Održivo navodnjavanje poljoprivrednih površina

Župan, Karolina

Undergraduate thesis / Završni rad

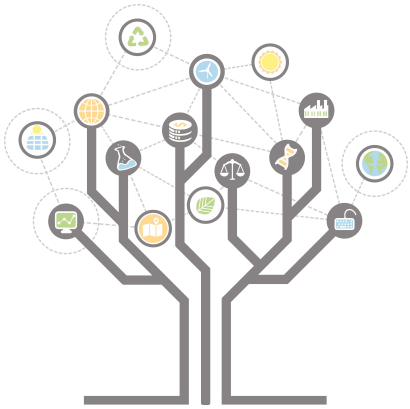
2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:496491

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KAROLINA ŽUPAN

ODRŽIVO NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

ODRŽIVO NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA

KANDIDAT:
KAROLINA ŽUPAN

MENTOR:
doc. dr. sc. BOJAN ĐURIN

VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: KAROLINA ŽUPAN rođ. MILOSAVLJEVIĆ

Matični broj: 2734 - 2016./2017.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

ODRŽIVO NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Općenito o navodnjavanju poljoprivrednih površina
3. Korištenje obnovljivih izvora energije za potrebe navodnjavanja
4. Primjer obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva na lokaciji Selnica Podravska
5. Zaključak

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

Zadatak zadan: 27.03.2019. Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:	Neposredni voditelj:	Predsjednik Odbora za nastavu:
Doc.dr.sc. Bojan Đurin	Karlo Leskovar, mag.ing.geoing.	Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA GEOTEHNIČKI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU VARAŽDIN

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

ODRŽIVO NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen 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, 13.07.2019.

KAROLINA ŽUPAN
(Ime i prezime)

Karolina Župan
(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: KAROLINA ŽUPAN

Naslov rada: ODRŽIVO NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA

Obnovljivi izvori energije dostupni su za praktičnu uporabu na gotovo svakom mjestu u svijetu. Navodnjavanje poljoprivrednih površina zahtijeva izvore energije za rad crpki, a obnovljivi izvori energije su vrlo prikladni za navedeno. Vrlo često se poljoprivredna područja nalaze na izoliranim i udaljenim područjima, gdje ponekad električna energija iz mreže nije dostupna ili je preskupa. U takvoj situaciji, obnovljivi izvori energije su vrlo pogodni za crpljenje vode.

U ovom radu će se prikazati koncept navodnjavanja poljoprivredne površine za uzgoj niske sorte graha (lat. *Phaseolusvulgaris L.*), na maloj površini od 1978 m^2 obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva u Selnici Podravskoj (sjeverni dio Hrvatske) pomoću solarnog fotonaponskog sustava koji će pokretati crpku za crpljenje vode. Raspoloživi izvor vode je podzemna voda, a obnovljivi izvor energije je Sunčeva energija, tj. solarna fotonaponska energija.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, solarna fotonaponska energija, navodnjavanje, poljoprivreda, niska sorta graha

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. OPĆENITO O NAVODNJAVANJU POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA 2

2.1. Metode i načini navodnjavanja 2

2.1.1. Površinski načini navodnjavanja 3

2.1.2. Podzemno navodnjavanje 5

2.1.3. Navodnjavanje kišenjem ili umjetno kišenje 7

2.1.4. Lokalizirano navodnjavanje 13

3. KORIŠTENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE ZA POTREBE NAVODNJAVANJA 19

4. PRIMJER OBITELJSKOG POLJOPRIVREDNOG GOSPODARSTVA NA LOKACIJI SELNICA PODRAVSKA 26

4.1. Općenito o lokaciji 26

4.2. Ulazni podaci 27

4.3. Proračun veličine solarnog fotonaponskog sustava i crpke za navodnjavanje 29

5. ZAKLJUČAK 31

LITERATURA 32

POPIS SLIKA 35

1. UVOD

Zajednička karakteristika svih biljnih vrsta je potreba za vodom. S obzirom da voda najvećim dijelom dolazi iz oborina, koje su nepouzdane i ne mogu se kontrolirati, na primjer tijekom suše, mora biti osigurano navodnjavanje. Voda za navodnjavanje može se osigurati iz javne vodoopskrbne mreže, što je skupa metoda. Mnogo isplativiji način je dobavljati vodu iz obližnjih kanala namijenjenih za navodnjavanje ili koristiti podzemnu vodu pomoću pumpi. Međutim, kada se crpke upotrebljavaju za tu svrhu, potreban im je izvor električne energije, što je često nemoguće zbog udaljenosti poljoprivrednih površina od električnih mreža, a i vrlo je skupo. Stoga, obnovljivi izvori energije pružaju mogućnost prevladavanja prostornih ograničenja dostupnosti električne mreže, kao i smanjenja troškova po jedinici energije. Korištenje obnovljivih izvora energije ne samo da smanjuje troškove proizvodnje usjeva, već i smanjuje lokalne energetske potrebe, što u konačnici smanjuje emisije stakleničkih plinova.

Navodnjavanje je jedna od najvažnijih agrotehničkih mjera, uz obradu, gnojidbu i odvodnju, kojom se tlu dodaju potrebne količine vode za optimalan rast i razvoj biljke u cilju ostvarenja što većeg uroda. U uvjetima umjerene i mediteranske klime, navodnjavanje bi trebalo biti obavezna dopunska mjera, naročito zbog sve nestabilnije količine, odnosno intenziteta i raspodjele padalina.

Pojam održivog navodnjavanja ne podrazumijeva udovoljavanje ekonomskih kriterija, odnosno što manju investiciju u troškove održavanja nego i udovoljavanje okolišnim kriterijima, odnosno što manje utjecati na okoliš. Također, potrebno je zadovoljiti i sve zahtjeve od strane korisnika sustava za navodnjavanje, a to su sigurnost i kontinuitet rada sustava za navodnjavanje. Konkretno, kod održivog navodnjavanja, bitno je zamijeniti dosad najčešće upotrebljavan energent za navodnjavanje (dizel gorivo) ekološki prihvatljivijim energentom (Sunce), u svrhu proizvodnje električne energije koja će se koristiti za pogon crpki za navodnjavanje.

Cilj rada je prikazati koncept održivog navodnjavanja polja niskog graha uz korištenje podzemne vode, pri čemu će rad crpnog sustava biti omogućen korištenjem solarne fotonaponske energije .

2. OPĆENITO O NAVODNJAVANJU POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA

Navodnjavanje poljoprivrednih kultura vrlo je stara melioracijska mjera i praksa koju su koristile mnoge civilizacije u prošlosti. Prapočeci navodnjavanja su vjerojatno bili u Kini i Indiji, a poznati su sustavi u dolinama rijeka Eufrata i Tigrisa (današnji Irak). Tu su još u predbiblijska vremena živjeli Asirci, Babilonci i drugi narodi, koji su već 4000 – 6000 godina prije nove ere, poznavali razne načine i tehnike navodnjavanja te ih koristili na svojim poljima. Razvijena civilizacija drevnog Egipta vrlo je uspješno koristila vode rijeke Nila za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Tehnike dovođenja vode su za današnjicu bile na nižoj razini, ali s postignutim uspješnim učincima [1].

Navodnjavanje treba promatrati kao dio kompleksnog sustava kojemu prethodi priprema potrebne dokumentacije, odnosno uvjeta, suglasnosti i projekata. Navodnjavanje obuhvaća analiziranje, snimanje, preispitivanje i testiranje brojnih uvjeta i pogodnosti na određenom području, u skladu s važećim zakonima [1].

2.1. Metode i načini navodnjavanja

Načini navodnjavanja koji su se razvili tijekom vremena mogu se svrstati u četiri metode [1]:

1) površinsko navodnjavanje
2) podzemno navodnjavanje
3) navodnjavanje kišenjem;
4) lokalizirano navodnjavanje

Površinsko navodnjavanje najčešće je primjenjivana metoda navodnjavanja u svjetskim razmjerima. Gotovo 60% navodnjavanih površina primjenjuje ovu metodu. Glavna karakteristika ovog navodnjavanja je da voda u tankom sloju stagnira ili teče po površini tla te infiltrirajući se u tlo do dubine razvoja korijenovog sustava osigurava vodu za njen normalan rast i razvoj. Voda se do navodnjavane površine najčešće dovodi gravitacijom, a moguće je i dovođenje vode pod tlakom.

Podzemno navodnjavanje ili subirigacija je metoda gdje se voda dovodi otvorenim kanalima i/ili podzemnim cijevimate infiltrirajući se u tlo i dizanjem uslijed kapilarnih sila osigurava vodu u zoni rizosfere.

Navodnjavanje kišenjem je metoda koja se počela uvoditi s razvojem učinkovitih strojeva i crpki te rasprskivača, početkom dvadesetog stoljeća. Uvođenjem tehničke opreme poput crpki i rasprskivača, omogućeno je dovođenje vode na navodnjavanu površinu simulirajući prirodnu kišu. Kod navodnjavanje kišenjem, voda je u cijevima pod povišenim tlakom te izlazeći kroz rasprskivač prska biljke i vlaži tlo.

Lokalizirano navodnjavanje je metoda kojom se voda pod manjim tlakom dovodi na poljoprivrednu površinu gdje se vlaži samo jedan dio ukupne površine, a to je mjesto gdje se razvija glavna masa korijena. Najviše se koristi u područjima gdje su zalihe vode za navodnjavanje ograničene.

Površinski načini navodnjavanja su najstariji i čine „klasiku“ navodnjavanja poljoprivrednih kultura. Statistika pokazuje da i danas u svijetu dominiraju sustavi površinskog navodnjavanja koji su vezani uz tehnologiju uzgoja poljoprivrednih kultura, prije svega riže, u zemljama u razvoju.

