

## PREGOVOR

*Hidroenergija je, za sada, jedini pouzdani i ekonomski prihvatljiv izvor obnovljive energije, koji može da pokrije znatan deo potreba za električnom energijom.*

*Intenzivnim korišćenjem hidroenergije može se smanjiti emisija gasova staklene bašte i ostalih toksičnih polutanata.*

*(The IHA Bern Declaration, Bern. 2000.)*

"Ponovo je nastupilo i dugo će potrajati vreme hidroelektrana" - najsazetiji je slogan koji bi se mogao izvući iz događanja u oblasti elektroenergetike u novije vreme. Neko vreme neopravdano potiskivane - hidroelektrane se ponovo u svetu tretiraju kao strateški objekti najvišeg nivoa značajnosti. Njihova izgradnja, skladno uklopljena u okruženje, sada se ponovo intenzivira u svim zemljama koje još nisu iskoristile svoje hidroenergetske potencijale. Na taj trend koji bi se slikovito mogao opisati i kao renesansa hidroenergetike posebno su uticala neka događanja u svetu, kao i procesi dugoročnog karaktera, od kojih se sa posebnom težinom izdvajaju sledeći:

- Stalni rast cena nafte na svetskom tržištu više se ne ocenjuje kao kratkotrajna kriza, koja će se okončati kao ranije - ponovnim stabilizovanjem cena na nekim nižim nivoima. Očita je zakonitost postepenog i stalnog poskupljenja tog neobnovljivog energenta, u skladu sa njegovom sve težom dostupnošću i znatno uvećanim troškovima eksploatacije. Pošto i cene ostalih fosilnih goriva - uglja i prirodnog gasa - prate taj stalni rast cene nafte kao repnog energenta, došlo je do poskupljenja električne energije koja se ostvaruje iz termoelektrana na ugalj i prirodni gas. Na svetskom tržištu je radikalno poskupeo i uran, što sada u sasvim drukčije, znatno nepovoljnije, ekonomske okvire stavlja i nuklearne elektrane. Pošto se pri planiranju različitih scenarija razvoja elektroenergetskih izvora cena energije iz hidroelektrana upoređuje sa cenama iz drugih izvora (ugalj, prirodni gas), radikalno su promenjeni nekadašnji pariteti pri vrednovanju hidroelektrana. Promenjeni su u korist hidroenergije, kao jedinog racionalno iskoristivog obnovljivog energetskog izvora. To je dovelo do velike promene u razgraničavanju hidropotencijala na tehnički i ekonomski iskoristiv potencijal. Sada je praktično sav tehnički

iskoristiv hidropotencijal postao i ekonomski iskoristiv. Može se generalizovati veoma bitna tendencija: tehnički iskoristiv potencijal koji je stavljen pod plansku zaštitu države teži - ekonomski iskoristivom potencijalu. To značajno proširuje racionalnu iskoristivost vodnih potencijala, čineći ih ubedljivo najpovoljnijim obnovljivim izvorom energije.

- Realizacija sve složenijih višenamenskih vodoprivrednih sistema omogućila je realizaciju i hidroenergetskih objekata, kao pratećih elemenata tih sistema. To je, takođe, još više proširilo opseg za iskorišćenje hidroenergetskih potencijala. Tome doprinosi i razvoj tehnologije opreme za hidroelektrane, koja je omogućila realizaciju najšireg opsega padova i protoka. Oprema se sve više tipizira, kako bi se i na taj način ostvarila racionalna izvedba hidroelektrana.
- Globalne klimatske promene, koje su do nedavno izgledale kao neka daleka fikcija, odvijaju se brže nego što se očekivalo. Već smo svedoci sve jasnijeg ispoljavanja vrlo ozbiljnih pojava pojačanja ekstremnih meteoroloških i hidroloških fenomena. Strategija definisana poznatim "Kyoto protokolom", koji je utvrdio mere za smanjenje emisije GHG (gasova staklene bašte) koji dovode do globalnih klimatskih promena - sada daje najveći značaj upravo realizaciji hidroelektrana, kao izvoru ekološki čiste obnovljive energije. Njihova se realizacija ekonomski stimuliše, pa čak i subvencionira.

