

**OPIS IZUMA****PODRUČJE NA KOJE SE IZUM ODNOSI**

Ovaj izum se odnosi na **novi samoodrživi izvor električne energije** koji je sastavljen od solarne elektrane i hidroelektrane (odatle i naziv **solarne hidroelektrane**) u svrhu kontinuiranog napajanja električnom energijom nekog konzuma (kuće, naselja, grada, otoka, regija, tvornica, itd.) iz obnovljivih izvora energije. Na taj način bi novi izvor energije, koji koristi isključivo obnovljive izvore energije, mogao značajnije doprinijeti učešću u energetske bilancama pojedinih zemalja.

**2) TEHNIČKI PROBLEM**

*(za čije se rješenje traži patentna prijava)*

Danas je evidentan problem osiguranja sve većih količina energije neophodne za gospodarski razvoj svake zemlje. S druge strane, preko 70% onečišćenja atmosfere ugljikovim dioksidom (i drugim stakleničkim plinovima) dolazi upravo od energetske sektora, pri čemu to onečišćenje ima nesagledive negativne posljedice na klimu Zemlje (globalno zagrijavanje, itd.).

Od svih obnovljivih izvora energije, najveći potencijal korištenja ima upravo solarna energija, pri čemu je za ovaj izum je interesantna pretvorba solarne u električnu energiju tzv. solarnim fotonaponskim sustavima, odnosno fotonaponskim generatorima.

Međutim, problemi većeg korištenja solarne energije su s jedne strane vezani za relativno visoku cijenu solarnih postrojenja, a s druge za interminiranost Sunčevog zračenja. I dok se cijene solarnih fotonaponskih sustava iz dana u dan sve više smanjuju (pogotovo s povećanjem proizvodnje i napretkom tehnologija), najveći problem ipak ostaje problem njenog skladištenja za periode kada nema dovoljno solarne energije. Naime, današnje solarne fotonaponske elektrane ne mogu samostalno napajati neki konzum, nego one rade tako da samo predaju električnu energiju elektroenergetskom sustavu u vrijeme kada je raspoloživa solarna energija.

Dakle, evidentan je **problem nalaženja takvog tehničko-tehnološkog rješenja koji bi koristio obnovljive izvore energije u svrhu kontinuiranog napajanja potrošača nekog konzuma električnom energijom**. Pri tome se pod konzumom može podrazumijevati i samo jedna stambena jedinica (kuća), ali i manja ili veća naselja, tvornice, otoci, gradovi pa sve do kompletnog napajanja cijele zemlje električnom energijom iz obnovljivih izvora energije.

**3) STANJE TEHNIKE**

*(prikaz i analiza poznatih rješenja definiranog tehničkog problema)*

Do sada nije bilo tehničko rješenja istog problema. Postoje solarne fotonaponske elektrane i postoje reverzibilne hidroelektrane.

U ovoj su patentnoj prijavi one iskombinirane na originalni način u jedinstvenu cjelinu nazvanu Solarna hidroelektrana, a koja za razliku od navedenih (samo solarne fotonaponske i samo reverzibilne hidroelektrane) može samostalno i kontinuirano napajati neki konzum električnom energijom i snagom.

**4) IZLAGANJE SUŠTINE IZUMA**

*(tako da se tehnički problem i njegovo rješenje mogu razumjeti te navođenje tehničke novosti u odnosu na prethodno stanje tehnike)*

Predložena održiva elektrana je po osnovnom konceptu reverzibilna hidroelektrana koja za pokretanje pumpi 4, umjesto električne energije iz mreže, koristi fotonaponsku elektranu 1, te koja, umjesto jednog, ima dva odvojena cjevovoda, jedan za prepumpavanje 5, a drugi za dovod vode na turbinu 7. Naime, fotonaponska elektrana pretvara solarnu u električnu energiju pomoću koje se onda voda pumpa iz raspoloživog izvora vode 10 u akumulaciju 6 koja se nalazi na višim kotama. Voda iz te akumulacije 6 se onda koristi u hidroelektrani 8 i 9 za proizvodnju električne energije.

S druge strane, voda u akumulaciji 6 se akumulira za periode kada nema Sunčevog zračenja kako bi se iz nje u tom periodu proizvodila električna energija na turbinama 8 koja se onda predaje elektrodistributivnoj mreži nekog naselja ili lokalnog konzuma. Na ovaj način akumulacija 6 služi za dnevno i sezonsko skladištenje energije dobivene tijekom sunčana vremena od strane fotonaponske elektrane 1 te je time u suštini **riješeno najveći problem šireg korištenja solarne energije, a to je njeno skladištenje**.

**Rad ovog sustava podrazumijeva postizanje potpune neovisnosti opskrbe nekog korisnika električnom energijom koja se u osnovi dobiva iz solarne energije.** Predložena elektrana-sustav je održiva na svakom lokalitetu i bez štetnog utjecaja na okoliš jer se zasniva isključivo na korištenju obnovljivih izvora energije i to upotrebom vode kao glavnog resursa za generiranje kontinuirane proizvodnje energije. Formirana akumulacija 6 i njoj pripadajuća

hidroelektrana 8 i 9 vrlo su fleksibilne u radu i proizvodnji energije i zbog toga se lako prilagođavaju potrebama korisnika za razliku od fotonaponske elektrane 1 čiji je rad i proizvodnja energije ovisan o Sunčevom zračenju. Kombinacijom ovih dvaju elektrana dobiva se novi tip elektrane pogodan za trajnu proizvodnju električne energije. Bitna karakteristika ove nove Solarne elektrane je da ona nije ograničena veličinom tako da se može koristiti od najmanjih do najvećih jedinica, tj, od napajanja stambene jedinice reda veličine nekoliko kilowatta do snažnih elektrana reda veličine više desetaka ili čak više stotina megawatta.

Ovim izumom se objašnjava novi koncept iskorištavanja solarne i hidroenergije na jedan originalni način koji uvažava prednosti svakog od njih. Hidroelektrana 6 i 9 koristi se za trajnu proizvodnju energije, a solarna energija prioritetno za stvaranje hidropotencijala, odnosno skladištenje vode za proizvodnju hidroenergije. Solarna energija (fotonaponski generator 1) se koristi da bi se voda s niže razine 10 (akumulacije, akvifera, mora, jezera, rijeke) prepumpala na višu razinu na kojoj se skladišti u akumulaciji 6. Uskladištena voda se koristi za proizvodnju hidroenergije u skladu sa formiranim hidropotencijalom (visinskom razlikom) na turbini 8 iz koje se voda ispušta u vodni resurs, a iz kojeg se pumpala pumpama 4 koje pokreće fotonaponski generator 1 (slika 1). Na ovaj način omogućava se trajno korištenje iste vode koja kruži unutar umjetno stvorenog i zatvorenog hidrološkog ciklusa. Raspoloživa gornja akumulacija 6 je zapravo uskladištena solarna energija raspoloživa za trajno korištenje na turbini 8 (danju i noću) u skladu s potrebama potrošača.

Predložena elektrana je lokalni izvor energije koji se može graditi neposredno uz mjesto potrošnje ako za to postoje svi preduvjeti, što je jako povoljno jer se energija ne treba transportirati. Preduvjet za rad ove elektrane je povremena insolacija, voda i visinska razlika između donje i gornje vode na kojoj se iskroštava djelovanje sile gravitacije-hidropotencijala. Hidropotencijal se može formirati u skladu s topografskim značajkama terena gdje god postoji visinska razlika terena-brijeg. Međutim, može se bilo gdje izgraditi i umjetni hidropotencijal stvaranjem odgovarajuće građevne konstrukcije sa visinskom razlikom između donje i gornje vode. To znači da se manji ili veći hidropotencijal može stvoriti bilo gdje, uz naravno različite troškove. Uz nužnu visinsku razliku na kojoj se može iskoristiti djelovanje sile gravitacije nužna je voda za pokretanje turbine.