Sustavi za površinsko navodnjavanje temelje se na principu slobodnog tečenja vode u prirodi, djelovanjem sile gravitacije pa se stoga i nazivaju gravitacijski sustavi navodnjavanja poljoprivrednih kultura. Temeljni princip površinskog navodnjavanja je dovođenje vode na proizvodnu površinu, gdje u tankom sloju stoji, teče i upija se u tlo [1].

2.1.1. Površinski načini navodnjavanja

1. Navodnjavanje brazdama (Slika 1) – voda se dovodi i raspoređuje po površini proizvodne parcele u brazdama iz kojih se tada procesom infiltracije postepeno upija u tlo. Brazde se izrađuju posebnim plugovima obično prije sjetve ili sadnje kulture. Navodnjavanje brazdama primjenjuje se kod širokorednih kultura, okopavina, voća i povrća. Brazde mogu biti protočne (voda protječe kroz njih) i neprotočne (voda u njima

stoji). Protočne se primjenjuju na terenima koji imaju prirodne padove, a neprotočne na ravnim terenima.



Slika 1. Navodnjavanje cvjetače brazdama [2]

2. Navodnjavanje prelijevanjem – u Hrvatskoj se manje primjenjuje, uglavnom za višegodišnje kulture kao što su lucerna, djetelina i djetelinsko-travne smjese, livade i pašnjaci. Osnovni princip ovakvog navodnjavanja je prelijevanje vode preko uređene površine na nagibu koja se u tankome sloju upija u tlo. Primjena navodnjavanja prelijevanjem zahtijeva preciznu pripremu zemljišta (površina se dijeli na parcele koje su najčešće u obliku uskih traka, a širina im se prilagođava konfiguraciji terena). Parcele su odvojene manjim zemljanim nasipima visine 20 cm do 30 cm, širine 15 m do 20 m i dužine 100 m.

3. Navodnjavanje potapanjem moguće je izvesti pomoću dva sustava: sustavom kazete (Slika 2) i sustavom lokvi. Pri sustavu pomoću kazete voda se ulijeva u kazete i potapa površinu u debljem ili tanjem sloju te se upija u tlo. Potapanje ili poplavljivanje može trajati kraće vrijeme, nekoliko dana ili dulje vrijeme kroz nekoliko mjeseci. Za navodnjavanje potapanjem teren se mora pripremiti ravnanjem i izradom zemljanih prerada kojima se stvaraju ograđene proizvodne parcele. Kazete su veličine 1-2 ha, čak i veće, što ovisi o raspoloživosti zemljišta. Mogu biti pravilnog ili nepravilnog oblika ovisno o konfiguraciji terena. Ova vrsta navodnjavanja najčešće se koristi u uzgoju riže (Kina, Indija, Indonezija, Malezija) [1].



Slika 2. Navodnjavanje kazetama [3]

2.1.2. Podzemno navodnjavanje

Podzemnim navodnjavanjem voda se podzemnim putem dovodi neposredno u zonu korjenovog sustava biljaka. Voda se dodaje i raspoređuje samo unutar sloja rizosfere, ali ne i po površini. Sustavima podzemnog navodnjavanja održava se sadržaj vode u rizosferi unutar granica optimalne ili poželjne vlažnosti tla za biljke. Ne navodnjava se površina zemljišta, što je glavna prednost sustava podzemnog navodnjavanja, ne stvara se pokorica i nema narušavanja strukture tla. Površina navodnjavanih parcela je slobodna i suha, nema zapreka za kretanje ljudi i strojeva tijekom proizvodnog procesa uzgoja biljaka. Međutim, ovaj sustav navodnjavanja je tehnički vrlo zahtjevan. Zemljište bi trebalo biti ravno, lakšeg mehaničkog sastava i dobre vertikalne vodopropusnosti te povoljnog kapilarnog uspona vode [1].

1. Regulacija razine podzemne vode otvorenim kanalima

Podzemno navodnjavanje pomoću otvorenih kanala ili prirodnih vodotoka moguće je izvesti na poljoprivrednim proizvodnim površinama gdje postoji izgrađena kanalna mreža za odvodnju suvišnih voda. Voda se ovdje infiltrira iz otvorenih kanala u tlo i bočno širi na oranice. Razinu vode u kanalima moguće je regulirati odgovarajućim branama koje se postavljaju na određenim mjestima. Također, moguće je postaviti reverzibilne crpke u postojeće sustave odvodnje, kojima se voda u jednom dijelu sezone uklanja, a u drugom dijelu doprema iz prirodnih vodotoka i služi za navodnjavanje.

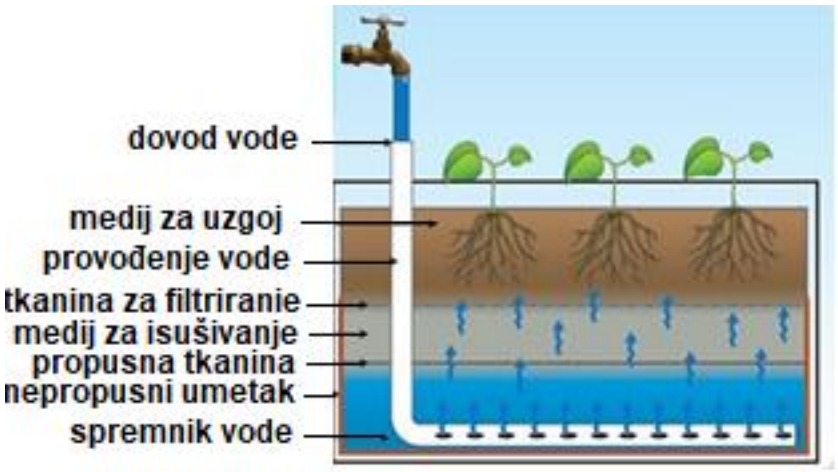
Princip podzemnog navodnjavanja pomoću otvorenih kanala je pravilno gospodarenje vodama na nekom proizvodnom području, putem zaustavljanja ili kontroliranja ispuštanja vode iz odvodnih kanala. Korisnici hidromelioracijskih sustava moraju kontrolirati razinu vode unutar sustava kanala i prihranjivati je za potrebe navodnjavanja. Za ovaj način navodnjavanja odvodni sustavi moraju se prilagoditi dvostrukoj namjeni tipa „odvodnja-navodnjavanje“.

Primjeri podzemnog navodnjavanja otvorenom kanalskom mrežom u Republici Hrvatskoj su Baranja (Podunavlje) i područje donjeg toka rijeke Neretve [1].

2. Navodnjavanje podzemnim cijevima

Dovođenje vode u zemljište podzemnim cijevima je drugi način podzemnog navodnjavanja, kod kojeg se u tlo ugrađuju (na određenu dubinu i razmake) perforirane cijevi ili cijevi sa posebnim kapaljkama kroz koje voda pod tlakom izlazi i lagano se upija u rizosferni sloj tla.

Sustav navodnjavanja podzemnim cijevima (Slika 3) sličan je cijevnoj drenaži koja u hidrotehnici služi za odvođenje suvišnih voda. Postoje i mogućnosti kombiniranja podzemnih cijevnih sustava za dvonamjensko korištenje: u jesensko-zimskim i ranoproljetnim uvjetima za odvođenje suvišnih voda iz tla, a u ljetnim suhim mjesecima za navodnjavanje poljoprivrednih kultura.



Slika 1. Navodnjavanje podzemnim kanalima [4]

Prednosti: tlo se vlaži kapilarnim širenjem vode (u zonu korijena) pa se ne pogoršava njegova struktura, ne stvara se pokorica tla, ne dolazi do sabijanja tla, vlažnost tla je skoro uvijek optimalna, troše se manje količine vode, biljke bolje koriste hranjiva iz tla i ne ometa se rad poljoprivredne mehanizacije.

Nedostaci: složena tehnička izvedba i zahvati u tlu, često začepljenje perforacija ili kapaljki na cijevima, mogućnost prevlaživanja, zamočvarivanja i zaslanjivanja tla ukoliko ne postoji pouzdan sustav kontrole sadržaja vode u tlu. Sustavi podzemnog navodnjavanja cijevima su veliki tehnički i investicijski zahvati što u znatnoj mjeri ograničava primjenu u praksi [1].

2.1.3. Navodnjavanje kišenjem ili umjetno kišenje

Navodnjavanjem kišenjem, voda se dodaje nekoj kulturi na način da se raspodjeljuje po površini terena u obliku kišnih kapljica, oponašanjem prirodne kiše. Voda se zahvaća na izvorištu crpkama i pod tlakom (7 i više bara) se kroz sustav cjevovoda dovodi do proizvodnih poljoprivrednih površina gdje se pomoću rasprskivača raspodjeljuje u kapljicama po navodnjavanoj površini. Umjetno kišenje široko je rasprostranjeno u poljoprivrednoj proizvodnji i po zastupljenosti je odmah iza sustava površinskog navodnjavanja, sve više zamjenjuje površinske i klasične načine navodnjavanja pri modernizaciji tehnologije sustava [1].

Osnovni dijelovi sustava za navodnjavanje kišenjem [5]:

- crpka - nije potrebna ukoliko je voda u izvorištu pod tlakom
- usisni i glavni (dovodni) cjevovod – dovode vodu od izvorišta do mjesta korištenja
- razvodne cijevi – razvode vodu po parceli
- rasprskivači i kapaljke – karakterizira ih radni tlak (kPa), protok (m^3/h), domet (m); glavni dijelovi su im glava i mlaznice; promjer mlaznice i tlak određuje intezitet kišenja

Prednosti: mogu se navodnjavati sve vrste kultura, može se primijeniti na ravnim i nagnutim terenima u različitim topografskim uvjetima. Ne zahtijeva posebnu pripremu terena, učinkovito koristi vodu koja se može točno dozirati u norme i obroke

navodnjavanja prema uzgajanoj kulturi, a tlo je manje izloženo pogoršanju fizikalnih svojstava.

