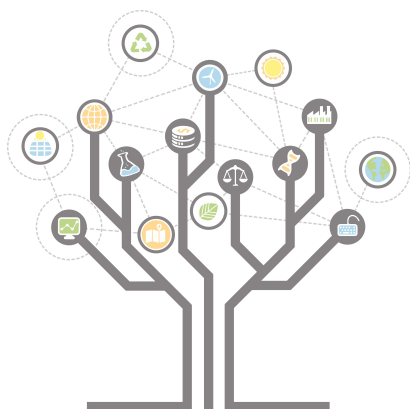


Muhar, Anamarija

2019

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:057861>

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering -
Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANAMARIJA MUHAR

HIDRAULIČKA I ENERGETSKA ODRŽIVOST NASELJA KORIŠTENJEM
OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

HIDRAULIČKA I ENERGETSKA ODRŽIVOST NASELJA KORIŠTENJEM
OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

KANDIDAT:

Anamarija Muhar

MENTOR:

doc.dr.sc. Bojan Đurin

VARAŽDIN, 2019.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: ANAMARIJA MUHAR
Matični broj: 200 - 2017./2018.
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

HIDRAULIČKA I ENERGETSKA ODRŽIVOST NASELJA KORIŠTENJEM
OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Obnovljivi izvori energije
3. Hidraulička i energetska održivost
4. Primjer grada Ogulina
5. Analiza dobivenih podataka
6. Zaključak
7. Literatura
8. Popis slika

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 18.03.2019.

Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:

Doc.dr.sc. Bojan Đurin



Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Hidraulička i energetska održivost naselja korištenjem obnovljivih izvora energije

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izraden pod mentorstvom **doc. dr. sc. Bojana Đurina**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 2.9.2019.

ANASTASIJA MUHAR

Anastasija Muhar
(Vlastoručni potpis)

Zahvala:

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru doc.dr.sc. Bojanu Đurinu na svim znanstvenim i stručnim savjetima, neograničenom strpljenju te velikoj moralnoj podršci i povjerenju, ne samo prilikom izrade ovog diplomskog rada, već na brojnim drugim radovima.

Želim zahvaliti Nikoli Kranjčiću mag.ing.geod.et geoinf. na nesebičnoj pomoći pri izradi diplomskog rada, a posebno tijekom terenskih ispitivanja.

Također, posebnu zahvalnost iskazujem svojoj obitelji, prijateljima i kolegama koji su mi bili najveća podrška tijekom studiranja.

Veliko HVALA svima!

HIDRAULIČKA I ENERGETSKA ODRŽIVOST NASELJA KORIŠTENJEM OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Anamarija Muhar

Sažetak

Obnovljivi izvori energije ključni su za razvoj i energetske neovisnost decentraliziranih područja. Istraživanjima korištenja obnovljivih izvora energije razvijaju se nova tehnička rješenja za rasterećenje elektroenergetske mreže te povećanje hidrauličke i energetske održivosti naselja. Upravo jedno takvo rješenje je hibridni sustav koji radi u kombinaciji obnovljivih izvora energije. U diplomskom radu prikazati će se koncept rada hibridnog sustava za proizvodnju električne energije koji proizvodi električnu energiju u kombinaciji male hidroelektrane i solarnog fotonaponskog sustava na hipotetskom primjeru dvije potencijalne lokacije na rijeci Gornjoj Dobri - Luke i Turkovići, nedaleko od grada Ogulina. Ovakav hibridni sustav osigurava proizvodnju električne energije tijekom cijele godine. Time se povećava hidraulička i energetska održivosti naselja koje se nalazi uz rijeku. Usprkos ogromnom potencijalu s obzirom na veliki broj raspoloživih vodotoka i raspoloživost Sunčevog zračenja, ovakav hibridni sustav još nije izgrađen u Hrvatskoj.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, hidraulička i energetska održivost, hibridni sustav, grad Ogulin, rijeka Gornja Dobra

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE.....	2
2.1 Energija vode.....	3
2.2 Energija Sunčevog zračenja	7
2.3 Energija vjetra.....	14
2.4 Geotermalna energija	19
2.5 Energija biomase.....	21
2.6 Energija oceana	24
3. HIDRAULIČKA I ENERGETSKA ODRŽIVOST NASELJA	26
4. PRIMJER GRADA OGULINA	28
5. ANALIZA DOBIVENIH PODATAKA	31
5.1 Hidrološki potencijal rijeke Gornja Dobra	37
5.2 Solarni potencijal	42
6. ZAKLJUČAK	46
7. LITERATURA	47
8. POPIS SLIKA.....	54
PRILOZI	57
PRILOG P1: Skice poprečnog presjeka korita na lokaciji Turkovići.....	58
PRILOG P2: Skice poprečnog presjeka korita na lokaciji Luke.....	64
PRILOG P3: Grafički prikaz krivulja trajanja protoka na lokaciji Turkovići za desetogodišnji vremenski period (2009. - 2018. godina).....	68
PRILOG P4: Grafički prikaz krivulja trajanja protoka na lokaciji Luke za desetogodišnji vremenski period (2009. - 2018. godina)	73

1. UVOD

Broj stanovnika na Zemlji ubrzano raste što prikazuje činjenica da je broj stanovnika 1900. godine iznosio 1,6 milijardi, a trenutno se približava 7 milijardi te ne namjerava stagnirati, već se očekuje da će 2050. godine biti 9 milijardi. Porast ljudske populacije zahtijeva veću potrebu za energijom, vodom i hranom. Stanovništvo napušta ruralna područja te naseljava urbane sredine upravo zbog životnih potreba. Urbane sredine pružaju bolju elektroenergetsku mrežu te bolju vodnu infrastrukturu. Trenutno u svijetu postoji 26 megapolisa u kojima živi više od deset milijuna stanovnika, 63 grada s više od pet milijuna stanovnika, 476 gradova s više od jedan milijun stanovnika te oko 1000 gradova s više od pola milijuna stanovnika [1]. Svijet svoje energetske potrebe zadovoljava korištenjem neobnovljivih izvora energije iz fosilnih goriva poput ugljena, nafte i prirodnog plina. Klimatske promjene ukazuju na posljedice korištenja fosilnih goriva i postavljaju pred čovječanstvo ključno pitanje opstanka i zadovoljavanja svih ljudskih potreba. Nestašica energije i vode dovela bi do katastrofalnih posljedica za čovječanstvo, stoga pažnju treba preusmjeriti na obnovljive izvore energije i sustave koji bi postigli ravnotežu između energije i vode te potrebe i potražnje. Trenutna tehnološka razvijenost korištenja obnovljivih izvora energije ne dopušta samostalnu upotrebu već zahtijeva korištenje fosilnih goriva. S obzirom na takve činjenice, rješenje predstavljaju novi sustavi i nove metodologije dimenzioniranja sustava proizvodnje električne energije [2].

Ključ ravnoteže za zadovoljavanje dovoljne količine energije i vode nalazi se u hidrauličkoj i energetskej održivosti u naseljima. Cilj ovog diplomskog rada bio je prikazati veličinu potencijalnog hibridnog sustava koji se tek planira projektirati i izgraditi, a koji radi u kombinaciji male hidroelektrane i solarnog fotonaponskog sustava na rijeci Gornjoj Dobri. Učinkovitost sustava bit će prikazana na stvarnim lokacijama rijeke Gornje Dobre, Luke i Turkovići.

2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije nastaju prirodnim procesom, posjeduju sposobnost stalnog obnavljanja i ogroman potencijal. Alternativni ili obnovljivi izvori energije predstavljaju resurse koji u velikoj mjeri moraju zamijeniti konvencionalna obnovljiva fosilna goriva [3]. Okolišni, socijalni, ekonomski i tehnički čimbenici utjecali su na brzi razvoj metoda i tehnologija korištenja obnovljivih izvora energije u svrhu proizvodnje električne energije. Obnovljivi izvori energije su neiscrpni, što dovodi do razvoja novih procesa i tehnologija u svrhu proizvodnje električne energije [4].

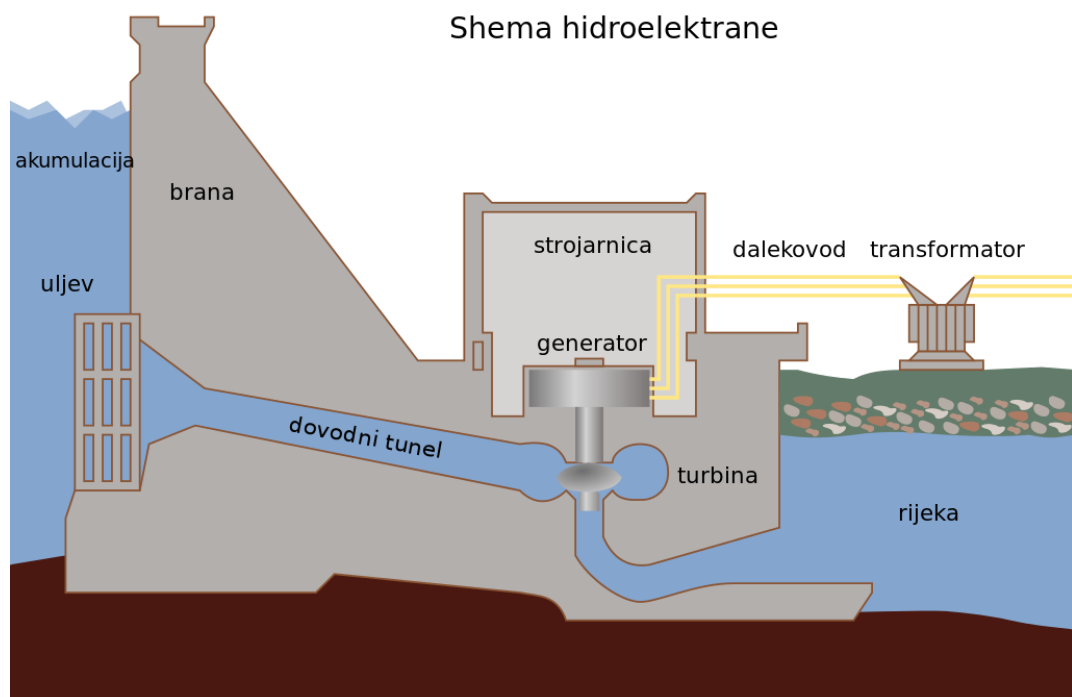
Desetogodišnja strategija Europske Unije Europa 2020 [5] predlaže pet smjernica za pametan, održiv i uključujući rast. Osim društvenih i ekonomskih ciljeva, Strategija kao glavni cilj uključuje: smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20% s obzirom na razine iz 1990. godine ili za 30% ukoliko to uvjeti dozvoljavaju, povećanje udjela obnovljivih izvora energije u konačnoj potrošnji energije na 20% te postizanje povećanja od 20% u energetske učinkovitosti. Direktiva pod nazivom “Čista energija za sve Europljane” (*Clean Energy for all Europeans*) obuhvaća novi regulativni okvir za Europu 2030 koji uključuje dva obvezujuća cilja: korištenje obnovljivih izvora energije od najmanje 32% i energetske učinkovitost od najmanje 32,5% [6].

Obnovljivi izvori energije mogu se podijeliti u šest kategorija [4]:

- energije vode
- energije Sunčevog zračenja
- energija vjetra
- geotermalna energija
- energija biomase
- energija oceana

2.1 Energija vode

Prije više od 2000 godina, stari Grci koristili su vodenu snagu za pokretanje kotača prilikom mljevenja žita. Danas se energija dobivena iz vode naziva hidroenergija te predstavlja najveći izvor za proizvodnju električne energije u svijetu dobiven iz obnovljivih izvora [7]. Postrojenja u kojima se energija vode pretvara u električnu energiju nazivaju se hidroelektrane. Hidroelektrane proizvode oko 16% svjetske električne energije i preko 1 200 GW instalirane snage [8]. Osnovni princip rada hidroelektrane je korištenje vode za pokretanje turbina, odnosno pretvaranje potencijalne energije vode u mehaničku energiju vrtnje rotora, a zatim u električnu energiju u generatoru, slika 1. Ovisno o neto padu vode, razlici između zahvata i turbine određuje se snaga hidroelektrane [9].



Slika 1. Osnovni princip rada hidroelektrane

Hidroelektrane imaju nekoliko podjela i to [10]:

Prema načinu korištenja vode:

- akumulacijske
- protočne
- reverzibilne ili crpno-akumulacijske.

Prema visini pada vodotoka, odnosno prema neto visinskoj razlici:

- niskotlačne
- srednjetlačne
- visokotlačne.

Prema udaljenosti strojarnice od brane:

- pribranske
- derivacijske.

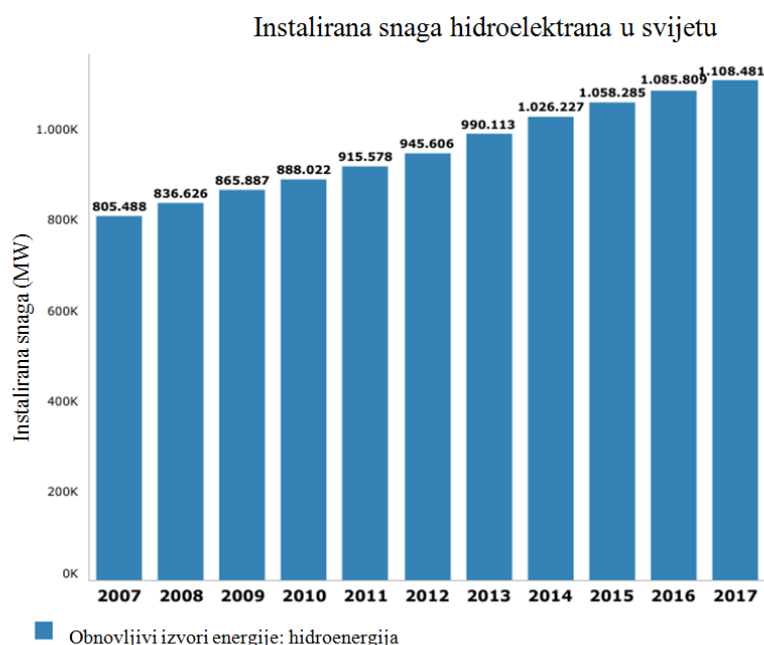
Osnovni dijelovi hidroelektrane:

- brana ili pregrada
- zahvat vode
- dovod vode
- vodostan ili vodena komora
- tlačni cjevovod
- vodene turbine
- generator
- strojarnica
- rasklopno postrojenje
- odvod vode.

Energija dobivena iz vode je „zrela“ tehnologija, ali se i dalje razvija. Akumulacijske i crpno-akumulacijske hidroelektrane posebno su pogodne za pružanje fleksibilnosti sustava, dok su protočne hidroelektrane promjenjive u skladu s trenutnim ili sezonskim vremenskim uvjetima. Akumulacijske hidroelektrane koriste spremljenu vodu u akumulacijama, čime se osigurava sigurnost proizvodnje električne energije bez ovisnosti o varijabilnosti priljeva. Izrazito velike akumulacije mogu zadržavati mjesecima ili čak godinama prosječni dotok, a također pružaju zaštitu od poplava i mogućnost navodnjavanja. Crpno-akumulacijske hidroelektrane koriste vodu koja se crpi iz donje akumulacije u gornju akumulaciju kada opskrba električnom energijom premašuje potražnju ili se može generirati uz niske troškove. Kada potražnja premaši trenutnu proizvodnju električne energije, a energija ima visoku vrijednost, ispušta se

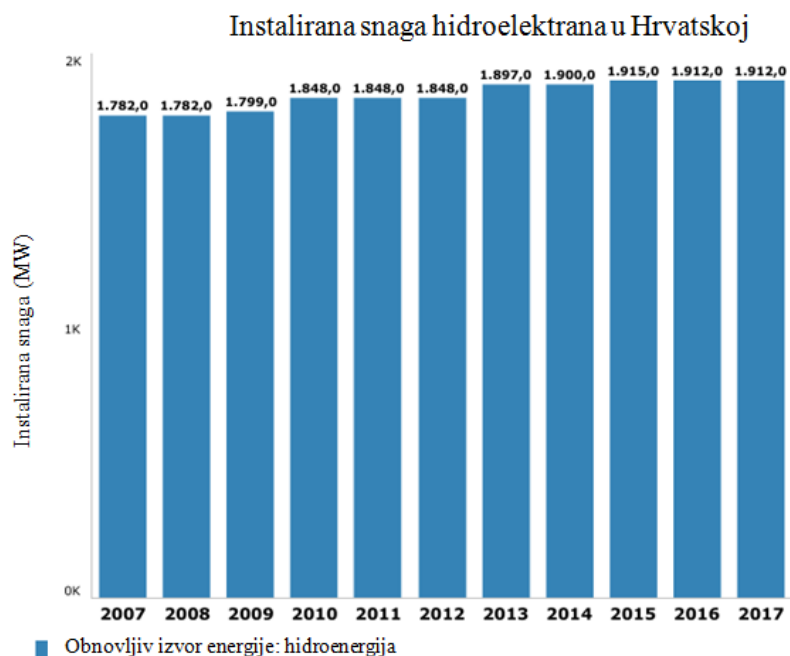
voda koja se vraća iz gornje akumulacije kroz turbine radi proizvodnje električne energije. Crpna skladišta trenutno predstavljaju 99% skladištenja električne energije na mreži. Protočne hidroelektrane koriste energiju za proizvodnju električne energije uglavnom iz raspoloživog protoka rijeke te imaju značajne sezonske i godišnje varijacije [8]. Korištenjem protočnih hidroelektrana uređuju se vodotoci te smanjuje rizik od poplava. Takve hidroelektrane nemaju izgrađene brane i akumulacije što ukazuje na minimalni utjecaj na okoliš. Iz tog razloga mnogi inženjeri smatraju korištenje protočne hidroelektrane ekološki najprihvatljivijom opcijom proizvodnje električne energije [7].

Promatrajući vremenski period od deset godina (2007.-2017.) na razini cijeloga svijeta, evidentno je povećanje korištenja obnovljivih izvora energije, pogotovo energije dobivene iz vode. Hidroelektrane su 2007. godine proizvele 837,034 MW dok 2017. godine instalirana snaga iznosi 1 153, 991 MW. Trend porasta instalirane snage u svijetu prikazan je na slici 2. [7].



Slika 2. Grafički prikaz instalirane snage hidroelektrana u svijetu

U Republici Hrvatskoj razvoj hidroelektrana također je doživio rast, slika 3. Hrvatska ima ogroman potencijal u iskorištavanju energije vode s obzirom na veliki broj raspoloživih vodotokova.



Slika 3. Prikaz instalirane snage hidroelektrana u Hrvatskoj [5]

Velike hidroelektrane u znatnoj mjeri već su ispunile svoje kapacitete stoga treba razvijati sustave za proizvodnju električne energije dobivene iz manjih vodotoka.

Male hidroelektrane podrazumijevaju hidroenergetsko postrojenje koje ima instaliranu snagu manju od 10 MW. Mikro hidroelektrane, također se ubrajaju u male hidroelektrane iako je njihova instalirana snaga do 100 kW. Decentralizirana područja, posebno naselja u gradovima kojima se u blizini nalazi rijeka s hidrološkim potencijalom idealna su za projektiranje malih hidroelektrana. Takvi sustavi iskorištavaju potencijal rijeke, odnosno snagu riječnog toka. Princip rada u potpunosti je isti kao kod velikih hidroelektrana, kinetička energija najprije se pretvara u mehaničku energiju u turbini te potom u električnu energiju u generatoru. Male hidroelektrane mogu biti projektirane na rijekama s malim ili velikim padom, ne stvaraju velike

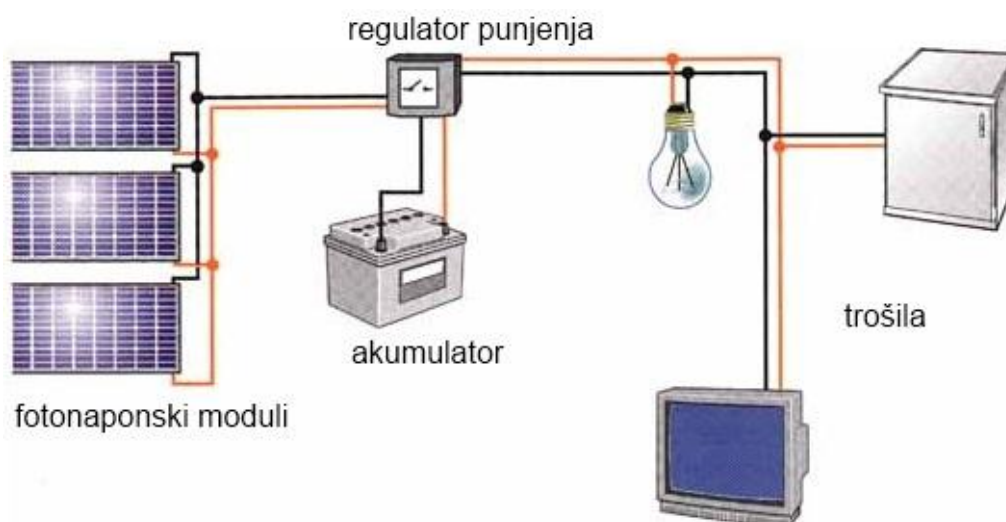
akumulacije koje imaju znatan utjecaj na okoliš, povećavaju stupanj zaštite od poplava samom regulacijom rijeke te koriste riblji prolaz kako bi bile ekološki prihvatljivije[11].

2.2 Energija Sunčevog zračenja

Solarna energija ili energija Sunčevog zračenja koristi se širom svijeta i sve je popularnija tehnologija za proizvodnju električne energije [12]. Promatranjem energija Sunčevog zračenja u središte opažanja stavlja se središnja zvijezda Sunčevog sustava Sunce. Bitna činjenica jest da energija sa Sunca na Zemlju dolazi u obliku Sunčevog zračenja. Nuklearna reakcija odvija se u unutrašnjosti Sunca. Procesom koji ima naziv fuzija vodik se pretvara u helij, pri čemu se oslobađa velika količina energije. Najpoznatiji oblik korištenja Sunčeve energije te ujedno i prvi je dobivanje vatre [13]. Energija Sunčevog zračenja pretvara sunčevu svjetlost u oblik korisne energije. Solarni fotonaponski sustavi, solarna toplinska energija, solarno grijanje i hlađenje poznate su solarne tehnologije. Trenutno solarna energija ima najnižu cijenu kao izvor energije u mnogim svjetskim područjima. Investitori, donositelji odluka i potrošači sve više cijene prednosti čistog, fleksibilnog i jeftinog solarnog sustava. S obzirom na navedeno energija Sunčevog zračenja postala je najpopularniji svjetski obnovljivi izvor energije. U 2017. godini više je solarne energije instalirano, nego fosilnih goriva i nuklearnih izvora zajedno. Također, proizvodi se dvostruko više instalirane snage iz solarne energije, nego iz energije vjetra [14]. *Bloomberg NEF* u dokumentu pod nazivom *Energy Outlook 2018*, predviđa 87% proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije do 2050. godine u Europi, među kojima će 1,4 TW instalirane snage biti iz solarnih sustava i doprinositi 36% od ukupne proizvodnje energije [15].

Jedan od osnovnih principa direktnog iskorištavanja energije iz Sunčevog zračenja je solarni fotonaponski sustav. Solarne ćelije pretvaraju sunčevu svjetlost direktno u električnu energiju te su napravljene od poluvodičkih materijala. Kada svjetlosna energija dođe do solarnih ćelija elektroni se oslobode od atoma u poluvodičkom materijalu. Ovakvim procesom pretvaranja energije dolazi do fotonaponskog efekta [16].

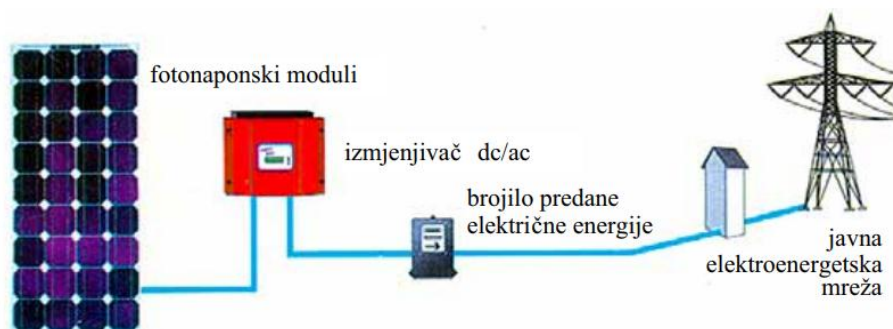
Solarni fotonaponski sustav može se podijeliti na dva osnovna dijela. Prvi je solarni fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu, vrlo često nazvani samostalni sustavi. Upravo takvi sustavi mogu, ali i ne moraju imati pohranu energije, ovisno o vrsti primjene i načinu potrošnje energije. Samostalni solarni fotonaponski sustav prikazan je na slici 4.[17].



Slika 4. Prikaz samostalnog solarnog fotonaponskog sustava

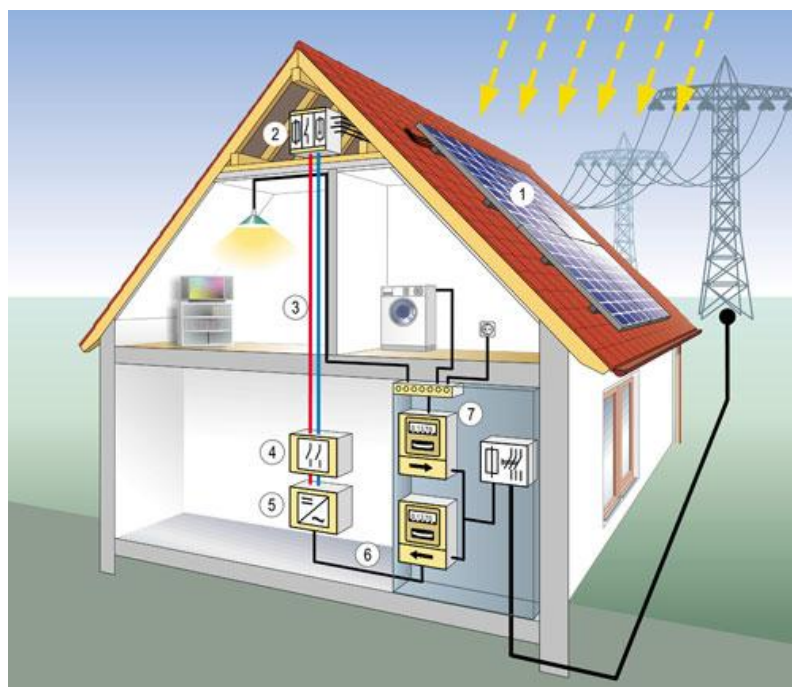
Samostalni fotonaponski sustavi pretvaraju Sunčevo zračenje u električnu energiju u solarnoj ćeliji, dok se u akumulatoru odvija reverzibilni elektrokemijski proces pretvorbe, povezan s punjenjem i pražnjenjem akumulatora.

Drugi fotonaponski sustavi priključeni su izravno na javnu elektroenergetsku mrežu ili su priključeni preko kućne instalacije na javnu elektroenergetsku mrežu. Solarni fotonaponski sustavi koji su izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ne moraju biti ugrađeni samo na građevinama, već mogu biti na slobodnoj površini u blizini elektroenergetske mreže. Takvi sustavi imaju veću snagu i instaliraju se na većim površinama, slika 5.[17].



Slika 5. Solarni fotonaponski sustav izravno priključen na javnu elektroenergetsku mrežu

Solarni fotonaponski sustavi koji nisu direktno priključeni na elektroenergetsku mrežu već su spojeni preko kućne instalacije pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije. Takvi sustavi omogućavaju povezivanje distribuiranih sustava na centralizirane, uglavnom su takvi sustavi priključeni na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava, slika 6.[17].



Slika 6. Solarni fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije

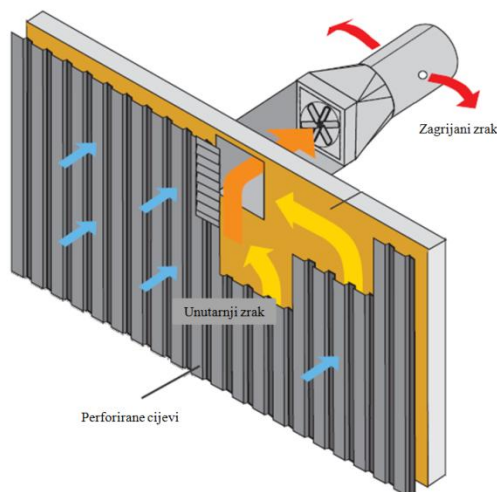
Osnovni dijelovi ovakvog sustava su:

1. fotonaponski moduli
2. razdjelni ormarić

3. kabel istosmjernog razvoda
4. glavna sklopka
5. solarni izmjenjivači
6. kabel izmjeničnog razvoda
7. brojilo električne energije.