Sustav može biti manji ili veći, otvoren (slika 1) ili zatvoren (slika 2), odnosno s manjim ili većim gubicima vode. Transportni dio sustava 5 i 7 je uvijek zatvoren. To su tlačne cijevi za transport vode s donje kote na gornju kotu 5, te tlačni cjevovod hidroelektrane 7. Vodospreme pak mogu biti zatvorene ili otvorene. Svi veliki sustavi u pravilu su otvoreni dok se mali sustavi mogu graditi kao zatvoreni. Teoretski, voda je nužna samo za punjenje sustava i nadoknadu gubitaka vode iz sustava. Najbolja situacija je ako se punjenje i nadoknada gubitaka može postići iz prirodnih resursa, kišom ili korištenjem kiše s lokalnog slivnog područja, ili vodom iz lokalnog vodotoka, podzemnih voda i mora. Gubici se odnose na isparavanje i procijeđivanje vode iz rezervoara (gornjeg 6 i donjeg 10). Odgovarajućim inženjerskim mjerama, isparavanje, a posebno istjecanje iz rezervoara, može se značajno smanjiti ili eliminirati.

Lokalne prirodne značajke, klima, vodni resursi, topografija, geologija i drugo su okvir za realizaciju elektrane i njenu produktivnost. Ono što je važno naglasiti je da je elektrana održiva i dok god postoji Sunčevo zračenje i sila gravitacije, elektrana može proizvoditi električnu energiju. Cijena energije ovisi o cijelom nizu elementa, a isplativost ovisi o cijeni konkurentnih klasičnih izvora. U sadašnjem trenutku još uvijek je za očekivati da su klasični izvori energije (termoelektrane i nuklearne elektrane) konkurentniji bez obzira što se radi o čistoj i obnovljivoj energiji. Međutim, dugoročno gledano za očekivati je da će klasični izvori biti sve skuplji tako da će predložena elektrana vjerojatno biti sve konkurentnija i isplativija. U slučaju kada se traži dugoročna održivost proizvodnje energije isključivo uz korištenje obnovljivih, čistih prirodnih resursa, predložena Solarna hidroelektrana nema konkurencije.

**Vrlo je važno da se kod Solarne hidroelektrane pravilno odredi snaga fotonaponskog generatora 1, čija je cijena i najveća.** Glavnu ulogu u tome ima gornji rezervoar 6 (akumulacija). Gornji rezervoar 6 omogućava akumuliranje vode u duljem vremenskom periodu i time proizvodnju hidroenergije što omogućava premoštenje vremenskog perioda kada je ulaz fotonaponskog generatora 1 manji ili ga nema. Na taj način fotonaponski generator 1 se bira u skladu s kritičnim jednogodišnjim periodom iz niza godina tako da se odabere njegova minimalna od maksimalnih snaga nužna za osiguranje kontinuiteta proizvodnje hidroenergije u kritičnom periodu (potrebni volumen vode) i odabrane razine sigurnosti rada (dodatnog volumena vode u rezervoaru za incidentne ili nepredviđene situacije). Ukoliko uzvodno od gornjeg rezervoara 6 postoji voda koja se može koristiti, odnosno skrenuti u rezervoar, tada je sustav učinkovitiji jer se punjenje vodom rezervoara 6 odvija i prirodnim putem, a ne samo pumpama pa bi kapacitet solarne fotonaponske elektrane 1 za odgovarajući iznos bio manji. Sustav će biti i učinkovitiji ako se dio proizvedene solarne energije u periodima kada je jako Sunčevo zračenje, direktno koristi od strane korisnika jer će tada volumen rezervoara 6, kapacitet pumpnog sustava 3 i 4 i fotonaponskih generatora 1 biti manji.

Na ukupnu cijenu izgradnje utječu i troškovi izgradnje akumulacije (gornje 6 i donje 10). Pri tome su moguće razne kombinacije. Najpovoljnije je kada donju akumulaciju 10 nije potrebno posebno graditi, a što je prisutno u slučaju kada je kapacitet vodnih resursa, koji se koristi za zahvaćanje vode, veći od potreba (npr. kad je donja akumulacija 10 predstavljena morem, velikom rijekom ili akviferom) te kada je izgradnja gornje akumulacije 6 jednostavna i jeftina, ili

ako takav rezervoar-jezero već postoji. Hidroelektrana 8 i 9 je u principu ekonomičnija što je raspoloživi pad (potencijana energija) veća. Međutim, tada je potrebna i veća snaga fotonaponskih generatora 1 da bi se prepumpala voda u akumulaciju 6.

Predložena elektrana ima svoje velike prednosti jer se radi o lokalnom izvoru električne energije koji ne zahtjeva nikakav dovod sirovina niti značajniji prijenos energije do potrošača. To znači da se energija može proizvoditi i trošiti na izoliranim, od prometnih i opskrbnih pravaca udaljenim lokacijama (otocima i slično). Na taj način su manji troškovi izgradnje prijenosnih sustava te gubici energije koji se dešavaju zbog prijenosa energije. Na tim lokacijama elektrana može biti već danas konkurentna klasičnim izvorima energije jer ne zahtjeva izgradnju i pogonske troškove vezane uz transporte, niti energije, a niti sirovina za proizvodnju energije. Elektrana se može izgraditi na svim lokacijama na kojima postoje vodni resursi, ali ne i odgovarajući hidropotencijal. Korištenjem fotonaponskog generatora 1 i lokalne topografije terena taj potencijal se može na umjetni način stvoriti.

Ovakav tip elektrane je posebno povoljan za opskrbu posebnih potrošača kao što su izolirane vojne baze, važni strateški objekti na izoliranim lokacijama i slično jer je lokalno potpuno održiva.

**Solarna Hidroelektrana je za sada i jedini trajno održivi energetska izvor koji može kontinuirano napajati neki konzum električnom energijom, a da pri tome koristi isključivo prirodne i obnovljive izvore energije bez štetnog utjecaja na okoliš.**

### **KRATAK OPIS CRTEŽA**

Popratni crteži koji su uključeni u opis i koji čine dio opisa izuma, ilustriraju dosad razmatran najbolji način za izvedbu izuma i pomažu kod objašnjavanja osnovnih principa izuma.

Sl. 1. Shema Solarne hidroelektrane (otvoreni tip).

Sl. 2. Shema Solarne hidroelektrane (zatvoreni tip).

### **DETALJAN OPIS NAJMANJE JEDNOG OD NAČINA OSTVARIVANJA IZUMA**

U ovom dijelu će se uputiti do u pojedinosti ovog pretpostavljenog ostvarenja izuma, čiji je osnovni primjer ilustriran priloženim crtežom.