Nedostaci: vrlo visoke cijene uređaja i suvremene opreme, veliki pogonski troškovi (gorivo, električna energija), neravnomjerna raspodjela vode pri jakom vjetru, gubici vode koji nastaju isparavanjem, intenzivnija pojava biljnih bolesti [1].

Prema načinu izgradnje i korištenja elemenata organizacije rada, sustavi za navodnjavanje kišenjem mogu biti:

1) Nepokretni ili stabilni
2) Polupokretni ili polustabilni
3) Pokretni ili prijenosni
4) Samopokretni ili samohodni

Nepokretni sustavi za navodnjavanje kišenjem imaju ugrađenu crpnu stanicu i ukopane dovodne i razvodne cjevovode. Rasprskivači su fiksirani na navodnjavanoj površini i mogu se uključiti u rad prema potrebi. Ovi sustavi se grade za višegodišnje i visoko akumulativne kulture, kao što su voćnjaci (Slika 4) i vinogradi te povrtne kulture na većim površinama. Zahtijevaju velika investicijska ulaganja u opremu i građevinske radove, a sustavi mogu poslužiti i za zaštitu od mraza u voćnjacima [1].



Slika 2. Navodnjavanje voćnjaka[6]

Polupokretni sustavi za navodnjavanje kišenjem (Slika 5) sastoje se od ugrađene crpne stanice i ukopane mreže dovodnih cijevi te pokretnih razvodnih cijevi (kišnih

krila) i prijenosnih rasprskivača. Dovodni cjevovodi su najčešće od željeznih, betonskih ili azbestnih cijevi koje podnose visoke pritiske vode (do 10 bara). Pokretna kišna krila su najčešće od aluminijskih legura ili plastičnih materijala. Cijevi su standardiziranih dimenzija, vrlo su lagane i međusobno se povezuju pomoću brzo spajajućih spojnica. Kišenje se obavlja na jednoj radnoj poziciji u vremenu potrebnom da se realizira obrok navodnjavanja. Nakon toga, kišna krila s rasprskivačima se prenose na drugu radnu poziciju. Ovi sustavi pogodni su za navodnjavanje većih ratarskih površina odnosno za kulture kao što su kukuruz, soja i suncokret, povrtlarske i voćarske kulture, kulture trava koje se siju na velikim površinama poput pašnjaka i livada, a služe za prehranu stoke. [1].



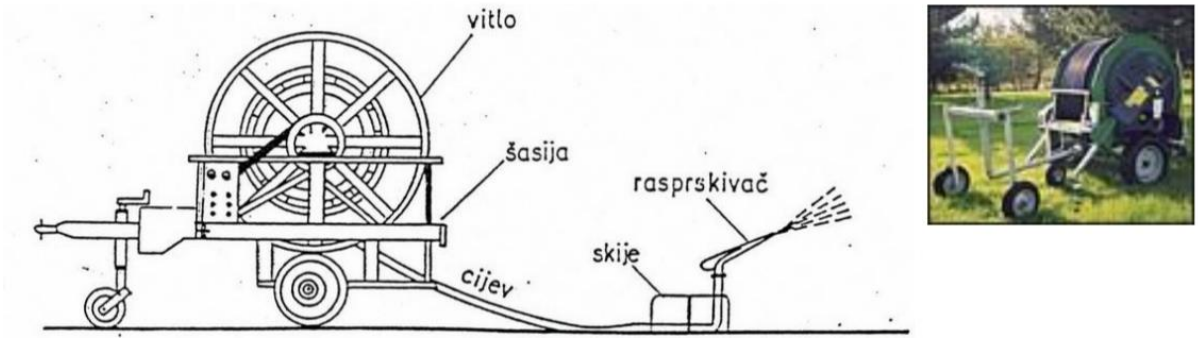
Slika 5. Navodnjavanje celera kišenjem [7]

Pokretni ili prijenosni sustavi za navodnjavanje kišenjem sastoje se od opreme koja se u cijelosti može premještati tijekom rada. Svi elementi su pokretni – crpka, cjevovodi, kišna krila i rasprskivači. Poslije navodnjavanja površine na jednom mjestu svi se elementi prenose na novu radnu poziciju. Prikladni su za navodnjavanje manjih parcela u privatnom vlasništvu. Prijenosne cijevi izrađene su od aluminija ili pocinčanog lima te od plastike, različitih promjera (50 – 150 mm) i dužina (6 – 9 m) [1, 5].

Samohodni sustavi za navodnjavanje kišenjem postavljeni su na kotačima ili pokretnim okvirima te se pomiču linijski (naprijed – nazad) ili kružno. Pogodni su za navodnjavanje svih vrsta poljoprivrednih kultutra, voćnjaka i vinograda. S obzirom na to da su uređaji s rasprskivačima izdignuti iznad površine zemlje, omogućeno je navodnjavanje visokih ratarskih kultura, kao što su kukuruz i suncokret [1].

Prema tehničkoj izvedbi i konstrukciji, načinu kretanja i automatiziranosti rada, razlikuje se nekoliko tipova samohodnih uređaja:

1.Samohodni sektorski rasprskivači – „Tifon“ sustavi – sastoje se od velikog vitla s namotanim plastičnim crijevom i jednog rasprskivača velikog inteziteta i dometa (Slika 6). Tifon sustav nalazi se na pomoćnom postolju („skije“) i navodnjava samo određeni sektor površine, a ne cijeli krug, što mu omogućava kretanja unazad po suhom tlu. Radi s velikim tlakom vode (6 – 8 bara) te troši znatne količine energije u toku eksploatacije. Na početku navodnjavanja postolje s rasprskivačem se odvlači na suprotni kraj parcele pomoću traktora. Tijekom rada, veliko vitlo se lagano okreće i namata crijevo, koje istovremeno povlači rasprskivač (Slika 7). Pokretanje vitla vrši voda iz sustava pod tlakom. Samohodni rasprskivači sve se više primjenjuju za navodnjavanje gotovo svih poljoprivrednih kultura (Slika 8) te se masovno primjenjuju u Hrvatskoj i u Europi.



Slika 6. Samohodni sektorski rasprskivač – Tifon [5]



Slika 7. Samohodni vučeni rasprskivač (Tifon) s kišnim krilom, navodnjavanje pokusa [1]



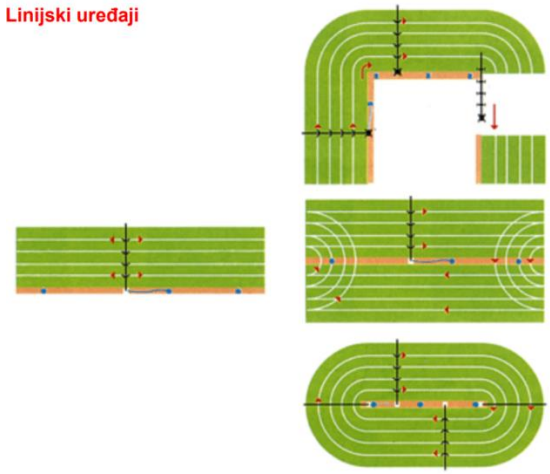
Slika 8. Samohodni vučeni rasprskivač (Tifon) s kišnim krilom, navodnjavanje sjemenskog kukuruza [1]

2.Samohodni automatizirani uređaji za linijsko ili kružno navodnjavanje su jedinice velikih radnih zahvata, a pogodne su za navodnjavanje velikih proizvodnih površina. Sastoje se od kišnog krila podignutog na posebnim pokretnim tornjevima (razmak 32 do 56 m). Na krilu su postavljeni brojni rasprskivači različitih intenziteta kišenja, koji s visine od 2 do 3 m iznad zemlje navodnjavaju poljoprivredne kulture (Slika 9). Širina zahvata uređaja je različita, a kreće se od 300 do 500 m s jedne, a isto toliko i s druge strane uređaja. Kretanje može biti linijsko u smjeru naprijed – nazad ili kružno. Pomoću njih se mogu navodnjavati gotovo sve poljoprivredne kulture, niske ili visoke, ali pretežito na ravnim terenima.



Slika 9. Navodnjavanje graška linijskim pokretnim sustavom navodnjavanja [8]

3.Linijski strojevi za automatizirano navodnjavanje kreću se pravolinijski, uzduž površine koju navodnjavaju, a kao izvorište vode služi im otvoreni natapni kanal koji se na različite načine dopunjuje vodom. Mogu zahvatiti površinu širine 2 x 500 m i dužine do 2000 m, što znači da jedan uređaj navodnjava površinu od oko 200 ha (Slika 10).



Slika 10. Linijski uređaji [5]

4.Kružni uređaji za automatizirano navodnjavanje („centar pivot“) fiksirani su u središnjem dijelu kišnog krila koje rotira i kružno navodnjava površinu. Izvorište vode nalazi se u središtu sustava, a obično je to hidrant ili pumpni agregat. Dužina kružnog krila koje rotira kod ovih sustava je 300 do 500 m te može navodnjavati kružnu površinu veličine 40 do 90 ha (Slika 11). Između pojedinih jedinica ostaju nekišene površine, što je nedostatak ovih strojeva. Programiraju se na zadani intezitet i obrok navodnjavanja te samostalno rade bez prisutnosti čovjeka. Okretanje kišnog krila

obavlja se individualnim kretanjem svakog tornja, a njihove su brzine usklađene elektronski [1].