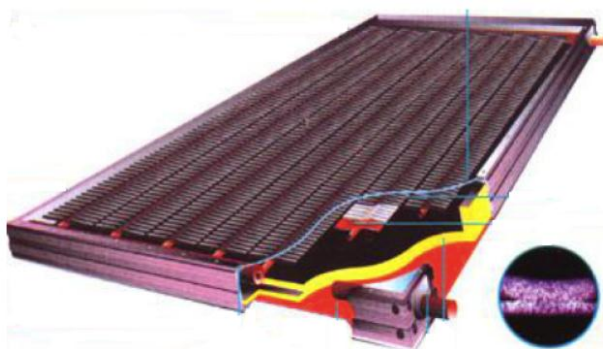
Važna činjenica ovakvog sustav je napajanje trošila u obiteljskoj kući, a višak električne energije odlazi u elektrodistribucijsku mrežu [17].

Solarna toplinska energija podrazumijeva korištenje Sunčevog zračenja za zagrijavanje objekta, dobivanje tople vode te u današnje vrijeme korištenjem u rashladnim uređajima. Također, primjena se dijeli na pasivnu i aktivnu. Pasivna primjena obuhvaća pasivnu gradnju stambenih jedinica ili objekata koje se tijekom zimskih perioda više zagrijavaju, a tijekom ljetnih mjeseci manje. Kako bi pasivna primjena bila što efikasnija, rješenje predstavlja nadstrešnica postavljena na južnom dijelu objekta koja u ljetnim mjesecima sprječava direktno zagrijavanje unutrašnjosti objekta. Dodatne komponente u pasivnoj gradnji obuhvaćaju: dobru izolaciju, odgovarajuću izvedbu prozora, dodatni izvori svjetla. Prilikom pasivne primjene potrebno je voditi računa o raslinju oko objekta, zbog stvaranja sjene tijekom ljeta te stvaranja zaklona od vjetra tijekom zime. Aktivna primjena solarne toplinske energije podrazumijeva korištenje toplinskih kolektora. Toplinski reaktori su isplativiji od pasivne gradnje te mogu koristiti zrak ili vodu kao radni medij. Nadalje, dijele se prema temperaturi koju postiže radni medij na: niske, srednje i visoke temperaturne primjene. Nisko temperaturni kolektori su najjednostavniji te se koriste za grijanje bazena ili industrijskih objekata, najbolje djelovanje postižu na temperaturi oko 10 °C iznad okolišne, slika 7. [18].



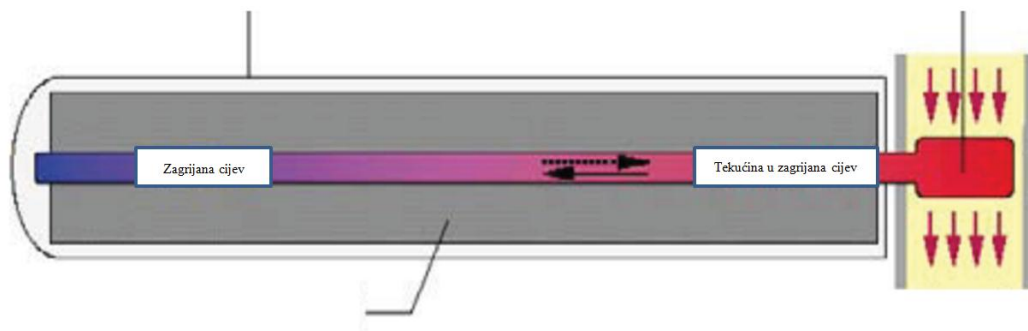
Slika 7. Prikaz toplinskog kolektora za nisku temperaturu

Srednje temperaturni kolektori sadržavaju pokrov od stakla te posebne premaze za učinkovitiju apsorpciju uz minimalnu emisiju. Ovakav sustav koristi se za grijanje stambenih jedinica ili objekata i grijanje tople vode. Najbolji stupanj djelovanja kolektori postižu ukoliko je temperatura medija do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznad okolišne temperature. Na slici 8 prikazan je kolektor za srednju temperaturnu primjenu [18].



Slika 8. Prikaz toplinskog kolektora za srednju temperaturu

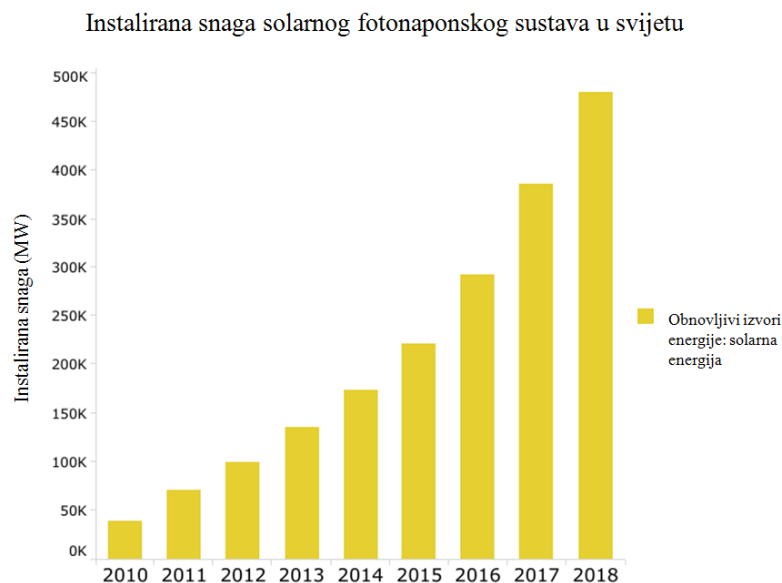
Visoko temperaturni kolektori predstavljaju najsloženije kolektore. Upravo takvi kolektori podrazumijevaju korištenje vakumirane staklene cijevi i dobru izolaciju. Najveća prednost je omogućavanje korištenja topline iznad $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, a u posebnim slučajevima i iznad $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, slika 9. [18].



Slika 9. Prikaz presjeka evakuirane staklene cijevi kolektora za visoku temperaturu

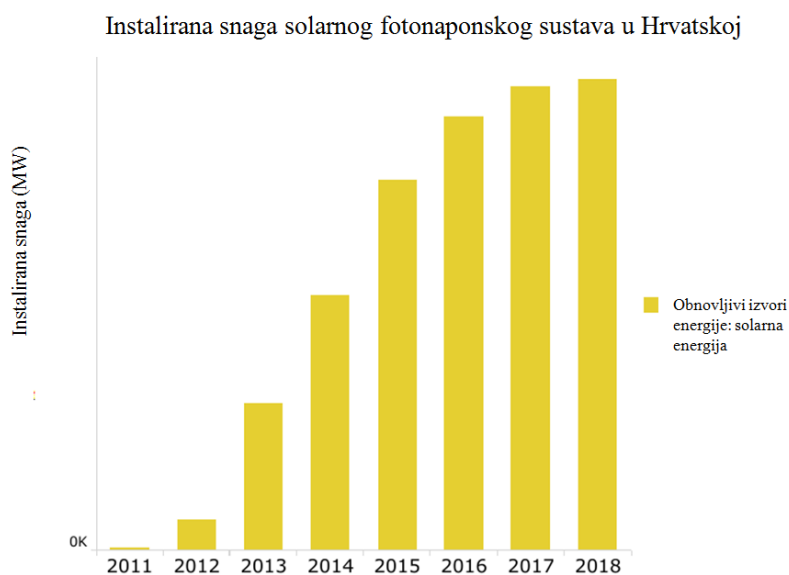
Solarna toplinska energija koja se koristi za solarno hlađenje funkcionira na principu zamjene kompresora koji koristi električnu energiju za pokretanje. Pri tome medij preuzima toplinu s vrlo niskom točkom vrelišta. Dijelovi uređaja su: bojler, kondenzator, evaporator te apsorber [18]. Na kraju 2017. godine instalirana snaga iz postrojenja za solarne termalne energije iznosila je 472 GW termalnog kapaciteta u svijetu. Godišnje instalirane snage smanjile su se za 9 %, uglavnom zbog pada proizvodnje u Kini [19].

Promatrajući instaliranu snagu solarnih fotonaponskih sustava u svijetu u razdoblju od 2010. do 2018. godine, postignut je znatan napredak. Instalirana snaga iznosila je 39,603 MW dok je već prošle godine zabilježeno 480,357 MW, slika 10.[12]



Slika 10. Prikaz instalirane snage solarnog fotonaponskog sustava u svijetu

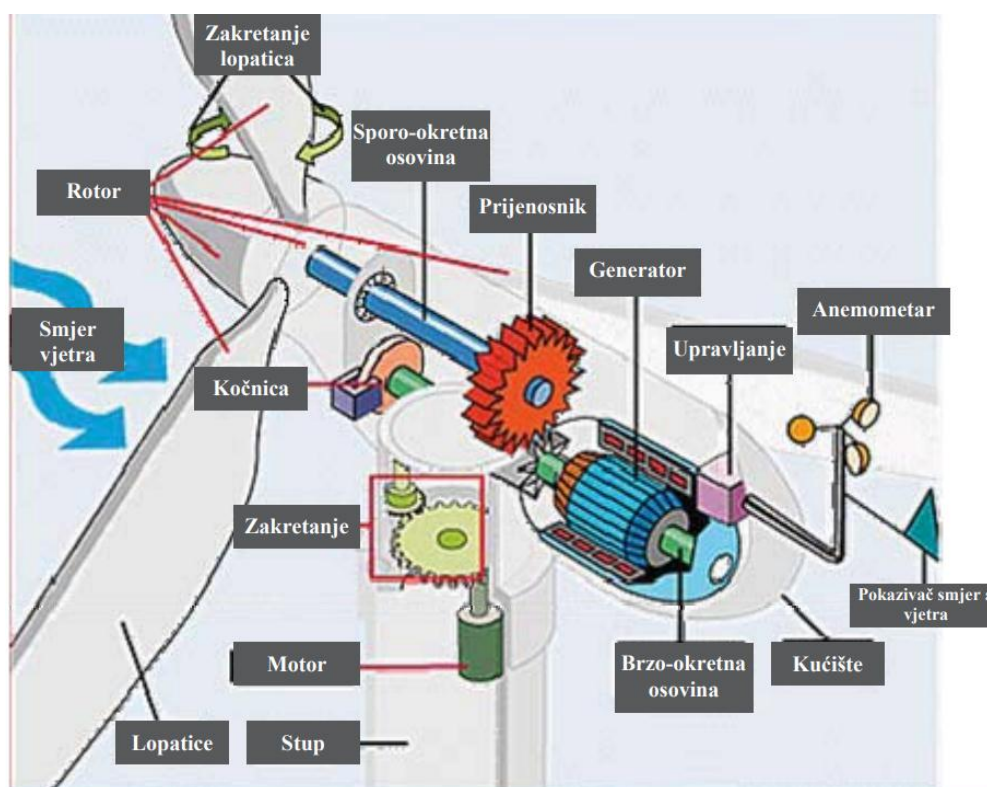
Promatrajući vremenski period od 2011. do 2018. godine u Republici Hrvatskoj također je zabilježen porast instalirane snage iz solarnih fotonaponskih sustava. Zabilježena instalirana snaga bila je 0,30 MW dok 2018. godine iznosi 61 MW, slika 11. [12].



Slika 11. Prikaz instalirane snage solarnog fotonaponskog sustava u Hrvatskoj

2.3 Energija vjetra

Jedna od najstarijih i najbrže rastućih tehnologija obnovljivih izvora energije je upravo energija vjetra. Vjetar koristi kinetičku energiju koju stvara zračna masa u pokretu, zatim se ta energija pretvara u električnu energiju pomoću vjetroturbina. Postrojenja u kojima se proizvodi električna energije iz vjetra naziva se vjetroelektrana. Osnovni dijelovi vjetroelektrane prikazani su na slici 12.



Slika 12.Osnovni dijelovi vjetroelektrane

Vjetroelektrane uglavnom se mogu podijeliti na dvije osnovne grupe, odnosno na vjetroelektrane s vertikalnim rotorom i vjetroelektrane s okomitim rotorom [18].

Vjetroelektrane s vodoravnim rotorom češće se koriste u odnosu na vjetroelektrane s okomitim rotorom. Aerogenerator u vjetroelektranama s vodoravnim rotorom ima veći

aerodinamični učinak od okomitog. Broj lopatica koji se koristi za proizvodnju električne energije je između jedne i tri. Tri lopatice su najčešći odabir, što doprinosi najboljoj povezanosti između koeficijenta snage, cijene i brzine okretanja lopatica s obzirom na vjetar [20], slika 13.



Slika 13.Prikaz vjetroelektrane s vodoravnim rotorom [21]

Vjetroelektrane s okomitim rotorom mnogo se rjeđe koriste, zapravo nisu toliko razvijene. Takve vjetroelektrane imaju osovinu glavnog rotora postavljenu okomito. Najveća prednost ovakvog sustava je da turbina ne mora biti usmjerena prema vjetru kako bi bila učinkovita, stoga su takve vjetroelektrane pogodne na mjestima gdje je smjer vjetra promjenjiv. Generator i reduktor vrtnje kod okomitih reaktora mogu biti postavljeni blizu tla, s obzirom na to toranj ne mora biti poduprt te je pristupačniji za održavanje. Pošto se lopatice postavljaju bliže tlu brzina vrtnje je na nižoj nadmorskoj visini manja, samim time i dobivena energije je manja u odnosu na vjetroelektrane s okomitim rotorima koji se postavljaju na vrh tornja. Također, cirkuliranje zraka u

podnožju nekog objekta može stvoriti turbulentni protok, što dovodi do problema s vibracijama, uključujući buku i trošenje ležaja [22], slika 14.



Slika 14. Prikaz vjetroelektrane s okomitim rotorom [23]

Najveća proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana dobivena je na kopnu. Također, postoji mogućnost postavljanja vjetroelektrana na moru, koje s obzirom na kopnene vjetroelektrane nisu u tolikoj mjeri zastupljene. Upravo se vjetroelektrane na kopnu u posljednjih pet godina neprestano razvijaju. Vjetroelektrane se postavljaju se na sve višim nadmorskim visinama, konstrukcije postaju više, samim time povećava se promjer rotora. Energija vjetra ima veću iskoristivost na moru, gdje turbine bolje iskorištavaju vjetar nego na kopnenim lokacijama. Stoga se očekuje ubrzani rast instalirane snage iz takvih vjetroelektrana. Instalirana snaga u 2017. godini iznosila je 515 GW od čega je 497 GW instalirano od vjetroelektrana na kopnu i 18 GW od vjetroelektrana na moru. Očekuje se da će proizvodnja električne energije od energije vjetra s kopna narasti na 323 GW u sljedećih pet godine te će do 2023. godine iznositi

839 GW. U razdoblju od 2018. do 2023. godine, s obzirom na sadašnju situaciju, očekuje se povećanje proizvodnje električne energije za 65% na globalnoj razini [24].

Promatrajući vremenski period od 2010. do 2018. godine instalirana snaga u svijetu, s obzirom na vjetroelektrane na kopnu je rasla. 2010. godine iznosila je 177,798 MW dok je 2018. instalirana snaga iznosila 540,370 MW, slika 15.[25].



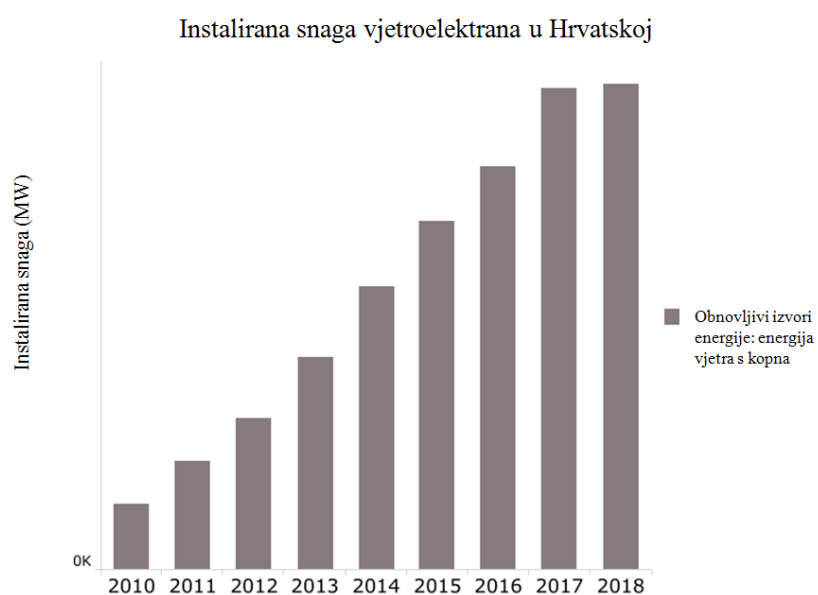
Slika 15. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na kopnu u svijetu

Ukoliko se radi istovjetna analiza, ali za vjetroelektrane na moru, uočen je znatno manji rast instalirane snage. 2010. godine instalirana snaga je bila 3,056 MW dok je 2018. bila 23,356 MW, slika 16.



Slika 16. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na moru u svijetu

Republika Hrvatska ima ogroman potencijal za iskoristivost energije vjetra na kopnu. U Hrvatskoj 2010. godine instalirana snaga iznosila je tek 79,0 MW dok je 2018. godine dosegla visokih 582,0 MW, slika 17.



Slika 17. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na kopnu u Hrvatskoj

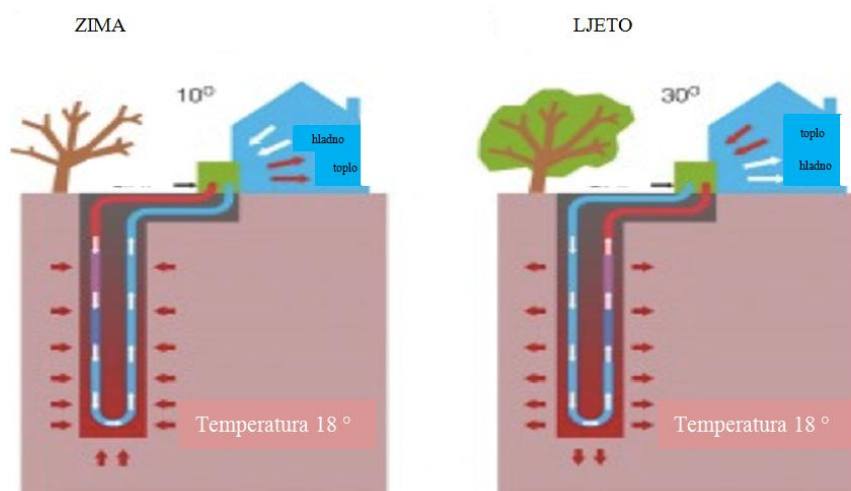
Nažalost, usprkos ogromnom potencijalu u Republici Hrvatskoj nema proizvodnje električne energije vjetra iz vjetroelektrana s mora.

2.4 Geotermalna energija

U nekim dijelovima svijeta upotreba geotermalne energije traje tisućama godina, pri čemu je primarna svrha ovog izvora energije kuhanje i grijanje objekata. Ispod Zemljine površine toplinska energija sadržana je u stijenama i tekućinama. Geotermalna energija može se pronaći u plitkom tlu pa sve do nekoliko milja ispod površine Zemlje [26].

Geotermalna energija koristiti se na tri različita načina [27]:

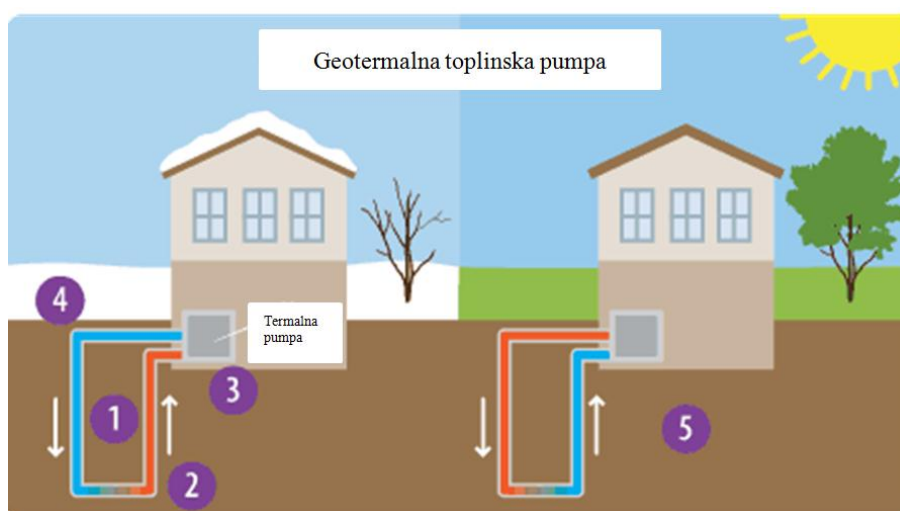
Izravna geotermalna energija-upotrebljava se na lokacijama u blizini Zemljine površine gdje postoje vruća vrela i geotermalna ležišta. Geotermalna voda izravno se crpi kroz izmjenjivač topline koji prenosi toplinu iz vode u sustav za grijanje objekta. Naposljetku, iskorištena voda vraća se natrag niz bunar u spremnik gdje se ponovno zagrijava, slika 18.



Slika 18. Prikaz izravnog korištenja geotermalne energije [28]

Geotermalna toplinska pumpa koristi geotermalne resurse nekoliko metara ispod površine Zemlje, tlo i voda tijekom čitave godine imaju konstantnu temperaturu između

10 i 15°C. Cirkuliranjem fluida kroz cijevi ispod zemlje toplina vode dolazi u objekt. Pomoću električnog kompresora i izmjenjivača topline, toplina se šalje kroz cijevni sustav u cijelom objektu koji je namijenjen za grijanje. U ljetnom periodu proces je obrnut. Kroz cijevni sustav toplina iz objekta se odvodi do tla ili vode izvana, gdje se naposljetku apsorbira[27], slika 19.



Slika 19. Prikaz korištenja geotermalne toplinske pumpe [29]

Geotermalna elektrana koristi paru iz geotermalnih ležišta za proizvodnju električne energije. Vrsta pretvorbe hidrotermalnih tekućina u električnu energiju ovisi o stanju tekućine, odnosno vode ili pare i njezinoj temperaturi. Postoje tri različite vrste geotermalnih elektrana[30]:

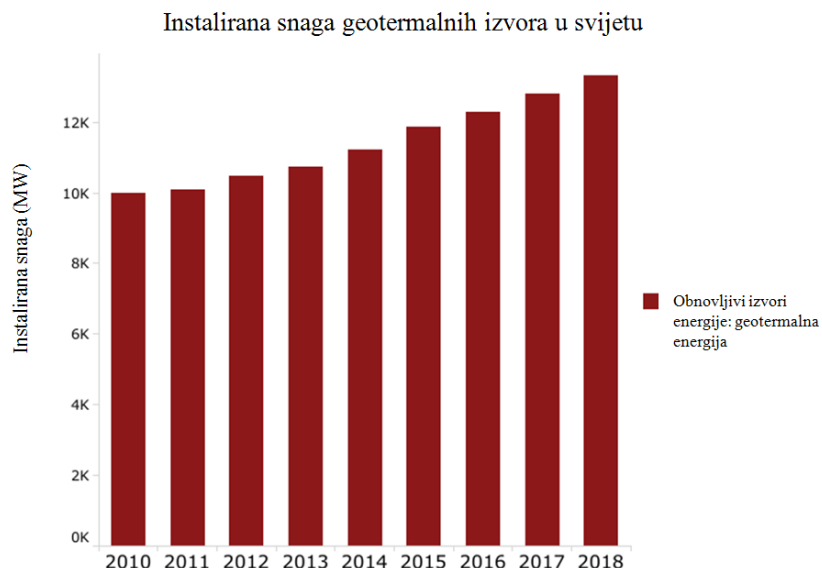
Elektrane na suhu paru → iz hidrotermalne tekućine proizvodi se električna energija, vruća para direktno se dovodi do turbine koja pokreće generator te uzrokuje proizvodnju. Upotrebom vruće pare ovim putem se sprječava korištenje fosilnih goriva za pokretanje turbine već to čini vruća para, samim time sprječava se upotrebu transporta i skladištenja fosilnih goriva koji imaju znatan negativni utjecaj na okoliš. Geotermalne elektrane na suhu paru emitiraju samo višak pare i male količine plinova. Ovakav sustav bio je prvi tip postrojenja za proizvodnju električne energije iz geotermalnih elektrana.

Elektrane na vodenu paru pod tlakom → predstavljaju najčešći tip geotermalnih elektrana koje se danas koriste. Princip rada je takav da se tekućina na temperaturi većoj

od 182 °C crpi pod visokim tlakom u spremnik na površini koji je pod znatno nižim tlakom. Naposljetku tekućina ispari, para tada pokreće turbinu koja pokreće generator te stvara električnu energiju. Ukoliko u spremniku ostane tekućine, ponovno može doći do isparavanje u drugom spremniku što povećava udio energije.

Elektrane s binarnim ciklusom → voda ili para iz geotermalnih spremnika nikada ne dolazi u kontakt s turbinama ili generatorima. Geotermalni fluid niske do umjerene temperature i sekundarna tekućina s mnogo nižem točkom vrenja prolaze kroz izmjenjivač topline. Toplina iz geotermalnog fluida uzrokuje da sekundarna tekućina koja se pretvori u paru pokreće turbinu, a potom i generator. Ovakve elektrane su zatvoreni sustavi, a gotovo ništa osim vodene pare ne emitiraju u atmosferu. Geotermalni resursi uglavnom imaju umjerenu temperaturu, stoga će ovakav pristup u budućnosti imati značajnu ulogu za proizvodnju električne energije iz geotermalnih resursa.

Promatrajući vremenski period od 2010. do 2018. godine u svijetu vidljiv je pomak u korištenju geotermalnih izvora. Instalirana snaga 2010. godine iznosila je 9,998 MW, dok 2018. godine iznosi 13,329 MW, slika 20 [31]



Slika 20. Prikaz instalirane snage geotermalnih izvora u svijetu

2.5 Energija biomase

Energija biomase ima dvije glavne podjele. Tradicionalna energija biomase podrazumijeva energiju dobivenu iz izgaranja biomase od drveta, životinjskog otpada i tradicionalnog drvenog ugljena. Na slici 21. prikazan je sustav grijanja kućanstva pomoću biomase.



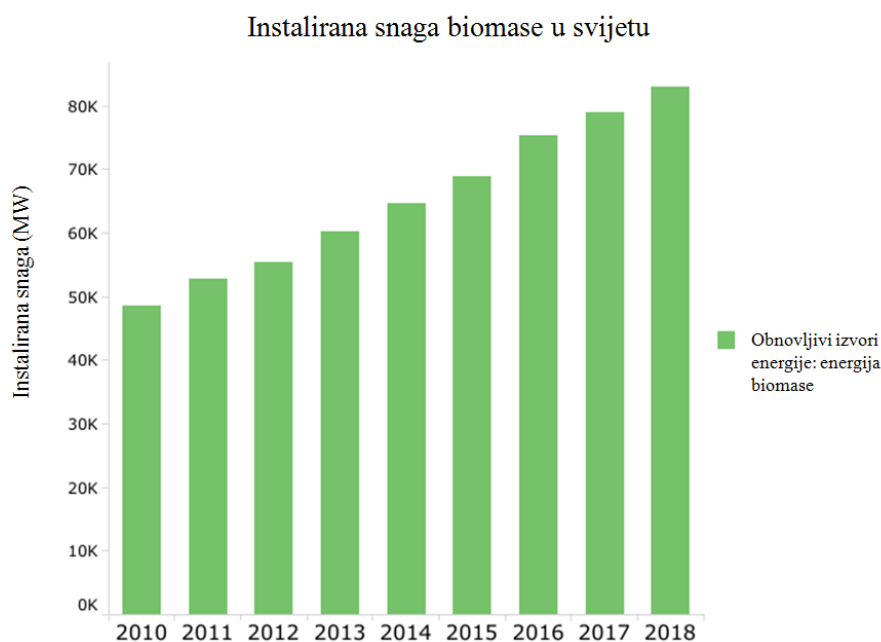
Slika 21. Prikaz grijanja kućanstva pomoću biomase [18]

Drugoj kategoriji pripada suvremena energije dobivena iz modernih tehnologija koja uključujuće tekuća biogoriva nastala iz bagasa i drugih biljaka, bioplin nastao anaerobnom razgradnjom ostataka i suvremeni sustav grijanja na pelete [32].

Biomasa koja se koristi kao obnovljivi izvor energije naziva se „sirovina“, sirovine mogu nastati iz dva procesa. Jedan se odnosi na uzgajanje biljaka kao sirovine koje imaju dobar energetske sadržaj, a druge se sastoje od otpadnih proizvoda iz industrija kao što su poljoprivreda, prerada hrane ili proizvodnja drveta. Suhe sirovine poput drvenih peleta, spaljuju se u pećima, stvaraju toplinu te zagrijavaju vodu i stvaraju paru koja pokreće turbinu za proizvodnju električne energije. Otpadci od hrane pripadaju skupini vlažnih sirovina, takve sirovine spremaju se u zatvorene spremnike gdje trunu i proizvode plin nazvan bioplin. Bioplin se koristiti za proizvodnju električne energije te se može upotrebljavati u nacionalnoj plinskoj mreži i koristiti za kuhanje i grijanje objekata [33].

