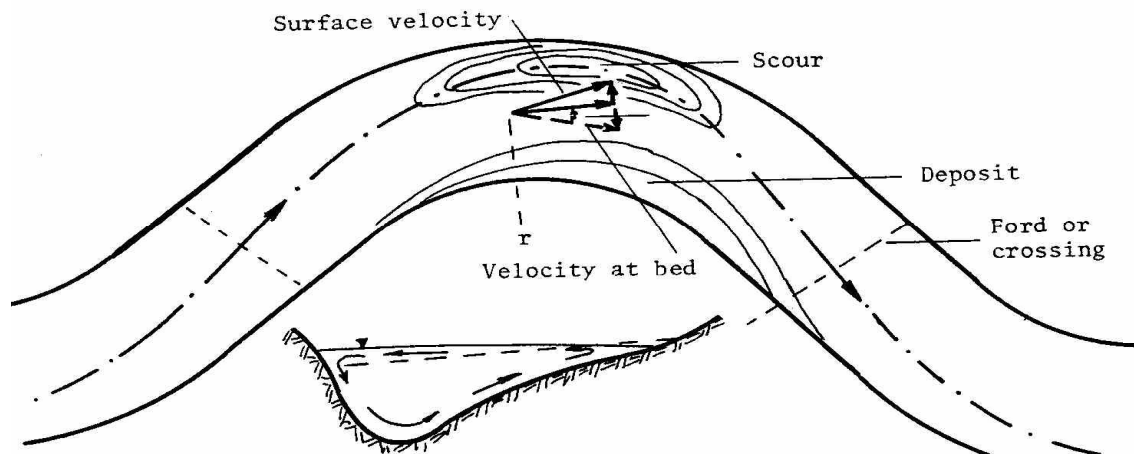
Slika 22: Tok plavja po Savi v času visoke vode

### LOKACIJA PREGRADE IN POLOŽAJ STROJNICE NA PREGRADI

Pri projektiranju hidroenergetskih pregrad in njihovem umeščanju v prostor je potrebno upoštevati vrsto dejavnikov. Lokacija strojnice je pogojena s celotnim projektom hidroelektrarne, upoštevajoč vse

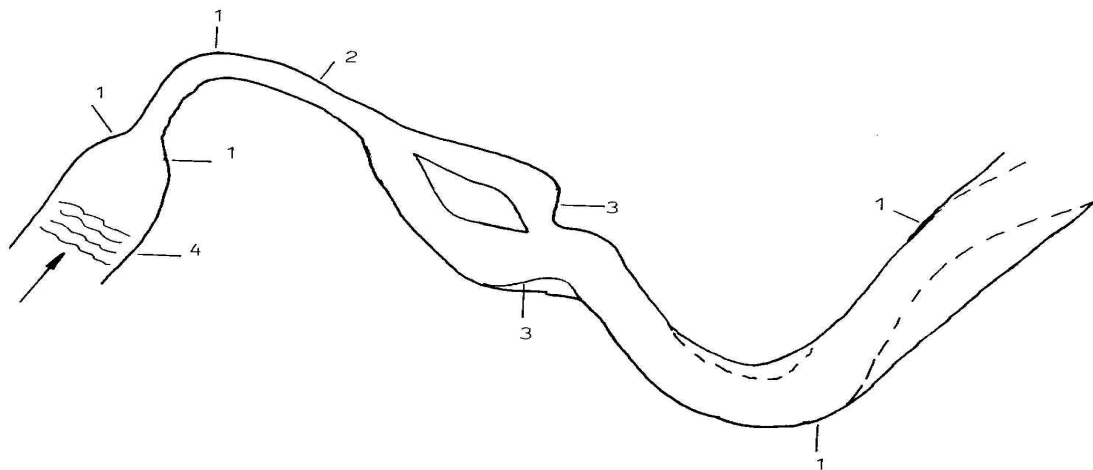
\* Jure MLAČNIK, univ. dipl. inž. Gradb., Martin BOMBAČ, univ. dipl. inž. gradb., HIDROINŠTITUT - JRZ Inštitut za hidravlične raziskave Ljubljana, Hajdrihova 28

naravne in antropomorfne danosti. Pri pretočnih hidroelektrarnah s čelnim odvzemom vode v turbinski del je vtočni del pregrade hidravlično gledano najboljše izvesti na konkavni strani krivine. Zaradi prečne cirkulacije se oblikujejo v krivini spiralni tokovi. Posledica tega je, da je tok ob dnu (trda faza) usmerjen h konvexnemu bregu, tok nad dnom proti vodni gladini (tekoča faza) pa je usmerjen h konkavnemu bregu. Potemtakem je konkavni breg podvržen eroziji, konvexni breg pa zasipavanju in je najustreznejše mesto odvzema vode glede na rinjene plavine na konkavni strani krivine. Na spodnji sliki je prikazan tok vode v krivini. Lahko vidimo, da na konkavni strani pride do erodiranja struge, medtem ko se na konvexni strani material odlaga in pride do zasipavanja. Prikazana je tudi razporeditev hitrosti vodnega toka v krivini.