**Solarna hidroelektrana se sastoji od sljedećih elemenata:**

- 1) **Solarna fotonaponska elektrana (fotonaponski generatori),**
- 2) **Inverteri (pretvarači istosmjerne u izmjeničnu struju združeni s tzv. tragačima maksimalne snage),**
- 3) **Elektromotor,**
- 4) **Pumpa,**
- 5) **Cjevovod kojim se voda s gornje kote donje vode diže u gornju akumulaciju,**
- 6) **Gornja akumulacija,**
- 7) **Cjevovod kojim se voda iz gornje akumulacije spušta prema gornjoj koti donje vode,**
- 8) **Turbina,**
- 9) **Generator,**
- 10) **Donja akumulacija (more, velika rijeka, aqvifer itd.),**

Solarna hidroelektrana radi tako da se solarna energija uz pomoć solarnih fotonaponskih generatora 1 pretvara u električnu energiju potrebnu za napajanje elektromotora 3. Međutim, ukoliko je taj elektromotor izmjenični, onda se električna energija iz fotonaponske elektrane koja je istosmjerna putem invertera 2 pretvara u izmjeničnu. U sklopu invertera 2 je uključen i tzv. tragač maksimalne snage kojim se snaga tereta (elektromotora 3) prilagođava snazi fotonaponske elektrane 1. Elektromotor 3 pokreće pumpu 4 koja pumpa vodu s gornje kote donje vode na gornju kotu gornje akumulacije 6. Taj transport se odvija pomoću cjevovoda 5. Voda se iz gornje akumulacije putem cjevovoda 7 transportira na turbinu 8 koja pokreće generator 9. Nakon turbine 8, voda se ispušta prema donjoj akumulaciji 10, odnosno moru, velikoj rijeci, aqviferu i sl.

Dva elementa predloženog rješenja su najvažnija, a to su: fotonaponski generator 1, jer bez njega nema stvaranja hidropotencijala, i rezervoar – akumulacija 6, u kojoj se skladišti voda - solarna energija za proizvodnju hidroenergije kada je fotonaponski generator 1 izvan funkcije. Pri tome je najskuplji element još uvijek fotonaponski generator 1 te je interes smanjiti njegovu veličinu na mogući minimum. Dakle, uz tehnološko rješenje Solarne hidroelektrane, vrlo je važno pravilno dimenzionirati sustav da on u potpunosti zadovolji potrebe potrošača za električnom energijom tijekom cijele godine. U tom smislu je potrebno koristiti proračune kako slijede.

### **A) Električna snaga hidroelektrane 8 i 9**

Hidro energija koju generira neka akumulacija, može se računati prema:

$$E_{H(\text{brutto})} = \rho \cdot g \cdot H \cdot V \quad (\text{J, Ws}) \quad (1)$$

a snaga hidroakumulacije:

$$P_{H(\text{brutto})} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (\text{J/s, W}) \quad (2)$$

gdje je  $V$  ( $\text{m}^3$ ) volumen vode u akumulaciji,  $H$  (m) visinska razlika između donje i gornje vode,  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ) ubrzanje sile teže,  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) gustoća vode, a  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) protoka.

Prema tome, akumulirana voda, odnosno veličina akumulacije  $V$  ( $\text{m}^3$ ) i raspoloživa visinska razlika  $H$  (m) određuju veličinu proizvodnje energije, a instalirani kapacitet turbine  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) snagu. Što je veća akumulacija i veći pad, veća je i proizvodnja energije. Lokalni uvjeti vezani za izgradnju akumulacije (volumen i visinski položaj) će odrediti koja kombinacija visinske razlike  $H$  i volumena vode  $V$  je bolje rješenje za planirano zadovoljavanje potreba potrošača-proizvodnju energije. Uz to, odabrani pad  $H$  i protoka  $Q$  će odrediti koji tip turbine je najučinkovitiji. Neto električna energija koju će proizvesti hidroelektrana je:

$$E_{el(HE)} = \rho \cdot g \cdot H_n \cdot V \cdot \eta_{TG} \quad (\text{J, Ws}) \quad (3)$$

gdje je  $H_n$  neto raspoloživi pad, a  $\eta_{TG}$  ukupni korisni učinak turbine i generatora (0,75 – 0,92).

## B) Električna snaga fotonaponske elektrane 1

Odabrani volumen akumulacije 6 (potrebna energija), visinska razlika (manometarska visina dizanja vode) i raspoloživo vrijeme za pumpanje vode u akumulaciju 6, određuje potrebnu snagu fotonaponskog generatora 1.

Uvrštavanjem gustoće vode  $\rho$  i gravitacijske konstante  $g$  u jednadžbu (1), zatim pretvaranjem jedinica i umjesto volumena  $V$  korištenjem oznake  $Q_{PV}$ , kao i  $H_{TE}$  umjesto manometarske visine  $H$ , može se dobiti i ukupna dnevna hidraulička energija koju fotonaponska elektrana 1 može proizvesti na izlazu iz pumpnog agregata:

$$E_{H(MP)} = \frac{2.72 Q_{PV} H_{TE}}{1000} \quad (\text{kWh}) \quad (4)$$

u kojoj je  $Q_{PV}$  srednja vrijednost protoke volumena vode ( $\text{m}^3/\text{dan}$ ) koji se ispumpava iz donje u gornju akumulaciju, a  $H_{TE}$  srednja manometarska visina dizanja vode (razlika visina od nivoa vode u gornjoj i donjoj akumulaciji + gubici) (m).

Polazna jednadžba za proračun potrebne snage fotonaponskog generatora 1,  $P_{el}$  izražene u (W), pod referentnim uvjetima (Standard Test Condition STC - intenzitet Sunčevog zračenja  $1000 \text{ W/m}^2$ , relativna optička masa zraka AM1.5 i temperatura fotonaponskog generatora  $25^\circ\text{C}$ ), koja uspostavlja odnos izlazne hidrauličke energije i dozračene solarne energije, na osnovi Kenna and Gillett, 1985, ima oblik:

$$P_{el} = \frac{1000}{f_m [1 - \alpha_c (T_{\text{cell}} - T_0)] \eta_{MP}} \cdot \frac{E_H}{E_S} \quad (\text{W}) \quad (5)$$

gdje je  $E_H$  (kWh/dan) izlazna hidraulička energija iz fotonaponskog pumpnog sustava (1-4),  $E_{el}$  (kWh/dan) električna energija na ulazu u pumpni agregat,  $f_m$  koeficijent neprilagođenja tereta karakteristikama fotonaponskog generatora,  $\alpha_c$  koeficijent promjene efikasnosti s temperaturom ( $^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $T_0$  referentna temperatura fotonaponskog generatora (1) ( $25^\circ\text{C}$ ), efikasnost pumpnog agregata (3 i 4)  $\eta_{MP}$ .

Dakle, nazivna električna snaga fotonaponskog generatora 1, računa se na osnovi poznate potražnje za hidrauličkom energijom  $E_H$  te raspoložive vrijednosti dozračene Sunčeve energije  $E_S$  u kritičnom periodu i poznate efikasnosti crpnog agregata (3 i 4)  $\eta_{MP}$  pod referentnim uvjetima pogona, pri čemu se uzima u obzir i utjecaj vanjske temperature na efikasnost fotonaponskog generatora 1.

Uvrštavanjem jednadžbe (4) u jednadžbu (5), dobiva se izraz za električnu snagu fotonaponskog generatora 1:

$$P_{el} = \frac{2.72 H_{TE}}{f_m [1 - \alpha_c (T_{\text{cell}} - T_0)] \eta_{MP} E_S} Q_{PV} \quad (\text{W}) \quad (6)$$

a koja će se u ovom patentnom rješenju koristiti za proračun električne snage fotonaponskog elektrane 1.

### C) Bilanca voda i energije

Volumen akumulacije i proizvodnja hidroenergije te snaga fotonaponskog generatora 1 i hidroelektrane 8 i 9 određeni su s jedne strane prirodnim značajkama terena, a s druge potrebama potrošača energije. Sve se gradi da bi se zadovoljile potrebe nekog konzuma tako da je režim potrošnje energije ključna varijabla za dimenzioniranje i rad sustava Solarne hidroelektrane. U ovom se izumu predmetni problem rješava na razini sustava kao tehnološke cjeline koja obuhvaća ravnopravno sve dijelove sustava uključujući i prirodne (klima, hidrologija, akumulacija 6, hidrogeneratori 9 i fotonaponski generatori 1), potrebe potrošača energije, te procese u sustavu i to tijekom cijelog perioda rada sustava.

