

DILEME VEZANE UZ GRADNJU VELIKIH BRANA: SLUČAJ RIJEKE NIL

dr. sc. Ognjen Bonacci, prof. emerit., dr. sc. Tanja Roje-Bonacci, prof. emerit.

1. UVOD

Svaki otvoreni vodotok, bez obzira na njegove dimenzije i hidrološki režim, igra ključnu biološku, ekološku i sociološku ulogu unutar prostora vlastitog sliva, a nerijetko i mnogo šire. Svaki od njih varijabilnim svojstvima prirodnog i danas sve češće antropogenim zahvatima bespovratno promijenjenog hidrološkog režima, dinamično i nepouzdanu predvidljivo utječe dugoročno na buduće geofizičke, ekološke i društvene procese. U tom smislu značajnu ulogu igraju planetarno najveće rijeke kao što su Amazona, Dunav, Nil, Volga, Mississippi-Missouri, Ind, Ganges, Žuta rijeka, Jangce, Jenisej, Kongo itd. One u oceane ili velika jezera vraćaju veliki dio oborina koje padnu na površinu kopna utječući time na regionalne pa čak i planetarne geofizičke, ekološko-biološke, ekonomske i društvene procese. Zahvati koje je čovjek izveo na njima, a prije svega izgradnja brana i formiranje akumulacija, bitno su poremetile prirodnu ravnotežu i promijenile njihove prirodne funkcije što je uzrokovalo brojne negativne posljedice.

Brane i akumulacije najčešće se grade s namjerom da se izravnanjem hidrološkog režima omogući sigurna poljoprivredna proizvodnja, zaštiti od poplava, proizvede električna energija itd. Uglavnom, barem u početku, brane i njima formirane akumulacije uspješno ispunjavaju predviđene zadatke. Međutim, s odmicanjem vremena javljale su se sve brojnije i sve drastičnije negativne posljedice uzrokovane njihovim funkcioniranjem. Početkom i sredinom 20. stoljeća gradile su se u cijelom svijetu brojne brane. Od sredine 20. stoljeća, kao posljedica uočenih brojnih negativnih učinaka, došlo je do naglog opadanja izgradnje brana. Početkom 21. stoljeća pojavio se problem; budući da nisu nađena učinkovita rješenja zamjene za brane i umjetne akumulacije, posljedično i za osiguravanje vode tijekom sušnih razdoblja, za obranu od poplava i za proizvodnju hidroenergije te je interes za izgradnjom brana ponovno porastao. Ta je činjenica ukazala na neophodnost preispitivanja postojećih stavova o izgradnji novih brana i njima formiranih akumulacija.

Potreba za energijom, obranom od poplava i vodom za navodnjavanje utjecala je u posljednja dva desetljeća na značajan porast trendova projektiranja i izgradnje

brana. Zarfl i sur. (2015.) navode podatak da se u svijetu projektira ili gradi najmanje 3700 visokih brana za potrebe proizvodnje hidroenergije kapaciteta većeg od 1 MW. Lees i sur. (2016.) navode da je na slivu Amazone u Brazilu do 2016. godine bila izgrađena 191 brana te da je tada u izgradnji i projektiranju bilo čak 246 brana. Hudek i sur. (2020.) upozoravaju na brz porast projektiranja i izgradnje brana za hidroelektrane na rijekama dunavskog sliva na području bivše Jugoslavije.

Biswas (2004.) je postavio ključno pitanje: *Predstavljaju li brane „rog izobilja“ (lijek za sve probleme) ili su uzrok katastrofa?* Fearnside (2016.), u vodećem svjetskom znanstvenom časopisu "Science" pokušava odgovoriti na pitanje: *Treba li ili ne treba u tropima graditi brane?* Znanost i znanstvenici intenzivno traže odgovor na ova pitanja pokušavajući uskladiti snažno suprotstavljene interese. Bonacci (2004.; 2015.) je analizirao razloge različitog sagledavanja izgradnje brana u prošlosti i sadašnjosti te je pokušao dati odgovore na razvoj ovog vrlo aktualnog, ali i kontraverznog procesa u budućnosti ukazujući na potrebu sveobuhvatnog i holističkog pristupa rješavanju ovog ključnog problema. Ukazao je na opasnosti generaliziranja problematike te istaknuo da svaka pojedina brana i akumulacija zahtijeva individualnu analizu.

U literaturi se može naići na vrlo različito tretiranje uloge i posljedica funkcioniranja brana i akumulacija. Muller (2019.) smatra da brane i njima formirane akumulacije mogu usporiti lokalne i regionalne klimatske promjene. Berga (2016.) se zalaže za izgradnju brana naglašavajući da hidroenergija predstavlja čist, obnovljiv i ekološki prihvatljiv izvor energije. Hidroenergija i klimatske promjene po njemu imaju interaktivan odnos pošto hidroenergija značajno pridonosi smanjenju emisije stakleničkih plinova te time utječe na ublažavanje globalnog zagrijavanja. Istovremeno, ublažavanje intenziteta porasta temperature zraka, utječe na veću raspoloživost vodnih resursa i time na sigurnost opskrbe električnom energijom i vodom za navodnjavanje. Moguće je naići i na potpuno suprotna mišljenja. Npr. Yaggi (2021.) tvrdi da hidroelektrane nisu rješenje za ublažavanje klimatske krize. Ovaj stav argumentira tvrdnjom da umjetne hidroenergetske akumulacije uzrokuju stvaranje značajnih količina metana.

Procijenjeno je da oko 80 % stakleničkih plinova koji se emitiraju iz umjetnih akumulacija predstavlja metan. Taj plin 86 puta snažnije utječe na globalno zagrijavanje od ugljičnog dioksida. Ocko i Hamburg (2019.) navode da brane i njima stvorene akumulacije proizvode metan koji se oslobađa kao produkt toga što se mikrobi hrane vegetacijom koja je potopljena umjetnom akumulacijom. Maeck i sur. (2013.) ukazuju da se produkcija metana u akumulacijama značajno povećava zbog zadržavanja nanosa u njima. Dokazano je da umjetni rezervoari hidroelektrana u prvim godinama njihovog formiranja mogu uzrokovati jače zagrijavanje nego elektrane na ugljen.

Stivari i sur. (2005.) su opisali utjecaj akumulacije Itaipu (Paragvaj) na regionalne i lokale klimatske prilike. Akumulacija površine 1460 km² (približno dužine 170 km, srednje širine 7.5 km), formirana je 1982. godine na rijeci Parani u blizini granice između Brazila i Paragvaja. Umjetno stvorena velika masa vode značajno je utjecala na lokalnu cirkulaciju zraka formiranjem horizontalnih vjetrova različitih smjerova tijekom dana i noći. Smanjila je dnevnu amplitudu temperatura zraka u široj regiji, ali nije utjecala na promjenu oborinskog režima.

Brane i akumulacije uzrokuju naglu promjenu prirodnih bioloških procesa nizvodno, ali i uzvodno na samom vodotoku kao i u širem okolnom prostoru. Nizvodno dolazi do drastičnog smanjenja transporta svih vrsta nanosa, hranjiva, sjemena, bioloških tvari, te sprječavanja migracije riba. Akumulacije, ovisno o njezinim svojstvima (prije svega volumenu vode i dubini vode u njoj) kao i načinu upravljanja, utječu na hidrološki i biološki režim, ali i na temperaturu vode i lokalnu ili regionalnu klimu (npr. Bonacci i Oskoruš, 2010.; Alho, 2011.; Dai i sur., 2011.; Palmeirim i sur., 2014. itd.).

Izgradnja brana uzrokuje negativne posljedice čije je dimenzije i vrijeme trajanja teško pouzdano procijeniti. Brane i akumulacije razaraju ekološki integritet rijeka na kojima su izgrađene (Richter i sur., 2003.). Hudek i sur. (2020.) upozoravaju na značajno negativni utjecaj izgradnje novih hidroelektrana na postojeću dosta zadovoljavajuću ekološku ravnotežu i bogatu biološku raznolikost u slivu Dunava na području jugoistočne Europe. Ukazuju da se odluke o izgradnji donose na osnovi nedovoljnog izučavanja rizika na okoliš. To je posljedica nedostatnog poznavanja stvarnog stanja hidroloških i bioloških karakteristika, tj. nepostojanja odgovarajućeg monitoringa. Lees i sur. (2016.) ističu da izgradnja novih brana u slivu Amazone ne vodi računa o negativnim posljedicama na okoliš planetarno najraznovrsnijeg i najsloženijeg slatkovodnog i kopnenog biološkog ekosustava. Dodatan problem vezan uz brane i akumulacije spada u društveno-političku sferu. Uglavnom se nedovoljno vodi računa o njihovom utjecaju na društveno-političku stabilnost regije.