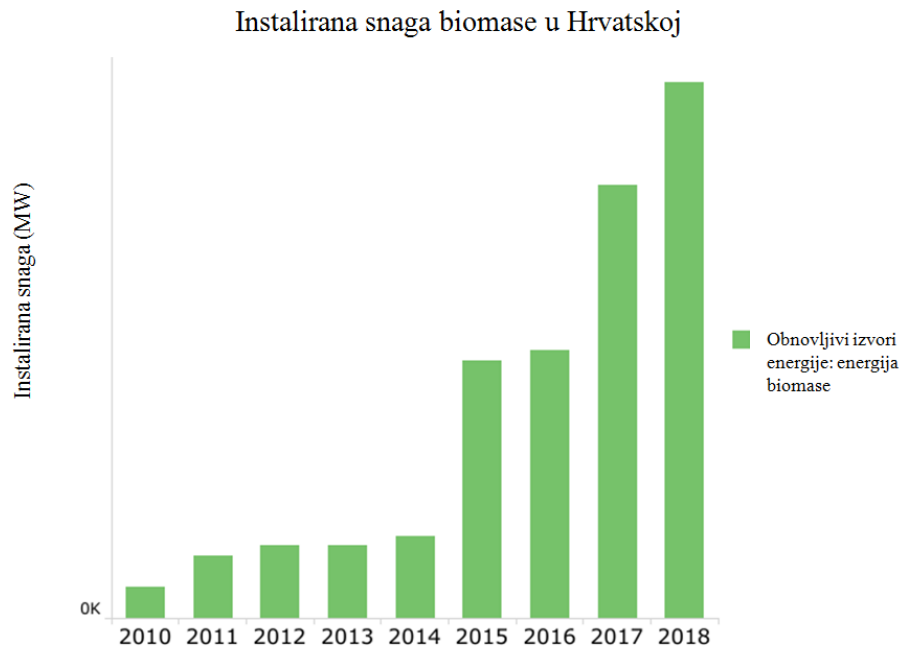
Danas, energija dobivena iz biomase čini oko 9% svjetske potrošnje primarne energije. U 2016. godini od energije biomase proizvedeno je oko 500 TWh električne energije, što čini 2% svjetske proizvodnje električne energije [34].

Najveću instaliranu snagu iz energije biomase postiže suha, kruta biomasa. Promatrajući niz od 2010. do 2018. godine u svijetu je prvotno bila instalirana snaga od 48, 540 MW dok je 2018. godine iznosila 83,063 MW, slika 22.



Slika 22.Prikaz instalirane snage biomase u svijetu

U Republici Hrvatskoj instalirana snaga, dobivena iz biomase znatno je niža s obzirom na svjetsku razinu, pogotovo 2010. godine kada je iznosila svega 3,00 MW te 2018. kada je iznosila 52,00 MW, slika 23. [32].

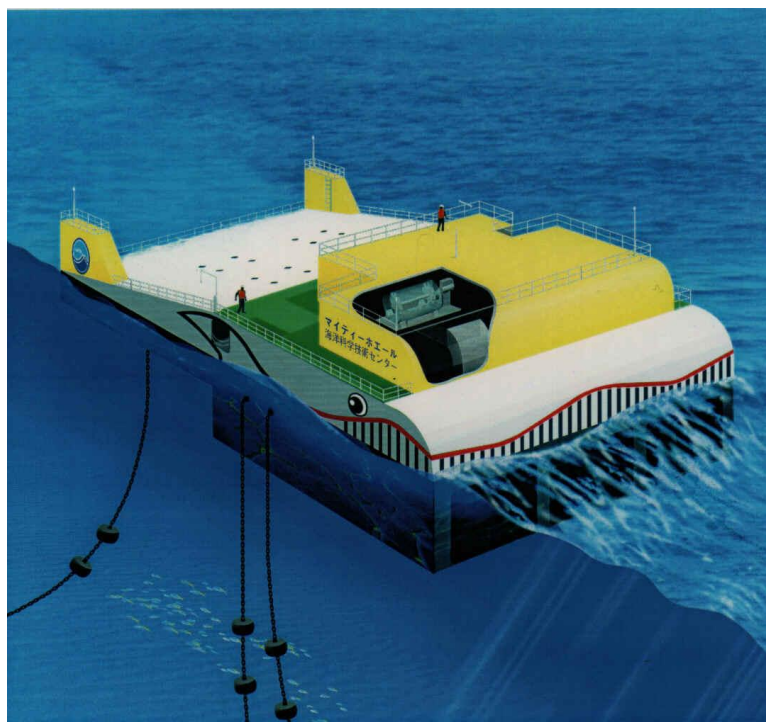


Slika 23. Prikaz instalirane snage biomase u Hrvatskoj

2.6 Energija oceana

Energija oceana predstavlja obnovljivi izvor energije koji ima ogroman potencijal, s obzirom na činjenicu da Zemljinu površinu čini 70% oceana. Nažalost, energije oceana još uvijek nije dovoljno iskorištena i tek je u procesima razvoja. Trenutno postoji tek nekoliko elektrana na oceanima, ali većina ih je toliko mala da je njihova proizvodnja zanemariva na globalnoj razini. Postoje tri alternativne metode korištenja energije oceana: energija morskih valova, energija plime i oseke te pretvorba toplinske energije oceana.

Morski valovi prilikom kretanja imaju kinetičku energiju, upravo ta energija može se koristiti za pokretanje turbina i naziva se energija morskih valova. Vjetar uzrokuje stvaranje morskih valova na oceanu, stoga se energija „hvata“ na površinskom dijelu vala ili iz različitih fluktuacija tlaka između površina. Najveći problem stvara nejednakost energije morskih valova u svim dijelovima svijeta, slika 24. [35].



Slika 24. Ilustracija elektrane na morske valove

Energija plime i oseke iskorištava kretanje vode uzrokovano plimnim strujanjima i padom razine vode. Podvodne turbine smještene su u područjima s visokim plimnim kretanjima pri čemu im je glavna zadaća uhvatiti kinetičku energiju plime i oseke kako bi se proizvela električna energija.

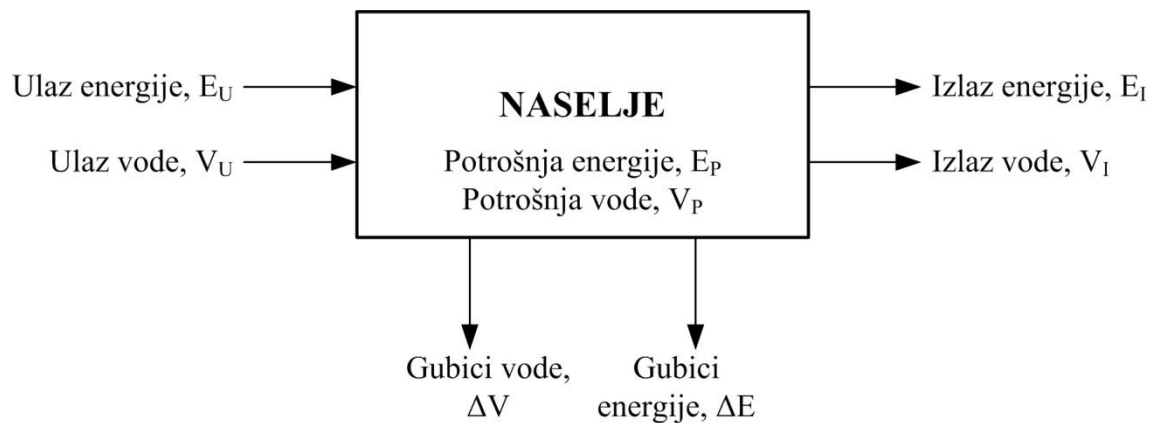
Pretvorba toplinske energije oceana predstavlja proces za proizvodnju električne energije koja koristi razliku između temperature mora. Temperaturna razlika mora postojati između plitkih i dubljih dijelova, s obzirom da temperatura s dubinom opada. S većom temperaturnom razlikom elektrana je učinkovitija. Glavni nedostatak predstavlja izuzetno visoka cijena ovakve elektrane te zahtijeva brojna istraživanja kako bi se sustav unaprijedio te bio efikasniji [35].

3. HIDRAULIČKA I ENERGETSKA ODRŽIVOST NASELJA

Ljudska populacija svakim danom raste sve više, samim time potrebe za boljim uvjetima života postaju sve veće. Sve više se teži življenju u urbanim sredinama zbog većih životnih potreba, dok manja naselja bivaju zapuštenija. Hidraulička i energetska održivost ima ključnu ulogu u razvoju životne okoline, bilo u urbanim dijelovima gradova ili naselja. Ekonomske prilike zahtijevaju štednju vode i energije, odnosno učinkovito upravljanje vodom i energijom. Na zemljinoj površini, 99 % vode pripada slanoj vodi i vodi koju sadržavaju ledenjaci. Stanovnici određenih područja ovise o preostaloj vodi korištenoj za piće, uzgoj hrane, rekreaciji, proizvodnji dobara i ključnoj proizvodnji energije. Voda i energija u međusobnoj su interakciji, s obzirom da je potrebna velika količina vode za proizvodnju energije [36].

Hibridni energetske sustavi rade u kombinaciji dva ili više izvora energije u svrhu proizvodnje električne energije ili sustava za pohranu energije. Takvi sustavi pružaju razne mogućnosti korištenja konvencionalnih ili obnovljivih izvora energije. Pohrana energije ima glavnu ulogu prilikom uravnoteživanja ponude i potražnje za električnom energijom koje su ključne za hidrauličku i energetska održivost. Hibridni sustavi postižu ravnotežu u elektroenergetskom sustavu na koji znatno utječu promjene u potražnji na tržištu te klimatske promjene koje uvelike utječu na obnovljive izvore energije. Sustavi kao takvi imaju ogroman potencijal, a prvenstveno snižavaju troškove ulaganja u energetska postrojenja. Sprječava se nestabilnost u elektroenergetskoj mreži, decentraliziraju se proizvodnja električne energije te se omogućava proizvodnja električne energije u neposrednoj blizini potrošača [37].

Ovakav sustav može se promatrati kao otvoreni sustav u kojem energija (kWh) i voda (m^3) ima ulaz i izlaz. Prilikom ulaza sustav obuhvaća ulaz energije te ulaz vode. Ključnu ulogu ima naselje koje definira potrošnju energije i potrošnju vode. Kao i u svim procesima postoje gubitci koji se trebaju definirati. Tako hibridni sustav ima gubitke vode i gubitke energije. Prilikom izlaza iz sustava izlazi energija te voda. Shematski prikaz ulaza i izlaza vode kroz naselje prikazan je na slici 25.



Slika 25. Prikaz naselja sa ulazima i izlazima vode i energije

Kako bi hibridni sustav bio efikasniji te zadovoljavao sve potrebe naselje potrebno je gubitke svesti na minimalne vrijednosti, koristeći jednadžbu bilance energije te vode. Jednadžbe bilance mogu se prikazati na sljedeći način:

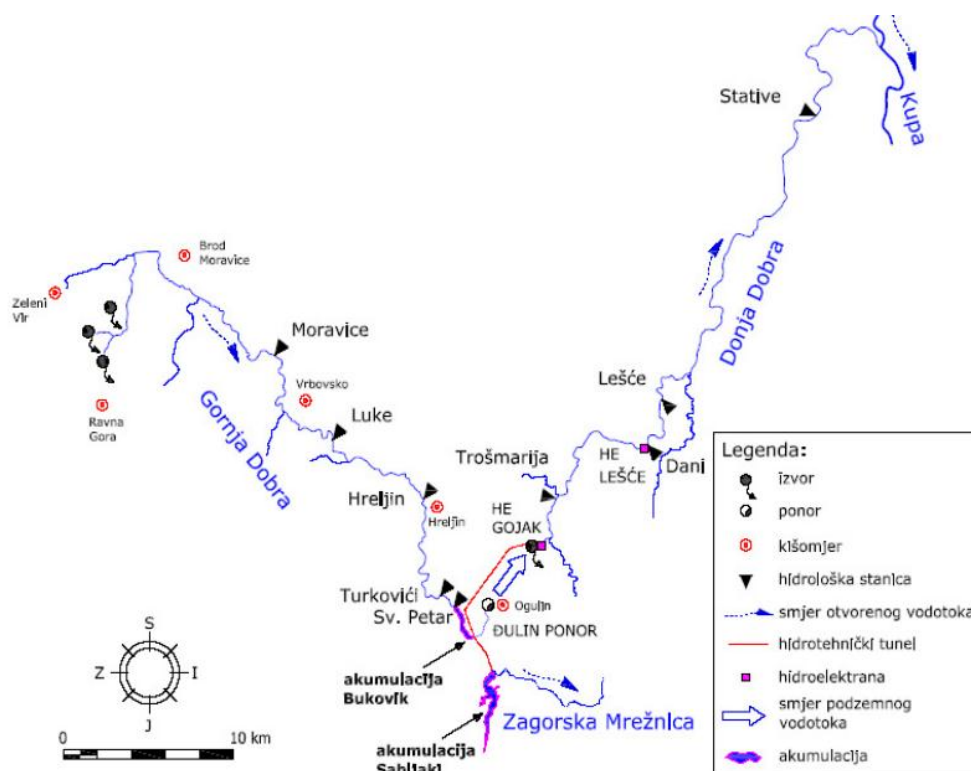
$$E_U - E_I - E_P = \Delta E \quad (1)$$

$$V_U - V_I - V_P = \Delta V \quad (2)$$

Jednadžba bilance energije definira količinu ulazne energije, izlazne energije te potrošnje energije umanjenu za gubitke energije u sustava. Jednadžba bilance vode također definira ulaza vode, izlaza vode te potrošnju vode u sustavu umanjenu za gubitke vode u sustavu.

4. PRIMJER GRADA OGULINA

Grad Ogulin nalazi se u središnjoj Hrvatskoj, Karlovačkoj županiji. U njegovoj blizini protječu dvije rijeke, Zagorska Mrežnica i Dobra. Zagorska Mrežnica izvire kod sela Desmerice i Ogulinskog Zagorja te se skuplja u umjetnom jezeru Sabljaci, daljnjim tunelom rijeka se odvodi do jezera Bukovnik te svoj tok završava u hidroelektrani Gojak. Rijeka Dobra izvire iz dva izvora kod Bukova vrha i Skrada u selu Gornja Dobra. Rijeka se dijeli na tri toka, započinje s Gornjom ili Ogulinskom Dobrom koja ponire u Đulinom ponoru i korištena je kao primjer rijeke, koja ima veliki potencijal za postizanje hidrauličke i energetske održivost grada Ogulina, s obzirom na svoju blizinu. Drugi dio toka rijeke Dobre odnosi se na podzemni dio toka koji ponire u Đulinom ponoru, proteče kroz hidrotehnički kanal te izvire kod sele Gojak. Treći dio rijeke čini tok od izvora Gojak do ušća u rijeku Kupu. Na slici 26. nalazi se prikaz Gornje Dobre i Zagorske Mrežnice te je skiciran tok rijeke [38].



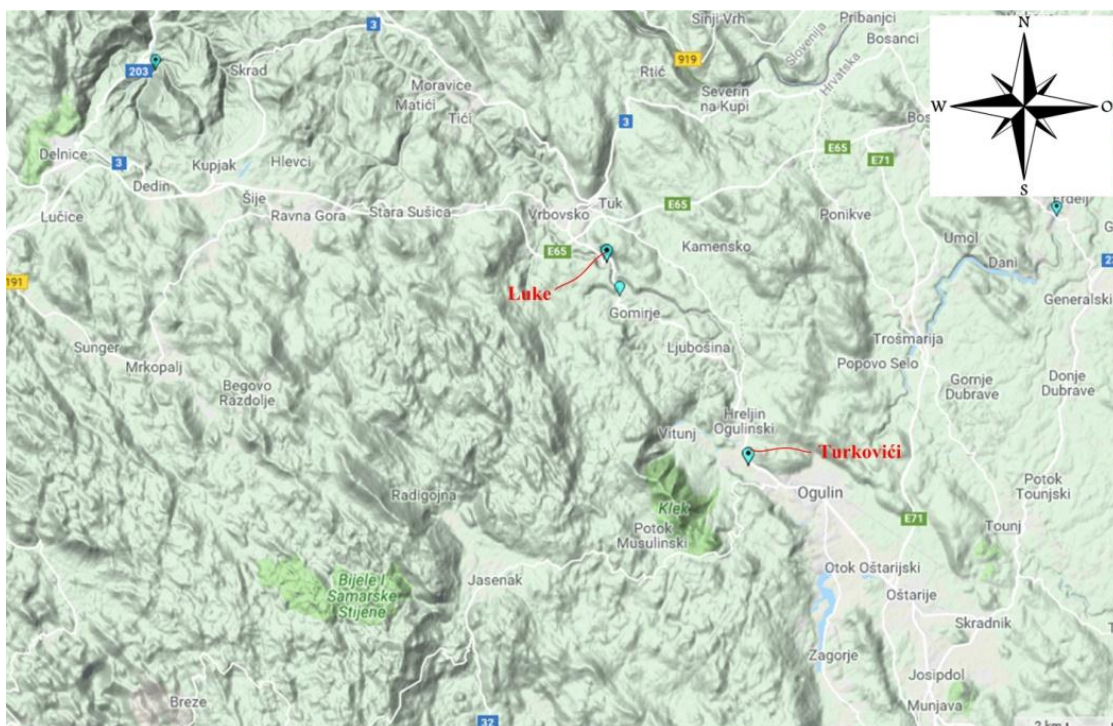
Slika 26. Prikaz tokova Gornje Dobre i Zagorske Mrežnice

Rijeka Gornja Dobra često se znala izlijevati i plaviti okolna područja, između ostaloga i grad Ogulin. Primjena obnovljivih izvora energije jedan je od načina opskrbe električnom energijom udaljenijih i zabačenih područja. Konkretno, analizirano ruralno područje izvan grada Ogulina ima veliki hidroenergetski i solarni potencijal. Postavljanjem malih hidroelektrana (MHE) otklanja se postavljanje dalekovoda i dugačke elektrodistribucijske mreže (kablova), a samim time i gubitaka električne energije. Postavljanje solarnih fotonaponskih (FN) postrojenja također je obećavajuće rješenje. Zbog mogućnosti nadopunjavanja proizvodnje električne energije, u radu će se analizirati primjena hibridnog sustava koji se sastoji od MHE i FN postrojenja. Tijekom ljetnog perioda kada je vodostaj rijeke uobičajeno nizak, protok nema dovoljnu snagu za proizvodnju električne energije. Upravo u tom periodu postoji ogroman potencijal u energiji Sunčevog zračenja koji nadomještava snagu male hidroelektrane izgublenu u ljetnom periodu, dok je u zimskom periodu rad sustava zamijenjen te mala hidroelektrana ima veći potencijal od solarnog fotonaponskog sustava. Samim time dobiva se konstantna proizvodnja električne energije tijekom cijele godine.

Za rad malih hidroelektrana već je navedeno da se iskorištava snaga rijeke bez velikog skladištenja vode. Ukoliko rijeka u nekom periodu presuši ili nema zadovoljavajućeg protoka, mala hidroelektrana prestaje s radom što predstavlja veliki nedostatak. Kako bi se spriječio prestanak proizvodnje električne energije, proizvodnja se kompenzira radom solarnog fotonaponskog sustava. Upravo radom ovakva dva sustava nastaje hibridni sustav za proizvodnju električne energije.

Hibridni sustav za proizvodnju električne energije koji radi u kombinaciji male hidroelektrane i solarnog fotonaponskog sustava idealno je tehničko rješenje za povećavanje hidrauličke i energetske održivosti grada te rasterećenje elektrodistribucijske mreže. Upravo zbog geografskog položaja grada i blizine rijeke Gornje Dobre najisplativiji obnovljivi izvori energije su energija vode i energija Sunčevog zračenja.

Zbog kontinuiranih i pouzdanih ulaznih podataka o protocima i vodostajima, odnosno zbog prikaza stvarnog stanja, analizirane su dvije lokacije u blizini mjernih hidroloških postaja na rijeci Gornjoj Dobri, Lukama i Turkovićima, slika 27.[39].



Slika 27. Prikaz potencijalnih lokacija za građenje hibridnog sustava

Uzimajući u obzir sve aspekte zaštite okoliša pa tako i ekološku mrežu Natura 2000, potrebno je naglasiti da lokacija na mjernoj postaji Luke ne ulazi u nju, dok lokacija na mjernoj postaji Turkovići ulazi u Naturu 2000, gdje zahtijeva posebne mjere izgradnje. Predloženi hibridni sustav sadržava malu pregradu, odnosno branu visine 1,4 m koja ne stvara akumulaciju. Samim time ne treba provoditi studiju utjecaja na okoliš, a osim toga, hibridni sustav sadržava riblji prolaz, što ga čini ekološki prihvatljivim. Hibridni sustav proizvedenu energiju distribuira u postojeću elektroenergetsku mrežu te postiže energetska održivost naselja (grada). Izgradnjom male hidroelektrane uređuje se vodotok i osigurava se ravnomjerni protok, čime se smanjuje rizik nastanka poplava i odrona te se postiže hidraulička održivost.

5. ANALIZA DOBIVENIH PODATAKA

Radi uvida u potencijal rijeke Gornje Dobre odrađen je izlazak na terensko ispitivanje dana 26.04.2019. godine pri čemu se utvrđivao stvarni potencijal rijeke, uvid u dubinu i širinu korita te određivanje koordinata lokacije za analizu solarnog potencijala. Geodetske izmjere korita na svakoj lokaciji izvršene su pomoću GPS uređaja Topcon Hiper +. Na slici 28. i 29. prikazane su slike terenskog rada na lokaciji Turkovići i Luke.

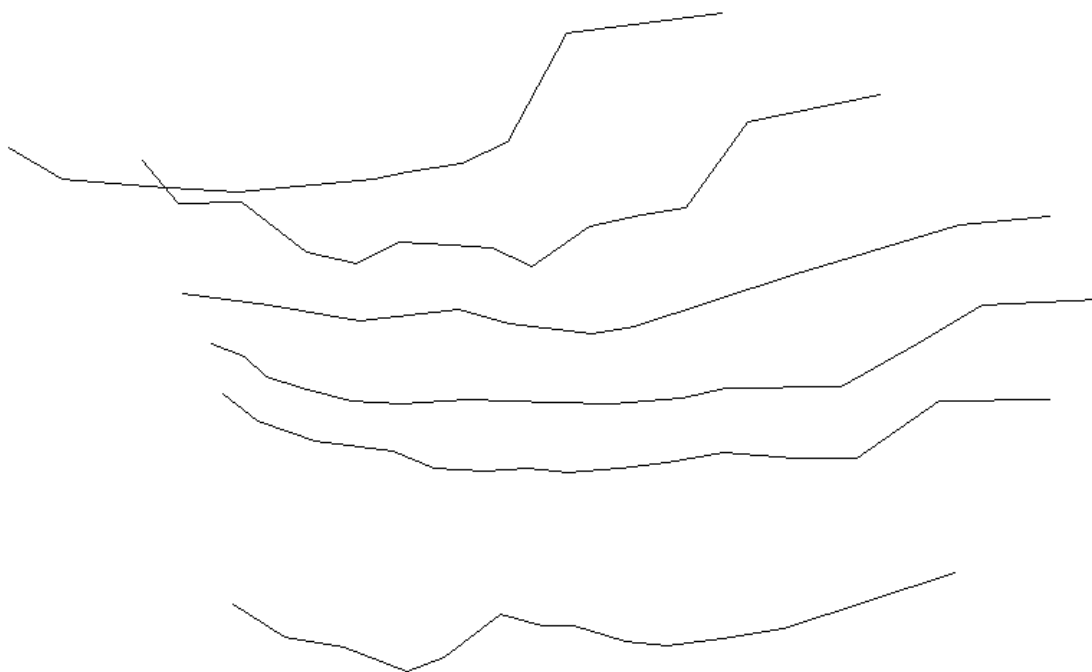


Slika 28. Geodetska izmjera korita na lokaciji Turkovići

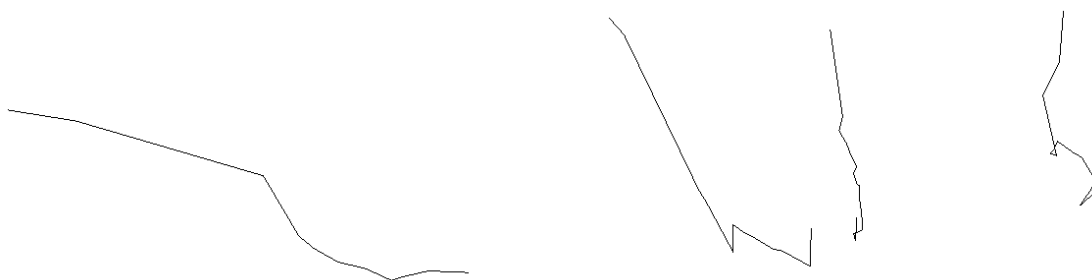


Slika 29. Geodetska izmjera korita na lokaciji Luke

Podaci geodetskih mjerenja obrađeni su u Auto CAD-u i dobiven je uvid u promjenu korita rijeke kod mjernih postaja Turkovići i Luke, slike 30. i 31.



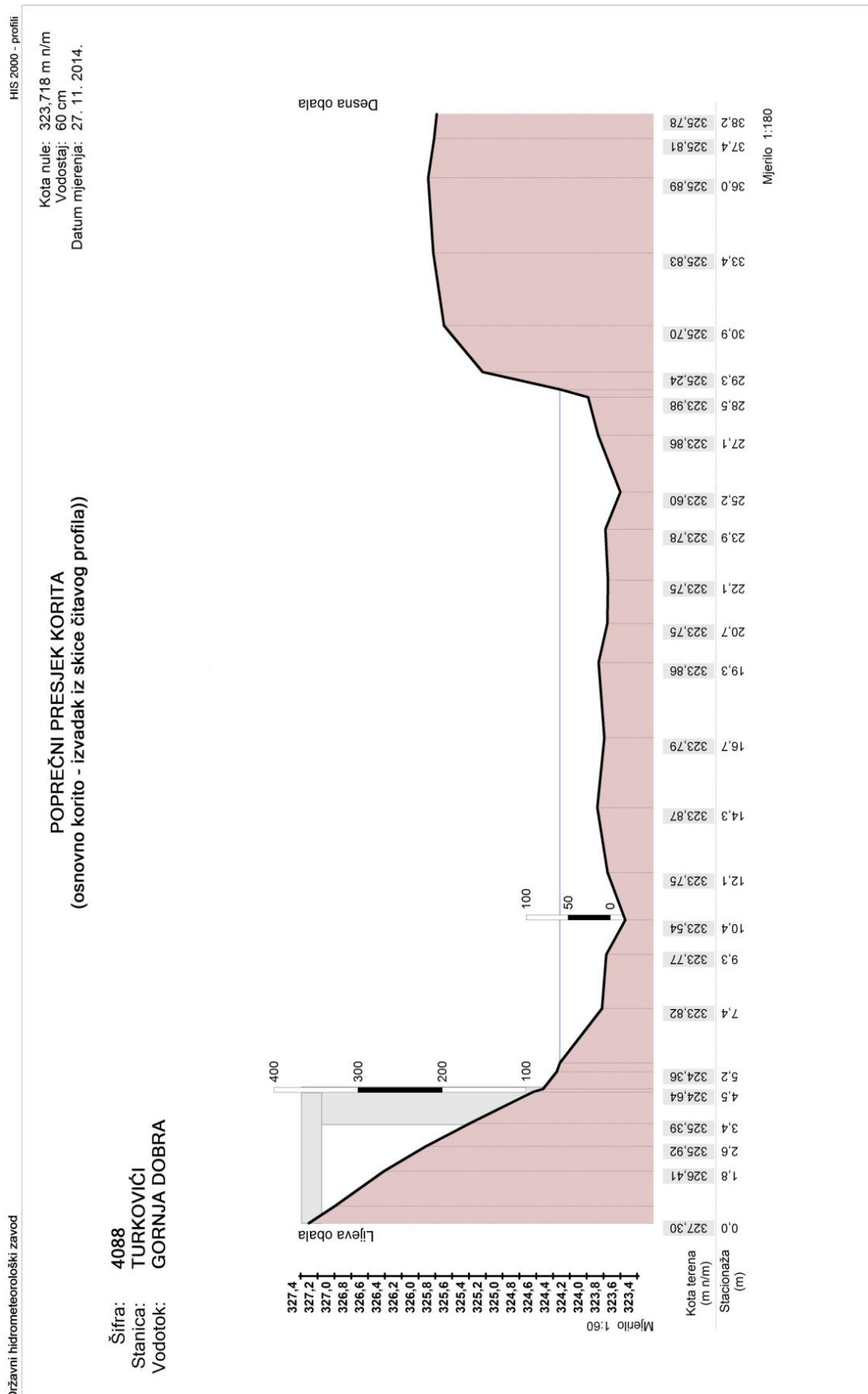
Slika 30. Profili korita rijeke Gornja Dobra kod mjerne postaje Luke



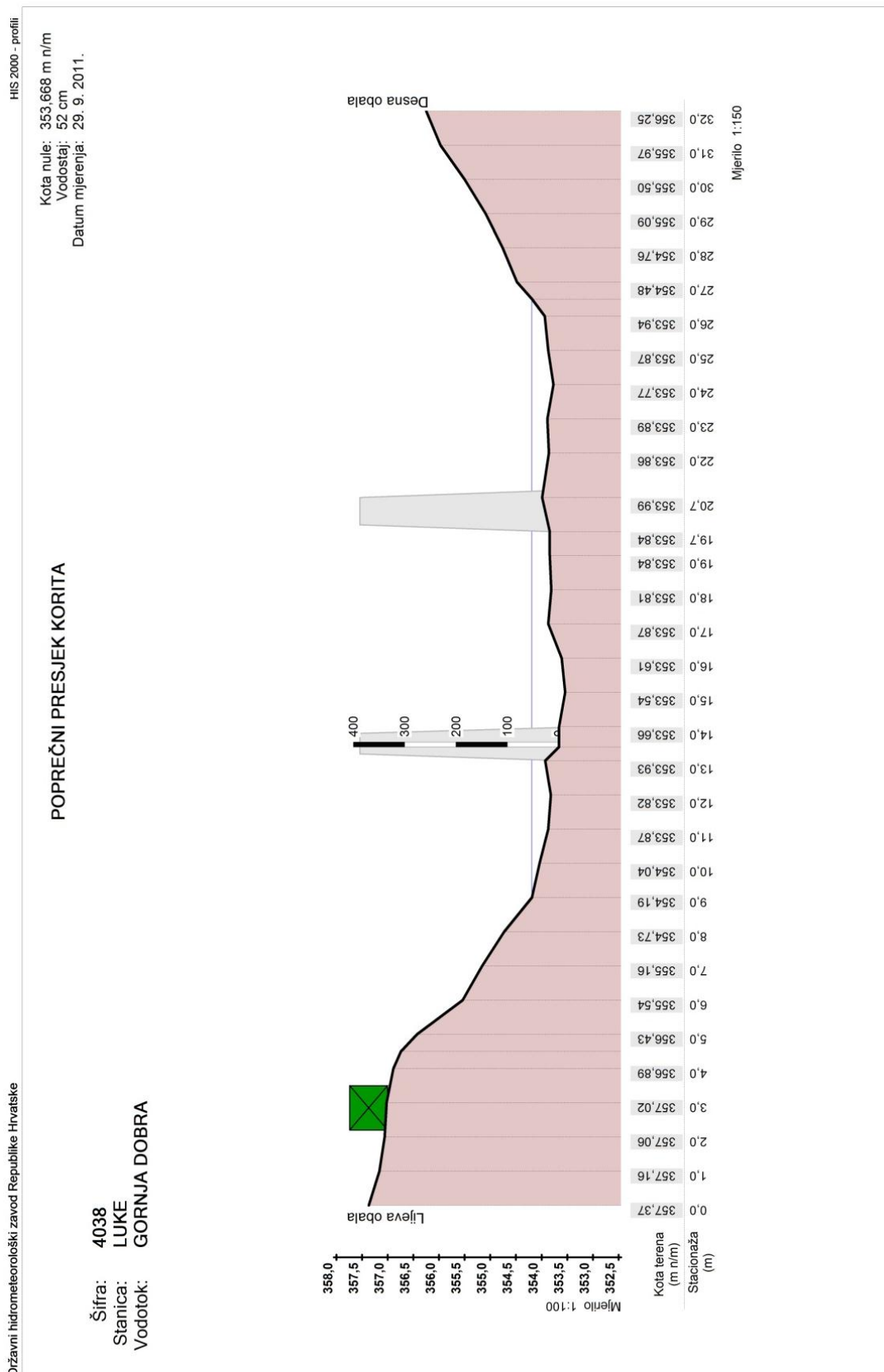
Slika 31. Profili korita rijeke Gornje Dobre kod mjerne postaje Turkovići

Na obje slike vidljive su promjene oblika korita, čak i na relativno kratkim dionicama (50 m kod Luke, 30 m kod Turkovića), počevši od prirodnih pregrada i slapišta pa sve do depresija, pri čemu se brzina tečenja mijenja. Veliki utjecaj na oblik korita ima i nanos, uz samu morfologiju rijeke Gornje Dobre. U svakom slučaju, navedeno predstavlja veliki potencijal za građenje mikro hidroelektrana zbog velike mogućnosti odabira lokacija za postavljanje pregrada.