Imajući sve to u vidu sada su u svetu u toku opsežni projekti u oblasti hidroenergetike. Koriste se preostali vodni potencijali, kompletiraju nekada nezavršeni kaskadni sistemi na rekama, postojeći sistemi se proširuju i na ranije neobuhvaćene pritoke, grade se elektrane na aluvijalnim rekama sa malim padovima na kojima ranije nisu razmatrana hidroenergetska rešenja; upotpunjuju se tehnička rešenja hidroelektrana na velikim padovima novim koncentracijama protoka - izgradnjom novih dovoda i dovođenjem vode i sa nižih delova sliva primenom pumpnih stanica i reverzibilnih elektrana (takav se projekat upravo priprema za Vlasinski sistem hidroelektrana). Opseg korišćenja se proširuje i na male potencijale. Obnova već realizovanih hidroelektrana, nakon isteklog resursa vremena opreme, koristi se za povećanje instalisanih snaga postojećih agregata, a dodaju se i novi agregati - često u novim mašinskim zgradama - kako bi se pojačala vršna regulaciona funkcija akumulacionih hidroelektrana. Slikovito bi se moglo reći da je u svetu u toku "veliko raspremanje" u oblasti hidroenergetike.

Zbog događanja u zadnje dve decenije na ovim prostorima mi u svemu tome dosta kasnimo. Tome doprinosi i činjenica da je zbog izostanka edukacije

javnosti, koja nije obavještena o pravom stanju stvari u oblasti energetike, više izuzetnih razvojnih integralnih projekata onemogućeno upravo delovanjem neformalnih interesnih grupa. Međutim, sve to treba tretirati kao 'dečje bolesti' tranzicije. Sasvim je izvesno da se vrlo intenzivne aktivnosti na planu hidroenergetike uskoro mogu očekivati i kod nas. One najpre treba da obuhvate sferu planiranja objekata i sistema, a zatim i sve druge aktivnosti vezane za realizaciju i eksploataciju hidroenergetskih sistema.

Knjiga koja je pred čitaocima "Hidroenergetika - kroz rešavanje konkretnih problema" deo je napora da se doprinese tom predstojećem vrlo intenzivnom poslu u domenu hidroenergetike. Ona je namenjena studentima, kao učilo u okviru predmeta "Korišćenje vodnih snaga", ali je zamišljena da posluži i kao praktičan monografski spis koji bi bio od koristi i za inženjere u praksi. U knjizi je dat širok spektar rešenih problema, kojima se obuhvataju brojni zadaci koji se sreću u svakodnevnoj praksi planiranja objekata, projektovanja, rešavanja zadataka upravljanja hidroelektranama. Rešeni problemi nisu posebno sistematizovani, jer se želelo izbeći efekat receptura. Najveći broj rešenih problema je kompleksnog karaktera. Vrlo su karakteristični prikazani problemi višenamenskog korišćenja voda, sa akumulacionim jezerima koja služe za razne vidove regulisanja protoka. Iz pedagoških razloga često se daju i analitička i grafička rešenja, jer su se autori tokom svog rada sa studentima uverili kako je grafoanalitički pristup veoma pogodan za shvatanje suštine bilansnih analiza, jer vrlo pregledno vizuelizira i razjašnjava odnose na relaciji: hidrološki ulaz → stanje sistema → izlaz za razne korisnike. Širok opseg razmatranih problema obuhvata čitav niz vrlo bitnih fenomena: problemi hidrauličkih gubitaka na dovodima, problemi neustaljenog tečenja u hidroelektranama sa derivacijama pod pritiskom i objekata za njihovo ublažavanje, problemi dimenzionisanja pojedinih proticajnih i konstrukcijskih elemenata hidroelektrana, problemi određivanja elemenata opreme, posebno zadaci izbora tipa i elemenata turbina, problemi određivanja potrebne zapremine akumulacije, energetski efekti prevodenja voda iz jednog sliva u drugi, problem određivanja optimalnog prečnika tunela pod pritiskom, analiza transformacije poplavnog talasa u akumulaciji, analiza stabilnosti mašinske zgrade i dr. Neki zadaci su vrlo kompleksni, jer se radilo o proračunima i analizama za koje su autori, na osnovu svog pedagoškog iskustva, smatrali da treba da predstavljaju detaljniji podsetnik za studente i one mlade inženjere koji knjigu koriste, dok je u nekim slučajevima akcenat bio prevashodno na metodološkom razjašnjenju, dok je samo rešavanje obavljeno skraćenim postupcima proračuna.

Da bi knjiga bila upotrebljivija na kraju su dati prilozi koji olakšavaju proračune, bilo u vidu nomograma (primer: nomogrami za neke vidove hidrauličkih proračuna neustaljenog tečenja u dovodima pod pritiskom i objekata vodostana za neutralisanje nepovoljnih efekata) ili tabela (primer: tabele sa osnovnim hidrauličkim i geometrijskim parametrima različitih tipova turbina).

Autori se posebno zahvaljuju recenzentima: prof. dr Božidaru Batiniću, dipl.inž.građ.; prof. dr Miroslavu Benišku, dipl.inž.maš. - redovnom članu Akademije inženjerskih nauka Srbije i prof. dr Ljubodragu Saviću, dipl.inž.građ. na veoma savesno obavljenim recenzijama i veoma korisnim sugestijama koje su uputili autorima, svako iz svog detaljnijeg delokruga rada.