Nastavno će, korištenjem brojne literature iz relevantnih znanstvenih časopisa, biti izneseno niz argumenata koji govore za ili protiv izgradnje i funkcioniranja dvije velike brane i akumulacije na rijeci

Nil. Naglasak će biti na analizama promjena koje je na rijeci Nil uzrokovala izgradnja Asuanske brane i formiranje akumulacije Naser/Nubia. Promjena hidrološkog režima ključni je čimbenik koji je utjecao na sve ostale geofizičko-ekološko-društvene procese. Nil je izabran jer je na promjenu njegovog hidrološkog režima od strane antropoloških zahvata do nedavno, ako ne jedino, a onda dominantno, utjecala izgradnja spomenute brane i formiranje akumulacije. Osim spomenute brane, na rijeci Plavi Nil u Etiopiji je 21. srpnja 2020. godine puštena u rad i velika etiopska brana Renesansa (*Grand Ethiopian Renaissance Dam-GERD*) ranije poznata kao Milenijska brana i ponekad nazivana brana Hidase. Radi se o gravitacijskoj brani čija je izgradnja započela 2. travnja 2011. godine. Brana se nalazi 45 km istočno od granice sa Sudanom. Njezina izgradnja i funkcioniranje izazvali su veliku zabrinutost u regiji, u nizvodno položenim državama Sudanu i Egiptu.

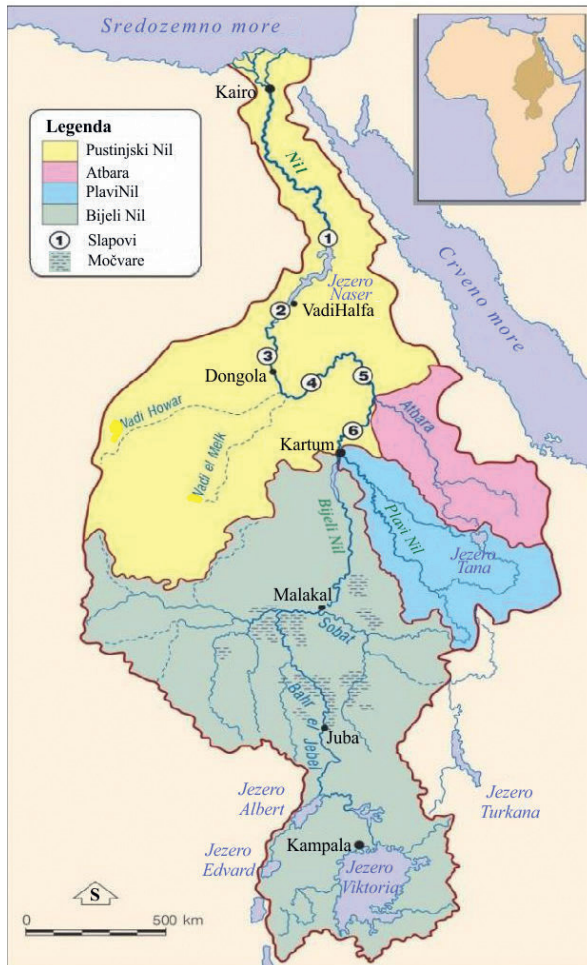
Osnovna namjera ovog rada je da širu stručnu javnost upozna s kompleksnom i kontraverznom problematikom utjecaja velikih brana i akumulacija, na primjeru velikog i planetarno značajnog vodotoka kao što je Nil. Naglasak će biti stavljen na utjecaj promjena hidrološkog režima koje su bitne za sve ostale aspekte kao što su ekologija, obrana od poplava, socijalne i političke posljedice itd.

2. RIJEKA NIL

Na [slici 1](#) (Woodward i sur., 2022.) prikazan je cijeli sliv rijeke Nil dok se na [slici 2](#) (Morsy i sur., 2021.) nalazi karta dijela sliva rijeke Nil s naznačenim položajima Asuanske brane (Egipat), Brane Jebel Aulia (Sudan) i brane Renesansa (Etiopija). Na [slici 3](#) ucrtani su uzdužni profili Nila i glavnih pritoka od izvora do ušća odmjerenom uzvodno i nizvodno od Asuanske brane (Morsy i sur., 2021.).

Sliv rijeke Nil prostire se područjem istočne i sjeverne Afrike, kroz 11 država: Tanzaniju, Ugandu, Demokratsku Republiku Kongo, Ruandu, Burundi, Etiopiju, Keniju, Eritreju, Južni Sudan, Sudan i Egipat. Podatci o površini sliva razlikuju se u literaturi, a kreću se od 2,87×10⁶ km² do 3,349×10⁶ km² (npr. Sharaf El Din, 1977.; Shahin, 1985.; Said, 1993.; Sutcliffe i Parks, 1999.; Roškar, 2000.; Dumont, 2009.; El-Shabrawy, 2009.; Link i sur., 2010.; El-Magd i Ali, 2012.; NBIS, 2014.; Moon i Hannachi, 2021.; Morsy i sur., 2021.; Woodward i sur., 2022. itd.). Nastavno će, pod pretpostavkom da su najpouzdaniji, biti korišteni podaci objavljeni u najnovijoj studiji (Woodward i sur., 2022.). U njoj je navedeno da ukupna površina sliva Nila iznosi 3,310×10⁶ km². Površina sliva Bijelog Nila u Kartumu je 1,730×10⁶ km² (52,3 % ukupne površine). Površina sliva Plavog Nila u Kartumu je 0,330×10⁶ km² (10,0 % ukupne površine). Površina sliva desnoobalnog pritoka Atbare iznosi 0,180×10⁶ km² (5,4 % ukupne površine). Donji tok Nila nazvan i Pustinjki Nil ima površinu od 1,070×10⁶ km² što predstavlja 32,3 % ukupne slivne površine (Woodward i sur., 2022.).

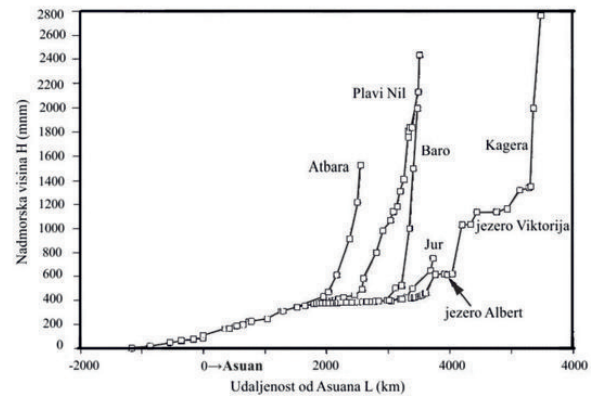
Sliv se prostire kroz ekstremno različite hidro-klimatske, ekološke i socio-ekonomske prostore i sustave.



Slika 1: Karta sliva Nila (prema Woodward i sur., 2022.)



Slika 2: Karta dijela sliva rijeke Nil s naznačenim položajima Asuanske brane (Egipat) i velike etiopske brane Renesansa (Etiopija) (prema Morsy i sur., 2021.)



Slika 3: Uzdužni profili Nila i glavnih pritoka od izvora do ušća odmjereni uzvodno i nizvodno od Asuanske brane (prema Morsy i sur., 2021.)

U izvornoj zoni Bijeli Nil protječe kroz tropsko područje ekvatorijalnih jezera, dok Plavi Nil istječe iz jezera Tana smještenog u Etiopskom gorju. Posljednjih oko 3000 km Nila (nastavno će se taj dio rijeke zvati Pustinjki Nil) protječe kroz manje više pustinsko područje. Prije utoka u Sredozemno more formira impresivnu deltu. Iz prostrane močvarne delte do Sredozemnog mora dopiju samo dva kraka Nila.

