

VIŠENAMJENSKI HIDROTEHNIČKI SUSTAVI

Tanja ROJE-BONACI i Ognjen BONACCI
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, 21000 Split, Hrvatska
E-mail: bonacci@gradst.hr; obonacci@gradst.hr

REZIME

U članku je razmatrana problematika višenamjenskih hidrotehničkih sustava, njihov ekonomski i socijalni značaj, kao i utjecaj na okoliš. Naglašeno je da su oni u povijesti razvoja civilizacije odigrali izrazito važnu ulogu, te da i danas predstavljaju ključne sustave koje tom razvoju pružaju nezamjenljivu podršku. Analizirana su tri primjera izgradnje i funkcioniranja višenamjenskih hidrotehničkih sustava izgrađenih u različitim društveno-ekonomskim i klimatskim uvjetima: (1) Sustav Piave, Boite, Mae – sjeveroistočne, talijanske Alpe; (2) Hidrotehnički sustav u sjeverozapadnoj Indiji; (3) Sustav Buško Blato – sliv rijeke Cetine (Bosna i Hercegovina i Hrvatska). Na ta tri primjera je analiziran veliki razvojni i ekonomski značaj višenamjenskih hidrotehničkih sustava, ali je ukazano i na neke od mogućih problema koji oni mogu uzrokovati u okolišu. Istaknut je veliki značaj višenamjenskih akumulacija kao ključnih objekata hidrotehničkih sustava. Akumulacije uređuju vodne režime, omogućavaju korištenje voda za razne namjene (hidroenergetika, navodnjavanje, snabdijevanje naselja i industrije vodom), ublažavaju valove velikih voda i smanjuju poplave. Ako se rezervoarima ekološki dobro upravlja, mogu da povećaju male vode u sušnim periodima, što ima vrlo korisne efekte na nizvodne ekosustave. Uočeni su propusti kod sustava građenih pred više od pedeset godina, kada se nije dovoljno ili nikako vodilo računa o njihovom utjecaju na okoliš. Zbog toga se danas izgradnji višenamjenskih hidrotehničkih sustava pristupa mnogo opreznije nego ranije. Sada su te ekološke analize jedan od najvažnijih dijelova projekata hidrotehničkih sustava.

Ključne riječi: višenamjenski hidrotehnički sustavi, suše, poplave, Buško Blato, rijeka Cetina, okoliš

UVOD

Hidrotehnički sustav moguće je definirati kao sustav mjera, radova i građevina kojim se regulira vodni režim

na određenome području. Ovi se sustavi grade kako bi se ispunili osnovni ciljevi gospodarenja vodama u koje spadaju: (1) razumno korištenje voda i zaštita od voda; (2) stvaranje uvjeta za ostvarenje društvenih interesa; (3) očuvanje prirodne i kulturne baštine i ostalih postojećih vrijednosti na područjima pod utjecajem sustava. Osnovni cilj gospodarenja vodama predstavlja uspostavljanje i održavanje ravnoteže ljudskih želja i djelovanja, s jedne strane, i prirodnih procesa, s druge. Radi se o izrazito složenoj problematici vrlo važnoj za razvoj civilizacije, koja istovremeno nosi u sebi brojne opasnosti ne samo za čovjeka, već i mnogo više i češće za okoliš. Brojni do sada izvedeni hidrotehnički sustavi pomogli su u rješavanju niza bitnih egzistencijalnih i razvojnih situacija, ali su istovremeno i uzrokovali brojne i velike poteškoće. One su se obično počele javljati poslije određenog vremena djelovanja sustava.

Teoretski vid problematike hidrotehničkih sustav i upravljanja vodnim resursima detaljno su objašnjeni u knjigama Đorđevića [1] [2]. Autor u njima naglašava važnost donošenja pravih odluka u pravo vrijeme. Naglašava činjenicu da pažnju javnosti na vodu i sustave vezane s njenim upravljanjem, pobuđuju prije svega negativne posljedice. Dok stvari idu dobro, tj. dok sustavi ispunjavaju svoje ciljeve, javnost uglavnom o njima ne vodi računa. Kad se pojave problemi, a oni se u pravilu uvijek pojave, javnost postaje vrlo zainteresirana i nemilosrdna u svojim ocjenama koje su često neargumentirane i nestručne.

Cilj ovog članka je da analizira tri različita hidrotehnička sustava izgrađena u različito razvijenim društvima i s različitim osnovnim namjenama. Prvi je sustav Piave, Boite, Mae izgrađen s izrazitom namjerom proizvodnje električne energije. Smješten je u području sjeveroistočnih talijanskih Alpa. Radi se o sustavu koji je bio jedan od najskupljih, tada se smatralo i najnaprednijih, ali su posljedice koje je isti izazvao bile jedne od najkatastrofalnijih u povijesti hidrotehničkih sustava. Ovaj slučaj upozorava da s hidrotehničkim

sustavima opreza nikada dosta. Drugi sustav je izgrađen u sjeverozapadnoj Indiji, a glavna mu je namjena sakupljanje vode za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina. Treći sustav izgrađen je u bivšoj Jugoslaviji, a prostire se na području sliva Cetine u Bosni i Hercegovini i Hrvatskoj. Osnovna mu je namjena proizvodnja električne energije. Sustav je i danas u funkciji. Treba naglasiti da ga je bilo moguće izgraditi samo u to doba, pred skoro pedeset godina, u društvenom sistemu i državi koja je tada postojala. Zajedničko za sva tri opisan sustava je da su građena pred više od pedeset godina kada se u cijelom svijetu nije vodilo dovoljno računa o ekološkim i društvenim posljedicama njihove izgradnje.