Znači sustav se analizira kao cjelina i to dinamički u cijelom periodu rada uvažavajući sve promjene koje se dešavaju u odnosu na raspoložive resurse (kapacitete i potrebe) i potrebe proizvodnje energije.

Ključne komponente koje određuju vodne resurse su klima i hidrologija. Klima određuje, s jedne strane input vode u hidroakumulaciji 6, a s druge strane raspoloživost solarne energije. Klimatski inputi su stohastičkog karaktera te se stoga trebaju odgovarajuće i tretirati u cijelom periodu.

Na slici 1 se vide i svi ulazi ( $Q_{\text{NAT}(i)}$ ,  $R_{(i)}$ ,  $Q_{\text{PV}(i)}$  i  $INF_{(i)}$ ) i svi izlazi vode ( $INF_{(i)}$ ,  $EV_{(i)}$  i  $Q_{\text{TG}(i)}$ ) iz gornje akumulacije 6 volumena  $V_{(i)}$ , zatim temperatura zraka  $T_{a(i)}$ , maksimalna visina gornje akumulacije 6  $H_{U(i)}$ , razlika donjeg nivoa gornje akumulacije 6 i gornjeg nivoa donje akumulacije 10 (mora)  $H_{\text{DIF}(i)}$  i ukupna visina na koju fotonaponska elektrana 1 treba podići vodu u gornju akumulaciju 6  $H_{\text{TE}(i)}$ .

Za sustav su karakteristične bilanca voda i bilanca energije.

#### C1) Bilanca voda

Bilanca vode u sustavu koji ima samo gornju akumulaciju 6 za određeni vremenski period je:

$$V_{\text{in}} = V_{\text{out}} + V_{\text{losses}} \quad (7)$$

gdje je  $V_{\text{in}}$  volumen vode koji ulazi u gornju akumulaciju 6,  $V_{\text{out}}$  volumen vode koji odlazi iz akumulacije 6, a  $V_{\text{losses}}$  predstavlja ukupne gubitke vode u gornjoj akumulaciji 6.

Cilj je smanjiti gubitke što više jer se time utječe na učinkovitost sustava, odnosno na potrebnu snagu fotonaponske elektrane 1.

U slučaju kada se koristi i donja akumulacija 10 tada se moraju uzeti u obzir i gubici vode u donjoj akumulaciji 10 pa je bilanca vode u sustavu:

$$V_{\text{in}} - V_{\text{losses,intake}} = V_{\text{out}} + V_{\text{losses,accumulation}} \quad (8)$$

gdje su  $V_{\text{losses,intake}}$  gubici vode prilikom zahvata vode, a  $V_{\text{losses,accumulation}}$  gubici vode u gornjoj akumulaciji 6.

Ako se radi o cirkulacionom sustavu s otvorenim akumulacijama 6 i 10, tada je u razmatranom periodu  $t$  potrebno nadoknaditi količinu vode od:

$$V_{\text{losses}} = V_{\text{losses,intake}} + V_{\text{losses,accumulation}} \quad (9)$$

U slučaju ograničenih vodnih resursa gubitke treba smanjiti na minimum. U slučaju zatvorenog sustava vrijedi:  $V_{\text{losses}} \approx 0$ .

Promjene u sustavu se opisuju jednadžbom stanja sustava. Jednadžba stanja sustava za gornju akumulaciju 6 je:

$$V_{(i)} = V_{(i-1)} + Q_{\text{PV}(i)} + Q_{\text{NAT}(i)} + R_{(i)} - Q_{\text{TG}(i)} \pm INF_{(i)} \quad (10)$$

u kojoj inkrement  $i$  poprima vrijednosti  $i=1$  do  $N$  ( $N$  predstavlja ukupan broj vremenskih koraka – npr. mjeseci, dekada ili dana);  $V_{(i-1)}$  i  $V_{(i)}$  su volumeni akumulacije 6 u  $(i-1)$ -tom i  $i$ -tom periodu respektivno ( $\text{m}^3$ );  $Q_{\text{PV}(i)}$  voda koju ispumpa fotonaponska elektrana 1 u  $i$ -tom vremenskom periodu ( $\text{m}^3/\text{dan}$ );  $R_{(i)}$  ukupne oborine koje stignu u akumulaciju u  $i$ -tom periodu;  $Q_{\text{NAT}(i)}$  prirodni dotok iz pripadajućeg sliva u  $i$ -tom periodu;  $EV_{(i)}$  količina vode utrošena na evaporaciju iz akumulacije 6 u  $i$ -tom periodu ( $\text{m}^3$ );  $Q_{\text{TG}(i)}$  voda koja se iz gornje akumulacije 6 ispušta prema postrojenju turbina/generator 8 i 9 radi proizvodnje električne energije u  $i$ -tom periodu ( $\text{m}^3/\text{dan}$ ) i  $INF_{(i)}$  infiltracija u  $i$ -tom periodu ( $\text{m}^3$ ).

Jednadžba stanja na zahvatu vode je:

$$W_{(i)} = W_{(i-1)} - Q_{\text{PV}(i)} - V_{(\text{losses,intake})(i)} + Q_{\text{inflow}(i)} \quad (11)$$

gdje su  $W_{(i-1)}$  i  $W_{(i)}$  volumeni vode donje akumulacije 10 u periodima  $i-1$  i  $i$  respektivno,  $V_{(losses,intake)(i)}$  svi gubici na zahvatu vode 10 u  $i$ -tom periodu, a  $Q_{inflow(i)}$  svi dotjecaji vode na zahvat 10 u  $i$ -tom periodu. Koje varijable će opisivati ove procese ovisi o tipu i značajkama zahvata. U slučaju recimo zahvaćanja mora 10, obje ove varijable, kao i promjene volumena, su zanemarive. Međutim, u slučaju korištenja akumulacije 10, jednadžba je ista kao za gornju akumulaciju 6.

Ukupna bilanca vode u sustavu obuhvaća i vodu u cjevovodima 5 i 7 koja je u principu vrlo mala u odnosu na volumen vode u akumulaciji 6.

## C2) Bilanca energije

Na osnovi navedenog, ukupna bilanca energije za neki period (npr. godinu dana) u sustavu Solarne hidroelektrane može se prikazati formulama od (a) do (i), tj.:

**(a)** Ukupna električne energija, koja se proizvede u fotonaponskoj elektrani 1 iz dozračene solarne energije se može računati po formuli:

$$E_{el(PV)} = \eta_c \cdot \eta_I \cdot A_c \cdot E_S \quad (12)$$

gdje je  $\eta_c$  efikasnost fotonaponskog generatora 1,  $\eta_I$  efikasnost invertera 2 (kao i kompletnog elektroničkog sustava prilagođavanja snage fotonaponske elektrane 1 snazi tereta),  $A_c$  površina fotonaponskog generatora 1 i  $E_S$  dozračena sunčeva energija.

**(b)** Ova električna energija se dijeli na:

$$E_{el(PV)} = E_{el(MP)} + E_{el(overhead)} \quad (13)$$

gdje je  $E_{el(PV)}$  ukupna električna energija koju proizvede fotonaponska elektrana 1,  $E_{el(MP)}$  je električna energija koja odlazi na pogon pumpnog agregata 3 i 4, a  $E_{el(overhead)}$  je višak električne energije koji se predaje električnoj mreži ako je sustav Solarne hidroelektrane priključen na nju. Naravno, taj višak električne energije nije potreban za postizanje energetske neovisnosti nekog konzuma, nego on nastaje zbog toga što nije moguće odabrati takvu veličinu fotonaponske elektrane 1 koja će u svim vremenskim periodima davati točno onoliko energije koliko je potrebno tom konzumu, nego će se nužno dogoditi da će se u nekim periodima pojaviti ovi viškovi, a koje ne može prihvatiti gornja akumulacija 1.