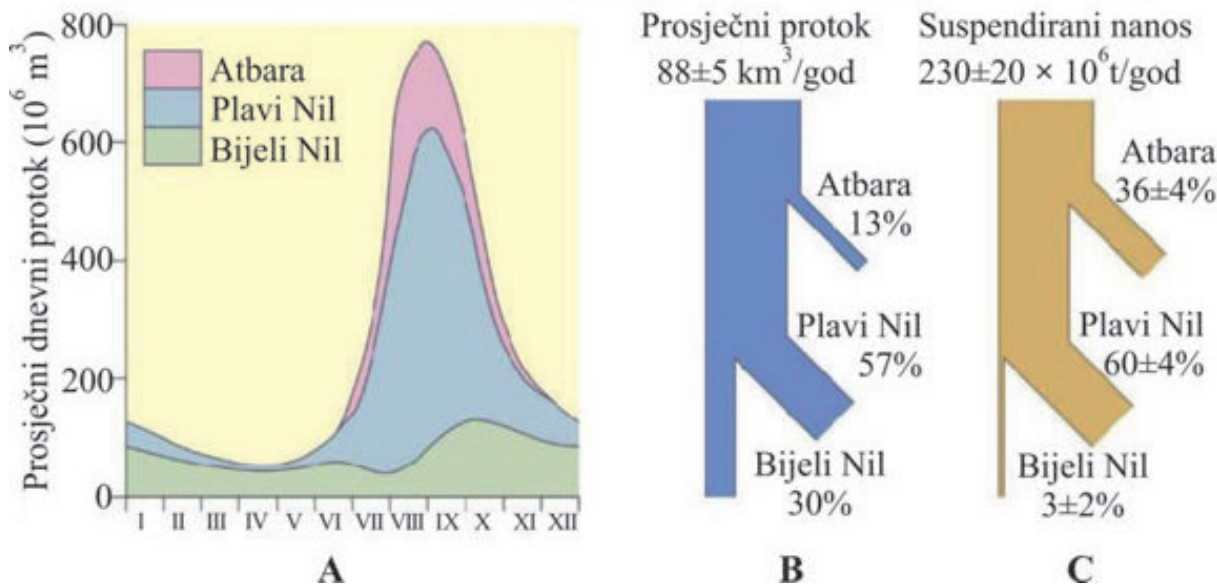
Zbog dužine toka od 6.650 km do nedavno se Nil smatrao najdužom rijekom na svijetu. Početkom 21. stoljeća brazilski geografi su otkrili jedan novi izvor Amazone zbog kojeg tvrde da je ova rijeka ima dužinu od 6.992 km, te stoga predstavlja najdužu rijeku na planetu. Rasprava o tome koja je najduža rijeka na planetu, Nil ili Amazona, još uvijek nije do kraja zaključena.

U slivu rijeke Nil živi više od 257 milijuna stanovnika što približno iznosi 20 % stanovništva Afrike, dok u samoj dolini Nila živi oko 160 milijuna ljudi.

Na slici 4A se nalazi grafički prikaz prosječnih dnevnih protoka Nila tijekom godine. Na slici 4B grafički su prikazane vrijednosti prosječnih godišnjih protoka Bijelog Nila, Plavog Nila i Atbare kao jedine značajnije pritoke u Pustinjki Nil nizvodno od Kartuma. Na slici 4C se nalazi grafički prikaz prosječnih godišnjih količina suspendiranog nanosa Bijelog Nila, Plavog Nila i Atbare. Podaci se odnose na stanje prije izgradnje Asuanske brane (Woodward i sur., 2022.). Pošto su podaci na slici 4B navedeni u km^3/god nastavno će biti prevedeni u m^3/s i kao takvi komentirani. Protok Nila na profilu Asuan u radu Woodward i sur. (2022.) procijenjen je na $2790 \pm 160 \text{ m}^3/\text{s}$. Od toga prosječni godišnji protok Bijelog Nila iznosi $836 \pm 48 \text{ m}^3/\text{s}$; Plavog Nila $1591 \pm 91 \text{ m}^3/\text{s}$, Atbre $363 \pm 21 \text{ m}^3/\text{s}$. Važno je naglasiti da je u drugim literaturnim izvorima moguće naići na dosta različite rezultate protoka Nila na raznim lokacijama.

Sa slike 4C na kojoj su prikazani prosječni godišnji donosi suspendiranog nanosa postaje razumljivo zašto lijevoobalni krak nosi naziv Bijeli Nil. On prosječno godišnje donosi oko 20 puta manje nanosa nego Plavi Nil čiji pravilno preveden arapski naziv ne znači Plavi nego Tamni Nil.

Izvor Bijelog Nila nalazi se na njegovom pritoku Kagera koji drenira planinske lance smještene u



Slika 4: Prosječni mjesečni protoci Nila (4A). Prosječni godišnji protoci Bijelog Nila, Plavog Nila i Atbare (4B). Prosječne godišnje količine suspendiranog nanosa Bijelog Nila, Plavog Nila i Atbare. Podaci se odnose na stanje prije izgradnje Asuanske brane. (prema Woodward i sur., 2022.)

Burundiju i Ruandi. Vode iz Kagere se ulijevaju u jezero Viktorija na nadmorskoj visini od oko 1134 m n.v. Izvor Bijelog Nila otkrio je 1866. godine Livingston. Istjecanje iz jezera Viktorija skoncentrirano je kroz jedan kanal koji vodu usmjerava preko niza malih slapova i brzaka na sjever do jezera Kyoga (Sutcliffe i Parks, 1999.). Iz slike 4A moguće je uočiti da je dotok vode Bijelog Nila uravnotežen tijekom cijele godine. Minimumi se javljaju tijekom srpnja dok maksimumi nastupaju tijekom listopada, a oni su prosječno oko 2,5 puta veći od minimalnih.

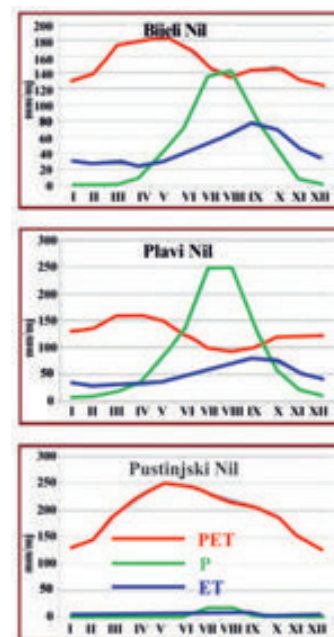
Bijeli je Nil 44 km uzvodno od Kartuma 1937. godine pregrađen branom Jebel Aulia visine 22 m, kojom je formirana akumulacija volumena $3,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Sustav prvenstveno služi za proizvodnju hidroenergije, ali se koristi i za druge svrhe (natapanje, opskrbu vodom Kartuma itd.). U vrijeme kada je bila izgrađena, predstavljala je najveću branu na svijetu. Nizvodno od Malakale (slika 1) na Bijelom Nilu i pritokama kao i u slivu izgrađeni su i brojni drugi hidrotehnički zahvati prvenstveno za potrebe navodnjavanja. Radi se o ogromnom broju uglavnom nekontroliranih zahvata koji su drastično utjecali na promjenu hidrološkog režima. Ovi su zahvati imali za posljedicu stalno i značajno opadanje protoka nizvodno od Malakale.

Plavi Nil nakon istjecanja iz jezera Tana (1843 m n.v.) teče oko 1400 km do Kartuma gdje se spaja s Bijelim Nilom. Zanimljivo je uočiti da Plavim Nilom dotječe prosječno godišnje oko 1,9 puta više vode nego Bijelim Nilom iako je površina sliva Bijelog Nila ($1,730 \times 10^6 \text{ km}^2$) čak 5,24 puta veća od površine sliva Plavog Nila ($0,330 \times 10^6 \text{ km}^2$). Osim toga, dotok vode Plavim Nilom mnogo snažnije varira tijekom godine nego dotok Bijelim Nilom što je jasno vidljivo na slici 4A. Prosječni dotoci su najniži u travnju. Najviši su u rujnu kada su u prosjeku oko 10 puta veći nego u travnju. Maksimalni godišnji protoci Plavog Nila kod Kartuma jako variraju od godine

do godine i kreću se od oko $3300 \text{ m}^3/\text{s}$ do oko $10.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sutcliffe i Parks, 1999.). Neophodno je napomenuti da je u raznim izvorima moguće naići na dosta različite podatke.

Razlog fenomena da s 5,24 puta veće površine sliva Bijelog Nila dotječe oko 1,9 puta manje vode nego s površine sliva Plavog Nila leži u značajno različitim karakteristikama klime, prije svega oborinskog režima i temperatura, ali i topografije terena. Oborine koje se izluče na Etiopskom gorju, u slivu Plavog Nila prosječno se godišnje kreću od 1200 mm do 1600 mm, dok na slivu Bijelog Nila prosječno godišnje rijetko prelaze 1000 mm. Temperature zraka na slivu Bijelog Nila više su od temperatura zraka na slivu Plavog Nila što uzrokuje veća isparavanja. Na slici 5 zelenom su bojom ucrtane prosječne mjesečne oborine (P), crvenom bojom

Slika 5: Prosječne mjesečne oborine, P (zeleno), potencijalna evapotranspiracija, PET (crveno), realna evapotranspiracija, ET na slivovima Bijelog, Plavog i Pustinskog Nila (prema NBIS, 2014.)



prosječne mjesečne potencijalne evapotranspiracije (PET), a modrom bojom prosječna mjesečna realna evapotranspiracija (ET) određene na slivovima Bijelog Nila, Plavog Nila i Pustinjskog Nila u razdoblju 2000. – 2012. (NBIS, 2014.). Potencijalna evapotranspiracija daleko je najveća na slivu Pustinjskog Nila, manja je na slivu Bijelog Nila, a na slivu Plavog Nila je najmanja. Međutim, realna evapotranspiracija, ET, najmanja je na slivu Pustinjskog Nila dok je na slivu Bijelog Nila veća nego na slivu Plavog Nila što je posljedica kako temperatura zraka tako i mnogobrojnih jezera i močvarnih područja u slivu Bijelog Nila iz kojih se isparavaju velike količine vode.