CRTICE IZ POVIJESTI HIDROTEHNIČKIH SUSTAVA I KORIŠTENJA HIDROENERGIJE

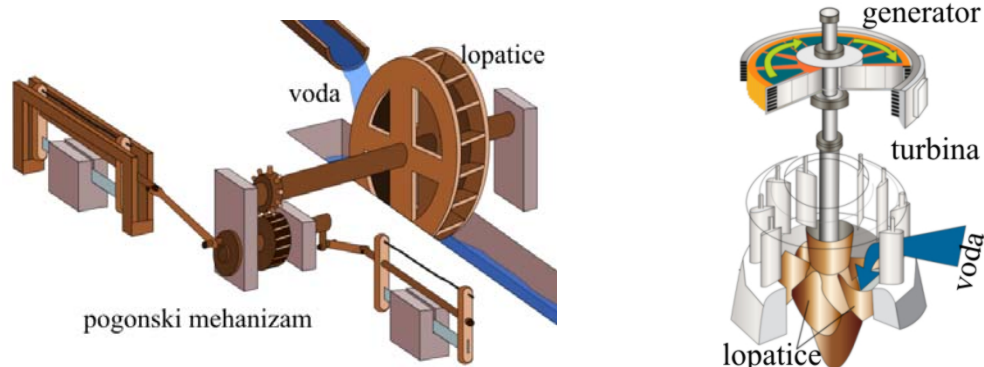
Kraj 19. i početak 20. stoljeća, predstavljaju razdoblje elektrifikacije industrijski i tehnološki razvijenog dijela svijeta. S druge strane, gospodarenje vodama i korištenje energije vode, kao pokretačke snage u proizvodnji, odavno je poznato u svim u povijesti razvijenim civilizacijama. Kada se sjedine ove dvije činjenice, javlja se višenamjensko korištenje vodnih resursa u svim gospodarskim područjima. Materijalni dokaz za gospodarenje vodama nalazi se na Hamurabijevoj steli, kamenom spomeniku s uklesanim uputama za svakodnevni život općenito, a između ostalog i za način korištenja vode. Spomenik datira iz 1754. godine prije nove ere, a nalazi se u muzeju Louvre u Parizu. Prikazan je na slici 1.



Slika 1. Hamurabijeva stela na kojoj se u sklopu ostalih zakona nalazi tekst koji se odnosi na gospodarenje vodom

U proizvodnji električne energije javlja se proizvodna jedinica – agregat, koji se sastoji od turbine i generatora. Osnovni pokret u proizvodnji je vrtnja, što neodoljivo podsjeća na učinak vodenog kola (slika 2). Stoga je jasna poveznica između tekuće vode i pokretača prvih elektrana

Godine 1895. izgrađena je hidroelektrana HE Jaruga na Skradinskom buku na rijeci Krki (slika 3), koja se smatra prvom hidroelektranom u Europi na izmjeničnu struju. Namjenski je bila građena za industriju i za javnu namjenu. Proizvodila je struju za elektrifikaciju grada Šibenika.



Slika 2. Vodeno kolo iz rimskog doba i agregat za proizvodnju električne energije



Slika 3. HE Jaruga na slapovima Krke (fotografija iz 1895. godine snimljena kratko vrijeme nakon izgradnje)

Većina prvih hidroelektrana je funkcionirala tako da se iz prirodnog toka uzimao dio vode za pogon vodenog kola. Međutim, u prvo se vrijeme nije radilo o hidrotehničkim sustavima, nego o pojedinačnim hidroenergetskim pogonima koji su korišteni za konkretnu, lokalnu upotrebu.

Svaki ovakav pogon zahtijevao je stalni dotok određene količine vode koju je na neki način bilo potrebno osigurati. Stoga je slijedeći korak bio izgradnja brana koje će osigurati dovoljne količine vode, tijekom cijele godine, potrebne za pogon turbina. Tako se pojavila potreba izgradnje 'velikih brana'. One su omogućile stvaranje golemih umjetnih jezera u kojima su se mogle uskladištiti ogromne količine vode. U tom trenutku se javlja višenamjenska uloga ovih umjetno stvorenih jezera.

Postalo je jasno da takva jezera prikupljanjem vode u kišnom razdoblju ujedno mogu i spriječiti poplave u nizvodnom dijelu sliva. Kako su uglavnom bila smještena iznad plodnih nizina, bilo je jednostavno zaključiti da ih je moguće iskoristiti za navodnjavanje poljoprivrednih površina i time povećati urod na njima. Brzo rastuća naselja i gradovi tražili su sve veće količine električne energije i vode, kako za industrijsku proizvodnju, tako i za opskrbu stanovništva. Umjetna jezera su i tu pokazala velike mogućnosti. Tako se počelo razmišljati o višenamjenskom korištenju ovih jezera, ali su se pojavili i problemi oko korištenja vode iz njih u razdoblju kritičnih situacija, osobito pri pojavi suša.

Slijedeći korak je bio višekратно iskorištavanje iste vode kao u proizvodnji električne energije tako i u druge

svrhe. Tako se rodila ideja o proizvodnji energije na više horizonata (nadmorskih visina) i njeno korištenje za sve ostale moguće privredne aktivnosti. Za to je trebalo povezivanje jezera i elektrana, tunelima i kanalima u sustave, koji će činiti jedinstvene proizvodne cjeline da bi bili što bolje iskorišteni u svakom smislu. U nastavku će biti prikazano nekoliko takvih sustava.