Slika 11. Kružno navodnjavanje [9]

2.1.4. Lokalizirano navodnjavanje

Lokalizirano navodnjavanje čini vrlo moderna i sofisticirana oprema kojom se voda dovodi i raspodjeljuje do svake biljke „lokalno“, vrlo precizno i štedljivo, pomoću posebnih hidrauličkih naprava. Sustavima lokaliziranog navodnjavanja vlažnost tla se može održavati prema zahtjevima uzgajanih kultura i u granicama optimalne vlažnosti što pogoduje biljkama.

Metoda lokaliziranog navodnjavanja primjenjuje se na dva načina navodnjavanja kapanjem – „kap po kap“ te navodnjavanje mini rasprskivačima – „mali rasprskivači“.

Prednosti: može se primijeniti na svim tlima, topografskim prilikama, na parcelama raznih oblika i dimenzija te za sve kulture u poljskim i zaštićenim prostorima. Sustavi štede vodu i pogonsku energiju te vrlo precizno doziraju vodu. Vrlo su pouzdani i tehnički funkcionalni uz mogućnost elektronske regulacije i kompjuterskog upravljanja ostvaruju visok i kvalitetan prinos poljoprivrednih kultura.

Nedostaci: veliki zahtjevi za kakvoćom vode (obavezna filtracija vode), zbog osjetljivosti na začepljenje kapaljki i mini rasprskivača. Moguća su oštećenja dijelova

izrađenih od plastike od strane glodavaca, mehanizacije i/ili nepažljivog rukovanja, visoka cijena početnog ulaganja [1].

Navodnjavanje kapanjem – metoda „kap po kap“ jedan je od relativno novijih načina u praksi umjetnog dodavanja vode. Sustavi navodnjavanja kapanjem su potpuno automatizirani te tijekom rada gotovo ne zahtijevaju prisustvo čovjeka. Navodnjavanje kapanjem prikladno je samo za neke usjeve i površine, a široku primjenu našlo je u zemljama gdje nema dovoljno vode za navodnjavanje i gdje je ona dragocjenost, a bez nje nema sigurne poljoprivredne proizvodnje (Izrael, jug Italije, Francuska, SAD). Ovaj sustav štedi vodu te s minimalnom količinom postiže maksimalne učinke u biljnoj proizvodnji [1].

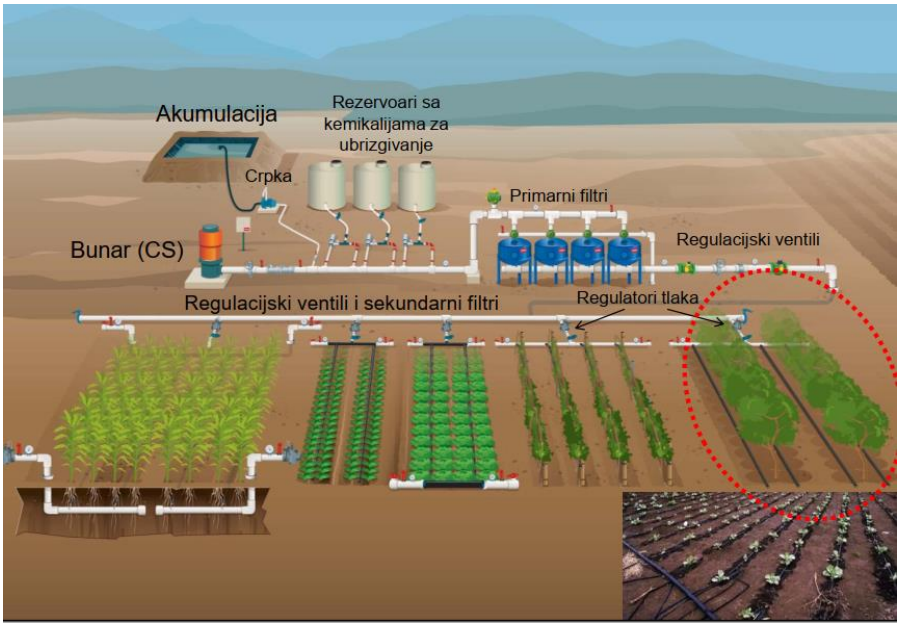
Voda se dovodi cijevima do svake biljke i vlaži vrlo mali dio zemljišta, što smanjuje gubitke vode te se iz tog razloga naziva „lokalizirano“ navodnjavanje. Vrijeme navodnjavanja može trajati i do 24 sata, što je uvriježilo i izraz „non-stop“ ili „dnevno“ navodnjavanje.

Osim tehničke superiornosti, uređaji za navodnjavanje „kap po kap“ imaju s agronomskog gledišta posebnu vrijednost, jer se pomoću njih sadržaji vode u tlu mogu neprestano održavati u optimalnim granicama za biljku. To se postiže tako da se laganim, ali vremenski neprekinutim dodavanjem malih količina vode, vlažnost tla zadržava oko poljskog vodnog kapaciteta. Navodnjavanje kapanjem prikladno je samo za vrlo intenzivne i dohodovne kulture koje mogu „platiti“ visoke troškove izgradnje, korištenja i održavanja sustava [1, 5].

Voda se od crpne stanice do parcele doprema tlačnim cjevovodom, promjera od 20 do 50 mm, a iz njih se raspodjeljuje u razvodne ili lateralne cjevovode promjeraod 15 do 20 mm [5].

Sustav navodnjavanja kapanjem (Slika 12) sastoji se od sljedećih elemenata: pogonskog dijela s filtrom, cijevi i kapaljki. Pogonski dio s filtrom njegov je središnji dio koji upravlja cijelim sustavom. Tu se nalazi crpka za zahvaćanje vode iz izvorišta, mjerači protoka i regulatori tlaka te filtri za pročišćavanje vode. Radni tlak pri navodnjavanju

kapanjem kreće se u rasponu od 0,8 do 1,5 bara, a održava se pomoću regulatora tlaka. Mjerači protoka vode služe za automatsku regulaciju kontrole protoka vode u sustavu. Plastične cijevi koje se upotrebljavaju pri navodnjavanju kapanjem obično su od polietilena. Voda se od crpne stanice do parcele doprema tlačnim cjevovodom, promjera od 20 do 50 mm, a iz njih se raspodjeljuje u razvodne ili lateralne cjevovode promjera od 15 do 20 mm. Kod ovog načina navodnjavanja cjevovod pripada među najveće investicijske troškove u izgradnji sustava, s obzirom da je za potrebe 1 ha kulture povrća potrebno od 5000 do 10000 m, voćnjaka 2000 do 4000 m, a rasadnika 3000 do 6000 m cijevi [1].



Slika 12. Prikaz navodnjavanja kapanjem [5]

Kapaljke su hidrauličke naprave koje raspodjeljuju vodu u tlo u formi pojedinačnih kapi. Izrađene su od plastike, a ima ih mnogo vrsta. Gotovo svaki proizvođač opreme ima vlastite konstrukcije kapaljki. To su vrlo jednostavne male naprave sa sitnim rupicama ili posebnim izvedbama kroz koje protječe voda gubeći tlak, tako da se pri izlasku formiraju kapi [1].

Jedan od najznačajnijih problema navodnjavanja kapanjem je začepljenje kapaljki, bilo mehaničko ili kemijsko. Začepljenje kapaljki je izravno povezano s kakvoćom vode za navodnjavanje te s njezinim fizikalnim, kemijskim i mikrobiološkim pokazateljima. Filterima se može spriječiti mehaničko začepljenje kapaljki. Kemijsko začepljenje se javlja kao posljedica stvaranja netopivih soli na samom otvoru ili unutar kapaljke [10].

Kapaljke su raspoređene na lateralnom cjevovodu na razmacima od 10 do 100 cm, ovisno o gustoći sklopa (Slika 13). Kod povrća, cvijeća i voćnih sadnica mnogo su gušće postavljene, a u trajnim nasadima voća rjeđe. Mogu se ugrađivati kao dio lateralne cijevi pa se nazivaju „linijski“ kapljači ili sa strane cijevi, takozvani „bočni“ kapljači. Protok vode pojedine kapaljke je između 2 l/h do 10 l/h.



Slika 13. Cijevi s kapaljkama [11]

Troškovi izgradnje sustava kapanjem su veliki zbog izuzetno velikih količina plastičnih cijevi i kapljača na jediničnoj površini zemljišta, ali su troškovi rada i korištenja kapanja manji nego kod drugih načina navodnjavanja. Uređaji za navodnjavanje kapanjem troše malo energije i vode. Uz dodavanje vode putem uređaja za navodnjavanje kapanjem, poljoprivredne kulture se „prihranjuju“ topivim mineralnim hranjivim tvarima pomoću uređaja koji se nazivaju „fertirigatori“ (Slika 14) što čini sustav još efikasnijim u eksploataciji. Održavanjem optimalnog sadržaja vode u tlu te istovremenom prihranom bilja, postižu se vrlo visoki prinosi i kvaliteta plodova poljoprivrednih kultura. To je velika prednost i izuzetno pozitivna karakteristika ovog načina navodnjavanja [1].



Slika 14. Fertirigator [12]

Prednosti: troše se male količine energije, vlaži se samo mala zona oko biljke i unutar redova, a međuredni prostor ostaje suh, postižu se veći prinosi i bolja kvaliteta plodova uzgajanih kultura, osiguran je automatski rad i kontrola uređaja pomoću elektronike, troškovi eksploatacije i održavanja sustava relativno su mali u odnosu na druge.

Nedostaci: visoka cijena izgradnje i opreme sustava, navodnjavaju se samo visokodohodovne kulture, često je začepljenje kapaljki, troškovi sakupljanja i zbrinjavanja pojedinih elemenata (cijevi) pri završetku sezone navodnjavanja, otežano je kretanje strojeva po proizvodnoj površini, mehanička oštećenja tijekom eksploatacije su laka i učestala, moguća su oštećenja glodavaca i divljih životinja.