Još detaljniji prikaz predstavljaju profili, odnosno poprečni presjeci korita za mjernu postaju Turkovići, pri čemu je posljednji mjerni profil iz 2014. godine i poprečni presjeci korita za mjernu postaju Luke, kod koje je posljednji mjerni profil iz 2011. godine, sve preuzeto od DHMZ-a (2019) [40], slika 32. i 33. Profili iz prijašnjih godina prikazani su u Prilogu 1 za Turkoviće i Prilogu 2 za Luke.



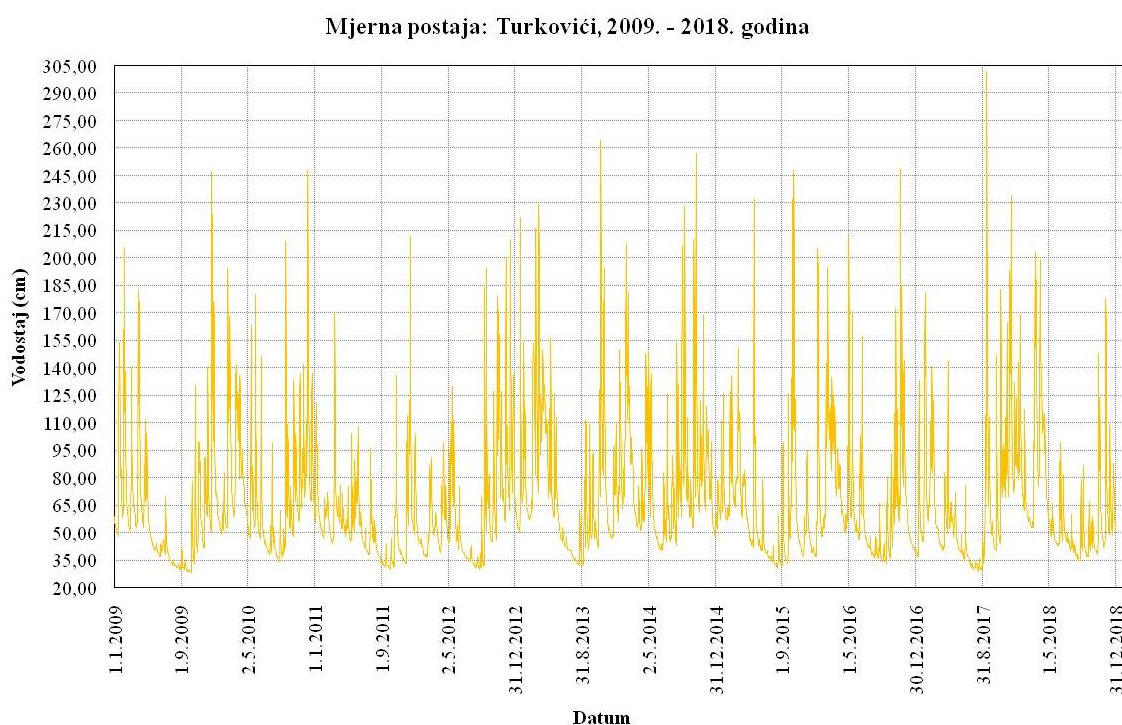
Slika 32. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2014. godine



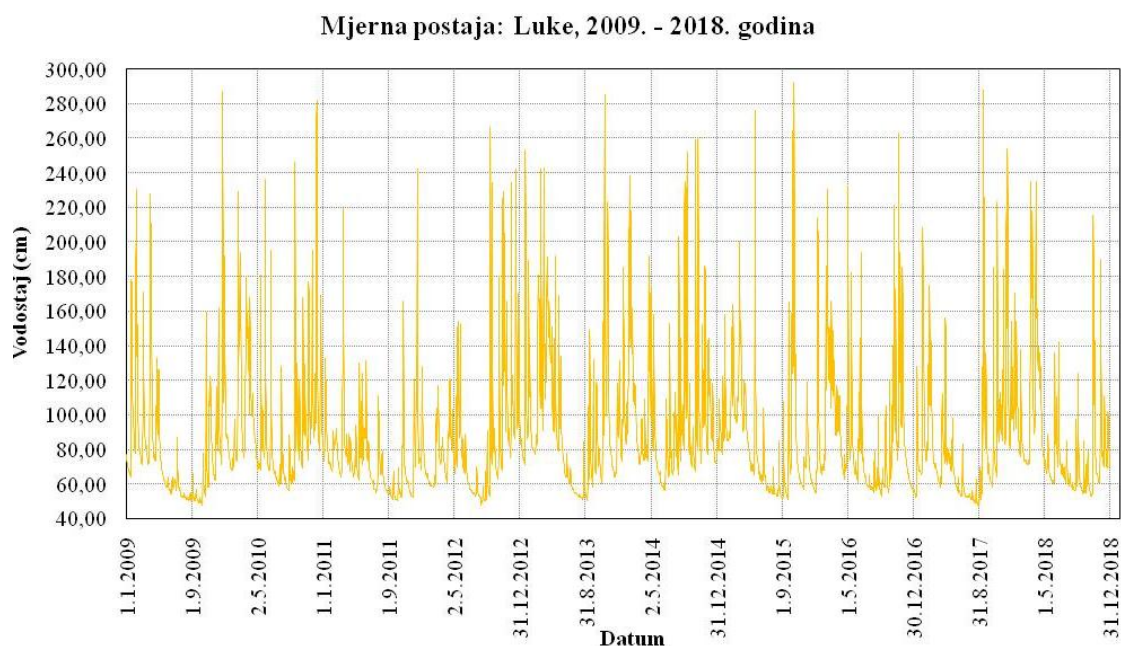
Slika 33. Poprečni presjek korita na lokaciji Luke iz 2011. godine

5.1 Hidrološki potencijal rijeke Gornja Dobra

Utvrđivanje hidrološkog potencijala određenog vodnog toka započinje analizom protoka i vodostaja. Grafički prikaz koji prikazuje vodostaj u određenom vremenu naziva se nivogram. Ulazni podaci koji su se koristili za hidrološku analizu dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda [41], a obrađeni su u MS Excelu. Za analizu vodostaja korišten je desetogodišnji vremenski period od 2009. do 2018. godine za obje lokacije. Na slici 34. i 35. nalazi se nivogram rijeke Gornja Dobra za lokacije Turkovići i Luke.

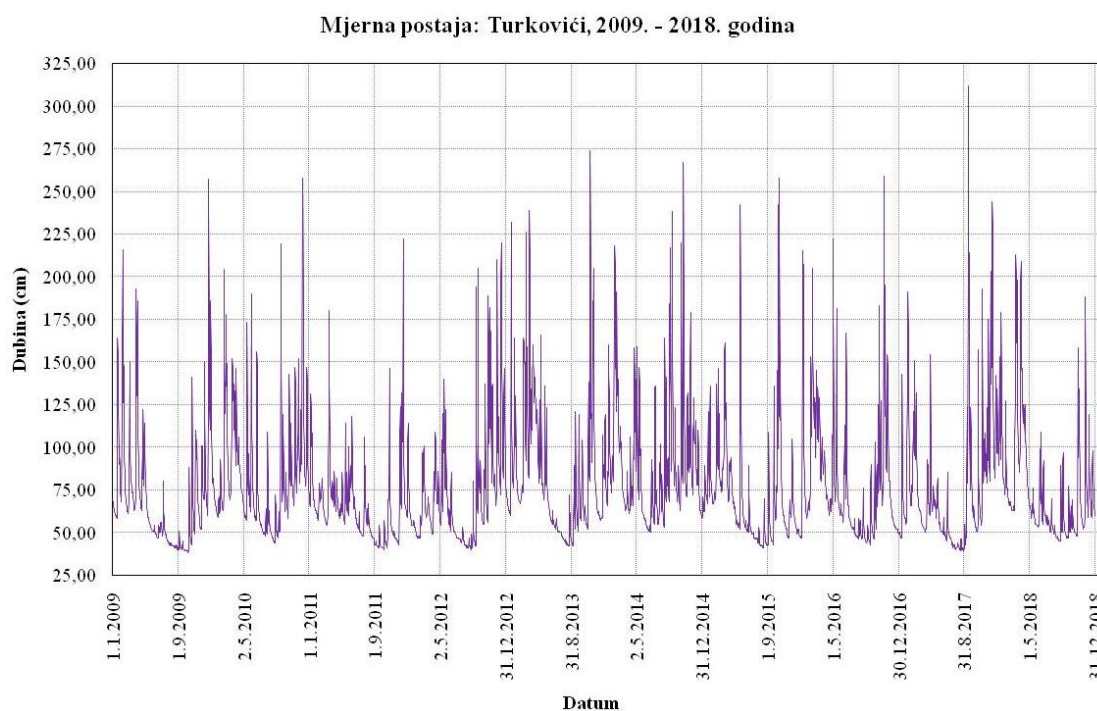


Slika 34. Nivogram rijeke Gornja Dobra za lokaciju Turkovići

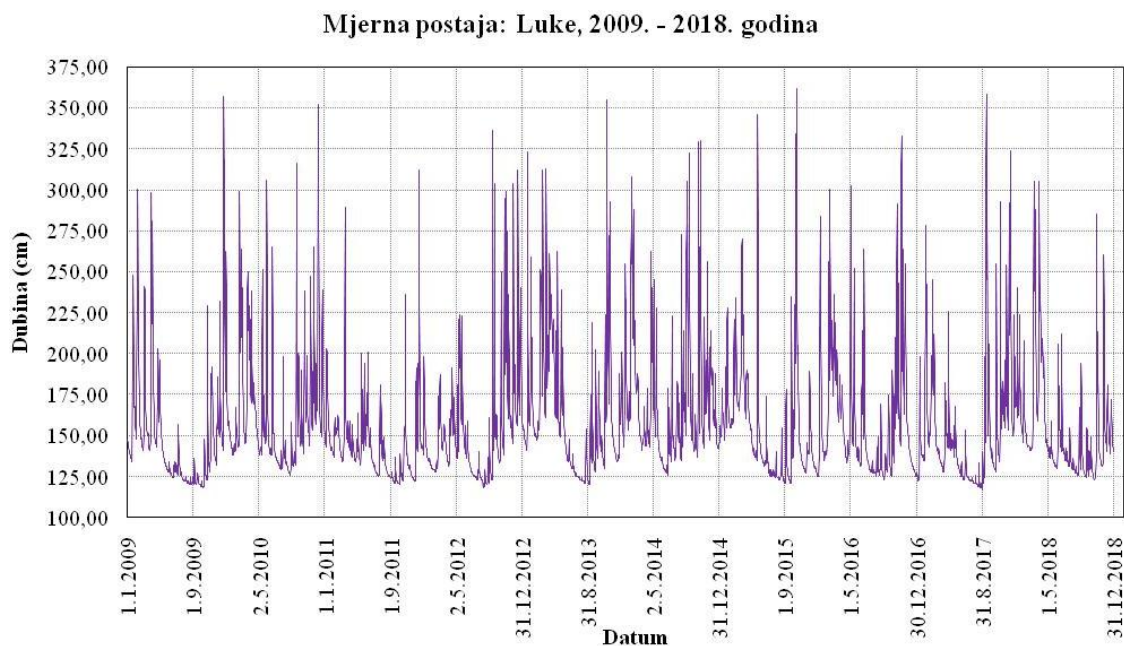


Slika 35.Nivogram rijeke Gornja Dobra za lokaciju Luke

Rekonstrukcijom vodostaja, dobivena je dubina korita kod vodomjernih letvi, također na obje lokacije. Desetogodišnji prikaz dubina za lokacije Turkovići i Luke nalazi se na slikama 36. i 37.

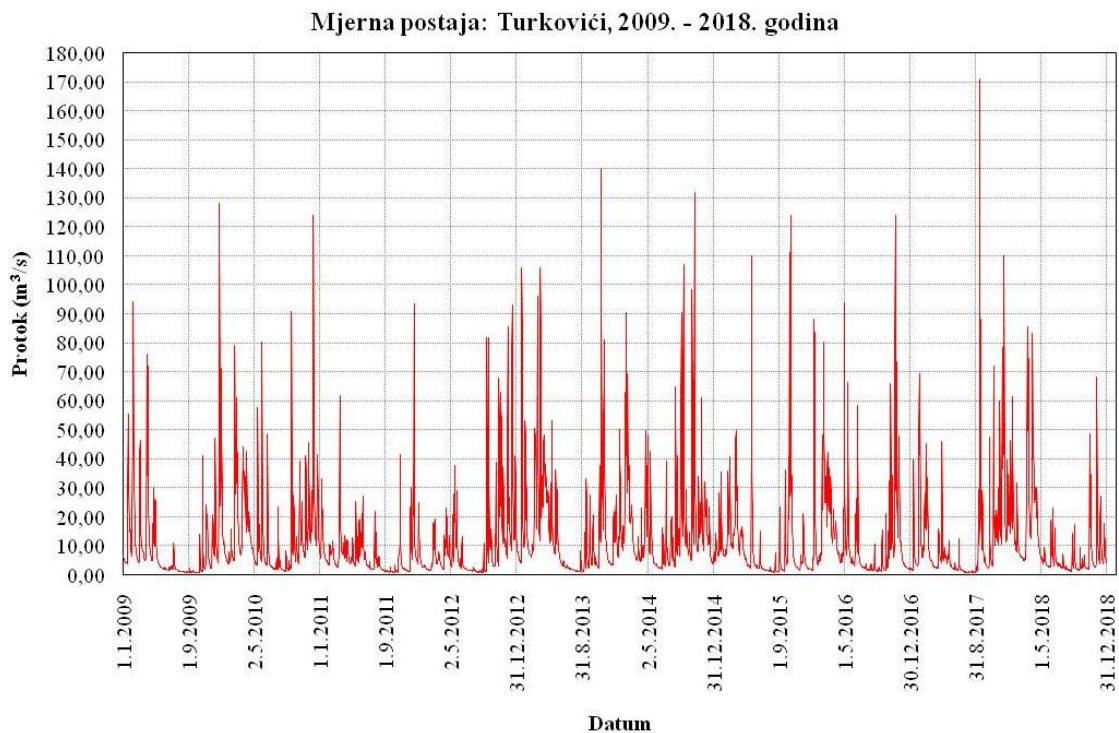


Slika 36. Grafički prikaz dubina rijeke Gornje Dobre za lokaciju Turkovići

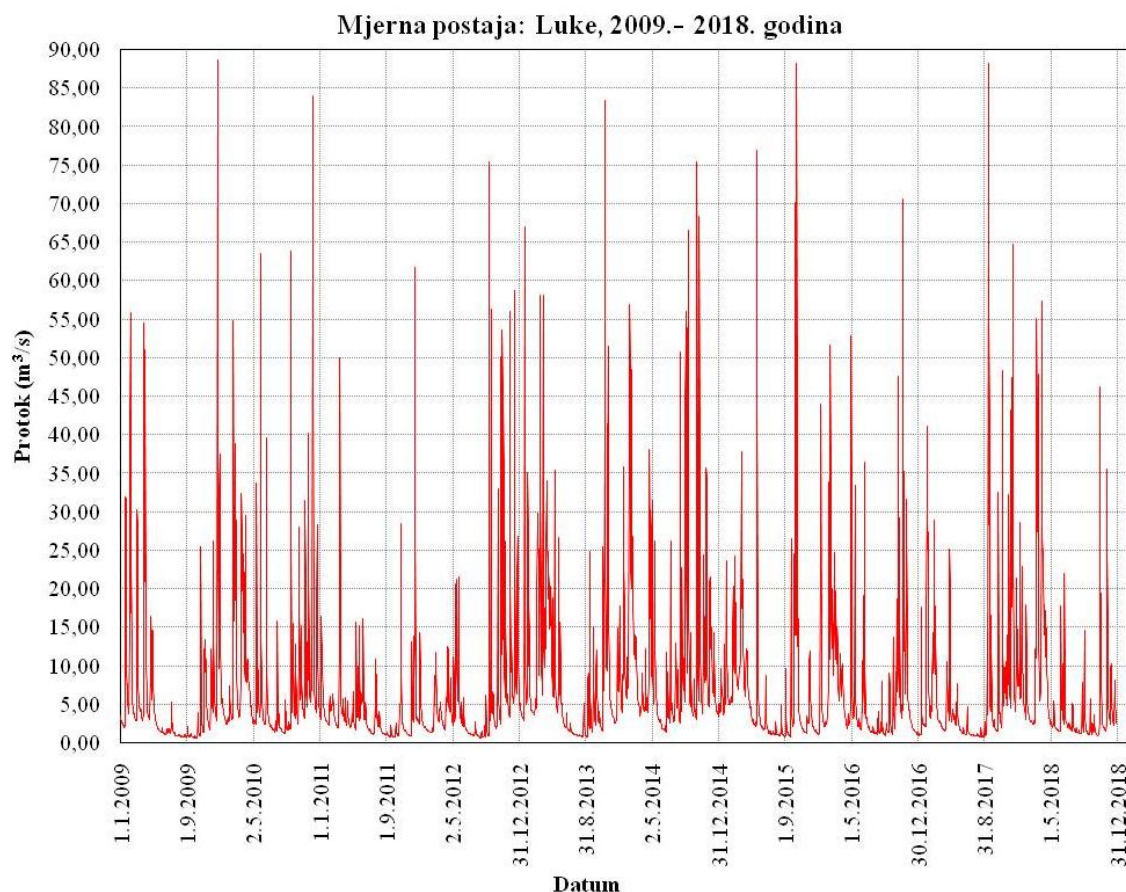


Slika 37. Grafički prikaz dubina rijeke Gornje Dobre za lokaciju Luke

Protok je jedan od temeljnih hidroloških podataka. Grafički prikaz koji prikazuje protok u određenom razdoblju naziva se hidrogram. Za analizu protoka, također je korišten desetogodišnji vremenski period od 2009. do 2018. godine za obje lokacije. Na slici 38. i 39. nalazi se grafički prikaz hidrograma za lokacije Turkovići i Luke.

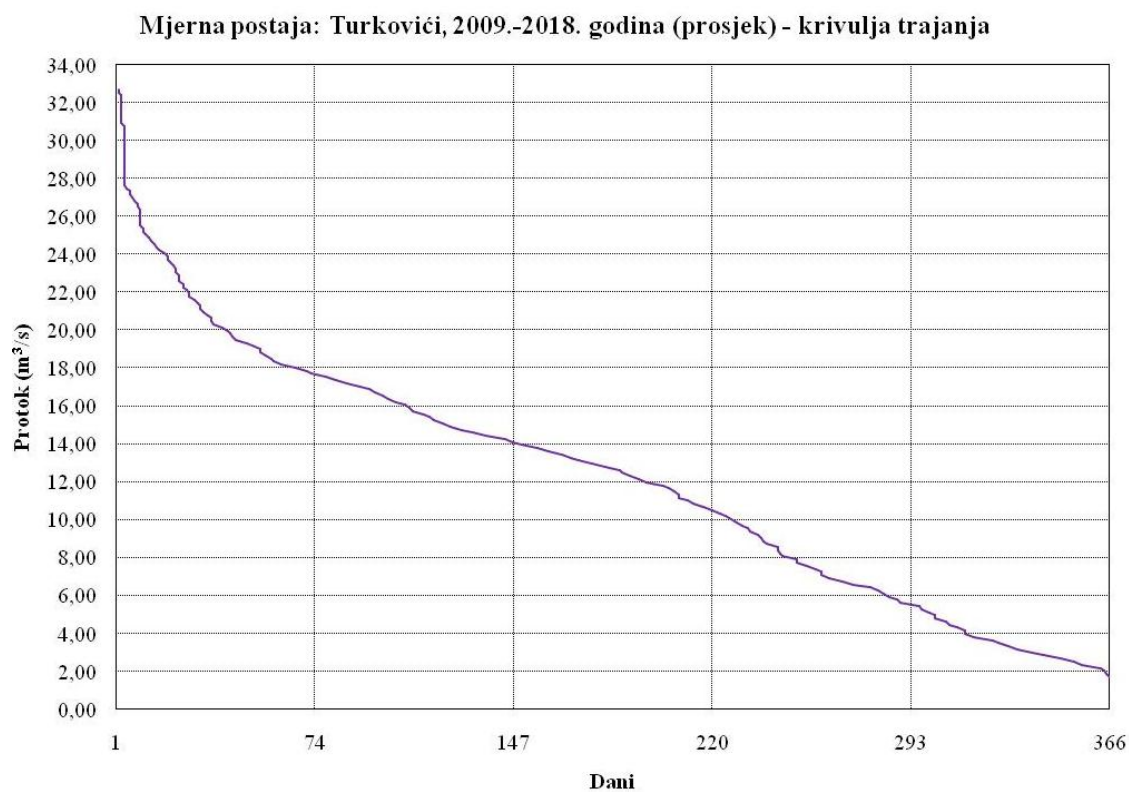


Slika 38. Grafički prikaz hidrograma za lokaciju Turkovići

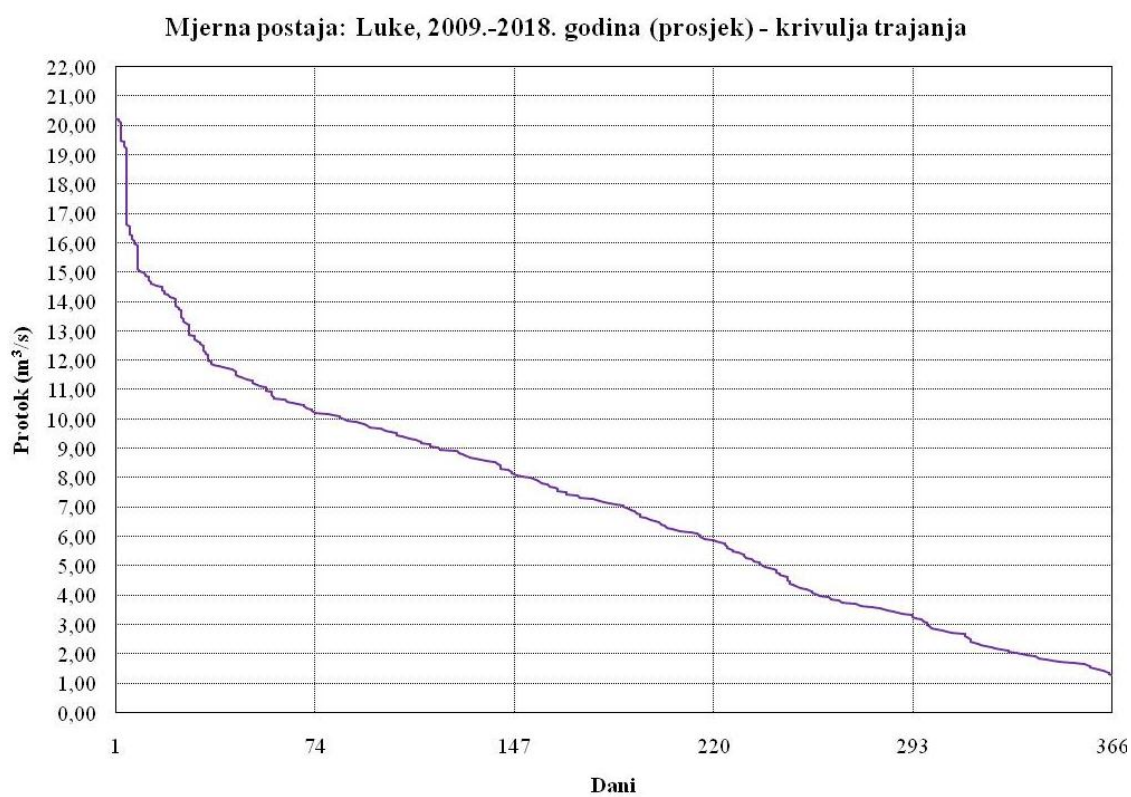


Slika 39. Grafički prikaz hidrograma za lokaciju Luke

Iz grafičkih prikaza vidljivo je da rijeka Gornja Dobra ima značajan hidrološki potencijal te da gotovo nikada ne presušuje. Nastavak analize hidrološkog potencijala odnosio se na krivulje trajanja protoka, također za desetogodišnji vremenski period na obje lokacije. Krivulja trajanja protoka prikazuje postotak vremena ili broj dana u godini tijekom kojeg je vodostaj poredan po veličini, odnosno raspoloživost vodnih količina s obzirom na određeno trajanje. Na slikama 40. i 41. nalaze se grafički prikazi krivulja trajanja osrednjenog protoka za predložene lokacije, a u Prilozima3 i 4 pojedinačne krivulje trajanja za svaku godinu u desetogodišnjem nizu.



Slika 40. Grafički prikaz krivulje trajanja osrednjenog protoka za lokaciju Turkovići



Slika 41. Grafički prikaz krivulje trajanja osrednjenog protoka za lokaciju Luke

Prema smjernicama za dimenzioniranje hidroelektrana, preporučeno je korištenje trajanja srednjeg dnevnog protoka od 250 dana. Osrednjavanjem protoka s obzirom na vremenski niz od deset godina, dobiva se srednja vrijednost srednjeg dnevnog protoka koje je ključan za izračun snage male hidroelektrane.