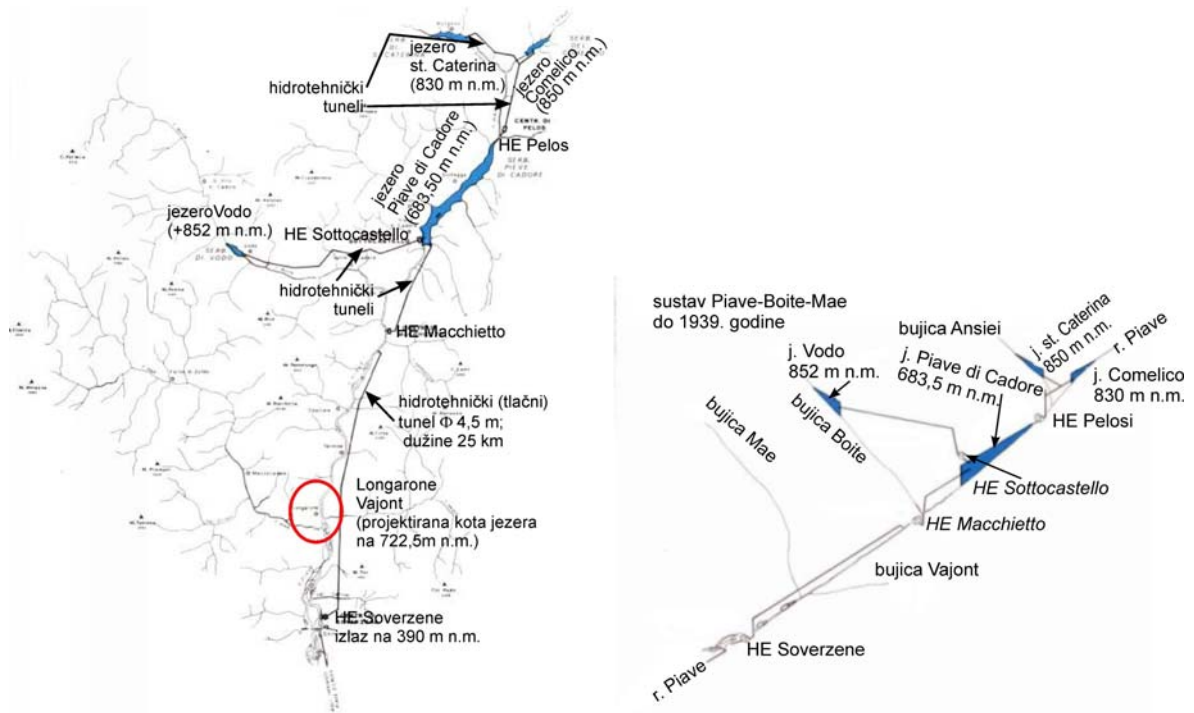
SUSTAV PIAVE, BOITE, MAE – TALIJANSKE ALPE

Ovaj sustav je izgrađen za snabdijevanja električnom energijom pokrajine Veneto, sjeverno od Venecije. Ova se pokrajina početkom 20. stoljeća naglo razvijala industrijski i poljoprivredno, što je dovelo i do rasta broja stanovnika u gradovima i naseljima, pa je bila kao takva upravo idealna za izgradnju jednog velikog višenamjenskog hidrotehničkog sustava. Sustav je osmislio i financijski omogućilo dioničko društvo SADE (Societa Adriatica Di Electricita). S tehničke strane tu se pojavljuje Carlo Semenza, koji ima viziju hidrotehničkog sustava u Dolomitima. Svoj rad, kasnije, objavljuje u tekstu 'Le utilizzazioni idroelettriche ed irrigue nel bacino del Piave' (Korištenje bazena rijeke Piave u proizvodnji električne energije i navodnjavanju) (www.progettodighe.it).

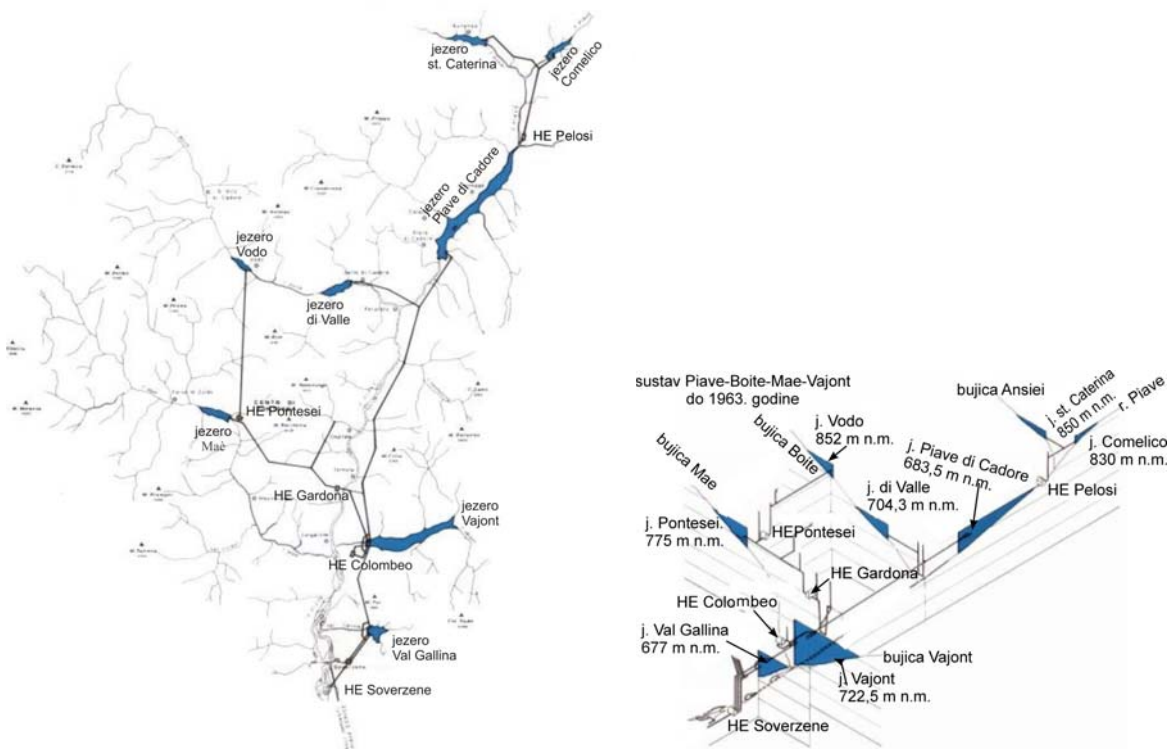
Zahvat seže od Sapade (iznad 1500 m n.m.) na sjeveroistok (Tiro) i zapadno od Cortine D'Ampezi na sjeveru do južnih obronaka Alpa sjeverno od Venecije, na nadmorskoj visini od oko 150 m n.m. Ispod te kote sustav se grana u više podsustava za navodnjavanje doline sa znatnom poljoprivrednom proizvodnjom. Dijeli se na zapadni (Cordevole) i istočni bazen (Boite - Piave) do kote 390 m n.m.