Najnižvodnija desnoobalna pritoka Pustinjskog Nila je rijeka Atbara čiji sliv ima površinu od $0,180 \times 10^6$ km². Rijeka Atbara, naziva se i Crni Nil, izvire oko 50 km sjeverno od jezera Tana. Zatim teče oko 805 km do utoka u Pustinjski Nil u sjevernom središnjem Sudanu. Protoci ekstremno variraju tijekom godine. Najniži su u ožujku kada na ušću u prosjeku teče samo 300 l/s. Najveći su u kolovozu kada prosječni protok iznosi oko 2000 m³/s. U razdoblju od ožujka do svibnja nerijetko se događa da Atbara presuši na ušću. To se osobito često događa u razdoblju od veljače do svibnja. Prvenstveno za potrebe navodnjavanja, ali i proizvodnju hidroenergije izgrađena je brana Khashm al-Qiurbah s akumulacijom volumena $1,3 \times 10^6$ m³.

Sa stanovišta razumijevanja hidrološko-hidrogeoloških procesa u slivu Nila i njihovog razvoja tijekom geološke prošlosti, važno je ukazati na fenomen Wadi Howar (slika 1) koji se naziva i Žuti Nil (Pachur i Kröpelin, 1987.). Terenska istraživanja povijesti klime vršena sredinom 20. stoljeća, u području istočne Sahare, našla su čvrste dokaze da je tijekom kvartara kroz danas pustinjско područje Gornje Nubije u sjevernom Sudanu tekla rijeka dužine oko 400 km koja se ulijevala u Pustinjski Nil (slika 1). U razdoblju od prije 9500 do između 3000 – 4500 godina ovaj je otvoreni vodotok protjecao kroz okoliš koji je bio karakteriziran brojnim izvorima, slatkovodnim jezerima i močvarama. Tijekom tog vremena, Wadi Howar je bio najizdašniji južni lijevoobalni prtok Pustinjskog Nila. U njemu je bila bujna vegetacija koja je omogućila život faune savana. U tim su prostorima živjeli brojni ljudi i pasla su brojna stada divljih i domaćih životinja. U to vrijeme južni rub Sahare bio je nekih 500 km sjevernije nego danas. Wadi Howar predstavlja jedan od najistaknutijih prirodnih fenomena istočne Sahare. Dana 18. srpnja 2001. proglašen je jednim od najvećih nacionalnih parkova na svijetu. Površina mu je 100×10^3 km².

3. ASUANSKA BRANA (EGIPAT) I AKUMULACIJA NASER/NUBIA

Asuanska brana (*Aswan Dam*) je nasuta brana visine 111 m, pregrađuje rijeku Nil u Egiptu (Ahmed, 1999.). Udaljena je od granice sa Sudanom zračnom linijom 218 km. Formirala je akumulaciju Naser/Nubia ($22^{\circ} 31' - 23^{\circ} 45' N$; $31^{\circ} 30' - 33^{\circ} 15' E$) čiji se najjužniji rub

prostire i unutar Sudana (slika 6). Volumen vode pune akumulacije Naser/Nubia iznosi 132 km³. Gubici vode iz akumulacije zbog isparavanja kreću se prosječno godišnje između 10 i 16 km³ što je oko 10 % ukupnog volumena vode u akumulaciji (Abd-El Monsef i sur., 2015.).

Najveća dubina akumulacije iznosi 130 m, a kapacitet preljeva je 11.000 m³/s. Najveća je nasuta brana na svijetu. Izgradnja je započela 9. siječnja 1960. godine, a završena je 21. srpnja 1970. godine. Službena inauguracija je održana 1971. godine. Pregrađivanje je završeno 1964. godine, ali je tek tijekom 1976. godine akumulacija bila zapunjena u cijelosti. Branom je formirano najduže umjetno jezero na svijetu dužine do 480 km. U Egiptu je akumulacija Naser duga oko 300 km dok mu je dužina u Sudanu oko 180 km i naziva se akumulacija Nubija ($20^{\circ} 27' - 22^{\circ} 00' N$; $30^{\circ} 35' - 31^{\circ} 14' E$) (Ali, 2006.). Dvije trećine južnog dijela akumulacije Nubija dužine oko 135 km su vrlo uske jer se voda akumulira u uskom kanjonu (Latif, 1984.).

Zanimljivo je napomenuti da je prva tzv. Mala ili Stara Asuanska zidana gravitaciona brana ($24^{\circ} 02' 02'' N$; $32^{\circ} 51' 57'' E$) visine 36 m i dužine 1960 m bila izgrađena u razdoblju od 1898. do 1902., te je svečano otvorena 10. prosinca 1902. Locirana je oko 6 km nizvodno od nove Velike Asuanske brane (Raslam i Salama, 2015.). Brana je potom nekoliko puta (1908., 1911., 1929. i 1934.) bila rekonstruirana i povećavana. Da bi se shvatile promjene u hidrološkom i ekološkom režimu Nila potrebno je napomenuti da su nizvodno od Asuanske brane tijekom 20. stoljeća, dakle prije njezine izgradnje, puštene u rad sljedeće tri brane i njima formirane akumulacije: (1) Esna 166 km nizvodno izgrađena je 1933.; (2) Nag-Hammadi 359 km nizvodno izgrađena je 1940.; (3) Assiut 539 km nizvodno izgrađena je 1926.



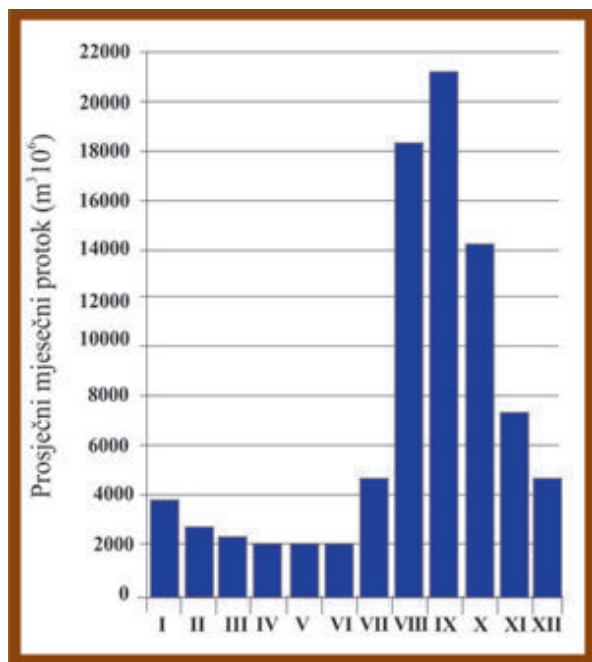
Slika 6: Karta akumulacije Naser s ucrtanim položajem jezera Toshka

Akumulacija Naser/Nubia dosegla je operacijsku razinu od 175 m n.v., sa 121×10^9 m³ akumulirane vode tijekom 1975. godine. Od ukupnog volumena $31,6 \times 10^9$ m³ predstavlja mrtvi prostor. Maksimalna razina vode u akumulaciji je 183 m n.v. Dno akumulacije kreće se između nadmorskih visina od 85 m do 150 m. Središnji dio je sličan riječnom toku. Na južnom rubu Nubijske pustinje voda se kreće brzinom između 100 cm/s i 150 cm/s. Brzina postepeno opada na 10 cm/s do 20 cm/s, i konačno na 0 cm/s do 3 cm/s. Srednja dubina vode u središnjem djelu akumulacije postepeno se povećava od 10 m na jugu do 70 m na sjeveru (El-Shabrawy, 2009.).