Slika 2: Spiralni tok v krivini

Seveda pa je izbor položaja strojnice na pregradi podvržen tudi drugim umestitvenim zahtevam (geološka podlaga, obstoječa infrastruktura na mestu predvidenem za gradnjo, dostopne poti, ekonomičnost...), zaradi česar pogosto ni mogoče slediti idealni liniji pri projektiranju hidroenergetskih objektov. Na slikah 3 in 4 so prikazane najprimernejše naravne lokacije za postavitev odvzema vode iz vodotoka glede na preprečitev zasipavanja vtokov s plavinami. Pri tem so mišljene predvsem trde rinjene plavine – predvsem prod.



Slika 3: Naravno primerne lokacije za postavitev vtokov: (1) konkavna stran ovinka, (2) soteska, (3) strme izbočene brežine, (4) naravni pragovi



rešetke pa ostajajo bolj ali manj zamašene. Zaradi zmanjšane vtočnega profila je povečana statična in dinamična obremenitev rešetk, povečane so energijske izgube, povečana je dinamika vodnega toka pred turbino. Vse naštetu neugodno vpliva na ekonomiko obratovanja in izničuje vloženi trud po doseganju možnega visokega izkoristka pri proizvodnji električne energije. To nam najbolj slikovito ilustrira naslednji odlomek iz poročila o obratovanju HE Vrhovo v času visokovodnega vala 1.11.2004: »Zaradi padavin v noči med 31.10. in 1.11. je narasla predvsem Sava. Iz začetnih  $730\text{m}^3/\text{s}$  dne 31.10. ob 21 uri je narasla na  $1397\text{m}^3/\text{s}$  ob 9h naslednjega dne. Skupaj s Savinjo smo imeli največji dotok  $1637\text{m}^3/\text{s}$ . Imeli smo veliko naplavin, predvsem listja in večja drevesa. Ob 1h zjutraj smo imeli zamašene vse vtočne rešetke, tako da je operater ustavil vse agregate. Ob 3h je znova zagnal A1 in A2 na minimalno moč 2 MW po agregatu. Vmes smo neprestano čistili listje z rešetk. Spodnji del rešetk na A3 in polovica A2 je bil popolnoma zabit v višini 5 m z nanosom vej in lanskega listja v dolžini več metrov pred rešetkami, tako da ga ni mogoče odstraniti s čistilnim strojem.« Poročilo se nadaljuje v podobnem tonu tudi o stanju na zapornicah (evakuacija visokih vod), zelo podobna pa so tudi poročila iz časa drugih visokovodnih valov.

Tudi iz gornjega odlomka lahko razberemo, da plavje priteka na vstopne rešetke po vsej površini vstopnega profila, od gladine do dna. To pomeni, da se mu v celoti ne moremo izogniti in da je potrebno natok na strojnico projektirati po principu zmanjševanja škodljivega vpliva plavja in istočasno poskrbeti za vgradnjo avtomatskega čistilnega stroja, ki intenzivno in dovolj učinkovito čisti rešetke.

- **Potopna Stena**

Potopna stena preprečuje pot plavju, da le-to ne pride v ožje območje vtoka v turbinsko zgradbo.



Slika 5: Zastajanje plavja na plavajoči zavesi HE Vrhovo

Plavje zadržuje stran od vtokov in ga preusmerja na prelivna polja. Izvedbe potopnih sten so zelo različne, izbira je predvsem prepuščena hidravličnim modelnim raziskavam, pogosta pa je najcenejša izbira jeklene plavajoče zaveso. Zaradi skoraj pravokotne lege potopne stene na smer toka pri obratovanju strojnice, ni mogoče samodejno čiščenje zadržanega plavja. Na HE Vrhovo postopek čiščenja plavajoče zaveso zahteva zaustavitev agregatov. Po zaustavitvi vodnega toka skozi strojnico se plavajoče snovi odmaknejo od stene in jih je možno odplaviti preko najbližjih prelivnih polj, pri čemer pa je potrebno izrazito povečanje specifičnega pretoka preko teh prelivov.