Izgradnja sustava započela je početkom 20. stoljeća. Geološke radove je za SADE provodio glavni geolog sustava, profesor sa Sveučilišta u Padovi, Giorgio dal Piaz, dugogodišnji predsjednik talijanskog geološkog društva. Sustav je postajao sve složeniji što se može vidjeti na skicama prikazanim na slikama 4 i 5.

Slika 4 prikazuje projekt višenamjenskog hidrotehničkog sustava na rijeci Piave prije 1939. On završava s HE Soverzene, temeljnom elektranom u sustavu do koje se kanalom vodi voda iz jezera Piave di Cadore. Sustav je bio jednostavan, bez velikih tunelskih dovoda vode osim nekih manjih i glavnog, tlačnog za HE Soverzene.



Slika 4. Sustav Piave, Boite Mae prije 1939. godine



Slika 5. Sustav Piave, Boite, Mae, Vajont nakon 1950. godine

Za vrijeme II. svjetskog rata radovi su obustavljeni, ali su odmah nakon završetka rata ponovo krenuli, a ideja se proširila na još neke pritoke rijeke Piave i sustav veznih tunela i niza manjih elektrana koje su do 1963. godine izgrađene u sustavu i danas su u pogonu iako im instalirana snaga nije značajna (slika 5).

U sustavu su do tada bile izgrađene: (1) Gravitaciona, masivna, betonska brana St. Caterina na bujici Ansei. Građena je za proizvodnju električne energije, a završena je 1931. godine. Kota najviše vode je 830 m n.m., visina brane 50 m, dužina u kruni 185 m, zapremina jezera $6,25 \times 10^6 \text{ m}^3$. I danas je u pogonu. (2) Armiranobetonska, kupolasta brana Comelico na rijeci Piave. Građena je za proizvodnju električne energije, a završena je 1931. godine. Kota najviše vode 850 m n.m., visina brane 44,50 m, dužina u kruni 113 m, zapremina jezera $1,22 \times 10^6 \text{ m}^3$, te još uvijek radi. (3) HE Pelosi je derivaciona, a prima vodu iz dva prethodno opisana jezera i ispušta ih u jezero Piave di Cadore. Godina gradnje je 1930. Rekonstruirana je 2013. godine. Instalirana snaga joj je 90 MW.

Nakon II svjetskog rata izgrađen je dio sustava:

(1) Lučno-gravitaciona brana Piave di Cadore na rijeci Piave, građena za proizvodnju struje, povezana kanalom i tunelom s HE Soverzene. Godina kraja gradnje bila je 1949. Kota najviše vode iznosi 683,50 m n.m. Visina brane je 108 m, a dužina u kruni 410 m, Zapremina jezera je $67,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Još uvijek je u pogonu.

(2) Kupolasta (lučna) brana Vodo na bujici Boite je građena za proizvodnju struje, a povezana je tunelom s HE Pontesei. Godina kraja gradnje bila je 1960. Kota najviše vode iznosi 855 m n.m. Visina brane je 40 m, dužina u kruni 74 m, dok je zapremina jezera $1,39 \times 10^6 \text{ m}^3$. Hidroelektrana je i danas u pogonu.

(3) Kupolasta (lučna) brana Valle na bujici Boite (slika 6). Građena je za proizvodnju struje. Povezana je tunelom s cjevovodom koji iz Valle di Cadore vodi vodu u HE Soverzene. Godina kraja gradnje bila je 1951. Kota najviše vode iznosi 706,5 m n.m. Visina brane je 60,75 m, dužina u kruni 35 m, a zapremina jezera iznosi $4,92 \times 10^6 \text{ m}^3$. Još uvijek je u pogonu.

(4) Kupolasta (lučna) brana Pontesei na bujici Maè je izgrađena za proizvodnju struje, a povezana je tunelom s HE Pontesei. Izgradnje je završena 1956. godine. Kota najviše vode iznosi 775 m n.m. Visina brane je 78 m, dužina u kruni 150 m dok zapremina jezera iznosi $3,57 \times 10^6 \text{ m}^3$. Još uvijek je djelomično u pogonu.



Slika 6. Brana Valle s mostom u neposrednoj blizini [3]

(5) Derivaciona HE Pontesei je smještena u masivu lijevog boka bujice Mae (slika 7). Strojarnica je na koti 735 m n.m. Izgrađena je 1960. godine za proizvodnja električne energije. Elektrana je u funkciji.

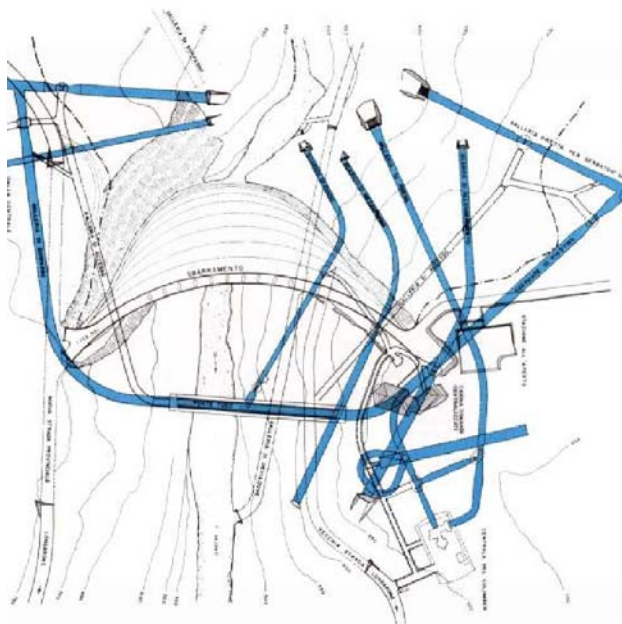


Slika 4. Neobična kombinacija preljeva (bočni i kružni) uz branu Pontesei [3]

(6) Derivaciona HE Gardona je smještena u masivu u blizini sela Castellavazzo. Vodu prima iz jezera Pontesei koje je tunelom spojeno s jezerom Vajont. Predviđeno je da kod visokih vodostaja (725,25 m n.m.)