**(c)** Ukupna raspoloživa hidraulička energija  $E_{H(accumulation)}$  u gornjoj akumulaciji 6 je:

$$E_{H(accumulation)} = E_{H(MP)} + E_{H(IN)} - E_{H(losses)} \quad (14)$$

gdje je  $E_{H(MP)}$  hidraulička energija iz pumpnog agregata 3 i 4 (motor/pumpa),  $E_{H(IN)}$  predstavlja hidrauličku energiju dotoka vode, a sa  $E_{H(losses)}$  su označeni gubici hidrauličke energije u sustavu koji se mogu računati po jednadžbi:

$$E_{H(losses)} = E_{H(losses,intake)} + E_{H(losses,accumulation)} \quad (15)$$

gdje  $E_{H(losses,intake)}$  predstavljaju gubitke hidrauličke energije prilikom zahvata vode, a  $E_{H(losses,accumulation)}$  gubitke hidrauličke energije u gornjoj akumulaciji 6.

**(d)** Veza između hidrauličke i električne energije pumpnog agregata 3 i 4 može se napisati:

$$E_{H(MP)} = \eta_{MP} \cdot E_{el(MP)} \quad (16)$$

gdje je  $\eta_{MP}$  efikasnost pumpnog agregata (motor/pumpa 3 i 4).

**(e)** Veza između električne i hidrauličke energije sklopa turbina/generator 8 i 9 može se napisati sa:

$$E_{el(HE)} = \eta_{TG} \cdot E_{H(accumulation)} \quad (17)$$

pri čemu je  $\eta_{TG}$  efikasnost sklopa turbina/generator 8 i 9, a  $E_{el(HE)}$  ukupna električna energija koju proizvede hidroelektrana 8 i 9.

**(f)** Ako se najprije  $E_{el(MP)}$  iz jed.(13) izrazi eksplicitno i onda uvrsti u jed.(16), dobiva se :

$$E_{H(MP)} = \eta_{MP} \cdot (E_{el(PV)} - E_{el(overhead)}) \quad (18)$$

(g) Ako se jed.(18) onda uvrsti u jed.(14), dobiva se:

$$E_{H(accumulation)} = \eta_{MP} \cdot (E_{el(PV)} - E_{el(overhead)}) + E_{H(IN)} - E_{H(losses)} \quad (19)$$

(h) I ako se ova jed.(19) uvrsti u jed.(17), dobiva se:

$$E_{el(HE)} = \eta_{TG} \cdot \eta_{MP} \cdot (E_{el(PV)} - E_{el(overhead)}) + \eta_{TG} \cdot (E_{H(IN)} - E_{H(losses)}) \quad (20)$$

(i) Uvrštenjem jed. (12) u jed.(20) dobiva se konačno:

$$E_{el(HE)} = \eta_{TG} \cdot \eta_{MP} \cdot \eta_c \cdot \eta_I \cdot A_c \cdot E_S - \eta_{TG} \cdot \eta_{MP} \cdot E_{el(overhead)} + \eta_{TG} \cdot (E_{H(IN)} - E_{H(losses)}) \quad (21)$$

Ako se radi o zatvorenom sustavu (slika 2), u kojem se gubici energije mogu zanemariti, zatim ako Solarna Hidroelektrana nije priključena na vanjsku električnu mrežu, nego samo osigurava potpunu energetska neovisnost nekog lokalnog konzuma i ako u gornju akumulaciju 6 nema vodotoka, ta se jednadžba svodi samo na odnos:

$$E_{el(HE)} = \eta_S \cdot \eta_{TG} \cdot \eta_{MP} \cdot \eta_c \cdot \eta_I \cdot A_c \cdot E_S \quad (22)$$

u kojoj  $\eta_S$  predstavlja efikasnost iskorištavanja solarne energije od strane pumpnog agregata 3 i 4 koju je nužno uvesti ako se zanemari ona količina energije koja se predaje mreži (tj, za  $E_{el(overhead)}=0$ ).

Ukoliko se jed. (22) želi izraziti u ovisnosti o ukupnoj električnoj energiji koju daje fotonaponska elektrana 1, dobiva se:

$$E_{el(HE)} = \eta_S \cdot \eta_{TG} \cdot \eta_{MP} \cdot E_{el(PV)} \quad (23)$$

U ovakvoj aproksimaciji, jednadžba (22) govori o tome da je električna energija  $E_{el(HE)}$  koju Solarna hidroelektrana proizvede i preda potrošačima lokalnog konzuma radi njihove potpune opskrbe električnom energijom u nekom vremenskom periodu, direktno ovisna o ukupno dozračenju Sunčevoj energiji  $E_S$  u istom vremenskom periodu. Jed.(23) prikazuje ovisnost proizvedene električne energije hidroelektrane 8 i 9 o ukupnoj električnoj energiji koja je proizvedena u fotonaponskoj elektrani 1.

#### D) Ukupna manometarska visina dizanja vode

Poželjno je da je neto raspoloživi pad hidroelektrane 8 i 9  $H_n$  veći od manometarske visine dizanja pumpnog agregata 3 i 4 fotonaponske elektrane 1,  $H_{TE}$  ( $H_n > H_{TE}$ ), naravno ako to lokalni uvjeti dozvoljavaju. Očito je da pozitivna razlika između neto raspoloživog pada hidroelektrane 8 i 9 i manometarske visine dizanja fotonaponskog pumpnog agregata 3 i 4,  $\Delta H$  ( $\Delta H = H_n - H_{TE}$ ), najdirektnije utječe na smanjenje snage fotonaponske elektrane 1. Zbog toga se dobrim izborom lokacije zahvata vode 10 i hidroelektrane 8 i 9 značajno mogu umanjiti troškovi izgradnje Solarne hidroelektrane, a posebno fotonaponske elektrane 1. Normalno, to znači da se ispuštena voda iz hidroelektrane 8 i 9 ne zahvaća za prepumpavanje u gornju akumulaciju 6, već se za te namjene koristi neki drugi zahvat vode koji se nalazi na višim kotama terena. Ako se koristi isti zahvat vode 10, tada je uvijek:

$$E_{el(PV)} > E_{el(HE)} \quad (24)$$

Kako je ukupna manometarska visina dizanja vode u akumulaciju 6  $H_{TE(i)}$  ovisna o količini vode  $Q_{PV(i)}$  koja se dovodi iz donje akumulacije 10 (mora, akvifera, vodotoka, itd.), zatim količini vode koja se odvodi na turbine (8)  $Q_{TG(i)}$  i volumena (odnosno razine vode) gornje akumulacije 6  $V_{(i)}$ , može se definirati ovisnost:

$$H_{TE(i)} = f(Q_{PV(i)}, Q_{TG(i)}, V_{(i)}) \quad (25)$$

koja u osnovi predstavlja funkcionalno ograničenje, a koje se aproksimativno može pisati u obliku:

$$H_{TE(i)} = \frac{H_U(V_{(i-1)}) + H_U(V_{(i)})}{2} - \frac{H_L(W_{(i-1)}) + H_L(W_{(i)})}{2} + H_F \quad (26)$$

gdje su  $H_U(V_{(i-1)})$  i  $H_U(V_{(i)})$  kote gornje vode u funkciji volumena vode gornje akumulacije 6 respektivno te  $H_L(W_{(i-1)})$  i  $H_L(W_{(i)})$  kote gornje vode u funkciji volumena vode ( $W_{(i-1)}$  i  $W_{(i)}$ ) donje akumulacije 10 respektivno, a  $H_F$  predstavlja linijske i lokalne hidrodinamičke gubitke u sustavu 5 i 7.