Na slici 7 prikazan je histogram prosječnih mjesečnih dotoka Nila u akumulaciju Naser kod Asuanske brane u razdoblju 1869. - 1992. (Sutcliffe i Parks, 1999.). Mjesečni dotoci nisu se statistički značajno mijenjali tijekom analiziranog razdoblja od 124 godine. Bitno je uočiti ogromnu varijabilnost dotoka tijekom godine. Najniži prosječni dotoci javljaju se u lipnju kada iznose 750 m³/s, dok se najveći javljaju u rujnu kada su čak 11,7 puta veći i prosječno iznose 8175 m³/s. Prosječni godišnji dotok u akumulaciju Naser kod Asuanske brane u razdoblju 1869. - 1992. iznosio je 2705 m³/s (Sutcliffe i Parks, 1999.).

Vodom iz akumulacije navodnjava se 33.600 km² poljoprivrednih površina u Egiptu i Sudanu. Osim toga služi za proizvodnju električne energije, kontrolu poplava te plovidbu. Egipat i Sudan sklopili su 1959. ugovor o raspodjeli voda iz akumulacije Naser kojim je Sudanu dozvoljeno godišnje korištenje 18,5 km³ vode iz nje.

Brana kao i njom stvorena akumulacija izazvale su kontraverze od samog početka i to u najrazličitijim aspektima; kako od onih inženjerskih i ekoloških tako i onih društveno političkih i financijskih.



Slika 7: Prosječne mjesečne vrijednosti dotoka Nila na lokaciji Asuan u razdoblju 1869. - 1992. (prema Sutcliffe i Parks, 1999.)

Brana je bila građena tijekom hladnog rata u razdoblju kad je Egipat odlučio nacionalizirati Sueski kanal. Zbog toga su vlade SAD-a i Velike Britanije kao i Svjetska banka odbile sufinancirati taj golemi i skupi projekt pa je u sufinanciranje te izgradnju ušao SSSR.

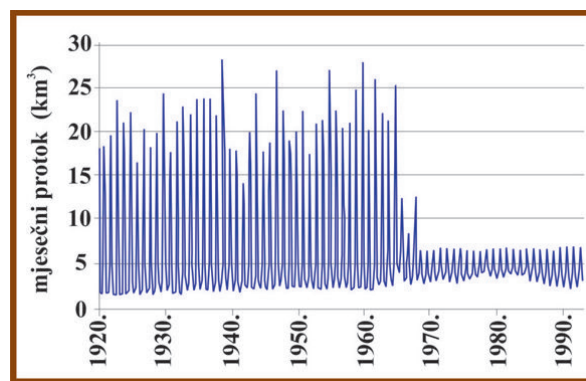
Bilo je potrebno raseliti više od 100 tisuća stanovnika, prvenstveno u području egipatskog i sudanskog dijela Nubije. Osim toga, potopljeni su brojni historijski spomenici. Zbog izgradnje Asuanske brane kipovi i hramovi na arheološkom lokalitetu Abu Simbel su od 1964. - 1969. godine preneseni 70 m više i 200 m dalje od izvornog položaja. Kompleksni postupak premještanja je organiziran pod patronatom UNESCO-a.

Ekolozi su tijekom planiranja ovog projekta ukazivali na brojne probleme koje će na prirodnu ravnotežu rijeke i sliva uzrokovati funkcioniranje tako velikog, ljudskim radom stvorenog sustava. Brojne od pretpostavki su se i ostvarile o čemu će nastavno biti više govora.

Rijeka Nil je u prirodnom režimu snabdijevala priobalne poljoprivredne terene plodnim muljem bitnim ne samo za poljoprivrednu proizvodnju već i razvoj akvatične flore i faune i za pružanje podrške prirodnoj biološkoj raznolikosti.

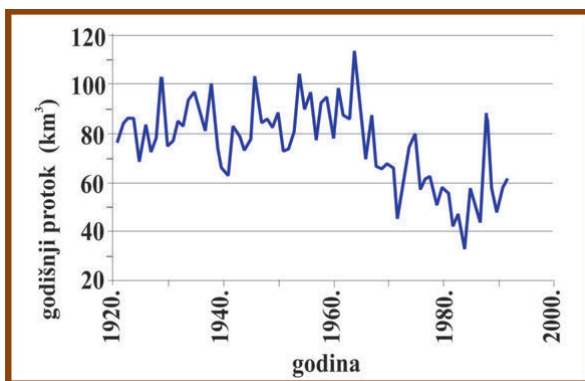
Prije izgradnje Asuanske brane, Nil je u istočni dio Sredozemnog mora, do otprilike 80 km od obale, unosio značajne količine nanosa i time utjecao na morfologiju i ekologiju tog dijela mora. Sharaf El Din (1977.) navodi da je tada u Mediteran godišnje uneseno od 60 do 180 milijuna tona sedimenata i od 18×10^9 m³ do 55×10^9 m³ slatke vode. Drastično i naglo smanjenje dotoka sedimenata utjecalo je na povećanje erozije u području delte i duž cijele obale (Syvitski i Saito, 2007.). Došlo je i do erozije dna korita Nila na cijelom potezu nizvodno od brane. Tijekom sezona poplava, od kolovoza do listopada, slanoća mora prije izgradnje brane na delti i širem prostoru mora snižavala se od 39 ppm na manje od 30 ppm što je igralo ključnu ulogu u biološkim procesima tog prostranog područja.

Na slici 8 prikazan je niz prosječnih mjesečnih protoka Nila nizvodno od Asuanske brane u razdoblju 1920. - 1992. (Sutcliffe i Parks, 1999.). Sa slike se jasno uočava drastična promjena hidrološkog režima uzrokovana izgradnjom brane, formiranjem akumulacije i



Slika 8: Srednji mjesečni protoci Nila nizvodno od Asuanske brane u razdoblju 1921. - 1992. (prema Sutcliffe i Parks, 1999.)

upravljanjem njezinim vodnim resursima. Očito je da je ta promjena utjecala i na sve ostale aspekte kako ekološke tako i društvene na nizvodnom dijelu toka i sliva. Neki su od njih bili pozitivni, ali su brojni bili negativni, a neki su dugoročni i još se i dalje intenziviraju. Na slici 9 ucrtan je niz srednjih godišnjih protoka Nila nizvodno od Asuanske brane u razdoblju 1920. – 1992. (Sutcliffe i Parks, 1999.). Sa slike je vidljivo da je izgradnja brane smanjila srednji protok Pustinjskog Nila nizvodno od brane. Treba uočiti da je npr. 1988. srednji godišnji protok bio na razini protoka koji su bili u vrijeme kada nije bilo brane. Može se zaključiti da su izgradnja brane i funkcioniranje akumulacije smanjili nizvodni protok Pustinjskog Nila u prosjeku između 25 % i 35 %.



Slika 9: Srednji godišnji protoci Nila nizvodno od Asuanske brane u razdoblju 1921. - 1992. (prema Sutcliffe i Parks, 1999.)

Formiranje umjetne akumulacije Naser/Nubia i upravljanje njenim vodnim resursima uzrokovalo je neočekivanu pojavu četiri jezera Toshka u prirodnom depresijama pustinje Sahara zapadno od korita Nila na udaljenosti od 50 do 170 km (slika 6). Jezera su se počela formirati u razdoblju od 1980. do 1990. kao posljedica odvođenja vode iz akumulacije umjetnim kanalom u pustinju. Kanal je izgrađen s ciljem da posluži za odvođenje velikih voda tijekom pojave naglih poplava. Uloga mu je obrana od poplava nizvodnih dijelova prostora oko akumulacije Naser. Velike poplave koje su se pojavile posljednjih desetljeća dvadesetog i početkom dvadesetprvog stoljeća uzrokovale su punjenje pustinjskih depresija i pojavu četiri Toshka jezera sljedećih volumena: 12,5 km³; 0,4 km³; 5,2 km³; 22,1 km³. Volumen vode u jezerima smanjuje se tijekom razdoblja niskih protoka Nila i ponovo raste s porastom njegovih protoka. Iako se u principu radi o pozitivnom procesu Abd Allah (2021.) upozorava na moguće negativne posljedice. Kako se jezera uglavnom prazne isparavanjem, postoji opasnost da se voda u njima zaslani te postane neupotrebljiva pa čak i štetna za okoliš.