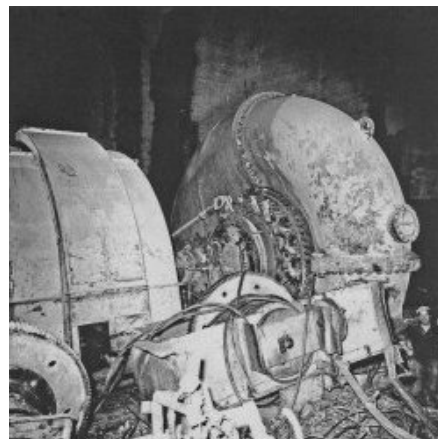
u jezeru Vajont, koristi vode iz tog jezera. Strojarnica je na koti 616,5 m n.m. Stavljena je u funkciju 1955. godine. Namijenjena je proizvodnji električne energije. Elektrana je u funkciji.

(7) Kupolasta brana Vajont promjenjivog radijusa izgrađena je na bujici Vajont. U trenutku završetka, 1959. godine, bila je najviša brana na svijetu visoka 261,6 m, dužine u kruni 190,15 m. Najviša kota vode u jezeru projektirana je na kotu 725,25 m n.m. Tlocrt brane Vajont s pripadnim hidrotehničkim tunnelima nalazi se na slici 8. Zapremina jezera bila je 170×10^6 m³. Od 9. listopada 1963. godine jezero nije u funkciji zbog odrona južne padine u jezero neposredno uz branu. Jezero Vajont trebalo je biti ključna točka za upravljanje ovim hidrotehničkim sustavom. Jezero je spojeno nizom dovodnih i odvodnih hidrotehničkih tunela. Iz jezera voda odlazi u dovodni tunel u HE Colomboe, prolazi kroz elektranu i odlazi dalje u sustav.



Slika 8. Tlocrt brane Vajont s pripadnim hidrotehničkim tunnelima [3]

(8) HE Colomboe je smještena u masivu jugozapadno od brane. Koristi pad od 60 m. Čvor Vajont, zatrpavanjem jezera kliznom masom, u potpunosti gubi funkciju. Sustav nikada nije proradio na zamišljen način. U udesu koji je zadesio jezero stradala je i ova elektrana. Bila je u probnom radu od 19. studenog 1962. godine. Fotografija unutrašnjost HE Colomboe nakon katastrofe nalazi se na slici 9.



Slika 9. Unutrašnjost HE Colomboe nakon katastrofe [4]

(9) Posljednje jezero u sustavu oblikuje kupolasta brana Val Galina na potoku Gallina. Puni se i vodom iz sustava s viših horizonata cjevovodom koji započinje u jezeru Piave di Cadore. Završena je 1951. godine. Visina brane je 89,10 m, a dužine u kruni 228,0 m. Kota najviše vode je 677 m n.m., a zapremina jezera $5,43 \times 10^6$ m³. Služi za dnevno izravnavanje pri radu HE Soverzene. I danas je u pogonu.

(10) HE Soverzene je posljednja građevina u sustavu gornjeg dijela sliva rijeke Piave. To je derivaciona hidroelektrana smještena u planinskom masivu. Koristi pad od 280 m, a izlaz joj je na koti 390 m n.m. Ima dvije Francis turbine uspravne osi, ukupne snage 210 MW. U funkciji je od 1951. godine. Ispod kote 390 m drugi je dio sustava.

Sustav pokazuje i bolne točke ovakvih velikih zahvata u prirodi. Na sustavu su se dogodila dva klizanja boka u jezero. Prvo je 22. ožujka 1959. godine, nakon niza naznaka na koje nije obraćano dovoljno pažnje, kliznulo je cca 3 milijuna m³ tla s boka planine Castellin u jezero Pontesei. Kako je razina jezera bila malo ispod najviše kote, došlo je do prelijevanja brane. Pri tom je stradao dežurni tehničar čije tijelo nikad nije pronađeno. Korisna zapremina akumulacije je znatno smanjena. Druga, tragična nesreća dogodila se 9. listopada 1963. kada je neposredno iza brane, u jezeru Vajont, otklizalo 260 milijuna m³ tla sa sjevernog boka planine Monte Toc. Klizanje je trajalo oko 10 minuta i izazvalo poplavni val koji je dosegao visinu od 200 metara iznad kote krune brane [11]. Preko brane se prelilo 50 milijuna m³ vode i sravnilo sa zemljom sela Longarone, Pirago, Villanova i još neke. Ukupno je stradalo više od 2000 ljudi, a poplava je sezala 11 km nizvodno od

Longarone-a dolinom rijeke Piave. Brana je ostala neoštećena ali neupotrebljiva jer je jezero zapunjeno.

Nakon HE Soverzene, dio vode odlazi dalje rijekom Piave prema zapadu, a dio kanalom i tunelom dužine oko 20 km u jezero St. Croce. Oba sustava se nastavljaju nizom tunela, kanala, jezera i elektrana. Najveće jezero u ovom hidrotehničkom sustavu je St. Croce na istočnom kraku sustava, koje je bilo malo prirodno jezero. Povećano je 30-tih godina 20. stoljeća izgradnjom brane dužine jedan kilometar, na sjevernom rubu. Brana je omogućila da se voda u jezeru podigne do kote 386 m n.m. Duboko je preko 35 m i prima bujične vode zajedno s još nekoliko manjih jezera u sustavu. Jezero St. Croce je ključni dio sustava za prihvat viška voda te stoga igra važnu ulogu za potrebe obrane od poplava područja nizvodno od HE Soverzene, ali i za čuvanje viška vode za potrebe navodnjavanja u sušnom razdoblju godine.