### E) Određivanje nazivne električne snage fotonaponske elektrane 1

U sustavnom pristupu problemu određivanja optimalne nazivne električne snage fotonaponske elektrane 1, potrebno je preoblikovati jed. (5) u jed. (6), kako bi se njome iskazala neposredna ovisnost o količini vode koja se pumpa. Međutim, da bi se povezale i obuhvatile i karakteristike ostalih komponenti u sustavu potrebno je najprije uvrstiti jednadžbu (26) u jed. (6), zatim se umjesto faktora neprilagođenja  $f_m$  u jed. (6) može koristiti efikasnost invertera 2,  $\eta_I$ , kojom se može obuhvatiti efikasnost kompletnog elektroničkog sustava za prilagođenje snage tereta karakteristikama fotonaponskog generatora 1, te združivanjem te efikasnosti s efikasnošću pumpnog agregata 3 i ),  $\eta_{MP}$ , u jednu efikasnost  $\eta_{MPI}$  i njenim uvrštavanjem u jednadžbu (6), može se dobiti konačna relacija za proračun nazivne električne snage fotonaponske elektrane 1:

$$P_{el(i)} = \frac{1.36[H_U(V_{(i-1)}) + H_U(V_{(i)}) - H_L(W_{(i-1)}) - H_L(W_{(i)}) + 2H_F]}{[1 - \alpha_c(T_{cell(i)} - T_0)]\eta_{MPI}E_{S(i)}} Q_{PV(i)} \quad (27)$$

u kojoj su sve veličine već opisane.

U ovakvom pristupu se za zadane izlazne količine vode  $Q_{PV(i)}$  (diskretizirane vrijednosti kontrolne varijable), jednadžbom (27) proračunavaju vrijednosti nazivne električne snage.

Navedenim načinom su preko  $Q_{PV(i)}$ , koja predstavlja izlaznu količinu vode iz fotonaponske elektrane 1, a ujedno i ulaznu količinu vode u gornju akumulaciju 6, povezane potrebe za vodom (električnom energijom) u onim peridima kada je nema dovoljno u akumulaciji 6 i mogućnosti njihovog pokrivanja fotonaponskom elektranom 1. Naime,  $Q_{PV(i)}$  je jednadžbom vodne bilance (10) za gornju akumulaciju 6 povezana s karakteristikama akumulacije 6, stanja volumena vode  $V_{(i)}$  i  $V_{(i-1)}$  te elementima lokalne klime (dotoka  $Q_{NAT(i)}$ , oborina  $R_{(i)}$  i evaporacije  $EV_{(i)}$  i infiltracije  $INF_{(i)}$ ) koje determiniraju deficite vode u akumulaciji 6 i koje onda treba pokriti fotonaponskom elektranom 1.

### F) Matematički model

Metodologija proračuna zasniva se na dinamičkom programiranju pri čemu se koristi složena funkcija minimiziranja maksimalne električne snage fotonaponske elektrane 1.

Rekurzivne formule optimizacijskog procesa putem dinamičkog programiranja, za slučaj minimiziranja maksimalne funkcije cilja, uz računanje prema naprijed, jer su poznati početni uvjeti, mogu se prikazati u obliku:

U konkretnom slučaju optimiranja nazivne električne snage fotonaponske elektrane 1 koja radi s hidroelektranom 8 i 9, u kojima su varijable stanja predstavljene volumenima vode u akumulaciji (6)  $V_{(i)}$  u koraku  $i$ , odnosno  $V_{(i-1)}$  u koraku  $i-1$ , a kontrolne varijable  $Q_{PV(i)}$  srednjim vrijednostima volumena vode koju pumpa fotonaponska elektrana 1 u koraku  $i$ , rekurzivne formule se mogu napisati u obliku:

$$f_{(i)}(V_{(i)}) = \text{MIN} \{ \text{MAX} [P_{el(i)}(Q_{PV(i)}), f_{(i-1)}(V_{(i-1)})] \}, \quad (28)$$

$$Q_{PV(i)}$$

pod uvjetom jednadžbe transformacije stanja (10), proračuna nazivne električne snage  $P_{el(i)}$  po jednadžbi (27) koja predstavlja veličinu povrata, te uz sva spomenuta ograničenja i definirani vremenski korak  $i$ , odnosno te uz već navedene uvjete:

$$\left. \begin{aligned} V_{(i)} &= V_{(i-1)} + Q_{PV(i)} + Q_{NAT(i)} + R_{(i)} - EV_{(i)} - Q_{TG(i)} \\ P_{el(i)} &= \frac{1.36[H_U(V_{(i-1)}) + H_U(V_{(i)}) - H_L(W_{(i-1)}) - H_L(W_{(i)}) + 2H_F]}{[1 - \alpha_c(T_{cell(i)} - T_0)]\eta_{MPI}E_{S(i)}} Q_{PV(i)} \\ V_{\text{MIN}} &\leq V_{(i)} \leq V_{\text{MAX}} \\ V_1 &= V_N = V_{\text{MAX}} \\ 0 &\leq Q_{PV(i)} \leq Q_{\text{MAX}} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$



$i = 1, 2, \dots, N$ .

Vrijednosti varijable stanja u promatranim vremenskim koracima  $V_{(i)}$  i prethodnim vremenskim koracima  $V_{(i-1)}$ , te vrijednosti kontrolne varijable  $Q_{PV(i)}$ , kao i povrati po pojedinim koracima  $P_{el(i)}$ , proračunavaju se tijekom procesa. Kao izlazni rezultat dobiva se optimalna vrijednost električne snage fotonaponske elektrane 1 koja radi zajedno s hidroelektranom 8 i 9, osiguravajući tako neovisnost opskrbe određenog konzuma tijekom promatranog perioda. Skup jednadžbi (29) predstavljaju **matematički model određivanja optimalne nazivne snage fotonaponske elektrane 1 koja radi zajedno s hidroakumulacijom 6**.

### G) Realizacija izuma

U svrhu detaljnog opisa konkretnog načina ostvarivanja ovog izuma Solarne hidroelektrane model je primijenjen na napajanje Otoka Visa i susjednih manjih otoka. Pri tome su korišteni ulazni podaci o potrošnji električne energije tijekom jedne godine (2007), a koji su dobiveni od strane Elektrodalmacije Split (godišnja suma iznosi 18047.48 MVAh). Ukupna manometarska visina dizanja je uzeta u iznosu od  $H_{TE} = 215$  m. Također, uzeti su i klimatološki podaci, tj, podaci o Sunčevom zračenju  $E_S$  (kW/m<sup>2</sup>dan), temperaturi zraka  $T_a$  (°C/dan), oborinama  $R$  (mm/dan) i evaporaciji  $EV$  (mm/dan). Svi ovi podaci dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske, za mjerenja od 1995 – 2006. godine (dok je za oborine taj podatak od 1981). Obzirom da na Otoku Visu nema ulaznih prirodnih dotoka pripadajućeg sliva u akumulaciju, ta veličina nije uzeta u razmatranje ( $Q_{NAT}=0$ ). Zbog pretpostavke da će se graditi akumulacija 6 s nepropusnim folijama, veličina infiltracije također nije uzeta u račun ( $INF=0$ ).