Pozitivna je činjenica da je u prostoru pustinje na velikoj površini došlo ne samo do formiranja jezera nego i prostranih močvarnih područja oko njih. Očito je neophodno detaljno pratiti procese vezane uz ova jezera te pokušati osigurati njihov opstanak. To neće biti nimalo

jednostavan zadatak pošto količina vode u jezerima ovisi o višegodišnjoj fluktuaciji hidrološkog režima Nila. Razina vode u jezerima bila je najviša tijekom 2002. godine kao posljedica pojave nekoliko velikih poplava Nila tijekom prethodnih godina. Tijekom 2012. godine jezera su gotovo presušila jer su protoci Nila prethodnih godina bili niski (Abd Allah, 2021.). Tijekom 2018. godine jezera su gotovo presušila. Obilne ljetne oborine u Sudanu i Južnom Sudanu tijekom 2019. godine napunile su akumulaciju Naser/Nubia i omogućile ponovo punjenje Toshka jezera. Velike oborine koje su pale tijekom 2020. godine uzrokovale su da je razina vode u akumulaciji Naser/Nubia bila najviša u povijesti njezinog postojanja. Obilne kiše i njima izazvani dotoci Nila nastavili su se i 2021. godine pa su jezera Toshka te godine nadmašile razinu iz rekordne 2001. godine. Površine vodnih lica svih jezera Toshka u doba najviših vodostaja procijenjene su na oko 1300 km². Maksimalna razina vode u jezeru koje je najbliže akumulaciji Naser iznosi 175 m n.v., dok je u najudaljenijem niža i doseže visinu od 144 m n.v. Jezera sadrže impresivnu količinu riba koje su, kao i biljke koje se razvijaju u i oko njih, pod stalnim stresom zbog brzog isparavanja vode i snižavanja razine kao i povećanja slanosti vode.

Postojanje jezera slatke vode vratilo je život u ovaj dio pustinje. Omogućilo je navodnjavanje, tj. uvjete za stabilnu poljoprivrednu proizvodnju i naseljavanje ljudi. Namjera egipatske vlade je da se procesi navodnjavanja dalje razvijaju te da se potakne stanovništvo da se preseli u ovo područje i time smanji teško održiva brojnost stanovnika uz samu akumulaciju Naser.

Asuanska brana i njom formirana akumulacija Naser/Nubia drastično su i gotovo trenutačno utjecale na brojne prirodne i društvene procese u regionalnom mjerilu. Osobito se to odrazilo na promjene kvalitete vode, pojave poplava i transport nanosa. Nizvodno od brane došlo je do erozije dna korita i obala uzrokovanih promjenama hidrološkog režima (razine i brzine vode), a osobito je ugrožena stabilnost delte Nila u Sredozemno more (Hamza, 2009.).

Zbog zapunjavanja nanosom akumulacija Naser došlo je do prekida transporta nanosa nizvodno od Asuanske brane. Ovaj je nanos, bogat organskim materijalom, tisućljećima pridonosio plodnosti i kakvoći tla formirajući izvanredno plodni gornji sloj tla. Kako je on izostao zbog izgradnje brane, danas farmeri moraju koristiti velike količine umjetnih gnojiva. Kao posljedica korištenja umjetnih gnojiva došlo je do zaslanjivanja tla i potrebe povećanja natapanja da bi se isprale soli iz tla. Uočena je i povećana pojava raznih bolesti kao što je bilharzija.

Negativne posljedice osjećaju se i u ribarstvu. Došlo je do migracije određenih ribljih vrsta u Nilu i obalnim jezerima. Radi se o vrstama koje ovise o dotoku hranjiva iz poplavnih voda. Jedna vrsta srdela koja se rasplodivala u delti Nila gotovo je potpuno iščezla. Neke morske ribe koje su sezonski migrirale u deltu, nestale su (Hamza, 2014.).

Razina vode u akumulaciji Naser/Nubia uzrokovala je podizanje razine podzemne vode u okolici akumulacije i njezinu fluktuaciju u ovisnosti od fluktuacije vode u njoj. Zbog toga je bilo potrebno naći nove učinkovite postupke navodnjavanja i osobito odvodnjavanja. Zbog upotrebe umjetnih gnojiva došlo je do naglog i nekontroliranog razvoja korova u kanalima za navodnjavanje što je utjecalo na to da je u mnogim kanalima došlo do prekida tečenja. Održavanje funkcioniranja kanala za navodnjavanje postalo je mnogo složenije i skuplje.

Brojni autori su ukazali na činjenicu da je formiranje akumulacije Naser/Nubia uzrokovalo pojačanu seizmičnost u regiji što bi moglo utjecati na stabilnost okolnih rasjeda i same Asuanske brane (na pr. Selim i sur. 2002.; Gahalaut i Hassoup, 2012. itd.).

4. VELIKA ETIOPSKA BRANA RENESANSA

Kamen temeljac za veliku etiopsku branu Renesansa na Plavom Nilu (*Grand Ethiopian Renaissance Dam*), postavljen je 2. travnja 2011. Brana se nalazi 45 km istočno od granice sa Sudanom (slika 2). Njene geografske koordinate su: 11° 12' 55" N; 35° 05' 35" E. Cilj ovog megalomanskog projekta je prvenstveno proizvodnja 6,35 GW električne energije. Realizacijom projekta, poplaviti će se približno 1680 km² šume te raseliti oko 20.000 ljudi. Volumen vode akumulacije je 74 km³ od čega 14,8 km³ predstavlja mrtvi prostor. Površina vodnog lica pune akumulacije iznositi će 1874 km². Izgradnja ove brane izazvala je veliku i opravdanu polemiku između Etiopije, Sudana i Egipta. Ona će bitno utjecati na hidrološki režim nizvodnog djela Nila, a preko toga i na sve ostale aspekte života u te dvije nizvodno položene države čije gospodarstvo prvenstveno zavisi o Nilu (Morsy i sur., 2021.). Važno je naglasiti da Plavi Nil godišnje unosi oko 57 % vode u Pustinski Nil.

Brana dužine 1780 m, volumena 10,2×10⁶ m³ visoka je 145 m, a preliv se nalazi na nadmorskoj visini od 655 m n.v. Kapacitet prelijeva iznosi 14.700 m³/s. Temeljni ispušni se nalazi na koti 542 m n.v. Procijenjeno je da će se iz akumulacije prosječno godišnje isparavati oko 3 % od volumena dotoka koji iznosi 48,8 km³ (prosječni protok 1547 m³/s) (https://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Ethiopian_Renaissance_Dam). Neophodno je naglasiti da se podaci o protocima na svim dijelovima Nila značajno razlikuju u literaturi što ukazuje na još jedan nimalo bezopasan aspekt njihove izgradnje, upravljanja i funkcioniranja. Tome treba dodati činjenicu postojanja globalne promjene klime koja dodatno utječe na pouzdanost procjena rada ovih sustava.

Punjenje i pogon akumulacije Renesansa već izaziva, a u budućnosti će još više uzrokovati ogromne i bespovratne štetne utjecaje na okoliš i socijalne procese nizvodno. Doći će do blokiranja migracije riba, promjena ekosustava te kopnene flore i faune oko akumulacije. Kvaliteta vode će se pogoršati. Poseban problem u nizvodnom djelu Nila predstavljat će promjena hidrološkog režima. Zadržavanje vode u akumulaciji Renesansa utjecat će na daljnji proces prodora slane

morske vode u deltu Nila. Poseban problem moglo bi predstavljati ispuštanje valova velikih voda iz brane tijekom poplavnog razdoblja.

Proizvodnja hidroenergije iz velike etiopske brane i akumulacije Renesansa započela je 20. veljače 2022. Za potpuno punjenje akumulacije bit će potrebno nekoliko godina što ovisi o hidrološkim prilikama.

Morsy i sur. (2021.) navode sljedećih 12 potencijalno opasnih posljedica funkcioniranja ovog sustava na biološke, fizikalne i kemijske karakteristike rijeke i sliva: (1) gubitak prirodnih staništa uslijed plavljenja; (2) gubitak kopnenih prirodnih biljnih i životinjskih vrsta; (3) nedobrovoljno preseljavanje autohtonog stanovništva; (4) pogoršanje kvalitete vode; (5) drastične promjene nizvodnog hidrološkog režima; (6) intenziviranje bolesti vezanih uz stajaće vode; (7) negativni utjecaj na akvatične biljke i životinje, a osobito na ribarstvo; (8) pojava eutrofikacije i plivajuće akvatične vegetacije; (9) povećana produkcija stakleničkih plinova osobito tijekom prvih godina punjenja akumulacije; (10) utjecaj na Asuansku branu i akumulaciju Naser; (11) utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju.

5. ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

U procjenama koristi i šteta vezanih s izgradnjom velikih brana treba poći od činjenice da se one uvijek grade s namjerom da poboljšaju životne uvjete i zajednici donesu dobrobit i ekonomsku korist. Međutim, iskustvo je pokazalo i dokazalo da su utjecaji izgradnje i funkcioniranja velikih brana (kao uostalom i onih manjih brana) na okoliš i društvene procese, bez obzira zbog čega su građene, brojni i nerijetko s neočekivano negativnim posljedicama. Svaka brana prije svega blokira migraciju riba i sprječava neke vrste da dopru od svojih prirodnih staništa za mriještenje. To u konačnici uzrokuje izumiranje pojedinih ribljih vrsta često bitnih s ekonomskog i ekološkog stanovišta. Brane uzrokuju zaustavljanje sedimenata čineći pritom dvostruku štetu. Prirodni dotok hranjiva, sjemena, vrsta, staništa i niša itd. u nizvodni dio vodotoka je prekinut, a nanos zapunjava umjetnu akumulaciju smanjujući njen projektirani volumen i time utječući na njene projektirane funkcije. Nerijetko se dešava da nanos toliko zapuni akumulaciju da ona postane neupotrebljiva. Kvaliteta vode u akumulaciji uvijek je niža od one u prirodnom vodotoku. Međutim, tri prethodno spomenute negativne posljedice samo su dio nevolja koje mogu uzrokovati brane.

Yüksel (2009.) naglašava da je globalna debata oko izgradnje brana, osobito onih velikih, istovremeno ekstremno kompleksna i fundamentalno jednostavna. Ona uključuje ne samo tehničku problematiku (projektiranje, izgradnju i pogon) nego i cijeli niz socijalnih, okolišnih i političkih aspekata problema o kojima zavisi dugoročni razvoj i dobrobit ljudi i okoliša. Sve veće potrebe za energijom i vodom za poljoprivredu i industriju vrše golem pritisak na potrebu izgradnje brana i formiranje akumulacija. Realno je za očekivati da će se taj pritisak intenzivirati s porastom globalnog

zagrijavanja. Čovječanstvo se nalazi pred bizarnom dilemom. Ostaje otvoreno pitanje da li su brane i akumulacije preduvjet blagostanja ili uzroci katastrofa (Biswas, 2004.). Očito je da nema ni jednoznačnog niti jednostavnog odgovora. Svaki pojedini slučaj treba vrlo seriozno istražiti i tek onda donijeti zaključke. Kad se brana izgradi i akumulacija napuni, od bitnog je značaja sustavno, detaljno i kontinuirano pratiti procese koji se zbivaju na rijeci i slivu kako bi se moglo što učinkovitije i na vrijeme intervenirati kada se uoče negativni procesi. Sve to je lakše reći nego ostvariti u praksi, ali tom cilju treba težiti.

Slučaj Nila i izgradnje te funkcioniranje velikih brana na njemu od planetarnog je interesa. Jedan od vodećih svjetskih znanstvenih časopisa, koji se bave problematikom upravljanja međunarodnim (graničnim i prekograničnim) vodnim resursima *Water International* volumen 41(4) iz 2016. godine, bio je u cijelosti posvećen kontraverzama vezanim za izgradnju i funkcioniranje velike etiopske brane Renesansa. Naziv teme je bio: velika etiopska brana Renesansa: zakonski, politički i znanstveni izazovi (*The Grand Ethiopian Renaissance Dam: Legal, Political and Scientific Challenges*). U osam članaka diskutirana je ova intrigantna problematika. Opći je zaključak da nema sigurnih rješenja i da treba vrlo pažljivo pratiti procese koji će se dešavati u budućnosti (npr. Tawfik, 2016.; Wheller sur., 2016. itd.).

Vezano uz utjecaj velikih brana na Nilu na procese u istočnom dijelu Sredozemnog mora Link i sur. (2010.) inzistiraju na detaljnoj i što je moguće pouzdanijoj procjeni utjecaja globalnog zagrijavanja. Oni pretpostavljaju da bi posljedice mogle biti mnogo gore od danas očekivanih. Smatraju da je bitno shvatiti potencijalne rizike koji se mogu pojaviti kao posljedica globalnog zagrijavanja. Treba se pripremiti na intenziviranje procesa dezertifikacije, nedostataka vode za navodnjavanje i opskrbu domaćinstava, koji mogu potaknuti migracije stanovništva i etničke sukobe. Identifikacija rizika bitan

je preduvjet da se na vrijeme barem pokuša intervenirati i spriječiti moguće katastrofalne posljedice. Ključnu ulogu u tom procesu igraju države koje dijele vode Nila, ali one trebaju svekoliku i istinsku pomoć bogatih i razvijenih država koje bi također mogle osjetiti posljedice negativnih procesa.

U literaturi je moguće naići na različite pristupe kojima se pokušava kvalitativno, ali i kvantitativno te za duže razdoblje vremena, procijeniti stvarni učinak izgradnje brana na rijekama. Biro (1998.) opisuje i procjenjuje utjecaj na okoliš brane i hidroelektrane Kayraktepe (Turska) koristeći CVM (*Contingent Valuation Methodology*). Radi se o tehnici koja se široko koristi u procjeni netržišnih dobara. Koliko ona može biti od pomoći u konkretnom slučaju tek će se vidjeti.

U slučaju velikih brana (brana uopće) neophodno je zajednički tretirati kompleksnu interakciju prirodnih i društvenih čimbenika. Konceptualni okvir povezivanja brojnih i različitih ekoloških i socijalnih aspekata problematike mogao bi korisno poslužiti za holističku procjenu odnosa koristi i rizika. Leroy Poff i Hart (2002.) se zalažu za ekološku klasifikaciju brana kao bitan preduvjet za njihovu izgradnju, održavanje i/ili razgradnju. Očigledno je da se geoznanosti nalaze pred prekretnicom u kojoj je neophodno žurno naći odgovore na globalne, regionalne i lokalne izazove klimatskih promjena, opasnosti i rizike eksploatacije prirodnih resursa, prije svega vode kao ključnog čimbenika. Kompleksnost ove problematike zahtijeva interdisciplinarni pristup i suradnju sposobnu za sintetiziranje različitih znanja, metoda i postupaka.

ZAHVALA

Ovo istraživanje je djelomično sufinancirano kroz projekt KK.01.1.1.02.0027, koji je sufinanciran od strane Hrvatske Vlade i Europske Unije kroz „European Regional Development Fund – the Competitiveness and Cohesion Operational Programme.“

LITERATURA

- Abd-El Monsef, H.; Smith, S. E.; Darwish, K. (2015.): Impacts of the Aswan High Dam after 50 years. *Water Resources Management*, 29(6), 1873–1885. DOI:10.1007/s11269-015-0916-z.
- Abd Ellah, R. G. (2021.): Morphometric analysis of Toshka Lakes in Egypt: A succinct review of geographic information systems & remote sensing based technique. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 47(2), 215–22. DOI:10.1016/j.ejar.2021.05.005.
- Ahmed, T. A. (1999.): Role of the Aswan High Dam in promoting the Nile River System management, submission presented at the WCD Regional Consultation, Cairo, Egypt, 8–9 December 1999.
- Alho, C. J. (2011.): Environmental effects of hydropower reservoirs on wild mammals and freshwater turtles in Amazonia: a review. *Oecologia Australis*, 15(3), 593–604. DOI:10.4257/oeco.2011.1503.11.
- Ali, M. M. (2006.): Shoreline vegetation of Lake Nubia, Sudan. *Hydrobiologia* 570, 101–105. DOI:10.1007/s10750-006-0168-2.
- Berga, L. (2016.): The role of hydropower in climate change mitigation and adaptation: A review, *Engineering*, 2(3), 313–318. DOI:10.1016/J.ENG.2016.03.004.
- Biro, Y. E. K. (1998.): Valuation of the environmental impacts of the Kayraktepe dam/hydroelectric project, Turkey: An exercise in contingent valuation, *Ambio*, 27(3), 224–229. DOI: 10.2307/4314720.