Navodnjavanje kapanjem je u velikoj ekspanziji u svim zemljama, pa tako i u Hrvatskoj, a u Hrvatskoj se najviše primjenjuje u staklenicima i plastenicima te voćnjacima, kao i na površinama povrtnih kultura. Veliki interes za postavljanje sustava navodnjavanja kapanjem javlja se kod individualnih proizvođača (OPG-ovi, poduzetnici, farmeri) koji su specijalizirani za pojedine biljne proizvodnje, na primjer povrće (paprika, rajčica, grah, luk, grašak, kupus), cvijeće (uzgoj u plastenicima i staklenicima) i voće (plantaže jagoda, jabuka, aronije) [1].

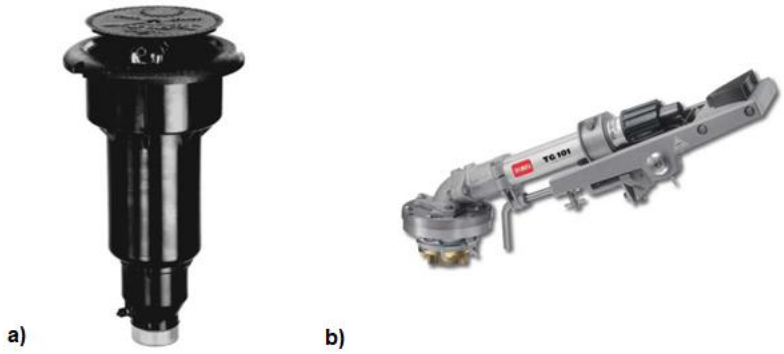
Efikasnost navodnjavanja „kap po kap“ leži i u tome što su gubici vode kroz isparavanje zanemarivi, a to zemlji daje dovoljno vremena da upije i zadrži dopremljenu vodu [13].

Navodnjavanje mini rasprskivačima

Sustavi navodnjavanja mini rasprskivačima slični su sustavima kapanja. Glavna razlika je što su kapaljke zamijenjene mini rasprskivačima (Slika 15) – malim rasprskivačima koji raspršuju vodu u obliku sitnih kapljica, pod manjim tlakom (1 do 3,5 bara) pa je intezitet navodnjavanja manji (20 do 80 l/h) i u dometu do 5 m. Mini rasprskivač izrađen je od plastičnih materijala te ga je moguće jednostavno postaviti, a kada više nije potreban za navodnjavanje, uređaj se rastavlja i sprema za iduću sezonu. Navodnjavanje mini rasprskivačima pogodno je za navodnjavanje cvjetnih vrsta koje trebaju učestalo navodnjavanje manjim količinama vode. Taj način navodnjavanja primjenjuje se u proizvodnji presadnica i to na otvorenom ili zaštićenom prostoru.

Potreba filtriranja podzemnih voda manja je u odnosu na navodnjavanje kapanjem zbog veličine mlaznica [1, 10].

Sustav se sastoji od: crpke na izvorištu vode, regulatora tlaka, vodomjera, raznih kontrolnih ventila plastičnih cijevi za dovođenje i razvođenje vode po parceli i mini rasprskivača. Zbog većeg protoka i radnog tlaka mini rasprskivačimanje se začepljuju u odnosu na kapaljke.



Slika 15. a) mini rasprskivač, b) rasprskivač dugog dometa [14]

Glavni cjevovod i lateralne cijevi izrađene su od elastoplastičnih, polietilenskih cijevi na koje se postavljaju mini rasprskivači. Postoje različiti oblici priključaka i nosača za mini rasprskivače koji se vrlo lako utisnu u stijenke lateralnih cijevi. Na priključak rasprskivača može se spojiti određeni tip rasprskivača s različitim protocima.

Prednost lokaliziranog sustava navodnjavanja (kapanje i mini rasprskivači) je da se svi dijelovi uređaja mogu jednostavno i brzo zamijeniti. Navodnjavanje mini rasprskivačima je prilagodljivo svim zahtjevima, potrebama i uvjetima rada. Cijeli je uređaj male težine i predstavlja nadzemnu instalaciju koja se lako i brzo premješta.

Mini rasprskivači se proizvode u različitim izvedbama, oblicima i tipovima. Imaju različite protoke, domete i rade pod različitim tlakovima. Ravnomjerno raspoređuju vodu u cijelom dometu prskanja. Izvrsno navodnjavaju teren i kulture, ali služe i kao regulatori mikroklime jer svojim radom utječu na povećanje relativne vlažnosti zraka [1].

3. KORIŠTENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE ZA POTREBE NAVODNJAVANJA

Obnovljivi izvori energije se prema Zakonu o energiji definiraju kao: „izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana sunčeva energija, biodizel, biomasa, bioplin, geotermalna energija itd.“ [15].

Obnovljivi izvori energije dijele se u dvije glavne kategorije: tradicionalne obnovljive izvore energije poput biomase i velikih hidroelektrana te na takozvane „nove obnovljive izvore energije“ poput energije Sunca, energije vjetra i geotermalne energije. Obnovljivi ili regenerativni izvori su izvori primarne ili prirodne energije koji se u cijelosti ili djelomično mogu obnavljati i ljudi ih mogu neograničeno iskorištavati s obzirom na njihovu pristupačnost i raspoloživu količinu.

Najznačajniji obnovljivi izvori su Sunčeva energija, energija vjetra, energija valova, plime i oseke, biomasa i geotermalna energija [16].

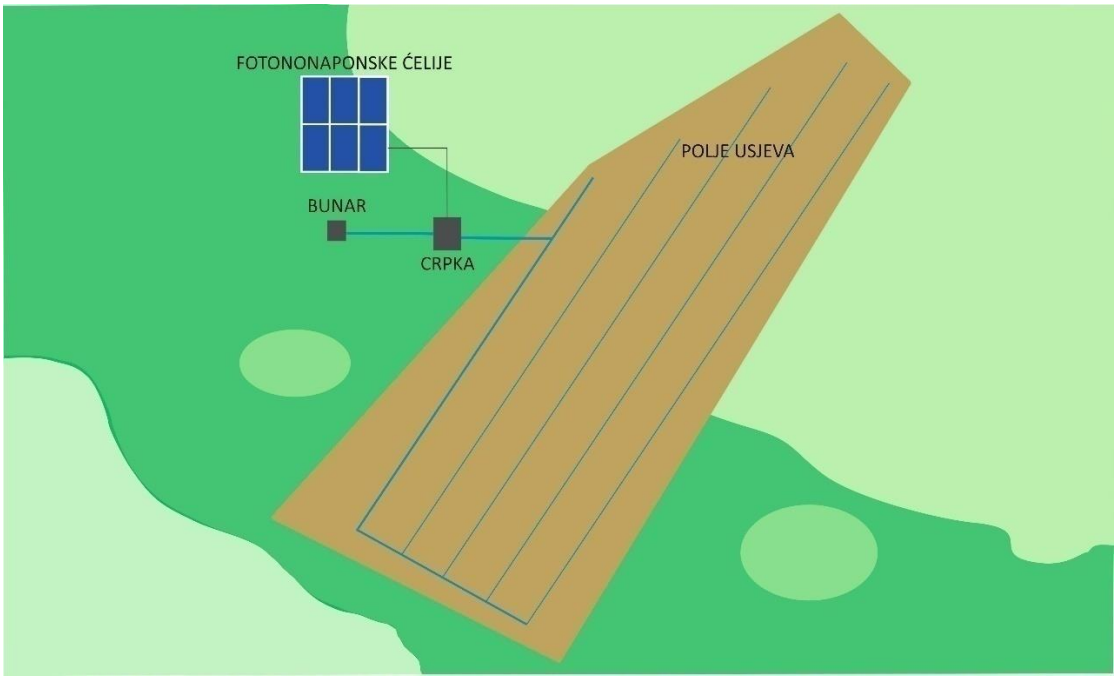
Neki od razloga zbog kojih je važan razvoj uporabe obnovljivih izvora energije su:

1. Smanjenje troškova za energiju te povećanje životnog standarda
2. Smanjenje emisije ugljičnog dioksida (CO_2) u atmosferu smanjenom uporabom fosilnih goriva
3. Povećanjem obnovljivih izvora povećava se energetska održivost sustava te se smanjuje ovisnost o uvozu energenata i električne energije
4. Stabilizacija klime
5. Nove poslovne mogućnosti i nova radna mjesta

Korištenje obnovljivih izvora energije za potrebe navodnjavanja primjenjuje se sve više u poljoprivrednoj praksi. Kod održivog navodnjavanja najvažnije je zamijeniti dosad najčešće upotrebljavani energent (dizel goriva), ekološki prihvatljivijim energentom (Sunce), a u svrhu proizvodnje električne energije koja će se koristiti za pogon crpki za navodnjavanje [16].

Crpke za crpljenje vode mogu se napajati iz nekoliko vrsta izvora energije, motorima s unutarnjim izgaranjem (dizel, prirodni plin ili benzin) ili električne energije. Električne crpke imaju mnogo bolju učinkovitost i niže ukupne troškove rada u usporedbi s crpkama motora s izgaranjem.

Fotonaponski sustav dodatno doprinosi smanjenju troškova navodnjavanja i ukupnih troškova proizvodnje usjeva. Nakon početnih instalacijskih (investicijskih) troškova i uobičajenih troškova održavanja i zamjene, takav sustav ima zanemarive troškove. Slika 16 prikazuje shematski prikaz sustava navodnjavanja koji se pokreće solarnom fotonaponskom energijom. Takav sustav sastoji se od crpke, bušotine, fotonaponskih panela sa inverterom (pretvaračem direktne struje u izmjeničnu), cjevovoda, kablova i svih ostalih mehaničkih i električnih sklopova. U ovom slučaju, fotonaponski sustav pokreće crpku koja crpi vodu iz bunara i isporučuje vodu na polje za navodnjavanje, gdje se nalaze cijevi za navodnjavanje. Sustav navodnjavanja treba biti postavljen direktno na polje usjeva kako bi se spriječili mogući gubici i izbjegli dodatni troškovi [17].