Duh podsticaja stvaralaštvu koji vlada na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu - posebno ohrabrivanje autora da zaokružuju pisanje knjiga koje su namenjene nastavi i inženjerima - svakako je doprineo da se ova knjiga pojavi u izdanju Građevinskog fakulteta.

Napokon, autori se zahvaljuju i svojim porodicama na razumavanju i toleranciji tokom pisanja knjige i njenog prilično zahtevnog tehničkog pripremanja za štampu.

Autori

## SADRŽAJ

Uvod .....	1
Primer 1. Određivanje sile dejstva vode na tablastu ustavu .....	11
Primer 2. Određivanje momenta i sile vode na leptirasti zatvarač .....	14
Primer 3. Određivanje prečnika cevovoda, pritiska i naprezanja usled hidrauličkog udara .....	16
Primer 4. Sila dejstva vode i spoljašnje sile na kosu tablastu ustavu .....	22
Primer 5. Sila dejstva vode na račvu i kolena cevovoda koji dovodi vodu do Peltonove turbine sa dve mlaznice .....	24
Primer 6. Hidraulički udar - dimenzionisanje debljine zida cevovoda i određivanje vremena zatvaranja .....	28
Primer 7. Određivanje protoka kroz turbinu poznavajući hidrauličke karakteristike na ulazu i izlazu iz difuzora .....	32
Primer 8. Određivanje radnih karakteristika Francisove turbine .....	34
Primer 9. Određivanje korisnog dejstva mlaznice Peltonove turbine .....	36
Primer 10. Dimenzionisanje Francisove turbine, spirale, generatora i difuzora. Skiciranje poprečnog preseka delimično olakšane mašinske zgrade .....	38
Primer 11. Dimenzionisanje vodostana i određivanje amplituda kritičnih oscilacija .....	49
Primer 12. Određivanje radnih karakteristika reverzibilnog agregata .....	57
Primer 13. Reverzibilna hidroelektrana - analiza vremena rada i proizvedene/utrošene energije u pumpnom i turbinskom režimu .....	61
Primer 14. Protočna HE - određivanje instalisane snage ( $N_{inst}$ ), specifičnih pokazatelja po snazi i energiji i moguće energetske proizvodnje .....	65
Primer 15. Analiza padavina, oticaja i energetskih potencijala sliva i vodotoka .....	72

Primer 16. Određivanje korisne zapremine akumulacije, dijagrama promene nivoa u akumulaciji i energetske proizvodnje .....	78
Primer 17. Određivanje korisne zapremine akumulacije i kompenzacionog bazena za dnevno regulisanje protoka .....	86
Primer 18. Određivanje korisnih zapremina akumulacija u kaskadi i određivanje energetskog potencijala .....	95
Primer 19. Određivanje potrošnje vode iz akumulacije, nivograma akumulacije i maksimalne oscilacije u vodostanu u slučaju ispada postrojenja iz pogona .....	102
Primer 20. Određivanje dotoka vode u akumulaciju na osnovu poznatog nivograma akumulacije i snage koju razvija postrojenje .....	107
Primer 21. Određivanje krive protoka u zoni donje vode na osnovu poznatih dijagrama promene nivoa u zoni gornje i donje vode i snage koju razvija postrojenje .....	111
Primer 22. Određivanje snage derivacionog postrojenja i pritiska u cevovodu pri hidrauličkom udaru .....	114
Primer 23. Određivanje rapavosti tunela i cevovoda jednog derivacionog postrojenja na osnovu merenja nivoa vode u akumulaciji, vodostanu i u zoni donje vode HE .....	118
Primer 24. Analiza energetske dobiti usled smanjenja rapavosti tunela torkretiranjem. Ekonomska analiza isplativosti investicije (torkretiranja) .....	122
Primer 25. Energetski efekat prevođenja voda iz jedne akumulacije u drugu pumpanjem i korišćenjem voda u derivacionom postrojenju .....	129
Primer 26. Energetski efekti prevođenja voda kanalskom derivacijom .....	134
Primer 27. Poplavni talas - određivanje kote do koje treba spustiti nivo vode u akumulaciji radi prihvatanja talasa .....	139
Primer 28. Određivanje optimalnog prečnika dovodnog tunela jednog derivacionog postrojenja .....	147
Primer 29. Određivanje optimalnog prečnika sabirnog tunela i energetskih efekata prevođenja voda .....	156
Primer 30. Analiza transformacije poplavnog talasa u akumulaciji i proračun energetske proizvodnje .....	167
Primer 31. Analiza stabilnosti mašinske zgrade .....	174