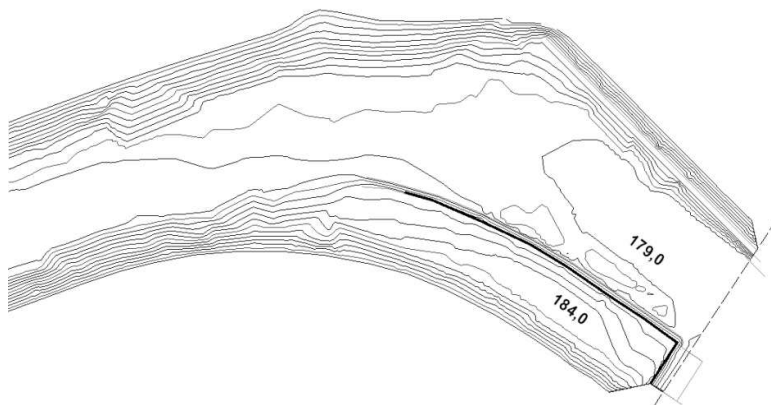
Rešitev s plavajočo zaveso pa navadno ni trajna rešitev, ker:

- lahko odpove pri prekomernem dotoku plavajočih snovi (zavesa se prevrne),
- ob zavesi zadržanega plavja ni mogoče mehansko odstraniti,
- je mogoče ob zavesi zadržano plavje odstraniti hidravlično le ob istočasni zaustavitvi agregatov v strojnici.

Alternativna rešitev je lahko vgradnja trdne potopne stene z rešetkami do dna. Taka oblika potopne stene hkrati prepreči vnos večjih rinjenih plavin (drevesni štori, veje, ipd.), ki jih pri visokih vodah vodotoki nosijo s seboj. Tak objekt potrebuje tudi vgradnjo čistilnega stroja. Seveda pa tak objekt pomeni večjo investicijo, ki pa ob konstantnejšem obratovanju turbin lahko v obratovalnem obdobju hidroelektrarne večkratno povrne vložena sredstva.

- **Oblikovanje dna natoka**

Pri projektiranju HE Vrhovo je bilo osnovno projektno izhodišče pri oblikovanju natoka na strojnico poleg maksimalne optimizacije hitrostne slike v vtočnem profilu preprečitev vnosa proda v vtočne komore. Za tedanje stanje podatkov o prodonosnosti Save je bilo to povsem normalno izhodišče. Zaradi tega je dno natoka oblikovano, kot to kaže plastnični načrt na sliki 6.



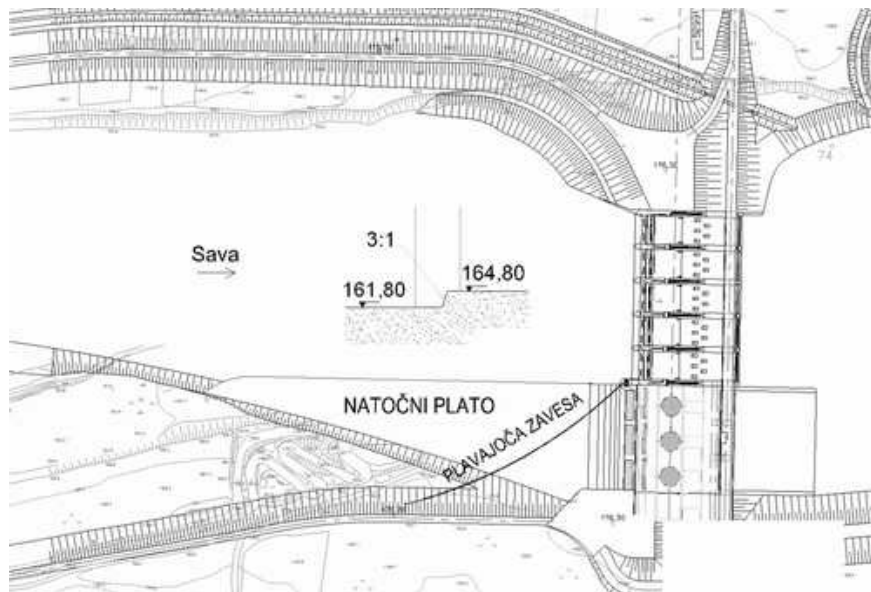
Slika 6: Oblika dna natočnega dela akumulacijskega bazena HE Vrhovo

V času obratovanja HE Vrhovo se je pokazalo, da prod v resnici ni tisti parameter, ki naj bi diktiral obliko natoka, ker je transport proda prekinjen že precej gorvodno v akumulaciji. Zaradi tega se je tudi izhodišče za naslednje savske stopnje spremenilo v smer optimizacije obratovanja med visokovodnim valom, pri kateri namesto škodljivega vpliva proda upoštevamo plavje kot bistveni vplivni parameter. Posledica takšnega pristopa je preoblikovanje dna natoka tako, da predvsem preprečuje oz. čim bolj zmanjšuje dotekanje lahkih kotalečih plavin, ki se med visokovodnim valom gibljejo podobno kot težje suspendirane snovi. S pomočjo različnih materialov je mogoče takšen pojav tudi dokaj uspešno fizično modelirati, pač na nivoju kvalitativnih primerjav. Tako je bila dobljena nova oblika dna natoka na HE Boštanj.