Slika 16. Ilustracija fotonaponskog sustava navodnjavanja [17]

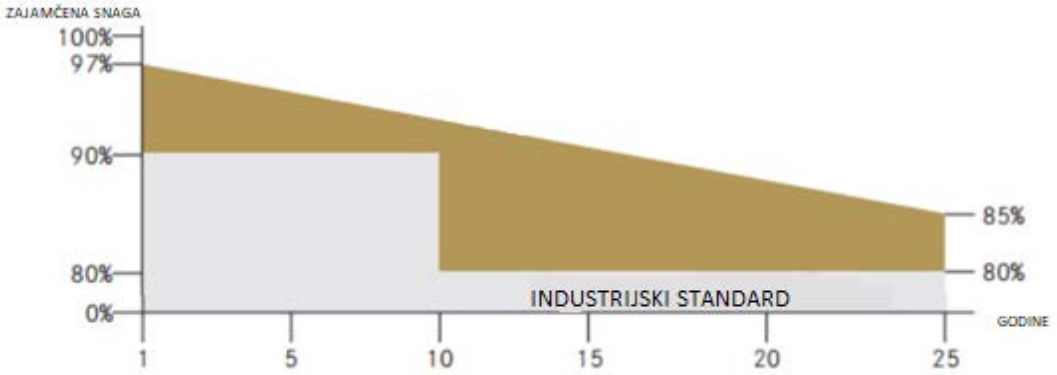
U Hrvatskoj je solarna fotonaponska energija najprimjenjiviji obnovljivi izvor energije za korištenje u navodnjavanju poljoprivrednih površina. U nastavku je prikazan jedan konkretni primjer navodnjavanja korištenjem solarne fotonaponske energije.

Za investitora Rabo d.o.o. iz Kneževih Vinograda, projekt izgradnje solarne crpne stanice Rabo na ukupno tri lokacije van naselja Kneževi Vinogradi, kao i potrebne radove izgradnje, izvršili su djelatnici tvrtke Solarni Projekti d.o.o., Hrvatska. Proizvedena električna energija koristila se za napajanje crpki za navodnjavanje voćnjaka. Time se postojeća tehnologija navodnjavanja koja je bazirana na korištenju dizel goriva zamijenila s ekološki prihvatljivom tehnologijom. Primjer je to dosad najvećeg sustava solarnog navodnjavanja u Europi (Slika 17) [18].



Slika 17. Prikaz akumulacijskog jezera, fotonaponskih modula i navodnjavanog voćnjaka u Kneževim Vinogradima [18]

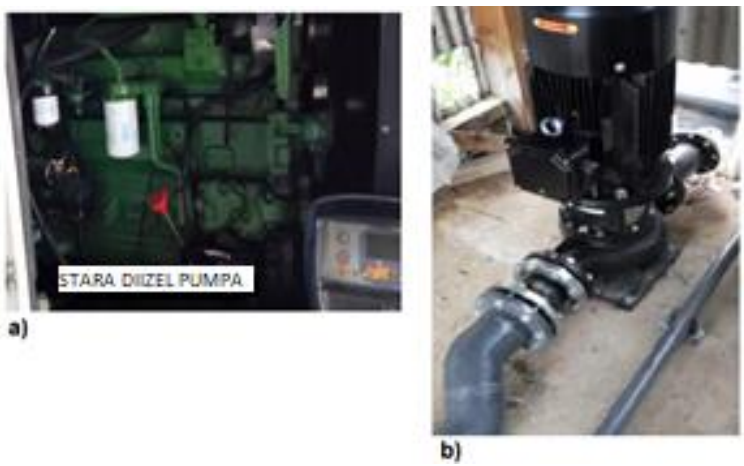
Jedan od nedostataka fotonaponskih modula je njihov rok trajanja. Moguće ih je koristiti do 25 godina, no s godinama njihova se učinkovitost smanjuje. U projektu su korišteni moderniji fotonaponski moduli od standardnih industrijskih s boljom zaštitom od korozije i atmosferskih uvjeta. Slika 18 prikazuje trajnost fotonaponskih modula.



Slika 18. Iskoristivost snage u ovisnosti o godini starosti fotonaponskog modula [18]

Prijašnjom tehnologijom navodnjavanja i transporta vode, pokretanoj dizel agregatima, na lokaciji u Kneževim Vinogradima godišnje je trošeno oko 33 500 litara dizel goriva. Ukupna potrošnja energenta u dizel agregatima je približno ekvivalentna 330 221 kWh električne energije.

Na plantaži voćnjaka u Kneževim Vinogradima odrađena je zamjena vodenih crpki efikasnijima i prilagođenima pogonu na Sunčevu energiju te ugradnja fotonaponskih modula koji napajaju vodene crpke. Zahvatom se pokriva potrošnja dizel goriva u ekvivalentu od 207 021 MWh električne energije Sunca, pri čemu fotonaponski moduli pokrivaju 62,70% potreba za električnom energijom. Dizel agregati (Slika 19) će se na plantaži koristiti kao pomoćni sustav napajanja vodenih crpki. Ukupna potrošnja dizel goriva nakon ugradnje sustava novih vodenih crpki i fotonaponskog sustava iznosi ekvivalent 123,2 MWh električne energije [18].



Slika 19.a) stara dizel crpka, b) nova fotonaponska električna crpka [6]

Konstrukcija za ugradnju fotonaponskih modula (Slika 20) načinjena je od čelika te dijelom od aluminija. Korišteni su vijčani temelji te tipska kontrukcija za ugradnju fotonaponskih modula na zemljištu.



Slika 20. Fotonaponski moduli korišteni u projektu [18]

Solarno postrojenje sastoji se od ukupno 363 fotonaponska modula raspoređenih na tri lokacije koje pogoni ukupno šest vodenih crpki. Ukupna vršna snaga fotonaponskog polja je 90,75 kWp. Moduli su postavljeni pod kutem od oko 30° u odnosu na razinu tla i ne reflektiraju sunčevu svjetlost u okoliš niti u jednom trenutku. Ugrađeni su polikristalni fotonaponski moduli nazivne snage 250 W, sa stupnjem korisnog djelovanja od 15,27% [18].

NAMJENA POJEDINIH POSTROJENJA:

Rabo I: proizvodnja električne energije koja pokreće vodenu crpku kojom se transportira voda od izvora vode do lagune u kojoj se voda akumulira. Očekivana proizvodnja električne energije u jednoj godini je oko 16,4 MWh, dok očekivani protok crpke pri maksimalnoj osunčanosti u vremenskom razdoblju plana navodnjavanja iznosi 22 m^3/h vode po jednoj crpki. Postrojenje Rabo I sastoji se od 4 potopne crpke na bliskim lokacijama, a svaka se posebno napaja sa pripadajućim fotonaponskim poljem. Postrojenje Rabo I nalazi se na poljoprivrednom zemljištu, a svaki od 4 fotonaponska sustava podijeljen je na 3 niza fotonaponskih modula sa 4 fotonaponska modula po nizu. Ukupno je ugrađeno 12 fotonaponskih modula po jednom sustavu, odnosno ukupno se koristi 48 fotonaponskih modula, ukupne vršne snage fotonaponskog polja 12 kWp.

Rabo II: proizvodnja električne energije koja pokreće vodenu crpku kojom se transportira voda od lagune do akumulacijskog jezera. Očekivana proizvodnja

električne energije je oko 42 MWh, dok očekivani protok crpke pri maksimalnoj osunčanosti iznosi 111 m^3/h vode. Postrojenje Rabo II sastoji se od 1 crpke, nalazi se na poljoprivrednom zemljištu, a fotonaponsko polje podijeljeno je na 6 nizova fotonaponskih modula sa 21 fotonaponskim modulom po nizu. Ukupno je ugrađeno 126 fotonaponskih modula, ukupne vršne snage fotonaponskog polja 31,5 kWp.

Rabo III: proizvodnja električne energije koja pokreće vodenu crpku kojom se transportira voda iz akumulacijskog jezera do poljoprivrednih površina koje se navodnjavaju. Očekivana proizvodnja električne energije u jednoj godini je oko 64,8 MWh, dok očekivani protok crpke pri maksimalnoj osunčanosti iznosi 222 m^3/h vode. Postrojenje Rabo III sastoji se od 1 crpke, nalazi se na poljoprivrednom zemljištu, a fotonaponsko polje podijeljeno je na 9 nizova fotonaponskih modula sa 21 fotonaponskim modulom po nizu. Ukupno je izgrađeno 189 fotonaponskih modula, ukupne vršne snage fotonaponskog polja 47,25 kWp [18].

Prednosti [18]:

- široka primjena - sustav je pogodan za uzgoj svih kultura, od povrtlarskih, voćarskih, ratarskih te šumarskih. Može se koristiti i za napajanje stoke u intenzivnom uzgoju, ali i za napajanje divljih životinja u prirodi – u ovom primjeru za uzgoj drveta Paulovnije,
- modularno, nadogradivo i prijenosno – sustav se postavlja brzo i jednostavno, koristi vijčane temelje te ga je lako repozicionirati ukoliko se ukaže prilika,
- energetski učinkovito rješenje – sustav je dugotrajan i energetski autonoman te u potpunosti eliminira potrebu za dodatnim izvorima energije u navodnjavanju,
- ekološki prihvatljiv – sustav koristi obnovljiv izvor energije i zbog neinvazivnog načina postavljanja ima minimalni utjecaj na zemlju.