Uz navedeno, važan podatak je i volumen akumulacije vode 6. Ona je za potrebe potpune energetske neovisnosti (kontinuiranog napajanja konzuma kroz cijelu godinu) određuje na osnovi vršne potrošnje energije i najdužeg vremena koje se očekuje da će fotonaponska elektrana 1 biti izvan pogona. Na osnovi podataka da bi najveća (vršna) potrošnja vode (energije) iz akumulacije 6 mogla iznositi 166.233 m<sup>3</sup>/dan te nesmetano napajanje potrošača električnom energijom u duljini od 3 do 4 mjeseca, dobiva se vrijednost ukupnog volumena akumulacije 6 od oko 20.000.000 m<sup>3</sup>, ili 20 hm<sup>3</sup>. Dakle, u modelu se računalo s akumulacijom 6 prosječne površine 1500x700 m (oko 100 ha, što je važan podatak za proračun količine oborina i evaporacije) te prosječnom dubinom od 20 m. Radi se o plitkoj akumulaciji 6 u kojoj promjene razine vode značajno ne utječu na veličinu vodne površine.

Također, važan podatak je i ukupna manometarska visina dizanja vode koja u tzv. pumpnom radu (kada fotonaponska elektrana 1 isumpava vodu iz mora ili podzemne vode 10 u akumulaciju 6), za konkretan slučaj iznosi oko 235 m.

Dakle, Solarna hidroelektrana za potrebe kontinuiranog napajanja Otoka Visa bi trebala biti vršne snage  $P_{el}^* = 41$  MW<sub>p</sub>. Za snagu PV elektrane od 41 MW<sub>p</sub> (41×100 kW<sub>p</sub>), uz efikasnost fotonaponskog generatora 1 od  $\eta_{oc}=16\%$  u referentnim uvjetima, potrebno je predvidjeti polje kolektora od 250.000 m<sup>2</sup> ( $\approx 25$  ha), odnosno oko 1250x200 m<sup>2</sup>.

### NAČIN PRIMJENE IZUMA

Rješavanjem problema dnevnog i sezonskog skladištenja energije hidropotencijalom, ovim izumom su otvorene brojne mogućnosti za primjenu ovakvih sustava, a što bi moglo snažno potaknuti industriju fotonaponskih generatora 1 te značajnije doprinijeti učešću solarne energije u energetskim bilancama pojedinih zemalja.

To dalje znači i da bi ovakvi samoodrživi sustavi, kojima bi se osiguravala potpuna energetska neovisnost opskrbe nekog konzuma električnom energijom, odnosno maksimalno iskorištavala raspoloživa solarna energija i hidropotencijal na nekoj lokaciji, uz što manji utjecaj na okoliš, mogli imati sigurnu budućnost.

### POPIS POZIVNIH OZNAKA I SIMBOLA

- 1) Solarna fotonaponska elektrana (fotonaponski generatori),
- 2) Inverteri (pretvarači istosmjerne u izmjeničnu struju združeni s tzv. tragačima maksimalne snage),
- 3) Elektromotor,
- 4) Pumpa,
- 5) Cjevovod kojim se voda s gornje kote donje vode diže u gornju akumulaciju,
- 6) Gornja akumulacija,
- 7) Cjevovod kojim se voda iz gornje akumulacije spušta prema gornjoj koti donje vode,
- 8) Turbina,
- 9) Generator,
- 10) Donja akumulacija (more, velika rijeka, aqvifer itd.),

## LISTA SIMBOLA

- $E_{el(HE)}$  – neto električna energija koju proizvodi HE (VAs);
- $E_{el(MP)}$  – električna energija koju fotonaponska elektrana predaje pumpnom agregatu (Ws);
- $E_{el(overhead)}$  – električna energija koju hidroelektrana predaje u električnu mrežu (Ws);
- $E_{el(PV)}$  – ukupna električna energija koju fotonaponska elektrana proizvodi (Ws);
- $E_H$  – hidraulička energija (Ws);
- $E_{H(accumulation)}$  – raspoloživa hidraulička energija u gornjoj akumulaciji (Ws);
- $E_{H(brutto)}$  – ukupna hidroenergija koju generira neka akumulacija (Ws);
- $E_{H(IN)}$  – hidraulička energija dotoka vode (Ws);
- $E_{H(losses)}$  – gubici hidrauličke energije (Ws);
- $E_{H(losses,accumulated)}$  – gubici hidrauličke energije u gornjoj akumulaciji (Ws);
- $E_{H(losses,intake)}$  – gubici hidrauličke energije prilikom zahvata vode (Ws);
- $E_{s(i)}$  – srednje vrijednosti Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu u vremenskom periodu  $i$  (terestičko zračenje) ( $kWh/m^2$ );
- $EV_{(i)}$  – evaporacija u vremenskom periodu  $i$  (mm);
- $f_m$  – faktor prilagođenja fotonaponskog generatora karakteristikama tereta;
- $g$  – gravitacijska konstanta ( $9.81 m/s^2$ );
- $H$  – općenito visinska razlika između donje i gornje vode (m);
- $H_{DIF}$  – razlika donjeg nivoa gornje akumulacije i gornjeg nivoa donje akumulacije (m);
- $H_F$  – linijski i lokalni hidrodinamički gubici u sustavu (m);
- $H_L$  – kota gornje vode donje akumulacije (m);
- $H_n$  – netto raspoloživi pad (m);
- $H_{TE}$  – ukupna visina (m);
- $H_U$  – kota gornje vode (m);
- $i$  – vremenski period (inkrement);
- $INF_{(i)}$  – infiltracija in time stage  $i$  (mm);
- $N$  – total number of time stages  $i$ ;
- $n_{d(i)}$  – broj dana u vremenskom periodu  $i$ ;
- $P_{el(i)}$  – nominalna električna snaga fotonaponskog generatora, tj, fotonaponske elektrane u vremenskom periodu  $i$  (W);
- $P_{H(brutto)}$  – ukupna snaga hidroakumulacije (W);
- $Q$  – općenito protok vode ( $m^3/s$ );
- $Q_{(inflow)}$  – svi dotjecaji vode na zahvat ( $m^3$ );
- $Q_{MAX}$  – maksimalna vrijednost vode koju može ispumpati postrojenje motor/pumpa u određenom periodu ( $m^3$ );
- $Q_{NAT(i)}$  – prirodni dotok iz pripadajućeg sliva in time stage  $i$  ( $m^3$ );
- $Q_{PV(i)}$  – voda koju fotonaponska elektrana pumpa u gornju akumulaciju (varijabla odlučivanja u vremenskom periodu  $i$ ) ( $m^3$ );
- $Q_{TG(i)}$  – količina vode koja se odvodi na turbine in time stage  $i$  ( $m^3$ );
- $R_{(i)}$  – ukupne oborine u vremenskom periodu  $i$  (mm);
- $T_0$  – referentna temperatura fotonaponskih ćelija (generatora) ( $25 ^\circ C$ );
- $T_{a(i)}$  – temperatura okoline u vremenskom periodu  $i$  ( $^\circ C$ );
- $T_{cell(i)}$  – temperatura fotonaponskog generatora u vremenskom periodu  $i$  ( $^\circ C$ );
- $V$  – općenito volumen vode u akumulaciji ( $m^3$ );
- $V_{(i)}$  – volumen gornje akumulacije u vremenskom periodu  $i$  ( $m^3$ );
- $V_{(i-1)}$  – volumen gornje akumulacije u vremenskom periodu  $i-1$ ;
- $V_{(losses)}$  – ukupni gubici vode u gornjoj akumulaciji ( $m^3$ );
- $V_{(losses,accumulated)}$  – gubici vode u gornjoj akumulaciji ( $m^3$ );
- $V_{(losses,intake)}$  – gubici vode prilikom zahvata vode ( $m^3$ );
- $V_{in}$  – volumen vode koji ulazi u gornju akumulaciju ( $m^3$ );
- $V_{MAX}$  – maksimalni volumen gornje akumulacije ( $m^3$ );
- $V_{MIN}$  – minimalni volumen gornje akumulacije ( $m^3$ );
- $V_N$  – volumen gornje akumulacije u zadnjem koraku ( $m^3$ );
- $V_{out}$  – volumen vode koji odlazi iz gornje akumulacije ( $m^3$ );
- $W_{(i)}$  – volumen donje akumulacije u vremenskom periodu  $i$  ( $m^3$ );
- $W_{(i-1)}$  – volumen donje akumulacije u vremenskom periodu  $i-1$  ( $m^3$ );
- $\alpha_c$  – temperaturni koeficijent PV ćelija (generatora) ( $^\circ C^{-1}$ );
- $\eta_{HE}$  – efikasnost hidroelektrane (%);
- $\eta_I$  – efikasnost invertera (%);