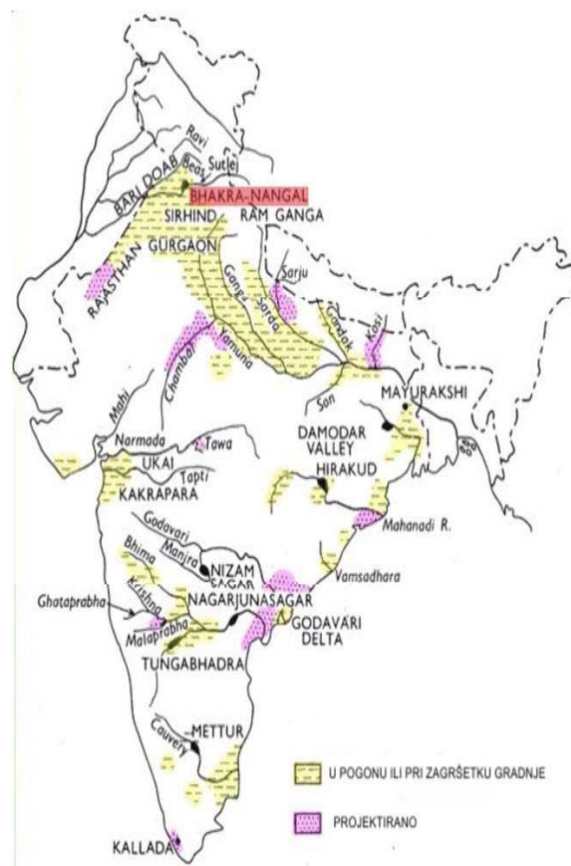
Iz jezera voda odlazi kanalima u nekoliko manjih elektrana, a trebalo bi biti spojeno kanalom s rijekom Piave na koti oko 160 m n.m. Nakon tog spoja zapadnog i istočnog kraka sustava, na rijeci Piave, voda odlazi u niz sustava za navodnjavanje poljoprivrednih površina sjeverno od Venecije.

Iz havarije na akumulaciji Vajont izvučeno je skupo, ali dragocjeno iskustvo koje se od tada sprovodi pri građenju brana. Veoma se detaljno istražuju bokovi kanjona koji će se naći pod usporom kako bi se sagledali svi rizici fenomena potencijalnog klizanja bokova koji je dobio čak i naziv: 'efekt Vajont'. Ukoliko se procijeni da postoje rizici, a da nisu moguće mjere pouzdane geotehničke sanacije, odustaje se od takvog projekta ili se radikalno mijenja dispozicija sustava. Tako se sada postupa pri projektiranju višenamenskog sustava na Morači, na kome se snižavaju kote uspora nekih akumulacija i neki akumulacioni objekti pretvaraju u derivacione.

HIDROTEHNIČKI SUSTAV U SJEVEROZAPADNOJ INDIJI

Nakon osamostaljenja Indija je poduzela niz velikih hidrotehničkih projekata sa svrhom osiguranja vode za navodnjavanje. Bilo je ključno povećati poljoprivrednu proizvodnju za prehranu stanovništva ove mnogoljudne zemlje. Jedan od sustava nalazi se sjeverozapadno od New Delhija, na granici s Pakistanom, ispod Himalaje. Na slici 10 prikazana su ključna područja Indije, predviđena za natapanje kanalskom mrežom. Može se

primijetiti da je površinom najveće područje sjeverozapadne Indije, o kojem je ovdje riječ.

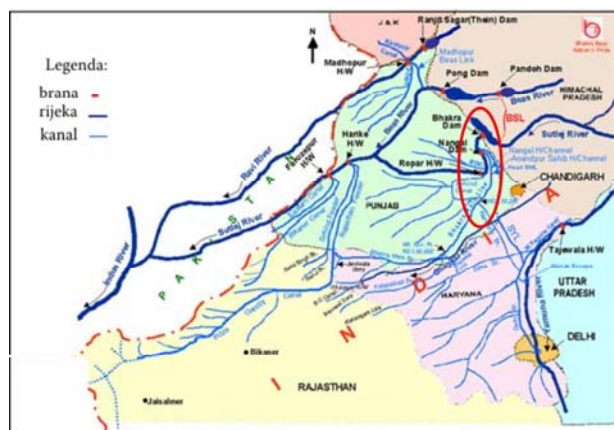


Slika 10. Područja koja se natapaju ili planiraju natapati u Indiji [5]

Sustav se sastoji od niza brana (slika 11), hidroelektrana i velikih kanala za navodnjavanje. Osnovica južnog dijela sustava je umjetno jezero Gobindsagar, zapremine 9,34 km³. Nastalo je izgradnjom betonske, gravitacione brane Bhakara na rijeci Sutlej (pritoka rijeke Inda), visoke 225 m, duge u kruni 518,25 m, na koti oko 550 m n.m. Gradnja je završena 1963. godine. Prvenstvena namjena sustava je navodnjavanje područja Punjab-a i Himachal Pradesh. Osim toga služi za proizvodnja električne energije i kao sustav za obranu od poplave.

U sustavu se nalazi veći niz manjih brana koje bez obzira na to što su manje, spadaju u velike brane. Bitna je brana Nangal koja raspodjeljuje vodu u dva glavna akvadukta. Brana Bhakra (slika 12) je prvenstveno namijenjena proizvodnji električne energije. Hidroelektrana je pribranska, koristi pad od cca 220 m.

Sastoji se od dva proizvodna pogona sa po pet generatora. Ukupna je instalirana snaga 1325 MW. Zanimljivo je da su agregati proizvedeni u tvornici Rade Končar u Hrvatskoj (bivšoj Jugoslaviji), a kranovi u strojarnici u tvornici Litostroj u Sloveniji (bivšoj Jugoslaviji). Jezero je dovoljno veliko da ublaži poplave uslijed monsunskih kiša, a naročito uslijed naglog topljenja snijega s Himalaja.



Slika 11. Rijeke Sutlej (s branom Bhakra), Beas, Ravi i glavni akvadukti za navodnjavanje [5]



Slika 12. Brana Bhakra [6]

Vode iz elektrana odlaze u rijeku Sutlej do brane Nangal, visine 29 m, dužine 305 m. Ona služi za izravnanje voda nizvodno od Bhakra brane i usmjeravanje vode u dva akvadukta, koji vodu odvođe u sustave za navodnjavanje. Akvadukti prolaze kanalima, mostovima i tunelima po svim pravilima gravitacionog tečenja. Nizvodno se još nalazi brana Ropar,

prvenstveno namijenjena zadržavanju velikih voda odnosno za obranu od poplave. Naknadno je uz nju izgrađena elektrana.