Izlazna snaga hidroelektrane P_{HE} (W) definirana je izrazom:

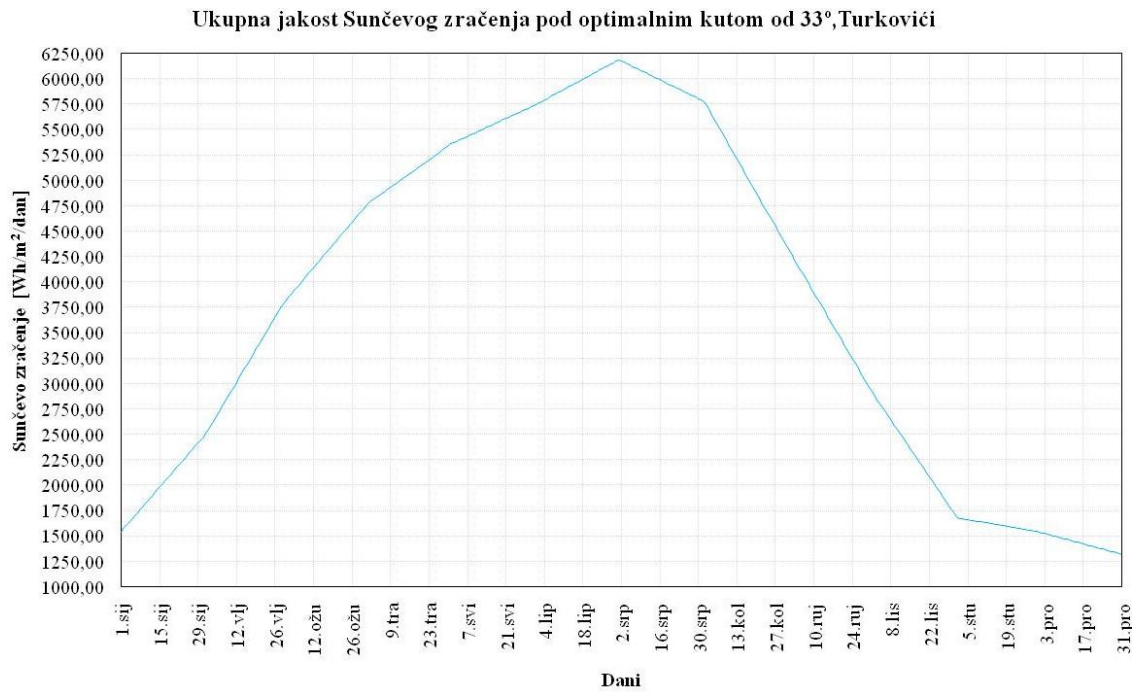
$$P_{HE} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_{HE}, \quad (3)$$

pri čemu je ρ gustoća vode (kg/m^3), g ubrzanje sile teže (m/s^2), Q mjerodavna vrijednost protoka (m^3/s), H ostvareni (neto) pad (m) i η_{HE} učinkovitost hidroelektrane (%).

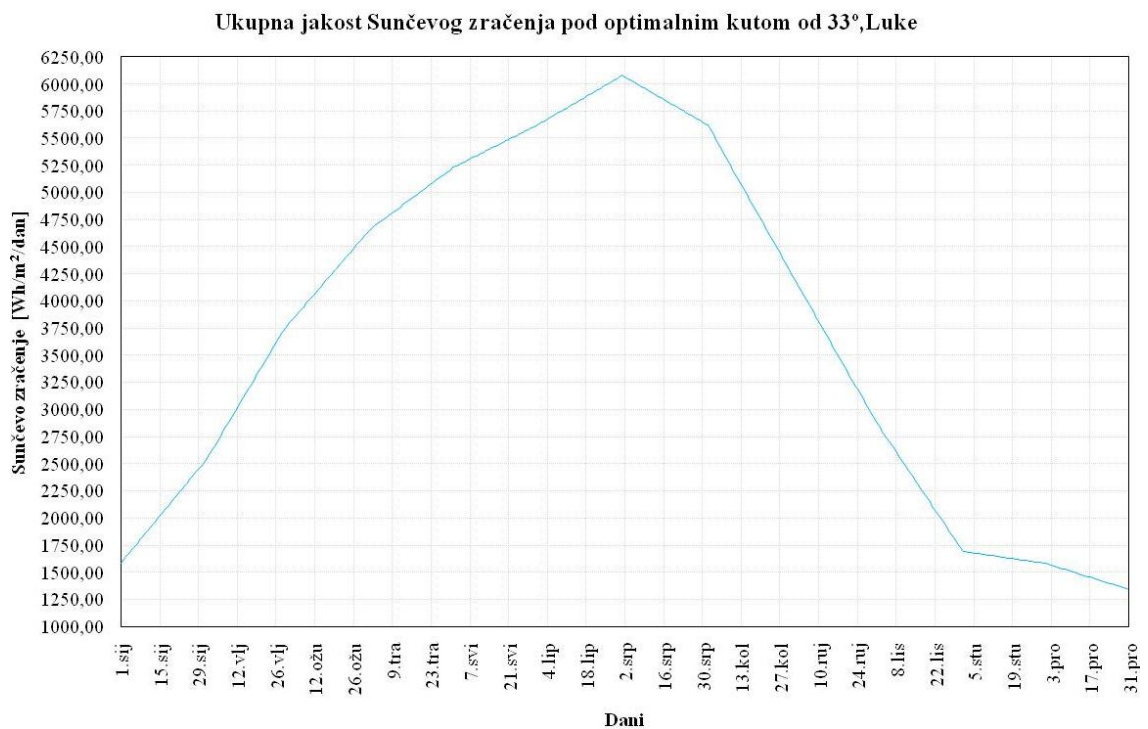
Proračunati osrednjeni protok u trajanju od 250 dana iznosi $8,03 \text{ m}^3/\text{s}$ za Turkoviće i $4,30 \text{ m}^3/\text{s}$ za Luke. Nakon dobivenog protoka, usvajanjem vrijednost za učinkovitost turbine 80% [42] i određivanjem neto visinskog pada, koji je usvojen prema pravilima struke s obzirom na karakteristike lokacije i iznosi 1,4 m, izračunava se snaga svake male hidroelektrane, koja za Turkoviće iznosi 88,23 kW, a za Luke 47,24 kW, pri čemu je vidljivo da se radi o mikro hidroelektranama.

5.2 Solarni potencijal

Prilikom određivanja solarnog potencijala pojedine lokacije, potrebni su podaci o jakosti i intenzitetu Sunčevog zračenja. PVGIS je besplatni online alat za procjenu proizvodnje solarne električne energije fotonaponskog sustava na bilo kojoj lokaciji [43]. Unosom koordinata željene lokacije u PVGIS i odabirom traženih izlaznih rezultata, odnosno njihovom obradom, dobije se godišnja izlazna snaga solarne elektrane te optimalni kut pod kojim bi se trebali postaviti solarni fotonaponski paneli. Unosom koordinata u PVGIS za lokacije Turkovići (S $45^\circ 17' 38''$, I $15^\circ 10' 42''$) i Luke (S $45^\circ 20' 50''$, I $15^\circ 6' 36''$), pri čemu su paneli usmjereni prema jugu, dobivena je raspodjela jakosti Sunčevog zračenja. Analiza podataka i njihov grafički prikaz napravljeni su u Excelu, slike 42. i 43.



Slika 42.Ukupna jakost sunčevog zračenja raspodijeljena po danima za Turkoviće



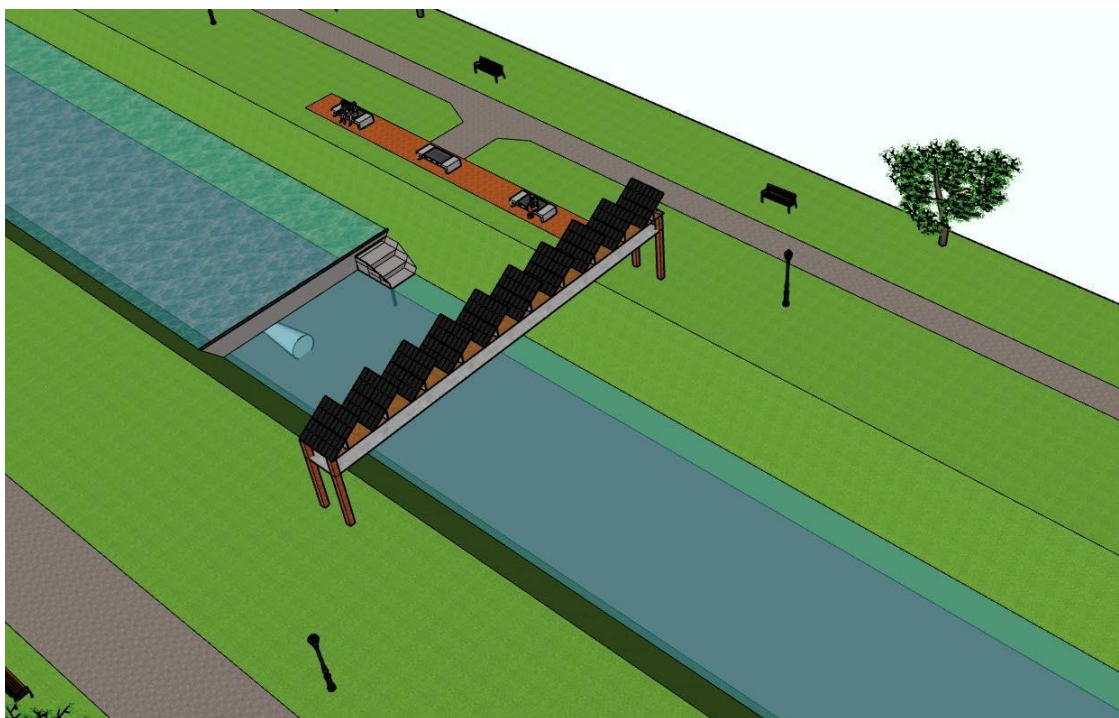
Slika 43.Ukupna jakost sunčevog zračenja raspodijeljena po danima za Luke

Za dobivanje snage P_S solarne fotonaponske elektrane potrebno je koristiti sljedeći izraz [44]:

$$P_S = A \times \eta_S \times 1000, \quad (4)$$

pri čemu je A površina fotonaponskih panela (m^2), η_s učinkovitost fotonaponskog sustava (%), sve navedeno s obzirom na jakost Sunčevog zračenja za Standardne testne uvjete, $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$.

Solarni paneli na lokaciji Turkovići planiraju se postaviti na nadstrešnicu površine $84,2 \text{ m}^2$ i na lokaciji Luke površine 72 m^2 u neposrednoj blizini instalirane male hidroelektrane. Nadstrešnice su dimenzionirane s obzirom na širinu korita, udaljenost od obale, uzimajući u obzir eroziju korita rijeke, slika 44.



Slika 44. Prikaz predloženog modela hibridnog sustava

Fotonaponske panele potrebno je postaviti pod optimalnim kutom nagiba, s obzirom na najveće iskorištenje Sunčevog zračenja. Optimalni kut određen je PVGIS programom, njegova vrijednost za Turkoviće iznosi 33° kao i za Luke, pri čemu je usvojena vrijednost učinkovitosti (na osnovu primjene u praksi) jednaka 15% [45]. Koristeći dobivene ulazne podatke i izraz (4), snaga solarne elektrane za Turkoviće iznosi 12,66 kW te za Luke 10,8 kW.

Hibridni sustav za proizvodnju električne energije osigurava izlaznu snagu u rasponu od 88,23 kW do 100,89 kW na lokaciji Turkovići te izlaznu snagu u rasponu od 47,24 kW do 58,04 kW na lokaciji Luke. Raspon je određen izlaznom snagom mikro hidroelektrane kao najmanjoj vrijednosti te uvećanom za izlaznu snagu solarnog fotonaponskog sustava, prilikom čega se dobiva najveća izlazna snaga hibridnog sustava.

Godišnja proizvodnja električne energije iz mikro hidroelektrane na lokaciji Turkovići iznosi 529380 kWh te na lokaciji Luke 283440 kWh. Proizvodnja električne energije iz solarnog fotonaponskog sustava na lokaciji Turkovići iznosi 18233 kWh te na lokaciji Luke 14896 kWh. S obzirom na navedene iznose, hibridni sustav osigurava godišnju proizvodnju električne energije u rasponu od 529380 kWh do 547613 kWh na lokaciji Turkovići te godišnju proizvodnju električne energije u rasponu od 283440 kWh do 298336 kWh na lokaciji Luke. Izlazna snaga hibridnog sustava može biti povećana ukoliko postoje potrebe za time. Postavljanjem veće površine fotonaponskih panela ili postavljanjem dodatne nadstrešnice uz rijeku povećava se snaga solarnog sustava. Također, postavljanjem dodatnih pregrada, odnosno postavljanjem većeg broja turbina u skladu s potrebama i mogućnostima postiže se povećanje izlazne snage mikro hidroelektrane. Navedeno omogućuje rasterećenje elektrodistribucijske mreže te omogućuje hidrauličku i energetska održivost naselja, u skladu sa pretpostavljenim smjernicama za navedeno.

6. ZAKLJUČAK

Ukupna proizvodnja električne energije još uvijek u malom postotku sadržava obnovljive izvore energije kao proizvođače električne energije. Svakim danom svjedoci smo klimatskih promjena i učinaka koje one donose. Isparavanje vode iz svih vodnih resursa na Zemlji, uzrokovano povećanjem temperature, dovodi do povećanog sadržaja vlage u atmosferi te kao rezultat nastaju oborine. Fossilna goriva također su jedan od uzroka. Svijet svakim danom sve više i više zahtijeva električnu energiju te se potražnja mijenja iz sata u sat. Zahtjevima je teško udovoljiti, stoga treba razvijati nova tehnička rješenja za proizvodnju električne energije koja neće imati negativnog utjecaja na okoliš i samim time povećavati štetan utjecaj klimatskih promjena. Jedno od rješenja ovih problema predstavlja prikazani hibridni sustav za proizvodnju električne energije koji radi u kombinaciji dva obnovljiva izvora energija.

Republika Hrvatska raspolaže sa izuzetnim količinama vodnih resursa, a također i velikim brojem Sunčanih dana. Time Hrvatska ima ogromni potencijal za iskorištavanje obnovljivih izvora energije. Osim iskorištenog potencijala na većim rijekama, postoji mogućnost izgradnje manjih hidroelektrana na rijekama s manjim protocima, ali na lokacijama s velikim brojem sunčanih dana kako bi se mogao izgraditi solarni fotonaponski sustav. Samim time potaklo bi se veće iskorištavanje obnovljivih izvora energije, a smanjile emisije stakleničkih plinova. Kombinacijom različitih proizvodnih tehnologija maksimalno bi se iskoristili svi potencijali. Ruralna područja posebno su decentralizirana u usporedbi s velikim gradovima, koja također zahtijevaju energetske održivost.

Grad Ogulin, odnosno njegova okolica, idealno je područje za projektiranje hibridnog sustava koji bi iskorištavao prirodni potencijal. Ovako projektirani hibridni sustav poticao bi hidrauličku i energetske održivost naselja grada Ogulina i okolice, rasterećivao bi elektrodistribucijsku mrežu, a u konačnici mogao bi se izgraditi u bilo kojem ruralnom području u čijoj blizini je vodotok. Ovakvim hibridnim sustavom podići će se kvaliteta života stanovništva koje živi i radi u gradu, odnosno njegovoj okolini uz minimalan utjecaj na okoliš, odnosno prirodu. Nažalost, Republika Hrvatska nema niti jedan ovakav izgrađeni hibridni sustav.

7. LITERATURA

1. Koutsoyiannis D. *Scale of water resources development and sustainability: small is beautiful, large is great*. Hydrological Sciences Journal. 2011. 4(56), str. 553-575.
2. Izvori energije. *Svijet treba obnovljive izvore energije*. Dostupno na: http://www.izvorienergije.com/svijet_treba_obnovljive_izvore_energije.html. Datum pristupa: 1.7.2019.
3. Energysage. *Five types of renewable energy sources: best alternatives to fossil fuels*. Dostupno na: <https://news.energysage.com/five-types-of-renewable-energy-sources/>. Datum pristupa: 8.4.2019.
4. Zobaa F. A, Bansal C.R. *Handbook of renewable energy technology*. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/46279878_Handbook_of_renewable_energy_technology. Datum pristupa: 8.4.2019.
5. Europska komisija. *EUROPA 2020 Europska strategija za pametan, održiv i uključiv rast*. Dostupno na: <https://www.cisok.hr/wp-content/uploads/2019/05/Europa-2020.pdf>. Datum pristupa: 8.4.2019.
6. European Commission. *Clean energy for all Europeans*. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>. Datum pristupa: 8.4.2019.
7. International Renewable Energy Agency. *Hydropower*. Dostupno na: <https://www.irena.org/hydropower>. Datum pristupa: 9.4.2019.

8. International Energy Agency. *Hydropower*. Dostupno na: <https://www.iea.org/topics/renewables/hydropower/>. Datum pristupa: 9.4.2019.
9. Wikipedia. *Hidroelektrana*. Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana#/media/>. Datum pristupa: 9.4.2019.
10. Jerkić L. *Načini pretvorbe energije vodotoka u električnu energiju*. Dostupno na: <http://www.obnovljivi.com/energija-vode/57-nacini-pretvorbe-energije-vodotoka-u-elektricnu-energiju?showall=1>. Datum pristupa: 9.4.2019.
11. Wikipedia. *Mala hidroelektrana*. Dostupno na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Mala_hidroelektrana. Datum pristupa: 9.4.2019.
12. International Renewable Energy Agency. *Solar energy*. Dostupno na: <https://www.irena.org/solar>. Datum pristupa: 10.4.2019.
13. Sučić I. *Povijest korištenja energije Sunca*. Dostupno na: <http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/50-povijest-koristenja-energije%20sunca?showall=1>. Datum pristupa: 10.4.2019.
14. Solar Power Europe. *Grid Intelligent Solar Unleashing the Full Potential of Utility-Scale Solar Generation in Europe*. Dostupno na: <http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/04/SPE-Grid-Intelligent-Solar-report.pdf>. Datum pristupa: 10.4.2019.
15. Bloomberg NEF. *Energy Outlook 2018*. Dostupno na: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>. Datum pristupa: 10.4.2019.

16. Renewable Energy World. *Photovoltaic (solar cell) Systems*. Dostupno na: <https://www.renewableenergyworld.com/solar-energy/tech/solarpv.html>. Datum pristupa: 12.4.2019.
17. Majdandžić Lj. *Fotonaponsi sustavi*. Dostupno na: http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf. Datum pristupa: 12.4.2019.
18. Šljivac D, Šimić Z. *Obnovljivi izvori energije. Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija*. Dostupno na: <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>. Datum pristupa: 12.4.2019.
19. International Energy Agency. *Solar energy*. Dostupno na: <https://www.iea.org/topics/renewables/solar/>. Datum pristupa: 13.4.2019.
20. Yahyaoui I, Canterno A. Advances in Renewable Energies and Power Technologies. *Modeling and Characterization of a Wind Turbine Emulator*. pogl. 16. 2018. Vol. 1: Solar and Wind Energies, str: 491-508
21. Copy Book. *Vestas 2 MW Wind Turbine*. Dostupno na: <https://www.copybook.com/companies/vestas-wind-turbines/vestas-wind-turbines-gallery/vestas-2mw-wind-turbine-01>. Datum pristupa: 13.4.2019.
22. Bhatia. C.S. Advanced Renewable Energy Systems. *Wind energy*. pogl. 8. 2014, str: 184-222.

23. Singularity Hub. *This Mini Wind Turbine Can Power Your Home in a Gentle Breeze*. Dostupno na: <https://singularityhub.com/2017/07/09/this-mini-wind-turbine-can-power-your-home-in-a-gentle-breeze/>. Datum pristupa: 13.4.2019.
24. International Energy Agency. *Wind energy*. Dostupno na: <https://www.iea.org/topics/renewables/wind/>. Datum pristupa: 13.4.2019.
25. International Renewable Energy Agency. *Wind energy*. Dostupno na: <https://www.irena.org/wind>. Datum pristupa: 13.4.2019.
26. National Geographic. *Geothermal Energy*. Dostupno na: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/geothermal-energy/>. Datum pristupa: 16.4.2019.
27. How Stuff Works. *How Geothermal Energy Works*. Dostupno na: <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/geothermal-energy1.htm>. Datum pristupa: 16.4.2019.
28. Energy systems & sustainable living . *Direct Geothermal Energy*. Dostupno na: <https://ecoandsustainable.com/2013/03/17/direct-geothermal-energy/>. Datum pristupa: 16.4.2019.
29. Sinton. *Can A Geothermal Heat Pump Help You?* Dostupno na: <https://sintonair.com/geothermal-heat-pump/>. Datum pristupa: 16.4.2019.

30. Energy Efficiency & Renewable Energy. *Electricity Generation*. Dostupno na: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation>. Datum pristupa: 20.4.2019.
31. International Renewable Energy Agency. *Geothermal energy*. Dostupno na: <https://www.irena.org/geothermal>. Datum pristupa: 26.4.2019.
32. International Renewable Energy Agency. *Bioenergy*. Dostupno na: <https://www.irena.org/bioenergy>. Datum pristupa: 2.5.2019.
33. Good energy. *What is bioenergy?* Dostupno na: <https://www.goodenergy.co.uk/our-energy/our-fuel-mix/what-is-bioenergy/>. Datum pristupa: 5.5.2019.
34. International Energy Agency. *Bioenergy and biofuels*. Dostupno na: <https://www.iea.org/topics/renewables/bioenergy/>. Datum pristupa: 6.5.2019.
35. Our energy. *Ocean energy*. Dostupno na: https://www.our-energy.com/ocean_energy.html. Datum pristupa: 10.5.2019.
36. Ess J, KuseT. *Savings Multiplied: Conserving Water and Energy to Maximize Efficiency and Reduce Emissions*. Dostupno na: <https://eponline.com/~media/665C338A18214D25BFD58106BC3D7EF4.pdf>. Datum pristupa: 20.5.2019.
37. Hrastović Inženjering d.o.o. *Hibridni tehnički sustavi*. Dostupno na: <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/energijske-tehnologije/item/1119-hibridni-tehnicki-sustavi.html>. Datum pristupa: 21.5.2019.

38. Bonacci O, Andrić I. *Hidrološka analiza krške rijeke Dobre*. Hrvatske vode. 2010. (72), str. 127-138.
39. Državni hidrometeorološki zavod. Sektor za hidrologiju. Hidrološke postaje. Dostupno na: <http://161.53.81.21/>. Datum pristupa: 20.6.2019.
40. Državni hidrometeorološki zavod (2019). Profili poprečnih presjeka mjernih postaja Turkovići i Luke.
41. Državni hidrometeorološki zavod (2019). Vodostaj rijeke Gornja Dobra sa mjernih postaja Turkovići i Luke.
42. Turbiwatt. Low head hydroelectric turbines. *Choosing the right turbine adapted to your potential* Dostupno na: <https://www.turbiwatt.com/en/second-menu-en/choisir-sa-turbine-2.html>. Datum pristupa: 22.6.2019.
43. Photovoltaic Geographical Information System *Interactive Maps*. Dostupno na: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. Datum pristupa: 23.6.2019.
44. Kenna J. Gillett B. *Solar Water Pumping A Handbook*. Dostupno na: https://archive.org/stream/fe_Solar_Water_Pumping_A_Handbook/Solar_Water_Pumping_A_Handbook_djvu.txt. Datum pristupa: 23.6.2019.

45. Margeta, J. Đurin, B. *Multi-criteria approach in solar urban water supply systems*. Proceedings of the institution of civil engineers-water management. (1741-7589) 170 (2017), 6; 273-286.

8. POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovni princip rada hidroelektrane

Slika 2. Grafički prikaz instalirane snage hidroelektrana u svijetu

Slika 3. Prikaz instalirane snage hidroelektrana u Hrvatskoj

Slika 4. Prikaz samostalnog solarnog fotonaponskog sustava

Slika 5. Solarni fotonaponski sustav izravno priključen na javnu elektroenergetsku mrežu

Slika 6. Solarni fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije

Slika 7. Prikaz toplinskog kolektora za nisku temperaturu

Slika 8. Prikaz toplinskog kolektora za srednju temperaturu

Slika 9. Prikaz presjeka evakuirane staklene cijevi kolektora za visoku temperaturu

Slika 10. Prikaz instalirane snage solarnog fotonaponskog sustava u svijetu

Slika 11. Prikaz instalirane snage solarnog fotonaponskog sustava u Hrvatskoj

Slika 13. Prikaz vjetroelektrane s vodoravnim rotorom

Slika 12. Osnovni dijelovi vjetroelektrane

Slika 13. Prikaz vjetroelektrane s vodoravnim rotorom

Slika 14. Prikaz vjetroelektrane s okomitim rotorom

Slika 15. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na kopnu u svijetu

Slika 16. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na moru u svijetu

Slika 17. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na kopnu u Hrvatskoj

Slika 18. Prikaz izravnog korištenja geotermalne energije

Slika 13. Prikaz vjetroelektrane s vodoravnim rotorom

Slika 14. Prikaz vjetroelektrane s okomitim rotorom

Slika 15. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na kopnu u svijetu

Slika 16. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na moru u svijetu

Slika 17. Prikaz instalirane snage vjetroelektrana na kopnu u Hrvatskoj

Slika 18. Prikaz izravnog korištenja geotermalne energije

Slika 19. Prikaz korištenja geotermalne toplinske pumpe

Slika 20. Prikaz instalirane snage geotermalnih izvora u svijetu

Slika 21. Prikaz grijanja kućanstva pomoću biomase

Slika 22. Prikaz instalirane snage biomase u svijetu

Slika 23. Prikaz instalirane snage biomase u Hrvatskoj

Slika 24. Ilustracija elektrane na morske valove

Slika 25. Prikaz naselja sa ulazima i izlazima vode i energije

Slika 26. Prikaz tokova Gornje Dobre i Zagorske Mrežnice

Slika 27. Prikaz potencijalnih lokacija

Slika 30. Profili korita rijeke Gornja Dobra

Slika 29. Geodetska izmjera korita na lokaciji Luke

Slika 28. Geodetska izmjera korita na lokaciji Turkovići

Slika 29. Geodetska izmjera korita na lokaciji Luke

Slika 30. Profili korita rijeke Gornja Dobra kod mjerne postaje Luke

Slika 31. Profili korita rijeke Gornje Dobre kod mjerne postaje Turkovići

Slika 32. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2014. godine

Slika 33. Poprečni presjek korita na lokaciji Luke iz 2011. godine

Slika 34. Nivogram rijeke Gornja Dobra za lokaciju Turkovići

Slika 35. Nivogram rijeke Gornja Dobra za lokaciju Luke

Slika 36. Grafički prikaz dubina rijeke Gornja Dobra za lokaciju Turkovići

Slika 37. Grafički prikaz dubina rijeke Gornja Dobra za lokaciju Luke

Slika 38. Grafički prikaz hidrograma za lokaciju Turkovići

Slika 39. Grafički prikaz hidrograma za lokaciju Luke

Slika 40. Grafički prikaz krivulje trajanja osrednjenog protoka za lokaciju Turkovići

Slika 41. Grafički prikaz krivulje trajanja osrednjenog protoka za lokaciju Luke

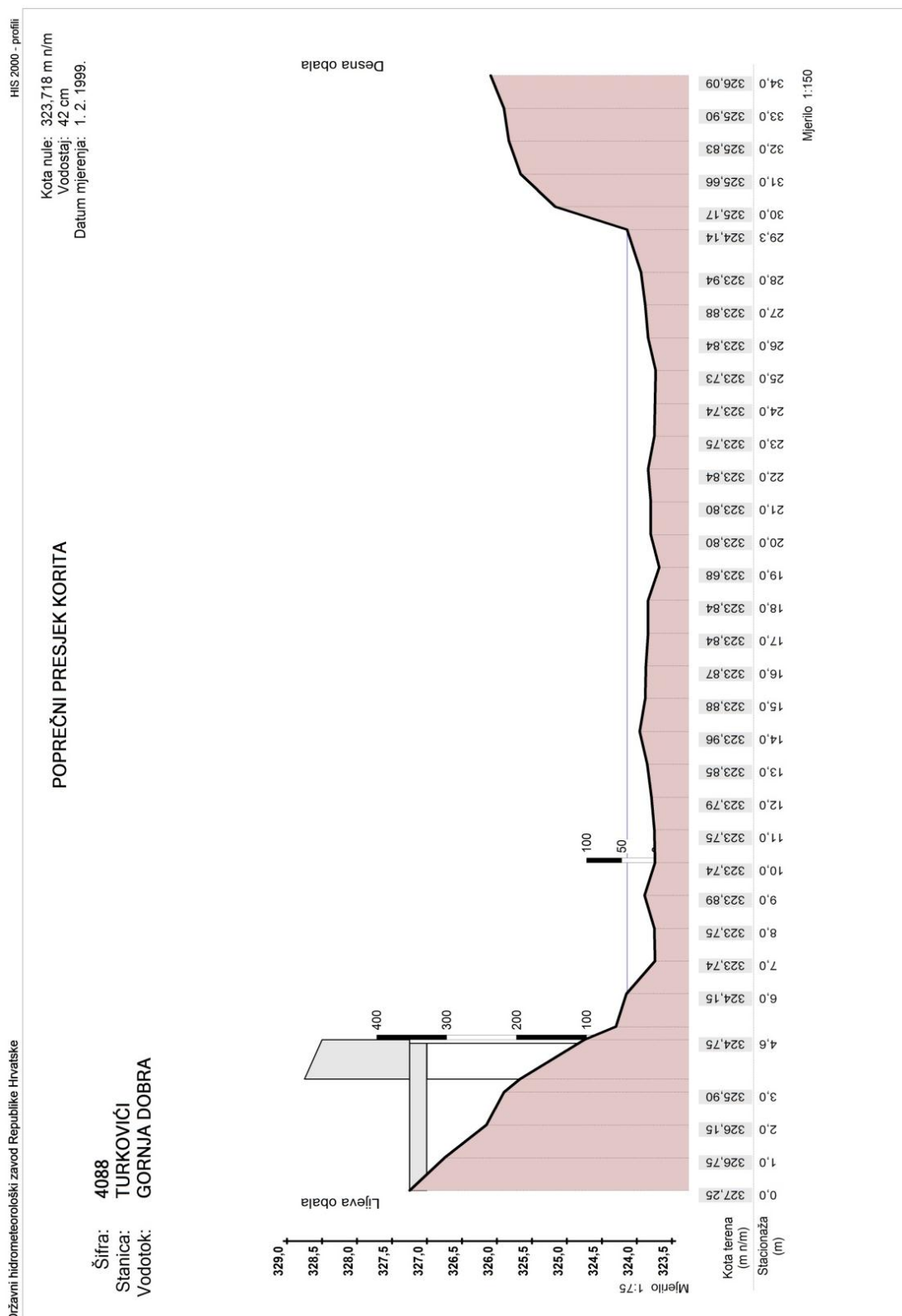
Slika 42. Ukupna jakost sunčevog zračenja raspodijeljena po danima za Turkoviće