Glavne tehničke karakteristike [18]:

- Enbekon DIAMOND fotonaponski moduli 10 x 250W,
- Snaga fotonaponskog sustava: 2,5 kWp,
- LORENTZ pumpni set PS1800 C-SJ8-7,

- Snaga pumpnog seta: 1,8 kW,
- Dubina bunara: 46 m,
- Podzemni nivo vode: 10 m,
- Dnevni protok crpljenja: 100 m^3.

Proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora energije smanjuje se emisija CO_2 na direktan i indirektan način, a ujedno se i promoviraju alternativni izvori energije. Dosadašnjim korištenjem, sustav navodnjavanja proizvodio je oko 64,18 tona CO_2 godišnje. Nakon ugradnje sunčane elektrane, planirana ušteda CO_2 iznosi 48,44 tona godišnje, tako da se procjenjuje da će sustav ubuduće emitirati oko 15,74 tone CO_2 godišnje [18].

4. PRIMJER OBITELJSKOG POLJOPRIVREDNOG GOSPODARSTVA NA LOKACIJI SELNICA PODRAVSKA

4.1. Općenito o lokaciji

Na malom obiteljskom poljoprivrednom gospodarstvu u Selnici Podravskoj, u sjevernom dijelu Hrvatske, vlasnici poljoprivrednog zemljišta razmatraju mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije u svrhu navodnjavanja. Poljoprivredna površina smještena je u nizini rijeke Drave (Slika 21).



Slika 21. Geografski položaj Selnice Podravske [19]

Klimatski uvjeti promatranog područja ne nude mnogo mogućnosti za korištenje energije vjetra za crpljenje vode, ali je intezitet Sunčeve energije i broj sunčanih sati dovoljan, tako da se solarna energija može koristiti kao izvor električne energije. Ostali obnovljivi izvori energije nisu raspoloživi za korištenje [19]. Pri tome se planira koristiti fotonaponski sustav za pogon crpke za crpljenje podzemne vode, kojom će se navodnjavati polje niskog graha (lat. *Phaseolus vulgaris L.*) (Slika 22).



Slika 22. Polje niskog graha

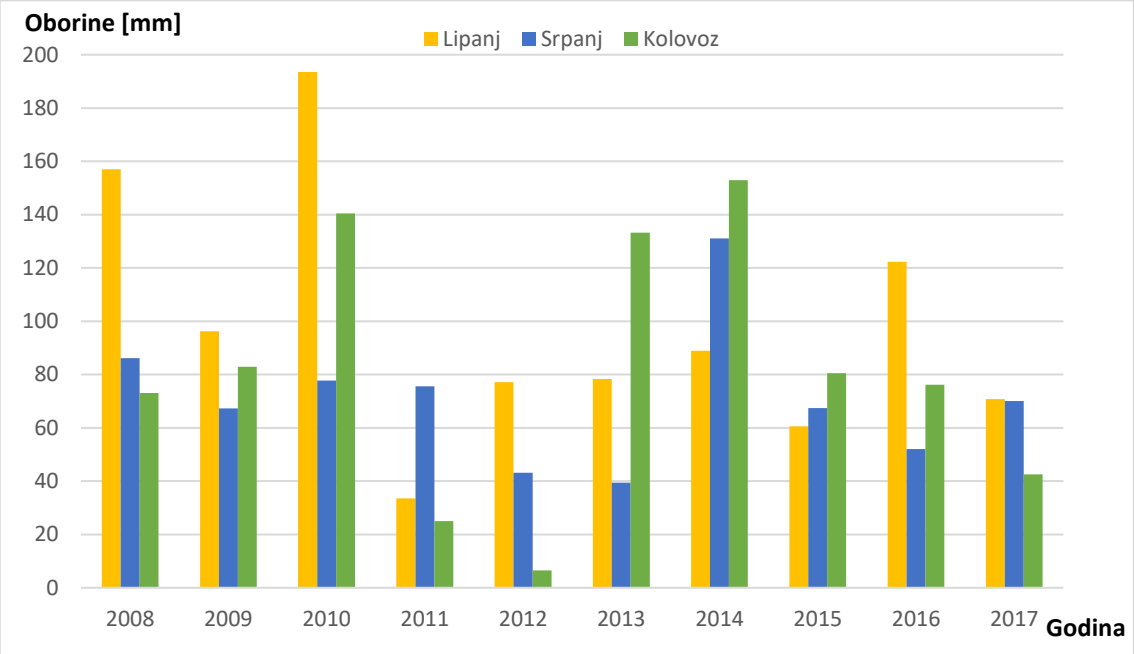
Iz literature je poznato [19] da je prinos navodnjavanih mahunarki veći je od onih koje nisu bile navodnjavane te je na temelju toga provedena studija za obiteljsko poljoprivredno gospodarstvo u Selnici Podravskoj, Hrvatska.

4.2. Ulazni podaci

Prvi korak kod ispitivanja potreba za navodnjavanjem je analiza oborina. Sljedeći korak je analiza mogućnosti korištenja solarne energije za napajanje vodene crpke. Provedena je analiza oborina posljednjih 10 godina za promatrano područje. Analizirane su ukupne mjesečne vrijednosti oborine za mjesece lipanj, srpanj i kolovoz s obližnje meteorološke stanice u gradu Ludbregu. Rezultati su prikazani na slici 23. Koordinate lokacije su 46.294°, 16.787°, dok je nadmorska visina lokacije 136 m.n.m.

Razmatra se mogućnost korištenja fotonaponskog sustava za napajanje crpke koja će dobavljati podzemnu vodu za navodnjavanje polja od 1978 m^2. Dnevno je za potrebe navodnjavanja kulture niskog graha potrebno 15 do 20 litara/m^2, odnosno 0.015 do 0.020 m^3/m^2, što bi značilo da je u jednom danu potrebno otprilike 30 do 40 m^3 vode.
Radi se o navodnjavanju metodom kap po kap.

Potrebni tlak je, s obzirom na dubinu s koje se crpi podzemna voda (6 m) plus vanjski tlak uređaja za navodnjavanje, obično 3 do 4 bara na svim uređajima za navodnjavanje, s time da se uzimaju gubici i dužina svih cijevi od početka do kraja polja koje se navodnjava, što bi u konačnici iznosilo 46 m v.s. Potrebna dužina cijevi iznosila bi 720 metara (12 redova po 60 m).

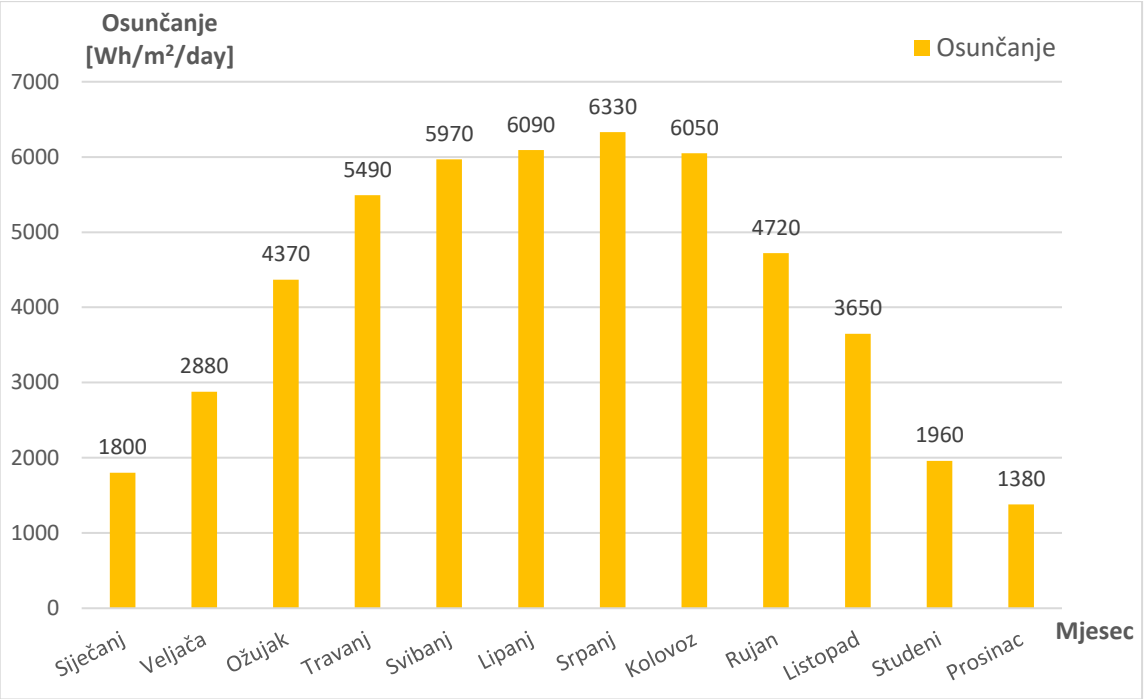


Slika 23. Prikaz količina oborina za mjesece lipanj, srpanj i kolovoz, meteorološka stanica Ludbreg [20]

Važno razdoblje u godini za rast graha su lipanj, srpanj i kolovoz, budući da se biljka razvija u lipnju, a mahune rastu i popunjavaju se u srpnju i kolovozu [21].

Posljednjih nekoliko godina može se primijetiti smanjenje vrijednosti padalina u srpnju i kolovozu, dok je količina oborina u lipnju više ili manje slična. Budući da su vrijednosti padalina općenito niže u srpnju, a temperature zraka su veće, u obzir treba uzeti i evapotranspiraciju. S obzirom da su padaline u srpnju i kolovozu nepredvidive, postavljanje fotonaponskih sustava za navodnjavanje ima opravdanje.