Ovaj sustav je dobar primjer jednog od mnogih vrlo uspješnih višenamjenskih hidrotehničkih sustava u Indiji koji su, kao veliki i korisni razvojni projekti pridonijeli ubrzanom razvoju te mnogoljudne zemlje.

SUSTAV BUŠKO BLATO – SLIV RIJEKE CETINE (BiH I HRVATSKA)

Velika potreba za energijom iza II. svjetskog rata, zbog nagle industrijalizacije i elektrifikacije, potakla je energetičare da grade složene hidroenergetske sustave u bivšoj Jugoslaviji. Jedan od njih je i onaj koji koristi vode rijeke Cetine i njenog sliva koji se nalazi na višem horizontu - u Livanjskom polju. U istočnom dijelu Livanjskog polja u prirodnim uvjetima formiralo se povremeno jezero, tj. plavljeni prostor u zimskom vlažnom razdoblju. Na sjeveroistočnom rubu Livanjskog polja se nalaze izvori, a na južnom i jugoistočnom ponori.

U sustav je trebalo uključiti još neke više horizonte, što do danas nije učinjeno i čini se da će u novim društveno-političkim uvjetima te zamisli teško biti ostvarive. Svrha sustava je pretežito proizvodnja električne energije, natapanje Sinjskog i Livanjskog polja, a djelomično i obrana od poplave. Visinski odnosi sustava prikazani su na slici 13.

Prostor Buškog Blata je najčešće poplavljeni dio Livanjskog polja, koristan tek nakon snižavanja razine podzemne vode u kršu, te je bio pogodan za stočarstvo, ali ne i za drugu vrstu poljoprivredne proizvodnje kao ostali dio polja. Stoga je postao dio sustava o kojem je riječ.

Sustav je projektiran u nekad jedinstvenoj državi kao srednja i niža stepenica sustava. Buško jezero – blato nastalo je izgradnjom nasute brane Kazaginac na južnom rubu. Ovom se branom isključuje ponorska zona iz koje je voda prirodno otjecala iz jezera. Na zapadnom kraju izgrađena je nasuta brana Podgradina, u koju je uklopljena crpna stanica Buško Blato (tri reverzibilna agregata, 10,2 MW). U trenutku izgradnje Buško jezero je bilo po površini najveće umjetno jezero u Europi. Nalazi se na nadmorskoj visini od 716 m n.m, dužine 13,5 km, a širine oko 7,2 km, tj. ima površinu od 55,8 km² i Zapreminu od 782×10⁶ m³ vode.



Slika 13. Shema s visinskim kotama sustava Buško Blato-Cetina [7]

Peručko jezero je nastalo izgradnjom nasute brane Peruća (slika 14). Izvorno je bila duga u kruni 467 m, visine 67 metara. Na lijevom boku ima preljev. Brana je završena 1959. godine. Oblikuje jezero zapremine $565,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ i površine od $20 \times 10^6 \text{ m}^2$. Služi osim za proizvodnju struje i za izravnjanje dotoka rijeke Cetine nizvodno od brane.



Slika 14. Brana Peruća [8]

Uz branu Peruća nalazi se pribranska elektrana HE Peruća. Koristi pad od 56,5 m. U pogonu je od 1960. Ima dva agregata ukupne instalirane snage od 60 MW koji su u pogonu nakon sanacije i rekonstrukcije od 2005. odnosno 2007. godine.

Zajednička voda se nakon iskorištavanja u gornjim dijelovima sliva vodi Cetinom do slijedeće stepenice, HE Đale (slika 15). Brana Đale je armirano-betonska gravitacijska brana s kotom na kruni 294 m n.m. Visine je 40,5 m, dužine u kruni 110 m. Maksimalna radna kota jezera je 292 m n.m., a maksimalna zapremina može iznositi $3,7 \text{ hm}^3$. Služi za dnevno izravnjanje dotoka. Donja voda je ograničena vodostajem u jezeru iza slijedeće stepenice, brane Prančevići. HE Đale je elektrana priborskog, protočnog tipa smještena u tijelu brane. Koristi pad od 21 m. Instalirana snaga je 40,8 MW odnosno dva agregata snage 20,4 MW s Kaplan turbinama (turbine prilagođene malim padovima). Sustav je stavljen u pogon 1989. godine.



Slika 15. HE Đale, preljev i pogonska zgrada

Slijedi jezero u sustavu formirano je branom Prančevići (slika 16). Brana je betonska gravitaciona s dva preljevna polja, visine 35 metara, dužine u kruni 150 m. Jezero je zapremine $6,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, površine $564 \times 10^3 \text{ m}^2$. Izgrađena je 1951. godine. Ovo jezero predstavlja gornju vodu zahvata za HE Zakućac. Radna kota jezera je 273 m n.m. Iz jezera vode dva cjevovoda u HE Zakućac.



Slika 16. Brana i jezero Prančevići [9]

Naknadno je uz branu predviđeno izgraditi mini elektranu instalirane snage 1,3 MW, koja bi koristila količinu vode koju je potrebno iz ekoloških razloga ispuštati u korito Cetine. Postupak realizacije je u tijeku.

Slijedi betonska brana za vodozahvat HE Kraljevac, izgrađena u klancu Cetine, visine 18 m i duljine 25 m s kotom krune na 164 m n.m. Iz vodozahvata voda sustavom kanala, tunela i cjevovoda odlazi u proizvodno postrojenje. Postrojenje se sastojalo od četiri agregata s Francis turbinama. Kada je izgrađena bila je najveća hidroelektrana u tadašnjoj državi. Izgradnja je završena 1912. godine. Rekonstruirana je zbog promjene vodnog režima koji je nastao izgradnjom HE Zakućac. Danas koristi pad od 108 m i ima instaliranu snagu od 46,4 MW.

Sustav završava u ključnom proizvodnom pogonu, HE Zakućac. Smještena je u masivu Mosora. To je najveća hidroelektrana u Hrvatskoj, instalirane snage 486 MW. Građena u dvije faze, prva 1961. a druga 1980. Koristi pad od 250,4 m. Vodozahvat je u jezeru Prančevići, a voda dolazi tunelima i cjevovodom na turbine. Donja voda nalazi se na razini ušća Cetine u more.