- $\eta_{MP}$  – efikasnost sklopa motora i pumpe (%);
- $\eta_{MPI}$  – efikasnost motora, pumpe i invertera (%);
- $\eta_{oc}$  – nominalna efikasnost fotonaponskog generatora (%);
- $\eta_S$  – efikasnost iskorištavanja solarne energije od strane pumpnog agregata (%);
- $\eta_{TG}$  – ukupna efikasnost sklopa turbine i generatora (%);
- $\rho$  – gustoća vode ( $1000 \text{ kg/m}^3$ );

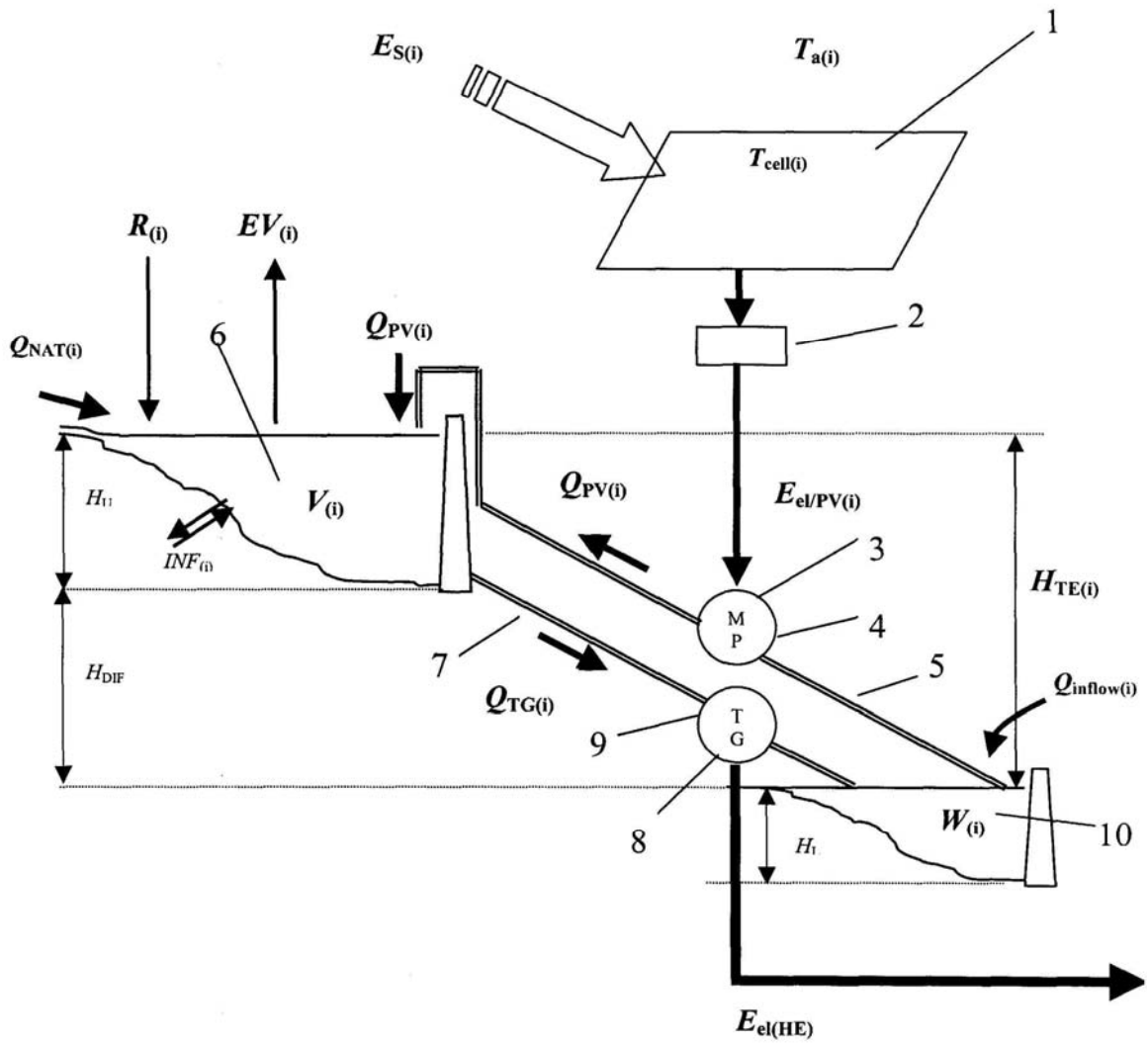
## PATENTNI ZAHTEJEVI

- 1) Solarna hidroelektrana, **karakterizirana time**, sastoji se od fotonaponskog generatora (1), invertera (2), elektromotora (3), pumpe (4), jedne ili više akumulacija vode (6 i 10), cjevovoda (5) za prepumpavanje vode iz donje akumulacije (10) u gornju (6), cjevovoda (7) kojim se voda pušta iz gornje (6) u donju akumulaciju (10), turbine (8) i generatora (9).
- 2) Solarna hidroelektrana prema 1. zahtjevu, **karakterizirana time**, da služi za kontinuiranu opskrbu električnom energijom nekog konzuma.
- 3) Solarna hidroelektrana prema zahtjevu 1 i 2, **karakterizirana time**, da ima gornju (6) i donju (10) akumulaciju otvorenima, predstavlja tzv. otvoreni tip Solarne hidroelektrane.
- 4) Solarna hidroelektrana prema zahtjevu 1 i 2, **karakterizirana time**, da ima gornju (6) i donju (10) akumulaciju zatvorenima, predstavlja tzv. zatvoreni tip Solarne hidroelektrane.
- 5) Solarna hidroelektrana prema zahtjevu 1 i 2, **karakterizirana time**, da ima jednu otvorenu (6 ili 10), a jednu zatvorenu (6 ili 10) akumulaciju, predstavlja tzv. kombinirani tip Solarne hidroelektrane.
- 6) Solarna hidroelektrana, prema zahtjevu 1-5, **karakterizirane time**, da se veličina fotonaponskog generatora (1) određuje na osnovi prikazanog matematičkog modela.

## SAŽETAK

Solarna hidroelektrana je nova elektrana koju čini modificirana reverzibilna hidroelektrana (3-10) spregnuta s fotonaponskom elektranom (1). Takav sklop elektrana, nazvan Solarna hidroelektrana, zasniva se na korištenju solarne energije kao jedinim inputom za proizvodnju solarne i hidroenergije. Pri tome akumulacija vode (6) služi za dnevno i sezonsko skladištenje energije te je tako u suštini riješen najveći problem šireg korištenja solarne energije, a to je njeno skladištenje. Prikazana Solarna hidroelektrana je za sada i jedini trajno održivi energetska izvor koji može kontinuirano napajati neki konzum električnom energijom, a da pri tome koristi isključivo prirodne i obnovljive izvore energije bez štetnog utjecaja na okoliš.

SLIKA 1



SLIKA 2