Slika 43. Ukupna jakost sunčevog zračenja raspodijeljena po danima za Luke

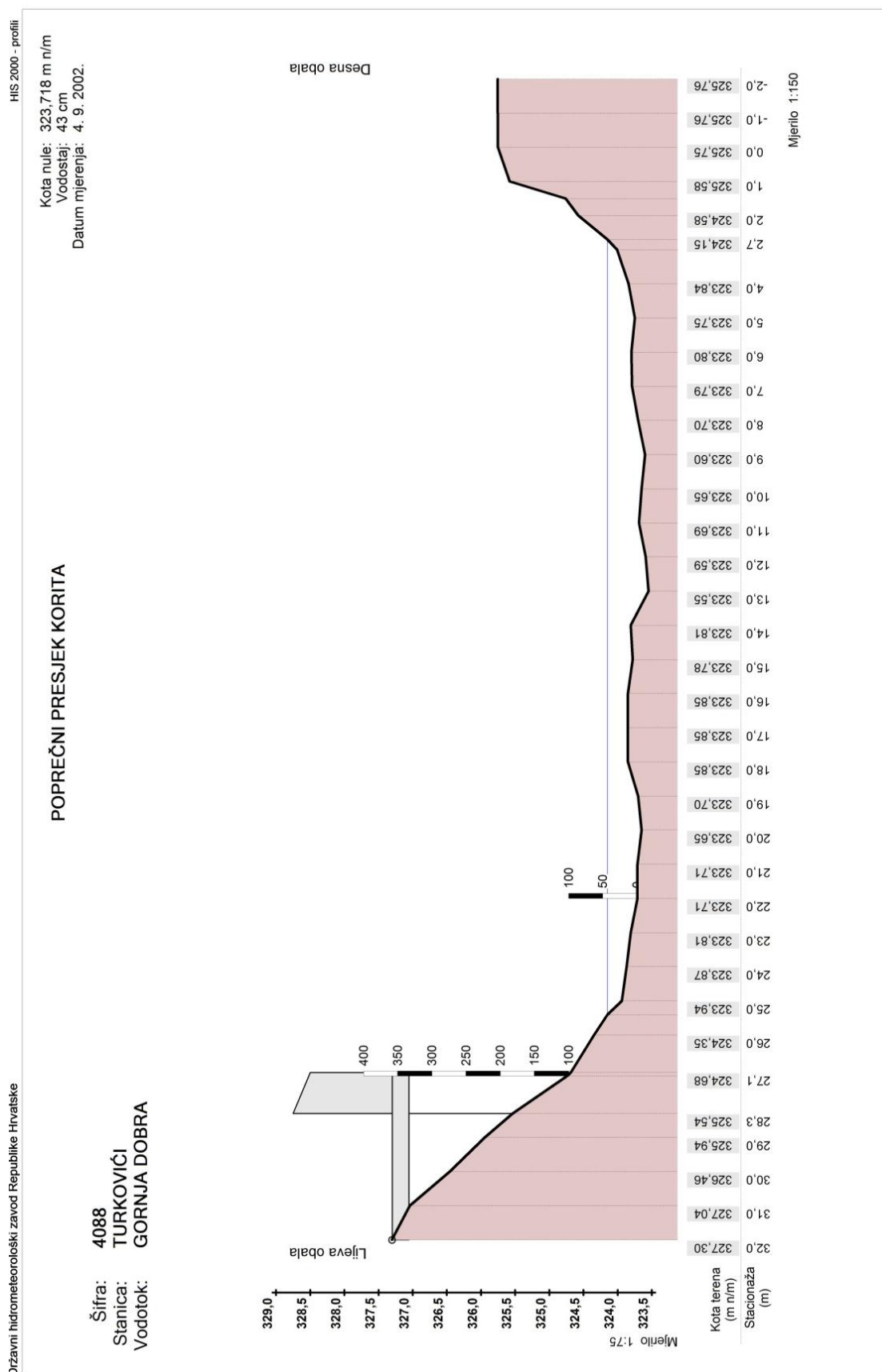
Slika 44. Prikaz predloženog modela hibridnog sustava

PRILOZI

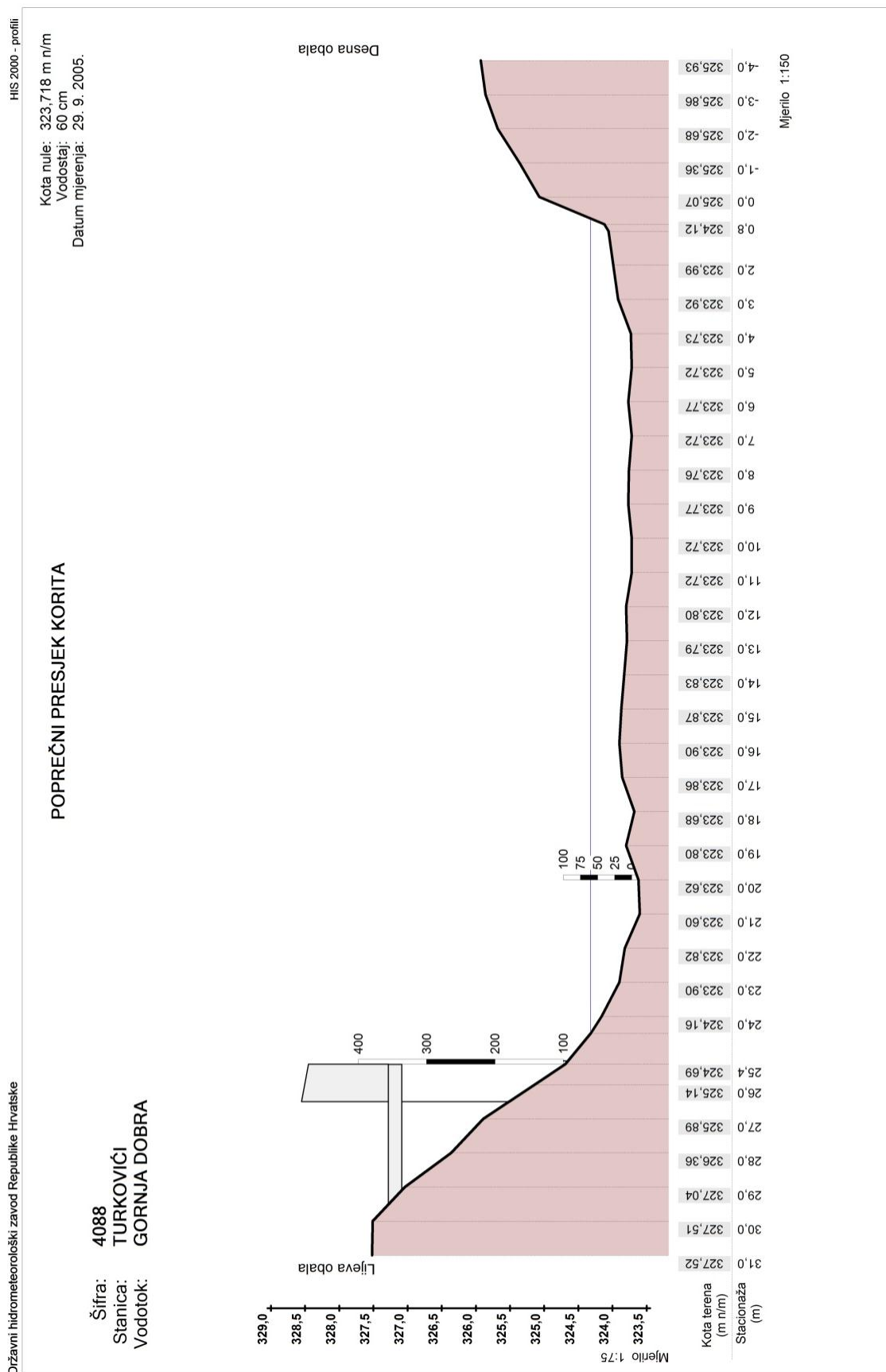
PRILOG P1: Skice poprečnog presjeka korita na lokaciji Turkovići



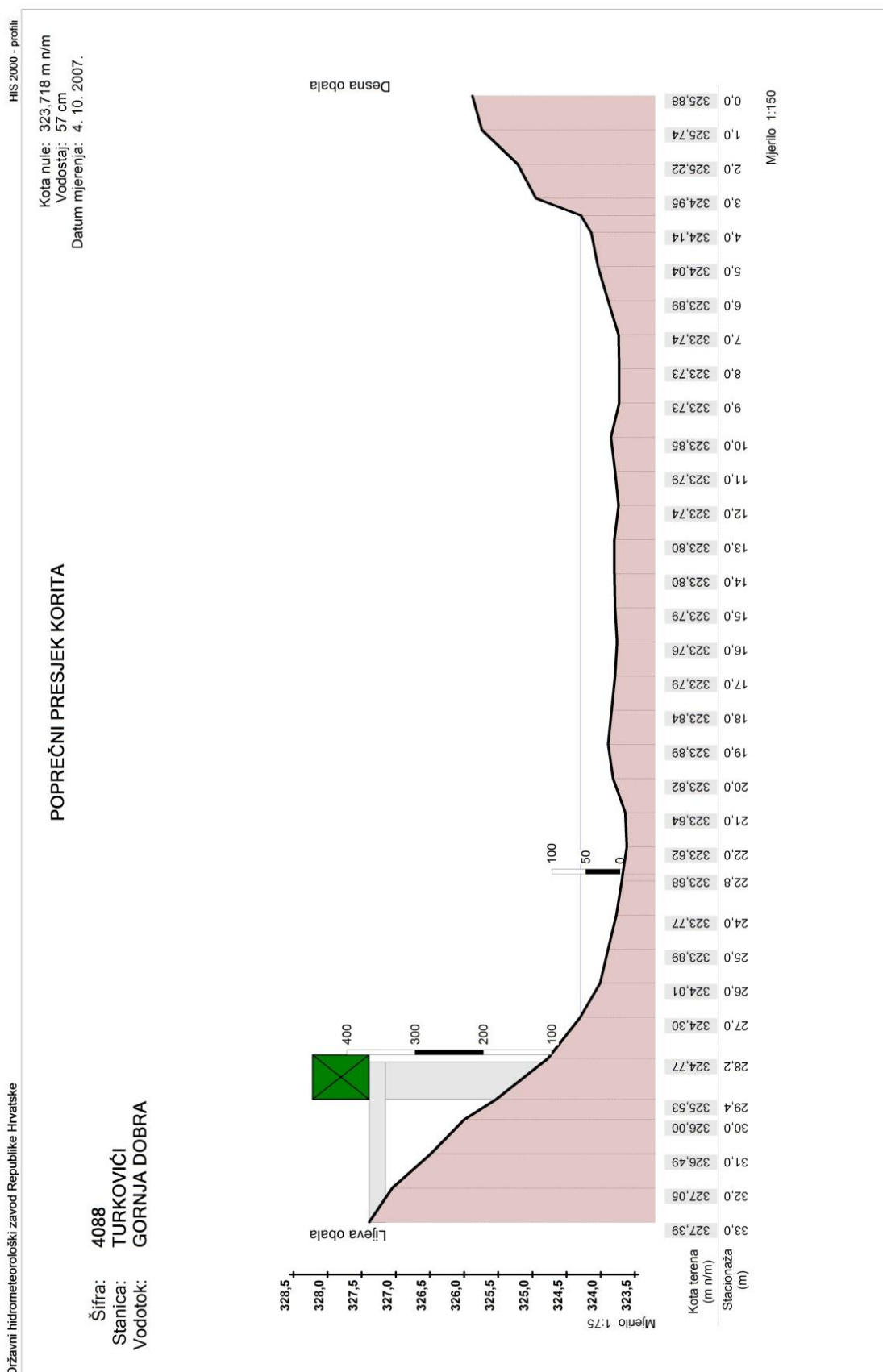
Slika P1-1. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 1999. godine



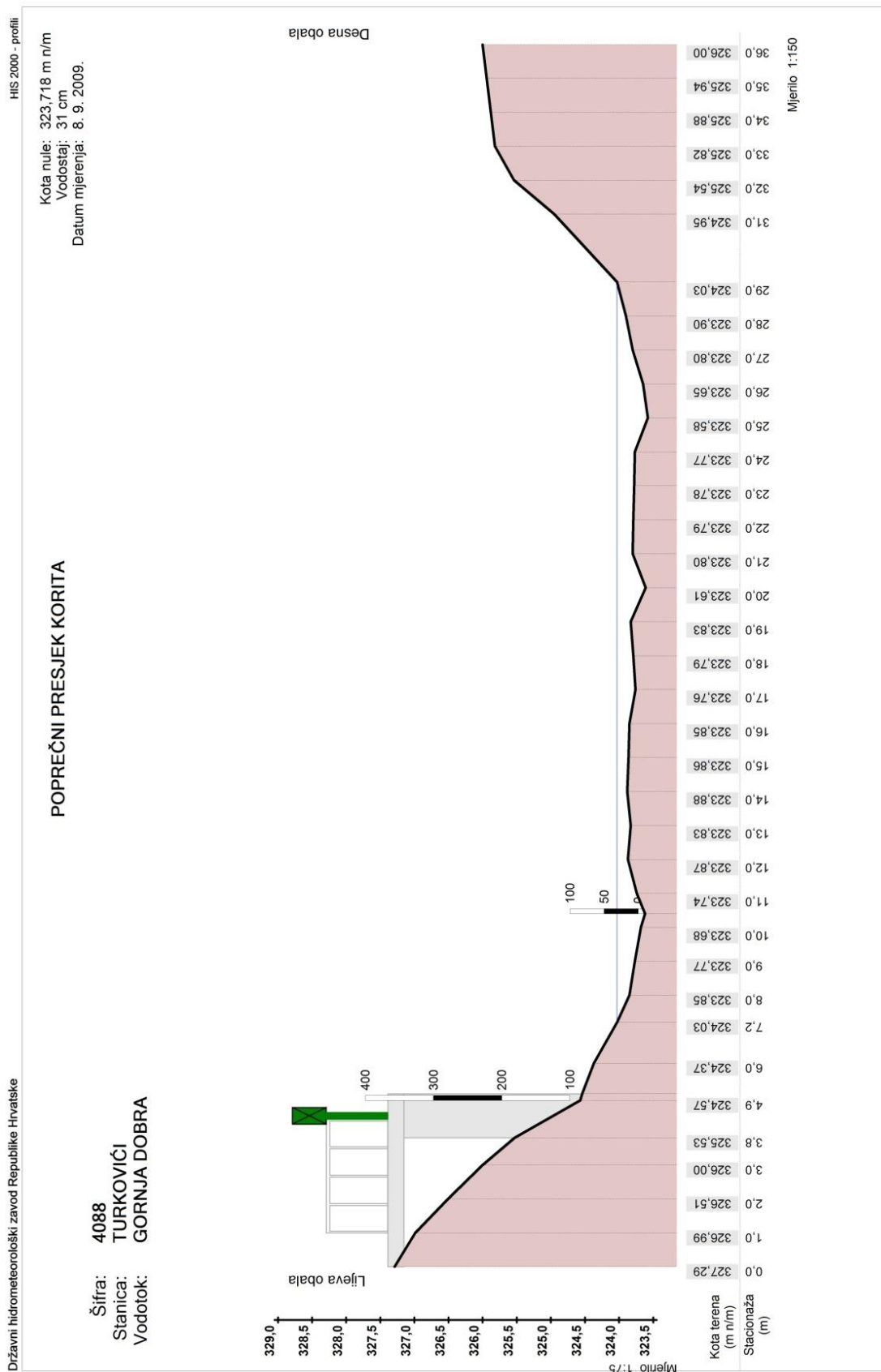
Slika P1-2. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2002. godine



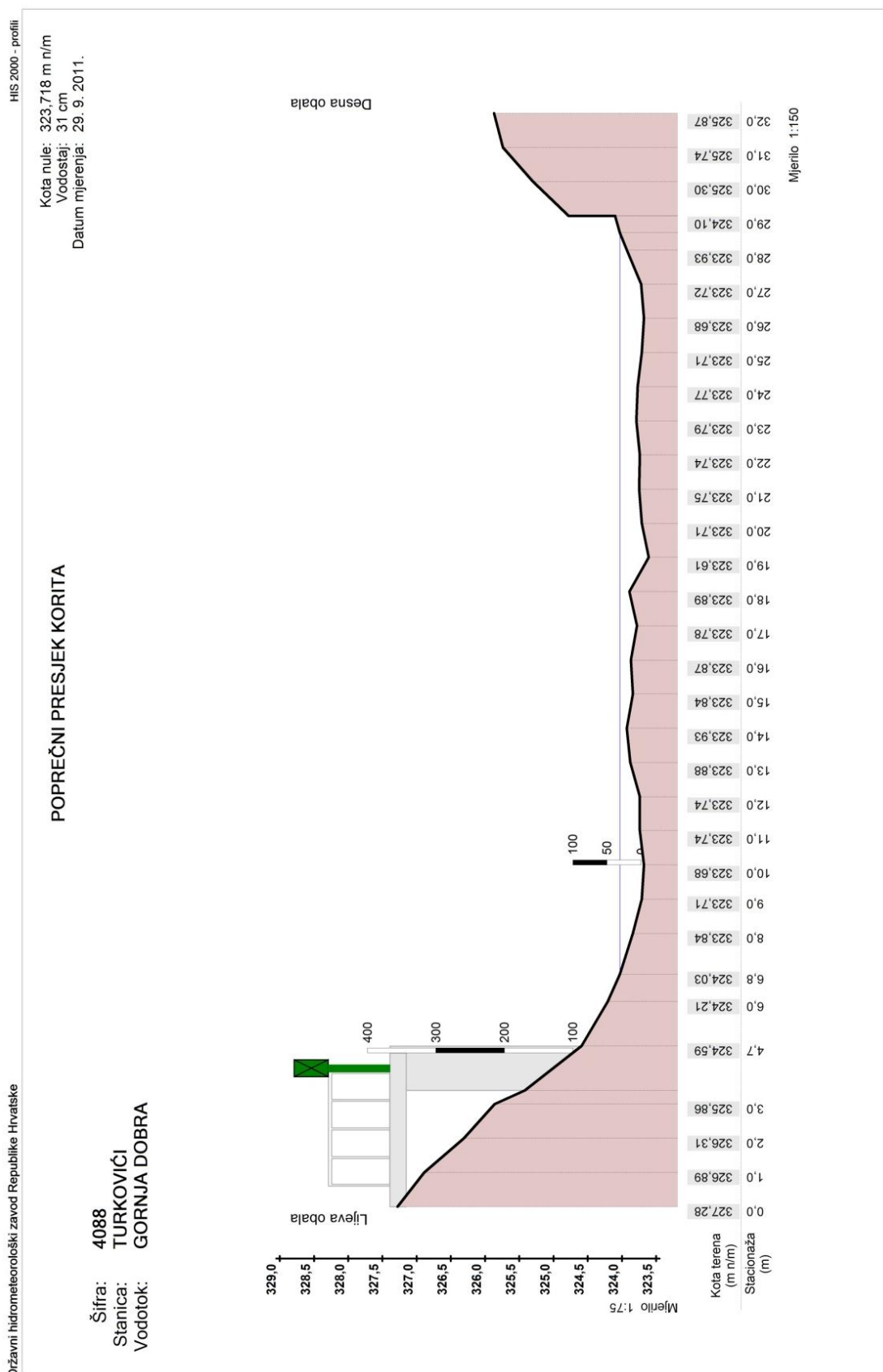
Slika P1-3. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2005. godine



Slika P1-4. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2007. godine

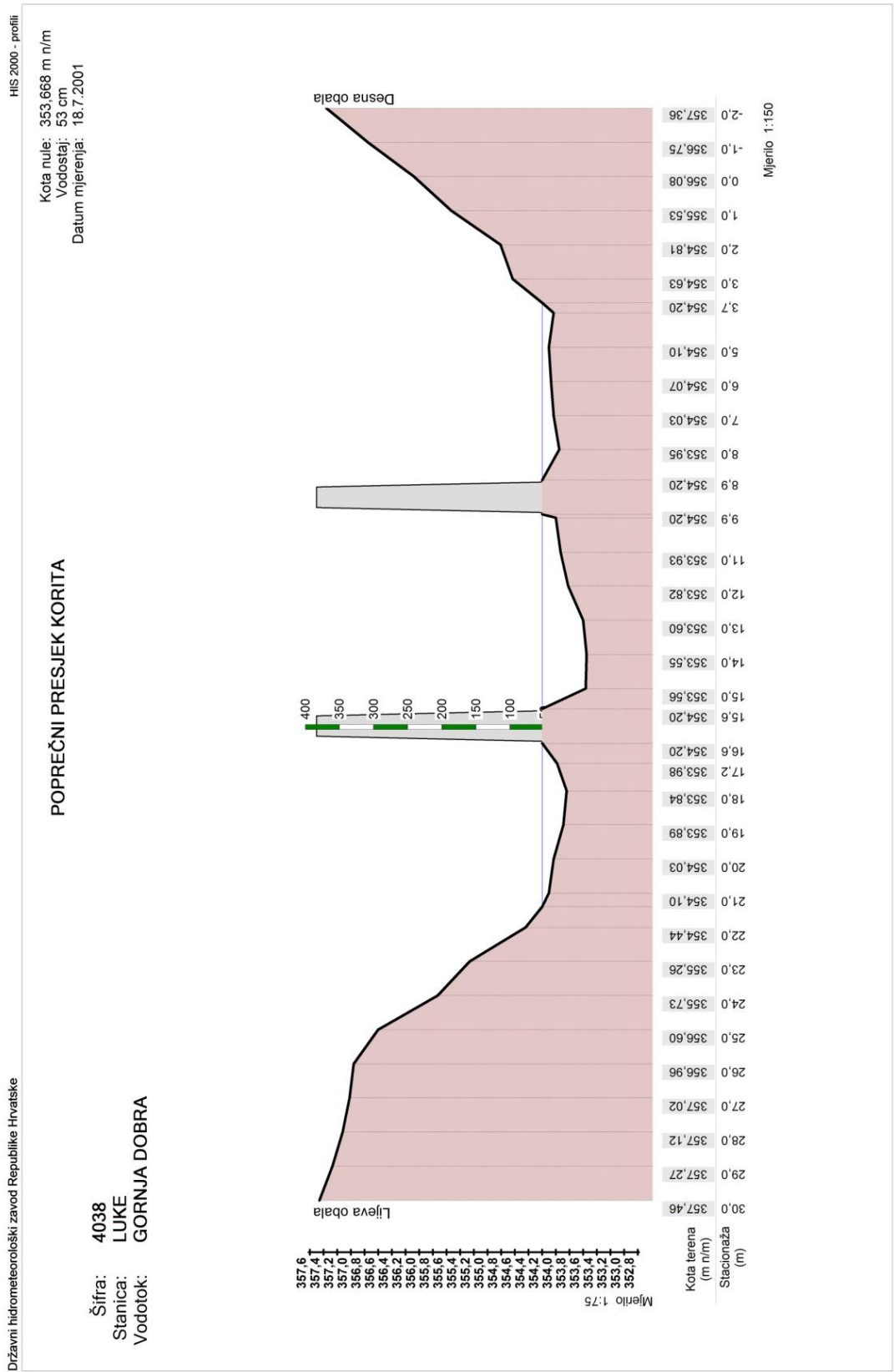


Slika P1-5. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2009. godine

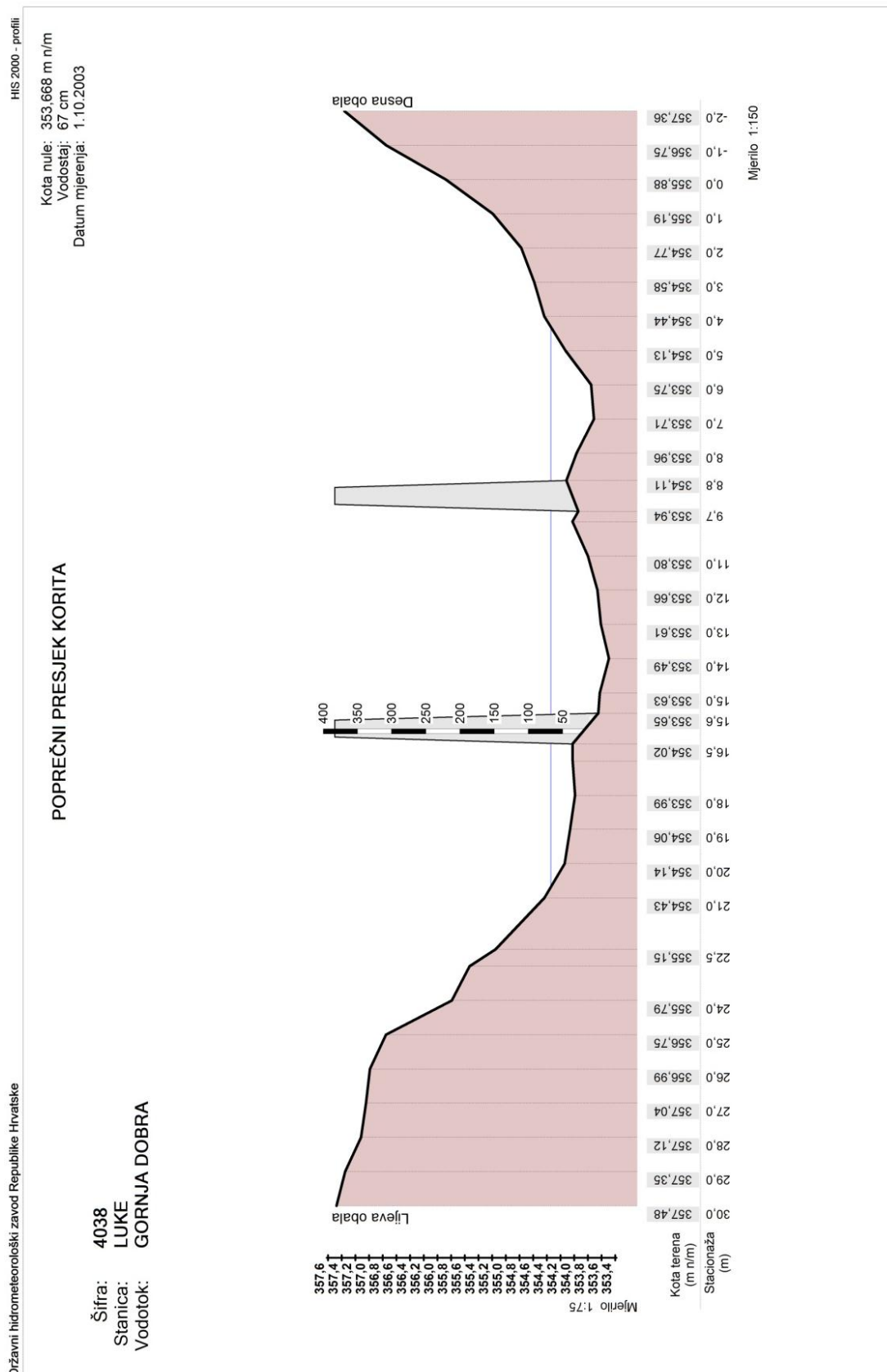


Slika P2-6. Poprečni presjek korita na lokaciji Turkovići iz 2011. godine

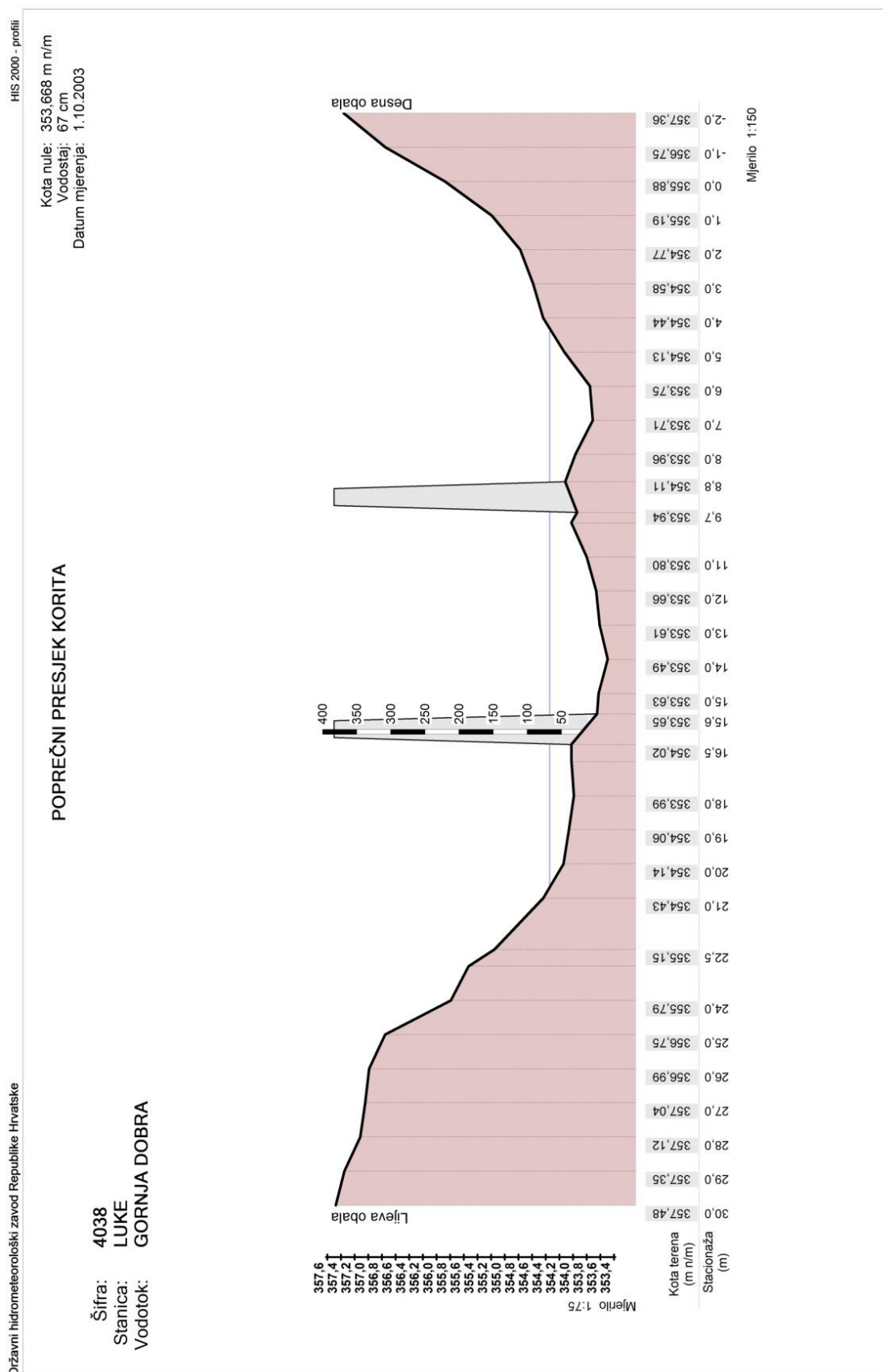
PRILOG P2: Skice poprečnog presjeka korita na lokaciji Luke