Ovaj sustav je pored velikih ekonomskih i razvojnih koristi uzrokovao i brojne neočekivane promjene u ekološkom, hidrološkom i hidrogeološkom smislu o kojima se ni danas ne vodi dovoljno računa [10], [12] Započelo se s istraživanjima tih fenomena i sagledavanjima načina za otklanjanje negativnih posljedica po okoliš.

ZAKLJUČAK

U članku su prikazana tri različita hidrotehnička sustava izgrađena u raznim društvenim i klimatskim stanjima. Svaki je od njih bio izgrađeno s jednom prvenstvenom namjerom (proizvodnja hidroenergije i sakupljanje vode za navodnjavanje), ali je bez obzira na to vršio i druge uloge prije svega obranu od poplava. Opisani sustavi, kao uostalom i svaki drugi, vrše višenamjensku funkciju. Pri tome uvijek ključnu ulogu igraju društveni i ekonomski kriteriji. Koliko će neki hidrotehnički sustav stvarno biti višenamjenski najbolje se pokaže u kritičnim situacijama koje nastaju kad u području djelovanja sustava ima previše vode (stanje poplava) ili kad se javlja nedostatak vode (stanje suša).

Sredinom 20. stoljeća mnoge su zemlje (osobito one najrazvijenije) intenzivno gradile hidrotehničke sustave i koristile svoje vode bez dovoljnog ili čak ikakvog razmatranja kakve će oni izazvati učinke na prirodu i okoliš, a osobito na društvene procese. Danas vjerojatno takva izgradnja ne bi bila moguća ili bi makar bila podvrgnuta velikim društvenim kritikama. Najbolji primjer zadržke društva prema takvoj gradnji je zaustavljanje izgradnje hidroenergetske stepenice Nagy-Maros na Dunavu u Mađarskoj, koja se nalazi nizvodno od HE Gapčikovo na Dunavu u Slovačkoj. Mađarski ekološki aktivisti i javnost zaustavili su gradnju HE Nagy-Maros iako je Dunav već bio pregrađen zagatima na polovici širine. Toj činjenici je značajno pomogla i promjena vlasti u Mađarskoj. Kolika je šteta, a kolika korist od takvog postupka vrlo je upitno i veliko je pitanje da li bi se postupilo na isti način da su vremena u doba donošenja odluke o prestanku izgradnje i saniranju narušenog prirodnog stanja bila manje turbulentna.

Očito je da sa izgradnjom, a potom i funkcioniranjem višenamjenskih sustava treba biti izrazito oprezan. Koristi koje se javljaju na početku njihovog rada u nebrojenim su slučajevima bile umanjene pa čak i poništene tokom njihovog dugotrajnog rada. Poseban problem predstavlja prestanak korištenja i razgradnja tih sustava o čemu se danas, osobito u SAD-u, vodi mnogo rasprava i poduzimaju brojne aktivnosti [13]. U našim prostorima kao uostalom u cijeloj Europi o toj se

problematici ne vodi za sada dovoljno računa, ali je očigledno da ćemo se i mi morati suočiti s rješavanjem te složene i kontraverzne problematike. Autorima je bila želja da stručnu javnost potaknu na ozbiljno razmišljanje o toj problematici, kako bi se još tijekom planiranja sustava sagledali utjecaji na okoliš i iznašla rješenja za otklanjanje ili umanjenje eventualnih nepovoljnih posljedica.

LITERATURA

- [1] Đorđević, B.: Vodoprivredni sistemi. Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [2] Đorđević, B.: Cybernetics in water resources management. Water Resources Publications, Fort Collins, 1993.
- [3] www.progettodighe.it
- [4] www.vajont.net
- [5] www.bharat-rakshak.com
- [6] <http://industrialtour.com/chandigarh-industrial-visit/>
- [7] www.meteohmd.hr
- [8] www.konstruktor-split.hr
- [9] <http://www.elektroprojekt.hr/hdvh/katastar/Prancevici.htm>
- [10] Bonacci, O. i T.Roje-Bonacci: The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina. Hydrological Processes 17(1),2003, p. 1-15.
- [11] Roje-Bonacci, T.: Vajont (1963.-2013.) Hrvatske Vode 21(84), 2013, p.156-163..
- [12] Bonacci, O., Buzjak, N., Roje-Bonacci, T.: Changes in hydrological regime caused by human intervention in karst: the case of the Rumin Springs. Hydrological Sciences Journal 61(13), 2016, p.2387-2398.
- [13] Roje-Bonacci, T., Bonacci, O. Uklanjanje (razgradnja) brana i/ili pregrada na otvorenim vodotocima. Hrvatske vode 24(97), 2016, p.223-232

MULTIPURPOSE WATER RESOURCES SYSTEMS

by

Tanja ROJE-BONACI & Ognjen BONACCI

Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split, Croatia

Summary

The article reviewed the multipurpose water resources systems, their economic and social importance, impact on the development of the country, and impact on the environment. It was pointed out that they are in the history of civilization played an extremely important role, and that today are key systems that this development support. The analysis are three examples of the construction and operation of multi-purpose water development projects built in different socio-economic and climatic conditions: (1) The system Piave, Boite, Mae - northeast, the Italian Alps; (2) Hydraulic system in northwestern India; (3) The system Busko Blato - Cetina river basin (Bosnia and Herzegovina and Croatia). On these three examples are shown great development and economic significance multipurpose water resources system, but also pointed out some of the possible problems that they may cause to the environment. Highlighted the great importance of

multipurpose reservoirs as key facilities water resources system. Reservoirs regulate water regimes, allow the use of water for various purposes (hydropower generation, irrigation, water supply of communities and industrial water supply), reduce flooding. If the tanks environmentally well-managed, can increase the low flow in dry periods, which has very beneficial effects on downstream ecosystems. These are the reasons why today the construction of multi-purpose water development approach to a much more cautious than before. Identified gaps for systems built before more than fifty years, when not enough, or not take account of their impact on the environment. Today, the analysis of the impact of water development on the environment one of the most important parts of such projects.

Key words: multipurpose water resources systems, droughts, floods, Busko Blato, river Cetina, environment

Redigovano 08.11.2016.