- Biswas, A. K. (2004.): Dams: cornucopia or disaster? *International Journal of Water Resources Development*, 20(1), 3-14. DOI:10.1080/0790062032000170571.
- Bonacci, O. (2004.): Brane i akumulacije - preduvjet blagostanja ili uzroci katastrofa!? *Hrvatska Vodoprivreda*, XIII (139-140), 25-29.
- Bonacci, O. (2015.): Brane i akumulacije: jučer, danas, sutra. *Hrvatske Vode*, 23(91), 43-49.
- Bonacci, O.; Oskoruš, D. (2010.): The changes in the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime. *Environmental Earth Sciences*, 59(8), 1661-1670. DOI:10.1007/s12665-009-0148-8.
- Dai, Z.; Chu, A.; Stive, M.; Du, J.; Li, J. (2011.): Is the Three Gorges Dam the cause behind the extremely low suspended sediment discharge into the Yangtze (Changjiang) estuary of 2006? *Hydrological Sciences Journal*, 56(7), 1280-1288. DOI: 10.1080/02626667.2011.585136.
- Dumont, H. J. (2009.): *The Nile: origin, environments, limnology and human use*. Springer, Dordrecht, Netherlands. DOI:10.1007/978-1-4020-9726-3.
- El-Magd, I. H. A.; Ali, E. M. (2012.): Estimation of the evaporative losses from Lake Nasser, Egypt using optical satellite imagery. *International Journal of Digital Earth*, 5(2). 133-146. DOI:10.1080/17538947.2011.586442.
- El-Shabrawy, G. M. (2009.): Lake Nasser-Nubia. *The Nile. Monographiae Biologicae* 89. (ed. by H. J. Dumont), 125-155, Springer, Dordrecht, Netherlands. DOI:10.1007/978-1-4020-9726-3_7.
- Fearnside, P. M. (2016.): Tropical dams: to build or not to build? *Science*, 351(6272), 456-457. DOI:10.1126/science.351.6272.456-b.
- Gahalaut, K.; Hassoup, A. (2012.): Role of fluids in the earthquake occurrence around Aswan reservoir, Egypt. *Journal of Geophysical Research*, 117, B02303. DOI:10.1029/2011JB008796.
- Hamza, W. (2009.): The Nile Delta. *The Nile: Origin, environments, limnology and human use, Monographiae Biologicae* 89. (ed. by H. J. Dumont) 75-94. Springer, Dordrecht, Netherlands. DOI:10.1007/978-1-4020-9726-3_5.
- Hamza, W. (2014.): The Nile fish and fisheries. Biodiversity. (ed. by O. Grillo) DOI: 10.5772/57381.
- Hudek, H.; Žganec, K.; Pusch, M. T. (2020.): A review of hydropower dams in Southeast Europe – distribution, trends and availability of monitoring data using the example of a multinational Danube catchment subarea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109434. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109434.
- Latif, A. F. A. (1984.): Lake Nasser. The new man-made lake in Egypt (with reference to Lake Nubia). In (ed.), *Ecosystems of the World 32, Lakes and Reservoirs* (ur. F. B. T. El-Serveir) 385-416. Elsevier, Amsterdam.
- Lees, A. C.; Peres, C. A.; Fearnside, P. M.; Schneider, M.; Zuanon, J. A. S. (2016.): Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 25(3), 451-466. DOI:10.1007/s10531-016-1072-3.
- Leroy Poff, N.; Hart, D. D. (2002.): How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal: An ecological classification of dams is needed to characterize how the tremendous variation in the size, operational mode, age, and number of dams in a river. *BioScience*, 52(8), 659-668. DOI:10.1641/0006-3568(2002)052 0659:HDVAWI 2.0.CO;2.
- Link, P. M.; Piontek, F.; Scheffran, J.; Schilling, J. (2010.): Integrated assessment of climate security hot spots in the Mediterranean region: potential water conflicts in the Nile River Basin. *Workshop on Supplemental Ways for Improving International Stability (SWIIS 2010) Prishtina, Kosovo, October 27-29*.
- Maeck, A.; DelSontro, T.; McGinnis, D. F.; Fischer, H.; Flury, S.; Schmidt, M.; Fietzek, P.; Lorke, A. (2013.): Sediment trapping by dams creates methane emission hot spots. *Environmental Science and Technology*, 47(15), 8130-8137. DOI:10.1021/es4003907.
- Moon, W.; Hannachi, A. (2021.): River Nile discharge, the Pacific Ocean and world climate – a seasonal synchronization perspective. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 73(1), 1-12. DOI:10.1080/16000870.2021.1947551.
- Morsy, K. M.; Abdelatif, G.; Mostafa, M. K. (2021.): Comprehensive assessment for the potential environmental impacts of the Grand Ethiopian Renaissance Dam on the downstream countries: Itaipu Dam in the rearview mirror. *Air, Soil and Water Research* 14(1), 1-12. DOI:10.1177/11786221211041964.
- Muller, M. (2019.): Dams have the power to slow climate change. *Nature*, 566 (7744), 315-317. DOI:10.1038/d41586-019-00616-w.
- NBIS (Nile Basin Initiative Secretariat) (2014.): *Understanding Nile basin hydrology*. Nile Waters 01. <https://nilebasin.org/index.php/information-hub/technical-documents/24-understanding-the-nile-basin-hydrology/file> (posjet 1. veljače 2022.)
- Ocko, I. B.; Hamburg, S. P. (2019.): Climate impacts of hydropower: enormous differences among facilities and over time. *Environmental Science & Technology*, 53(23), 14070-14082. DOI:10.1021/acs.est.9b05083.
- Pachur, H. J.; Kröpelin, S. (1987.): Wadi Howar: paleoclimatic evidence from an extinct river system in the southeastern Sahara. *Science*, 237(4812), 298-300. DOI: 10.1126/science.237.4812.298.
- Palmeirim, A. F.; Peres, C. A.; Rosas, F. C. (2014.): Giant otter population responses to habitat expansion and degradation induced by a mega hydroelectric dam. *Biological Conservation*, 174, 30-38. DOI:10.1016/j.biocon.2014.03.015.
- Raslam, Y.; Salama, R. (2015.): Development of Nile River islands between Old Aswan Dam and new Esna barrages. *Water Science*, 29(1), 77-92. DOI: 10.1016/j.wsj.2015.03.003.
- Richter, B. D.; Mathews, R.; Harrison, D. L.; Wigington R. (2003.): Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13(1), 206-224.

- DOI:10.1890/10510761(2003)013_0206:ESWMMR 2.0.CO;2.
- Roškar, J. (2000.): Assessing the water resources potential of the Nile river based on data, available at the Nile forecasting center in Cairo. *Geografski Zbornik*, 40, 31-80.
- Said, R. (1993.): *The River Nile: Geology, Hydrology and Utilization*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- Selim, M. M.; Imoto, M.; Hurukawa, N. (2002.): Statistical investigation of reservoir-induced seismicity in Aswan area, Egypt. *Earth, Planets and Space*, 54(4), 349-356. DOI:10.1186/BF03352424.
- Shahin, M. (1985.): *Hydrology of the Nile Basin*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Sharaf El Din, S. H. (1977.): Effect of the Aswan High Dam on the Nile flood and on the estuarine and coastal circulation pattern along the Mediterranean Egyptian coast. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 194-207. DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0194.
- Stivari, S. M. S.; de Oliveira, A. P.; Soares, J. (2005.): On the climate impact of the local circulation in the Itaipu Lake area. *Climatic Change*, 72(1-2), 103-121. DOI:10.1007/s10584-005-5923-2.
- Sutcliffe, J. V.; Parks, Y. P. (1999.): *The hydrology of the Nile*. IAHS Special Publication no. 5. IAHS Press, Wallingford UK.
- Syvitski, J. P. M.; Saito, Y. (2007.): Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change*, 57(3), 261-282. DOI:10.1016/j.gloplacha.2006.12.001.
- Tawfik, R. (2016.): The Grand Ethiopian Renaissance Dam: a benefit-sharing project in the Eastern Nile? *Water International*. 41 (4): 574-592. DOI:10.1080/02508060.2016.1170397.
- Wheeler, K. G.; Basheer, M.; Mekonnen, Z. T.; Eltoun, S. O.; Mersha, A.; Abdo, M.; Zagana, A.; Hall, J. W.; Dadson, S. J. (2016.): Cooperative filling approaches for the Grand Ethiopian Renaissance Dam. *Water International*. 41 (4): 611-634. DOI:10.1080/02508060.2016.1177698.
- Woodward, J.; Macklin, M. G.; Krom, M. D.; Williams, M. A. J. (2022.): The River Nile: evolution, Quaternary river environment and material fluxes. *Large Rivers: Geomorphology and Management (2nd ed.)* (ed. by A. Gupta), 264-292, John Wiley & Sons, Hoboken, United States.
- Yaggi, M. (2021.) *Hydropower dams are not the solution to the climate crisis* <https://thehill.com/opinion/energy-environment/569586-hydropower-dams-are-not-the-solution-to-the-climate-crisis> (posjet 1. veljače 2022.)
- Yüksel, I. (2009.): Dams and hydropower for sustainable development. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 4(1), 100-110. DOI: 0.1080/15567240701425808.
- Zarfl, C.; Lumsdon, A. E.; Berlekamp, J.; Laura Tydecks, L.; Tockner, K. (2015.): A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77(1), 161-170. DOI:10.1007/s00027-014-0377-0. https://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Ethiopian_Renaissance_Dam