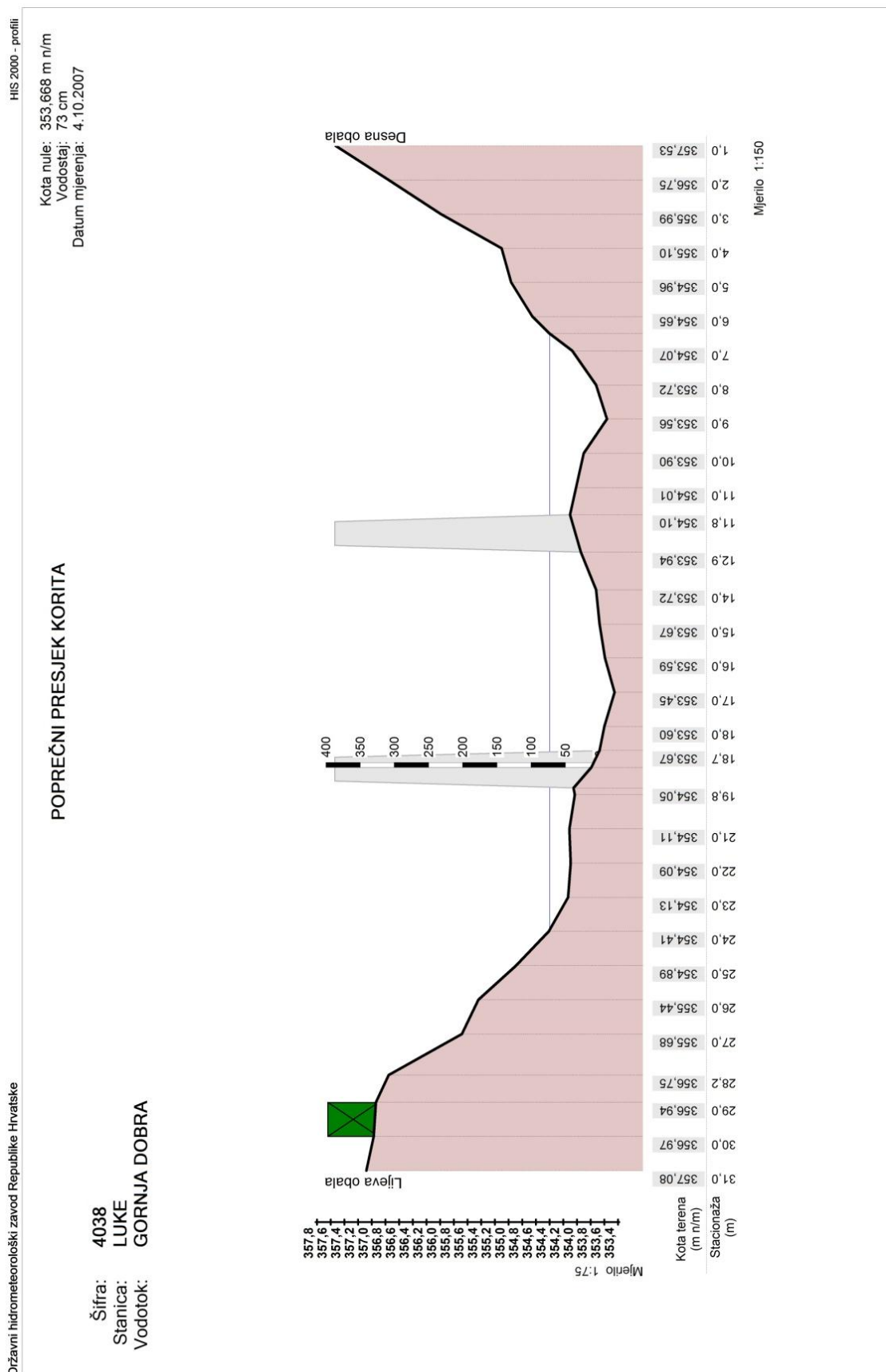
Slika P2-1. Poprečni presjek korita na lokaciji Luke iz 2001. godine



Slika P2-2. Poprečni presjek korita na lokaciji Luke iz 2003. godine

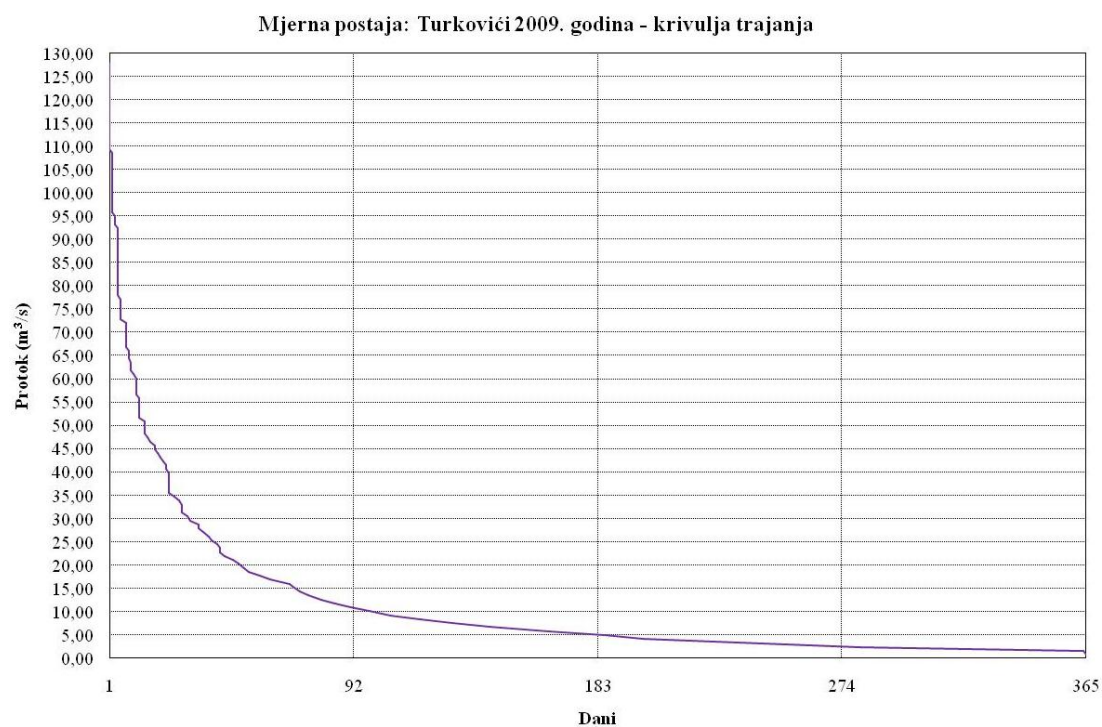


Slika P2-3. Poprečni presjek korita na lokaciji Luke iz 2005. godine

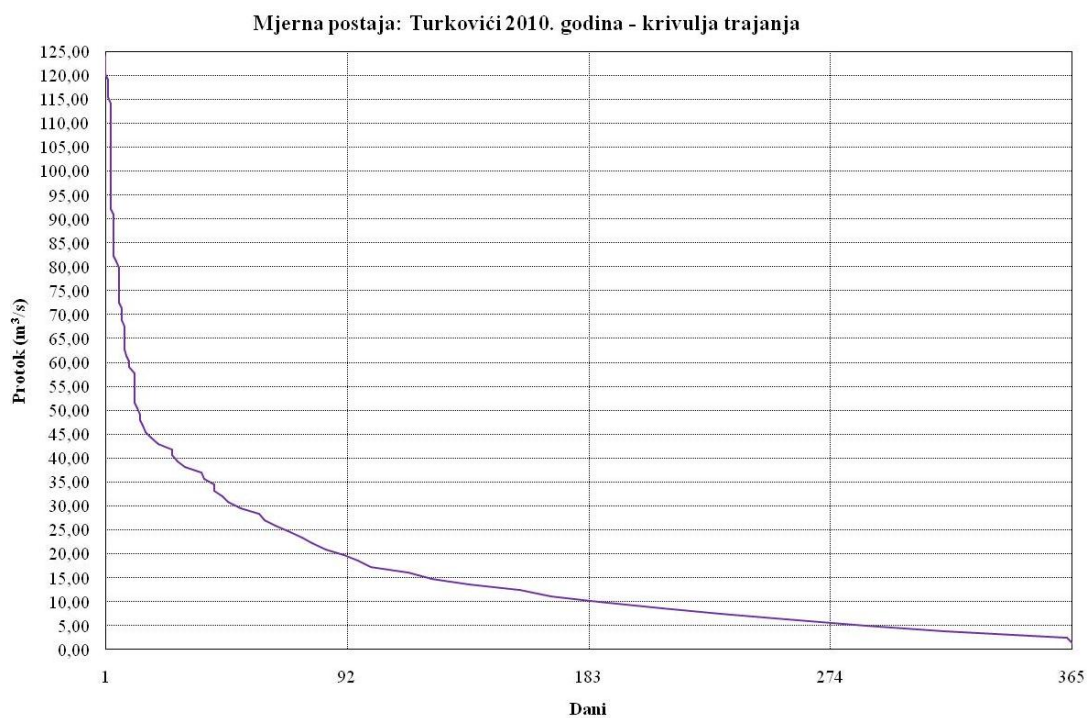


Slika P2-4. Poprečni presjek korita na lokaciji Luke iz 2007. godine

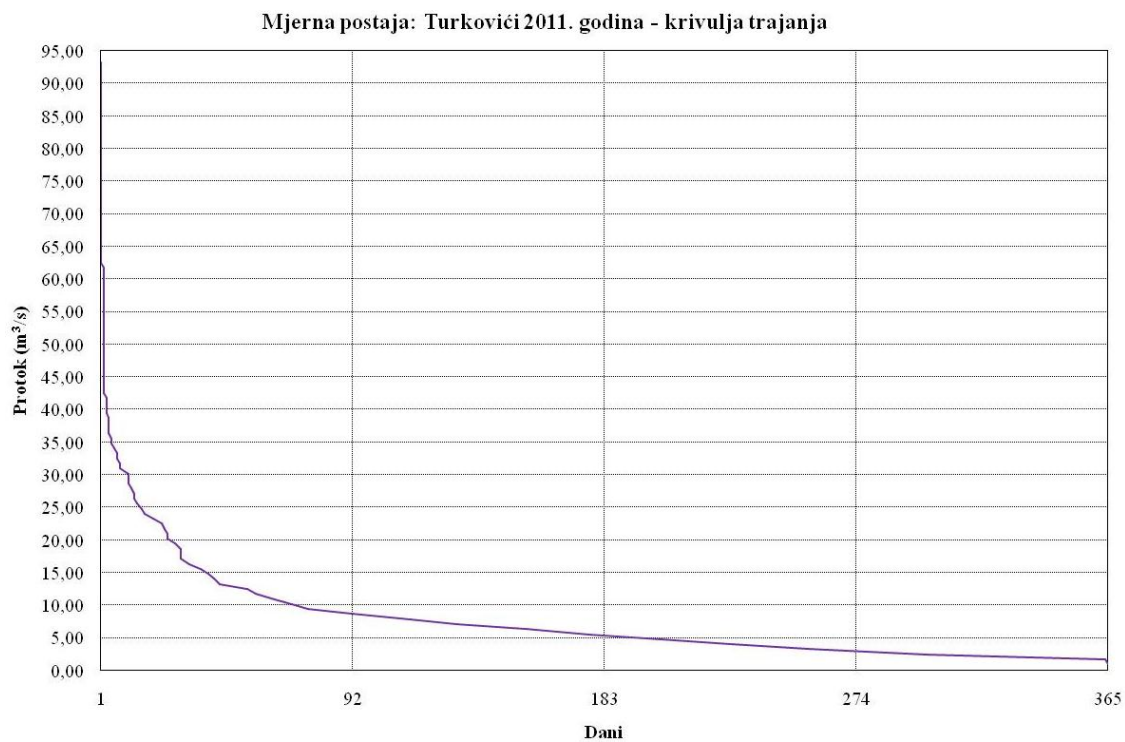
PRILOG P3: Grafički prikaz krivulja trajanja protoka na lokaciji Turkovići za desetogodišnji vremenski period (2009. - 2018. godina)



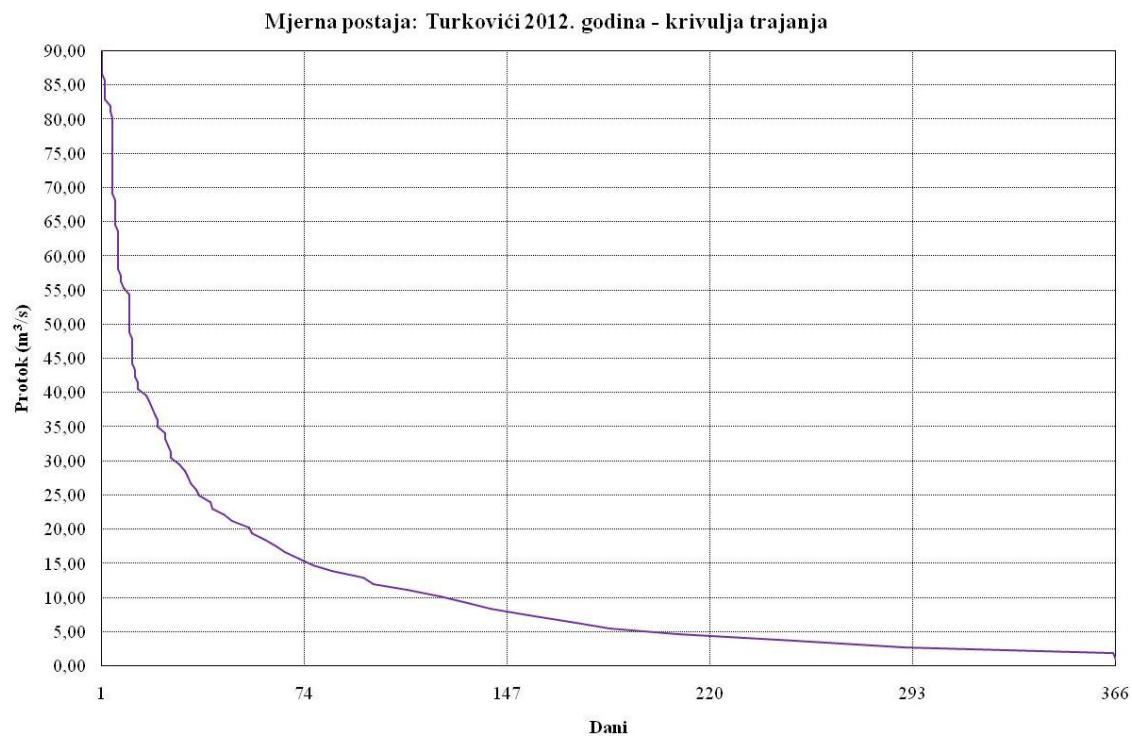
Slika P3-1. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2009. godinu



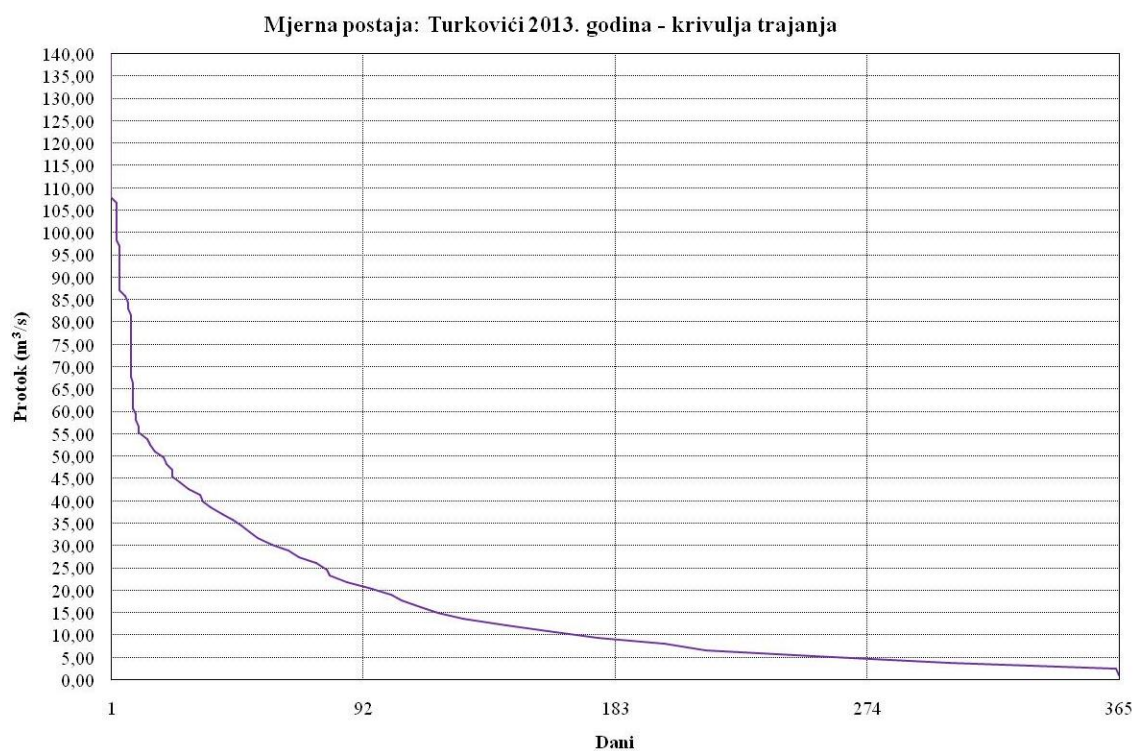
Slika P3-2. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2010. godinu



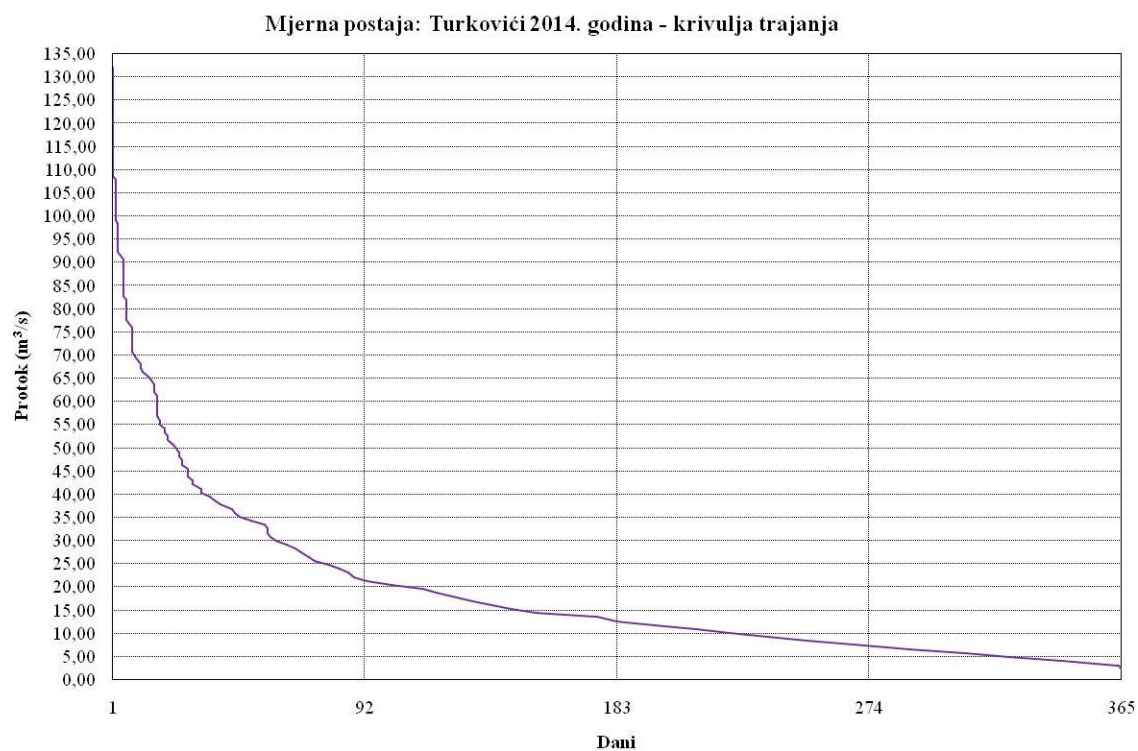
Slika P3-3. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2011. godinu



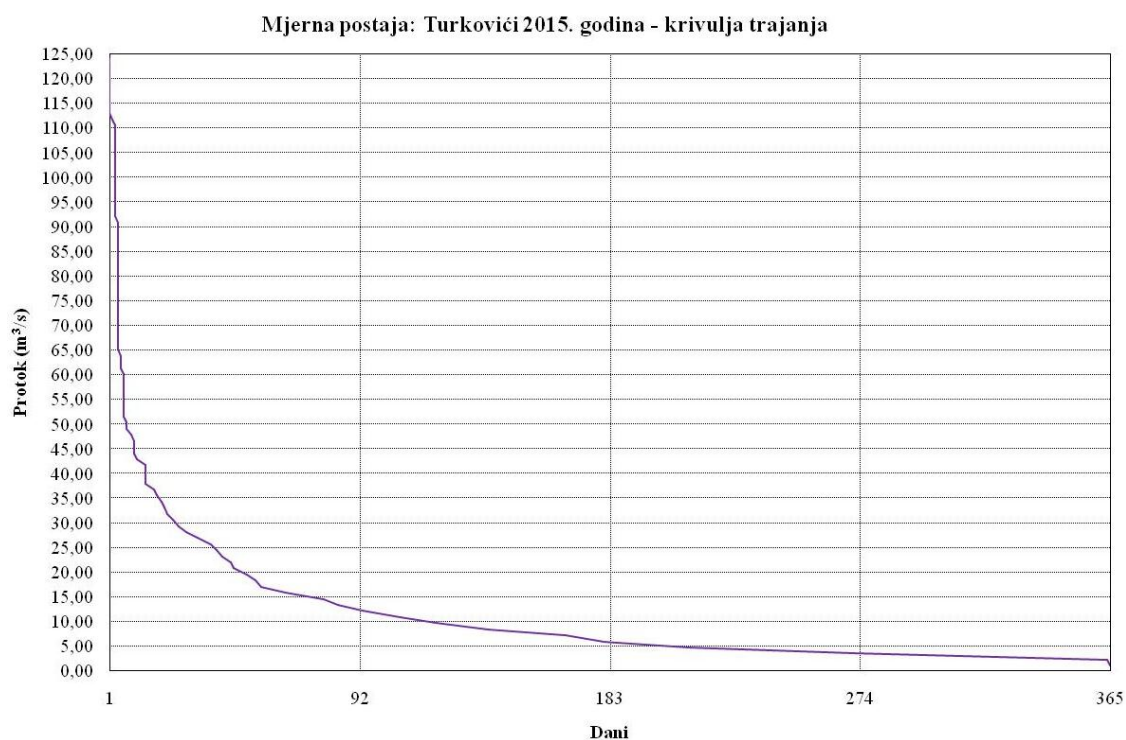
Slika P3-4. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2012. godinu



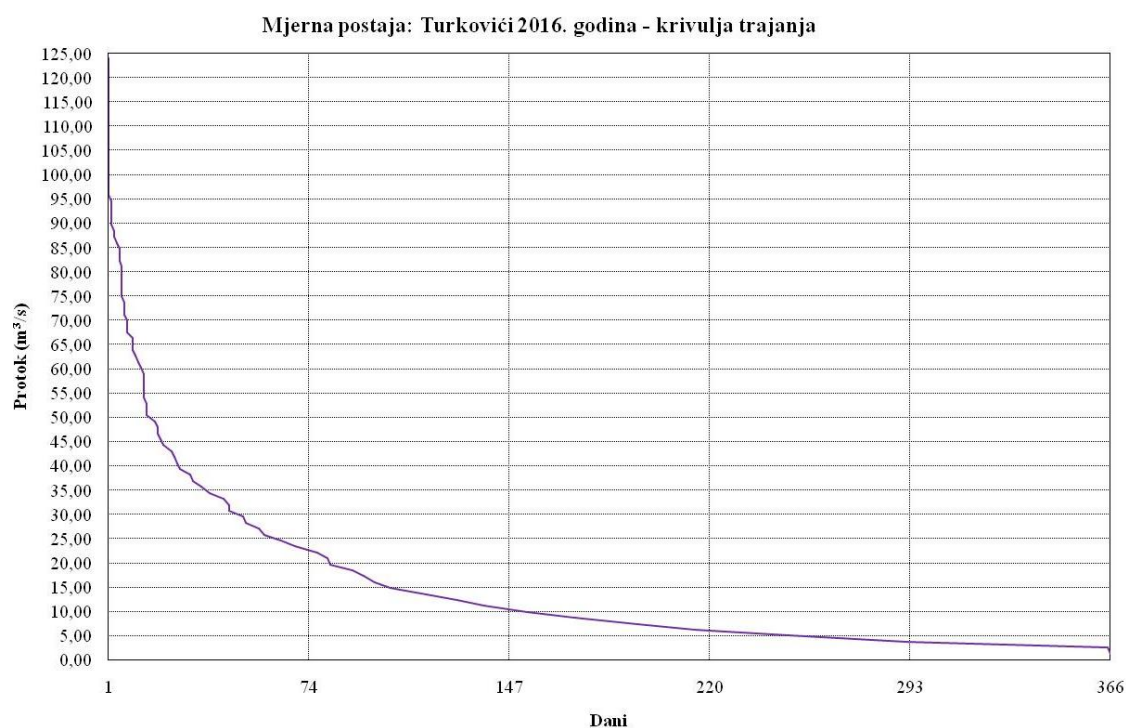
Slika P3-5. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2013. godinu