Slika 7: Preoblikovanje dna natočnega dela akumulacijskega bazena HE Boštanj – levo izhodiščna oblika dna, desno končna oblika dna

Pri raziskavah natoka HE Blanca je bila oblika natoka HE Boštanj že privzeta kot projektno izhodišče. Kljub temu je bila nujna izvedba celotnega spektra ustreznih raziskav, tako kvalitativnih s pomočjo ustreznega simulacijskega materiala, kot tudi meritev tokovne slike v območju natoka.



Slika 8: Bistveni elementi oblikovanja dna natočnega dela akumulacijskega bazena HE Blanca: natočni plato, plavajoča zavesa, vtočna rampa in ločilni steber med strojnico in prelivi

Popolnoma enak postopek pri istih izhodiščih je bil v fazi izdelave idejnega projekta izpeljan tudi za HE Krško. Drugačnost rešitve dna natoka v primerjavi s HE Blanca je rezultat krajevnih danosti lokacije pregrade. Dno struge Save je na mestu natočnega platoja namreč bistveno globlje, kot v Blanci, kar bi zelo podražilo izvedbo dolgega platoja, ki je za preusmerjanje toka plavja ob dnu najprimernejši. Zato je bila kot končna oblika natoka izbrana varianta skrajšanega platoja, ki v največji možni meri zmanjšuje stroške gradnje. Rob platoja v območju sedanje struge sledi obodnemu zidu druge gradbene jame in se po preboju gorvodnega nasipa usmeri relativno strmo proti desnemu bregu bazena. Ta rešitev je mogoča samo v kombinaciji z vertikalno izvedbo roba platoja proti dnu bazena oz. z minimalnim naklonom 5:1. Ker je večji del roba v času gradnje zid gradbene jame, ki je izveden z vertikalnimi vodnjaki do trdne podlage, to ne predstavlja večjega stroška, niti ne zaplete gradnje.



Slika 9: Preoblikovanje dna natočnega dela akumulacijskega bazena HE Krško

## ZAKLJUČEK

Hidroenergetska veriga na spodnji Savi je prvi tovrstni projekt, ki je v celoti načrtovan in se izvaja v Sloveniji. Hkrati gre za vodotok, ki je kljub ravninski legi, katera je očitno dokaj relativen pojem, celo ob iztoku iz Slovenije še vedno v svojem zgornjem ali kvečjemu srednjem toku. To povzroča načrtovalcem in upravljavcem hidroenergetskih objektov precejšnje težave, saj moramo sproti oblikovati kriterije, ki jih morajo ti objekti izpolnjevati za uspešno in varno delovanje. Koliko smo pri tem uspešni se bo pokazalo šele med polnim obratovanjem celotne verige elektrarn. Vsekakor pa drži trditev, da bi imeli tako načrtovalci, kot upravljavci hidroenergetskih objektov in tudi vsi ostali uporabniki vodnega potenciala spodnje Save, veliko lažje delo, manj stroškov in mnogi tudi dosti varnejše bivanje ob vodotoku, če bi država opravila svojo nalogo in poskrbela za podelitev in izvajanje potrebnih pooblastil vzdolž celotnega vodotoka in njegovih pritokov.

## VIRI PODATKOV: Izvršene naloge v Vodogradbenem Laboratoriju (VGI oz. HIDROINŠTITUT)

- [1] Ocena dviga dna in gladine v akumulaciji bazena HE Vrhovo;  
VGI - Vodogradbeni laboratorij, april 1985; Otmar Colarič, univ.dipl.inž.gr.
- [2] Študija vpliva zastajanja voda v korenu zajezbe HE Vrhovo, ugotovitev vpliva na odtočne razmere;  
VGI - Vodogradbeni laboratorij, junij 1988; mag. Igor Čehovin, univ.dipl.inž.gr.
- [3] Raziskave problematike v zvezi s transportom (zastajanjem in izpiranjem) voda in suspenzij na odseku Save med Zidanim mostom in hrvaško mejo, med in po izgradnji verige HE;  
VGI - Vodogradbeni laboratorij, junij 1990; mag. Igor Čehovin, univ.dipl.inž.gr.
- [4] Izlivni in zajezeni del Sopote - hidravlična modelna raziskava;  
VGI - Vodogradbeni laboratorij, junij 1990; Dušan Ciuha, univ.dipl.inž.gr.