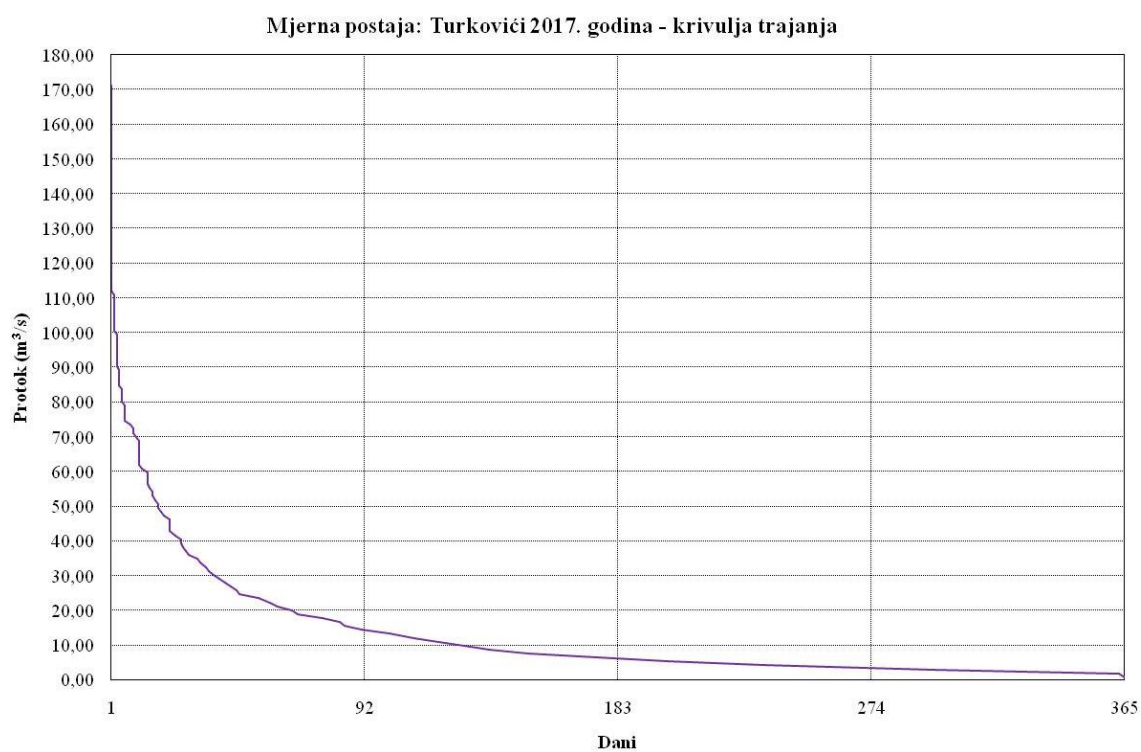
Slika P3-6. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2014. godinu



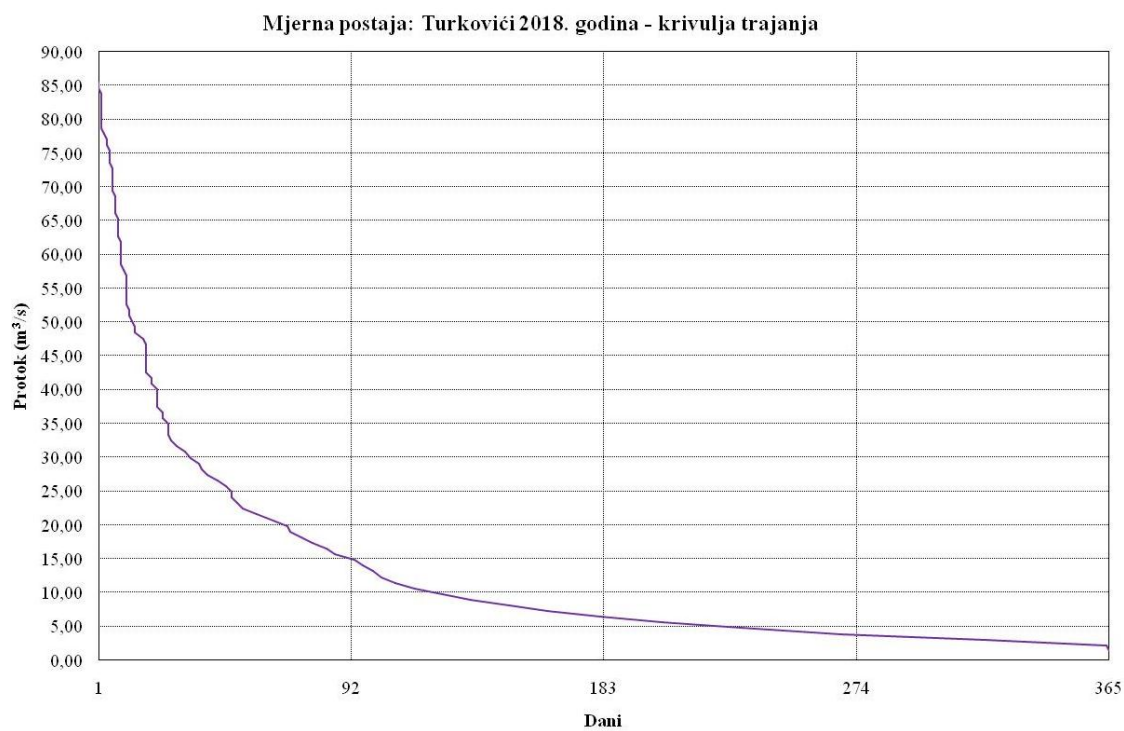
Slika P3-7. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2015. godinu



Slika P3-8. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2016. godinu

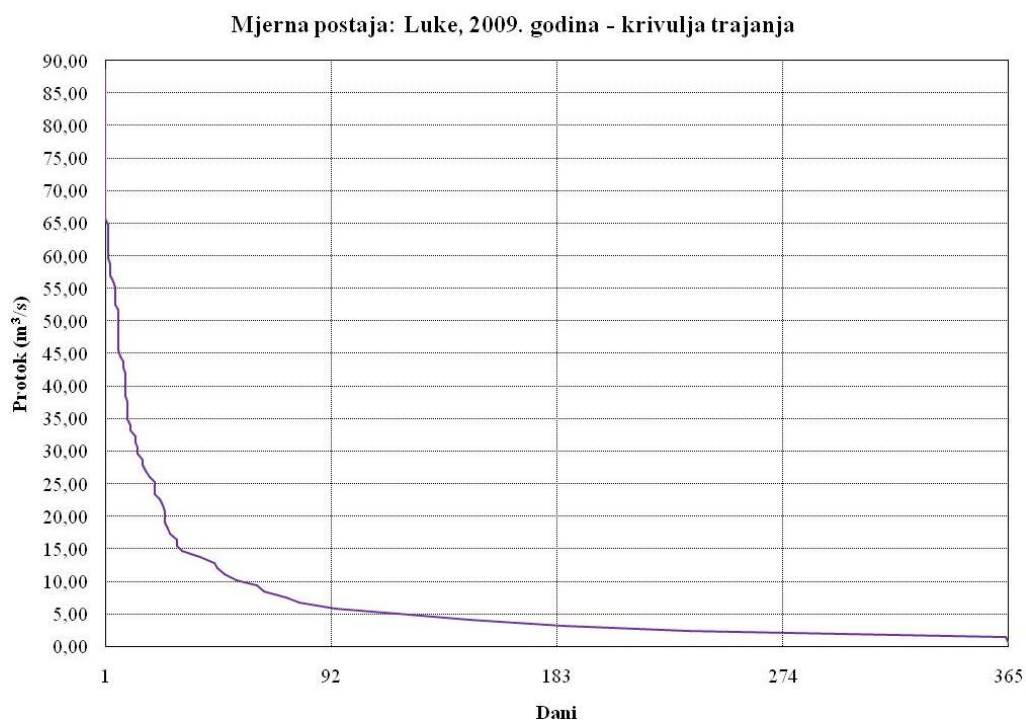


Slika P3-9. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2017. godinu

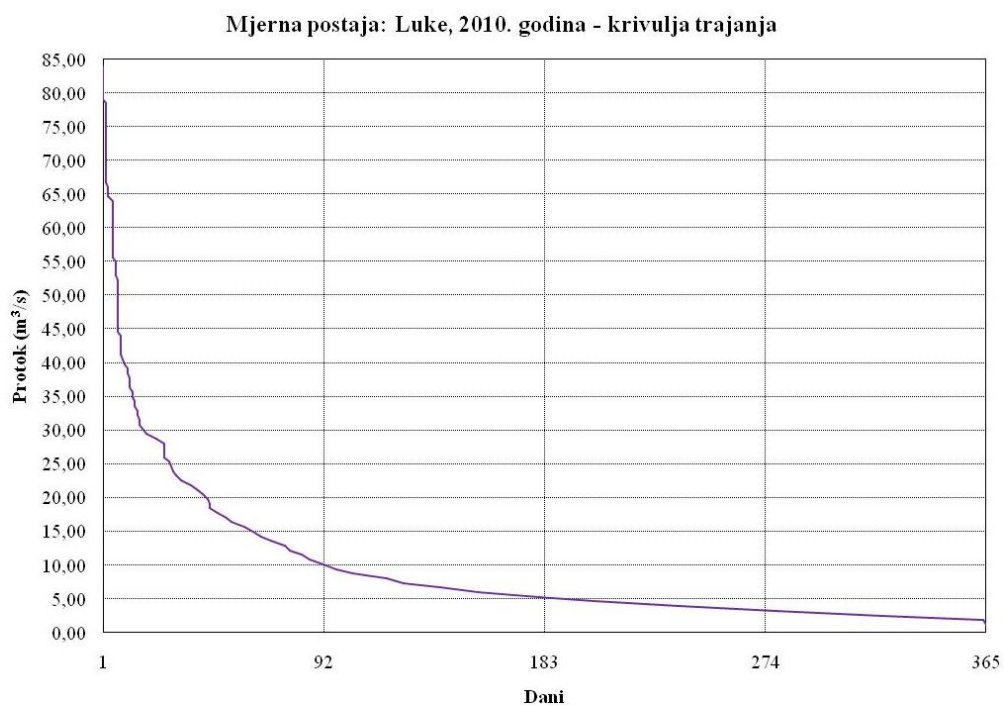


Slika P3-10. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Turkovići za 2018. godinu

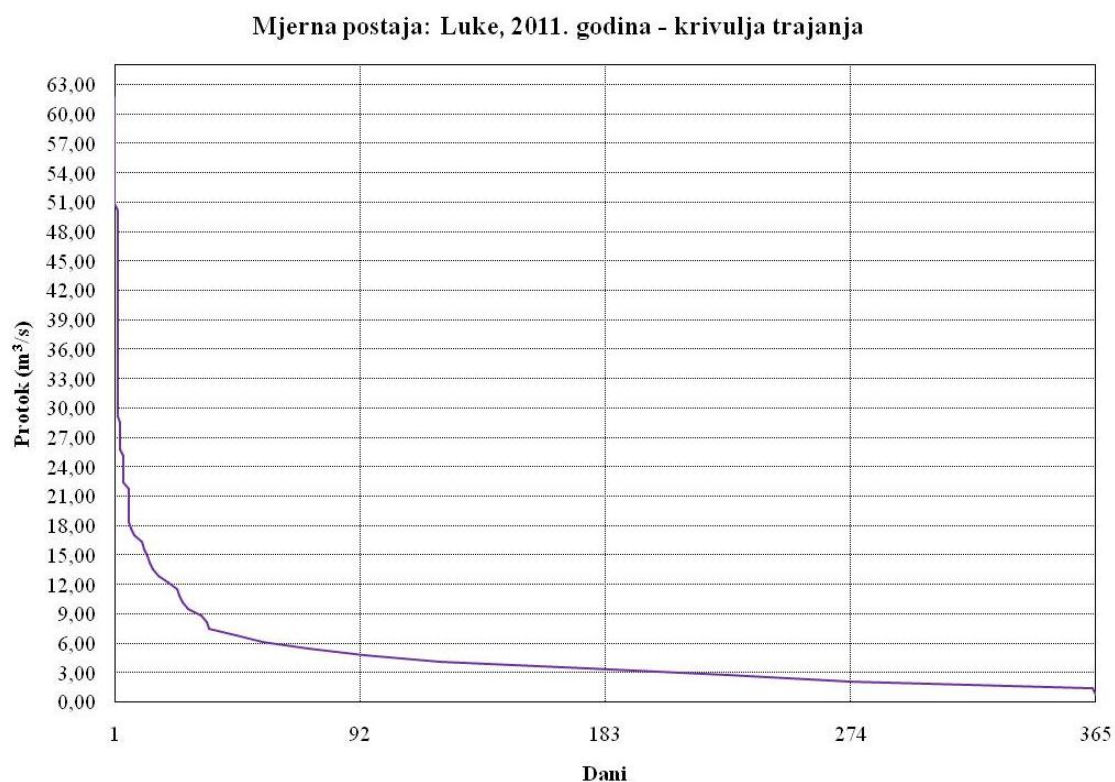
PRILOG P4: Grafički prikaz krivulja trajanja protoka na lokaciji Luke za desetogodišnji vremenski period (2009. - 2018. godina)



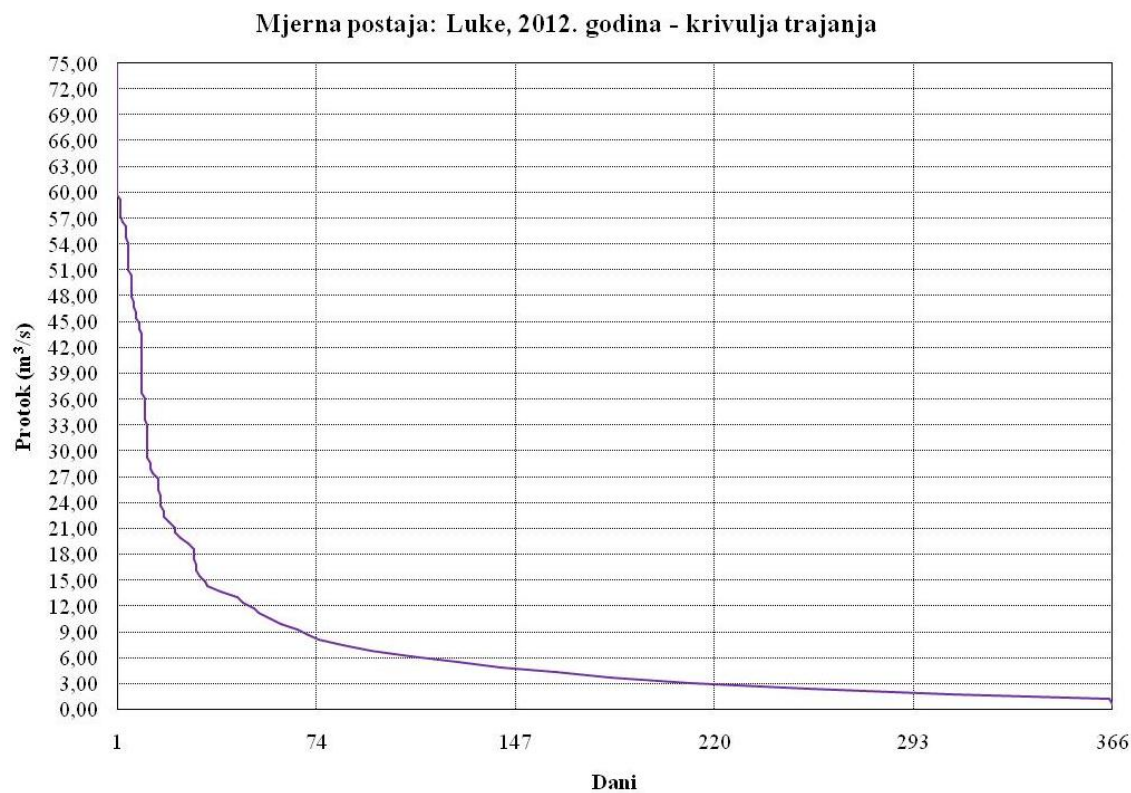
Slika P4-1. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2009. godinu



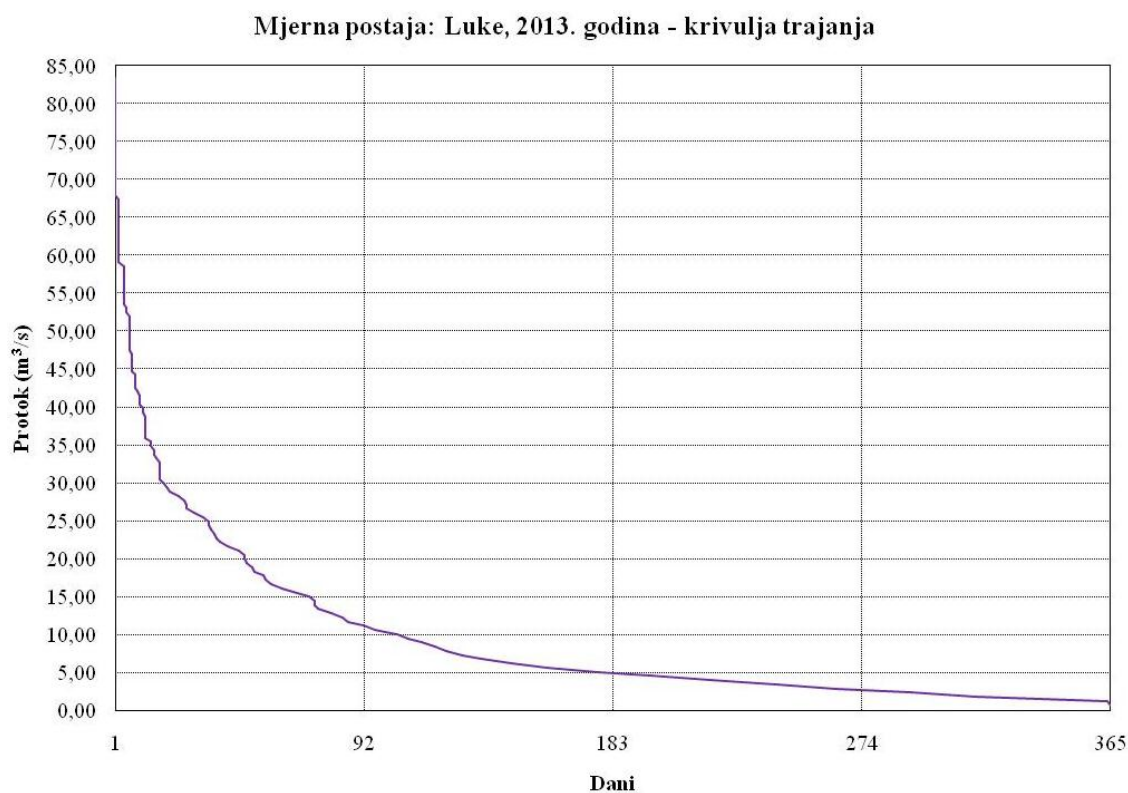
Slika P4-2. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2010. godinu



Slika P4-3. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2011. godinu



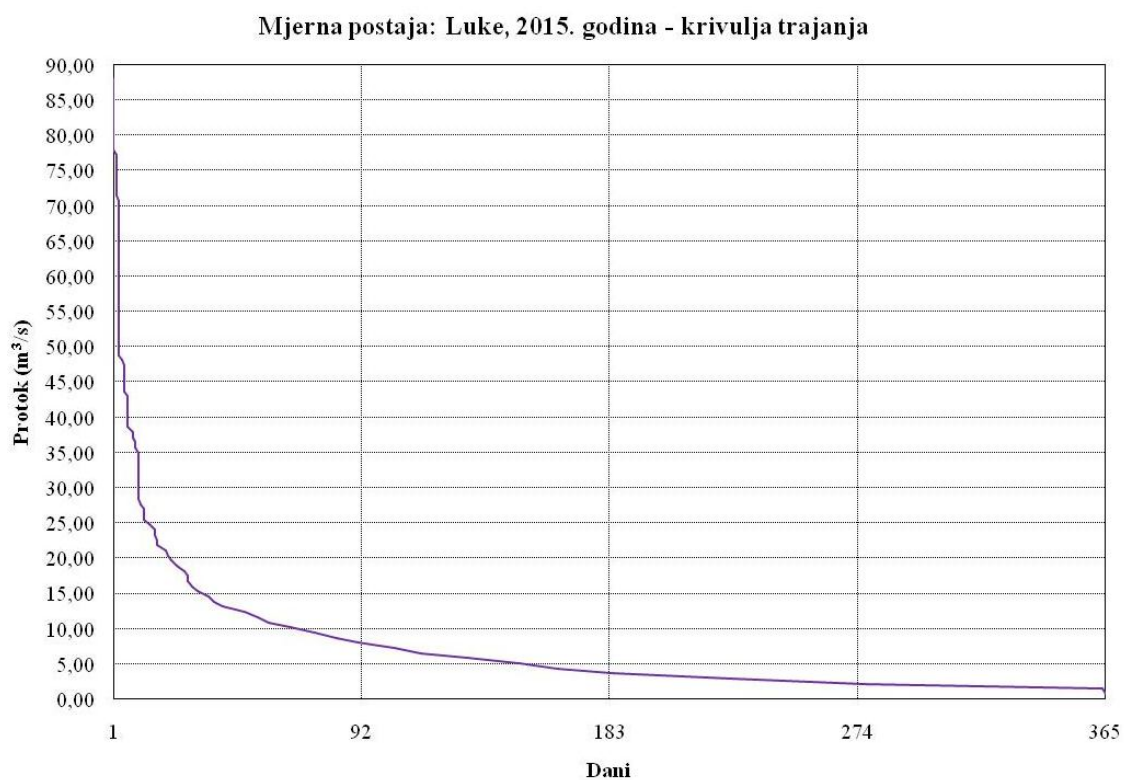
Slika P4-4. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2012. godinu



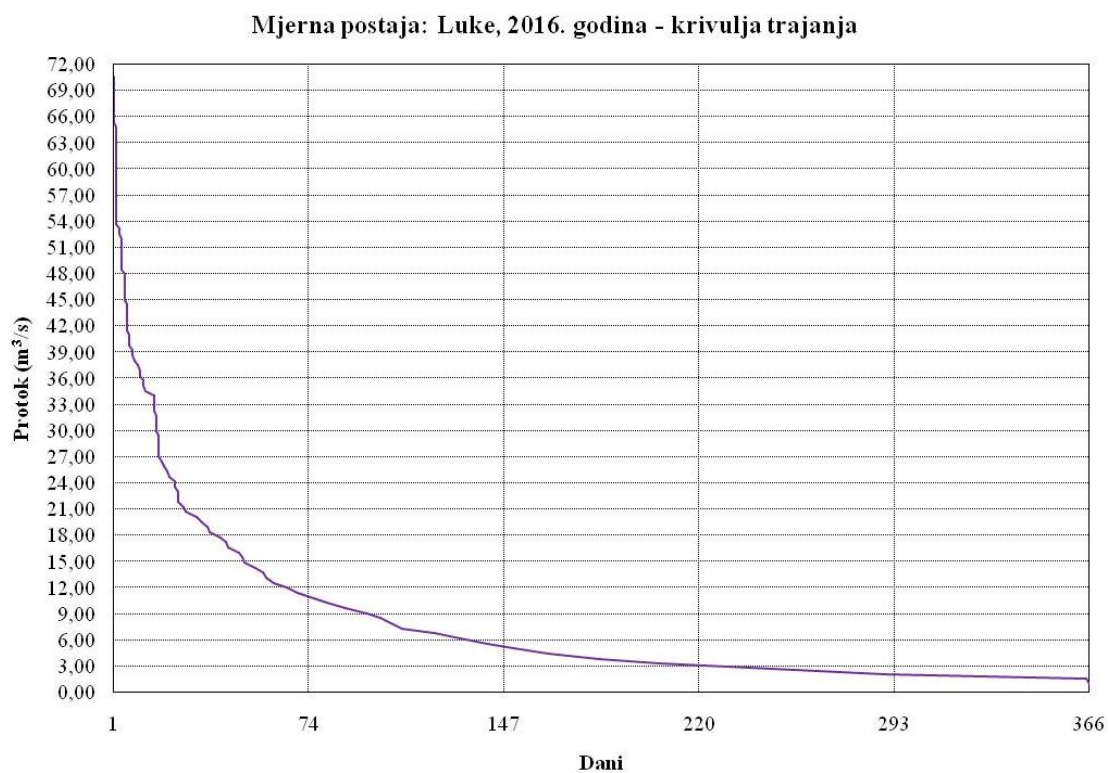
Slika P4-5. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2013. godinu



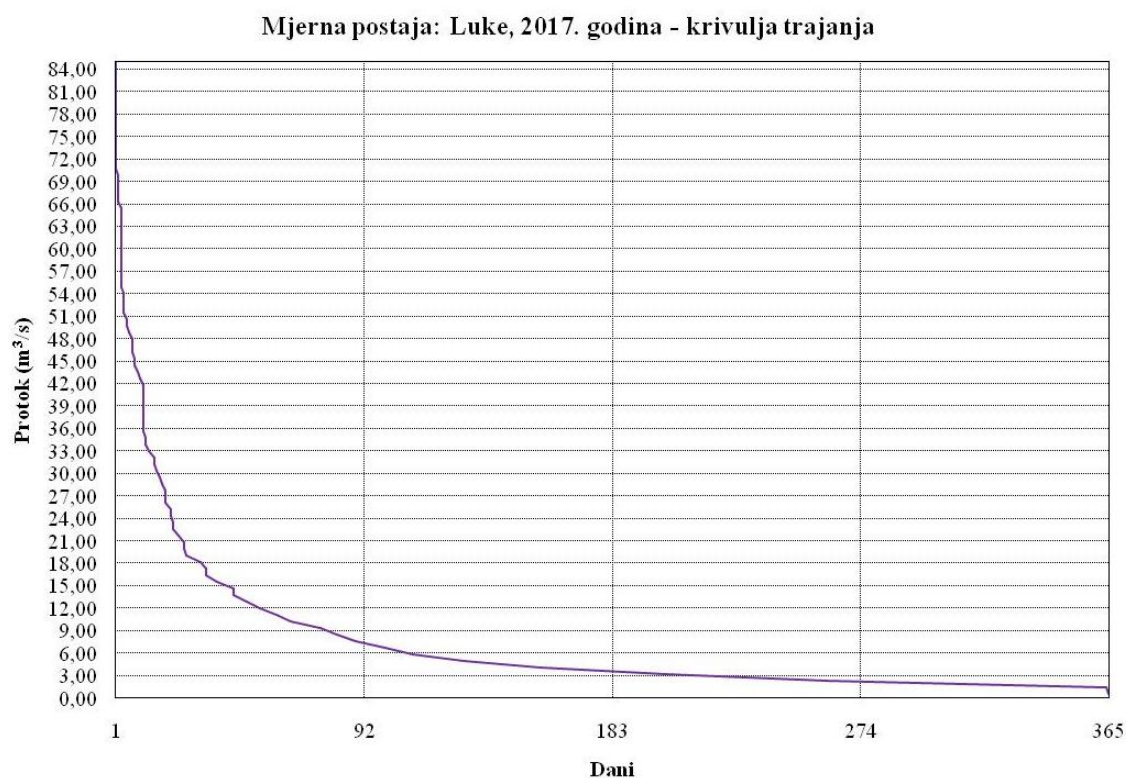
Slika P4-6. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2014. godinu



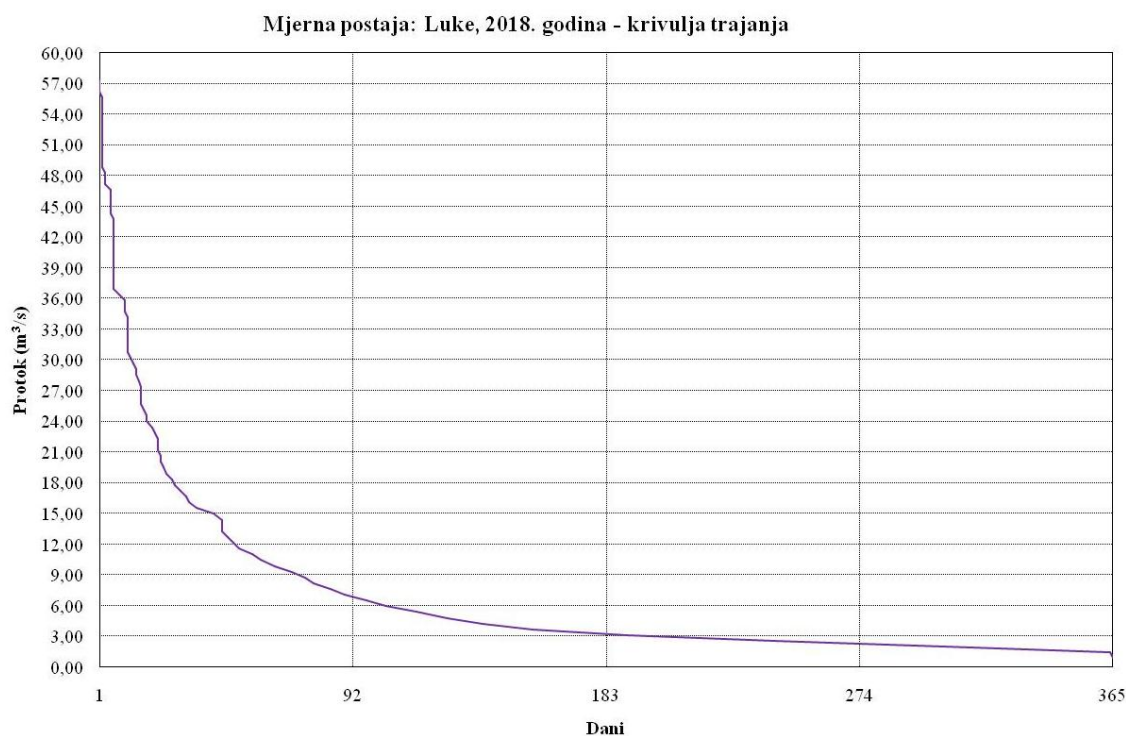
Slika P4-7. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2015. godinu



Slika P4-8. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2016. godinu



Slika P4-9. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2017. godinu



Slika P4-10. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka na lokaciji Luke za 2018. godinu