Srednje mjesečno ozračivanje,odnosno srednja jakost ukupnog Sunčevog zračenja na plohu orijentiranu prema jugu i pod optimalnim nagibom od 35°, dobiveno je pomoću online aplikacije PV-GIS [19, 22], (Slika 24).



Slika 24. Srednje mjesečne vrijednosti osunčanosti (jakosti Sunčevog zračenja) lokacije u Selnici Podravskoj [23]

4.3. Proračun veličine solarnog fotonaponskog sustava i crpke za navodnjavanje

Snaga podsustava *FN*, $P_{el,FN}$ (W), koji proizvodi električnu energiju za crpljenje vode u vodospremu u određenom vremenskom periodu *i*, koji označava dane u godini, *i* = 1, 2,… 365 dana, jednaka je [24]:

$$P_{el,FN\,(i)} = \frac{2.72\,H_{CS\,(i)}}{\eta_{FN}\;\eta_{CSI}\;E_{s(i)}} V_{CS\,(i)} = \frac{2.72\;\times 46}{0.15\;\times\;0.75\;\times 6.05} \times 40 = 7353\,W \qquad (1)$$

gdje je $H_{CS(i)}$ (m) manometarska visina, $V_{CS(i)}$ (m^3/dan) je dnevna količina vode koja se crpi u vodospremu u određenom vremenskom periodu (danu) *i* (*i* = 1, 2,..., 365), η_{CSI} je srednja učinkovitost crpne stanice *i* invertera (%), $E_{s(i)}$ (kWh/m^2/dan) je raspoloživa srednja dnevna jakost ukupnog Sunčevog zračenja, u vremenskom koraku *i*.

Za razmatranu lokaciju, usvojena prosječna manometarska visina H_{PS} iznosi 46 m. Usvojena učinkovitost podsustava *FN* iznosi η_{FN} = 0.15, prosječna učinkovitost invertera je η_I = 0.83, dok je prosječna učinkovitost crpne stanice η_{CS} = 0.90 [25].

Prosječna učinkovitost invertera *i* crpke je, s obzirom na jednadžbu (2), $\eta_{CSI} = 0.75$. Gubici vode u ovoj analizi su već ubrojeni u ukupne količine vode za navodnjavanje.

Za ulazni podatak jakosti Sunčevog zračnja, E_s [kWh/m^2/dan] uzima se vrijednost za mjesec kolovoz jer je ona najmanja s obzirom na lipanj i srpanj (Slika 23) i prema izračunu iznosi 6050 Wh/m^2/dan.

Srednja učinkovitost crpne stanice i invertera η_{CSI} dobivena je kao [25]:

$$\eta_{CSI} = \eta_{CS} \times \eta_I = 0.90 \times 0.83 = 0.75 \quad (2)$$

Potrebna površina *FN* generatora A_{FN} (m^2), dobije se iz jednadžbe (1):

$$A_{FN} = \frac{P_{el,FN}}{1000\,\eta_{FN}} = \frac{7353}{1000 \times 0.15} = 49\,m^2 \quad (1)$$

gdje je η_{FN} srednja učinkovitost podsustava *FN*.

Prosječni potrebni kapacitet crpke $Q_{CS,(i)}$ [26]:

$$Q_{CS(i)} = \frac{V_{CS\,(i)}}{T_{s\,(i)}} = \frac{40}{6.05} = 6.61\frac{m^3}{h} \quad (2)$$

Pri čemu je trajanje Sunčevog zračenja pogodnog za rad crpke, $T_{s(i)}$ jednako:

$$T_{s(i)} = \frac{E_{s(i)}}{1000} = \frac{6050}{1000} = 6.05\,h \quad (3)$$

Veličina 1000 odnosi se na jakost Sunčevog zračenja od 1000 W/m^2 u jednom danu u Standardnim Testnim Uvjetima [27].
Prosječna snaga crpne stanice P^*_{CS} tada je [28]:

$$P^*_{CS} = \frac{\rho g Q^*_{CS} H_{CS}}{\eta_{CS}} = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.00184 \times 46}{0.90} = 923\,W \quad (4)$$

gdje je η_{CS} prosječna učinkovitost crpke.

5. ZAKLJUČAK

Zadatak završnog rada bio je prikazati koncept navodnjavanja pomoću solarnog fotonaponskog sustava te na taj način potaknuti ekološku svijest poljoprivrednika da umjesto klasičnih dizel motora primjenjuju ekološki prihvatljiviju, energiju Sunca, za istu svrhu.

Općenito govoreći, uslijed klimatskih promjena, količina padalina pokazuje silazni trend. Slični klimatski uvjeti uočeni su i za promatrano područje, a količina padalina u mjesecima srpnju i kolovozu posljednjih godina je sve manja. Poput drugih usjeva, prinos niskog graha ovisi o vodi. Ako nema dovoljno vode, mahune neće biti dovoljno ispunjene i biti će ih manje.

Potrebno je napomenuti da s obzirom na usvajanje najmanje vrijednosti jakosti Sunčevog zračenja između tri razmatrana mjeseca, dimenzioniranje sustava za navodnjavanje je "konzervativno" i pouzdano. Također je potrebno istaknuti da se svi viškovi proizvedene električne energije mogu koristiti za druge potrebe ili distribuirati u elektroenergetsku mrežu. Sve navedeno dovodi do nastanka održivog sustava za navodnjavanje.

LITERATURA

1. Josipović M, Kovačević V, Rastija D, Tadić L, Šoštarić J, Plavšić H, i ostali. *Priručnik o navodnjavanju*. Josipović M, urednik. Poljoprivredni institut Osijek; 2013.
2. *Navodnjavanje cvjetače* [Online]. Dostupno na: http://pinova.hr/hr_HR/baza-znanja/povrcarstvo/cvjetaca/navodnjavanje-cvjetace. Datum pristupa: 25.7.2019.
3. *Otkriveno polje riže staro osam tisuća godina* [Online]. / Bljesak.info | BH Internet magazin. Dostupno na: https://www.bljesak.info/lifestyle/flash/otkriveno-polje-rize-staro-osam-tisuca-godina/156704. Datum pristupa: 25.7.2019.
4. *Subirigacija – podzemno navodnjavanje* [Online]. Dostupno na: https://www.agrotv.net/subirigacija-podzemno-navodnjavanje/. Datum pristupa: 25.7.2019.
5. Bekić D. *Vježbe iz hidromehanike*. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2011.
6. *Navodnjavanje voćnjaka* [Online]. Dostupno na: https://www.agrotv.net/navodnjavanje-vocnjaka/. Datum pristupa: 25.7.2019.
7. *Navodnjavanje celera*. Dostupno na: http://pinova.hr/hr_HR/baza-znanja/povrcarstvo/celer/navodnjavanje-celera-. Datum pristupa: 25.7.2019.
8. *Navodnjavanje važan čimbenik* [Online]. Dostupno na: https://pozega.eu/navodnjavanje-vazan-cimbenik/. Datum pristupa: 25.7.2019.
9. *Organske farme pustinje Wadi Rum, Jordan* [Online]. Dostupno na: https://impulsportal.net/index.php/zivotna-sredina/931-organske-farme-pustinje-wadi-rum-jordan. Datum pristupa: 25.7.2019.
10. Pokos V. *Navodnjavanje u povrćarstvu i cvjećarstvu*. Glas zaštite bilja. 2014.;21–9.
11. *Sustav navodnjavanja kap po kap u jagodama* [Online]. Dostupno na: http://pinova.hr/hr_HR/galerija/3218/170/1138/Sustav+navodnjavanja+kap+po+kap+u+jagodama. Datum pristupa: 25.7.2019.
12. *Fertirigatori* [Online]. Dostupno na: https://www.gis-impro.hr/fertirigatori/. Datum pristupa: 25.7.2019.

13. *Navodnjavanje poljoprivrednih površina — Zaštita bilja* [Online]. Dostupno na: http://www.zastitabilja.eu/navodnjavanje-poljoprivrednih-povrsina/. Datum pristupa: 25.7.2019.
14. *Rasprskivači za navodnjavanje* [Online]. Dostupno na: https://pseno.hr/navodnjavanje/oprema-za-navodnjavanje/rasprskivaci/toro-rasprskivaci/#prettyPhoto. Datum pristupa: 25.7.2019.
15. *Obnovljivi izvori energije* [Online]. Dostupno na: http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/obnovljivi_izvori_energije/. Datum pristupa: 25.7.2019.
16. Šmic N. *Primjena obnovljivih izvora energija*. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet; 2017. [Online]. Dostupno na: https://repozitorij.gfv.unizg.hr/islandora/object/gfv:255/preview. Datum pristupa: 25.7.2019.
17. *Solarno navodnjavanje* [Online]. Dostupno na: http://solaris-pons.hr/usluge/solarno-navodnjavanje/. Datum pristupa: 25.7.2019.
18. Vukušić M. *Fotonaponski sustav za navodnjavanje*. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; 2017.
19. Đurin B, Leskovar K, Milosavljević K. Potential for using of renewable energy sources for irrigation at small agricultural areas: case study Selnica Podravska. *J Agric Hortic Res*. 2018.
20. DHMZ: *Podaci o oborinama za meteorološku stanicu Ludbreg* - 2008.-2017., 2018
21. Borosic, J., Romic, D., Dolanjski, D. Growth and yield components of Dwarf French bean grown under irrigation conditions, *Acta Horticulturae*. 2000. 451-460.
22. El-Shimy, M., Đurin., B. Techno-Economic Evaluation and Sizing Optimization of Solar-PV and Wind Energy Sources for Irrigation Water Pumping, Opatija, Croatia. 2016.
23. European Commission: Photovoltaic Geographical Information System – Interactive Maps, *Monthly global irradiation data*. 2007. Dostupno na: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#. Datum pristupa: 03.12.2018
24. Margeta, J., Glasnović, Z., Theoretical settings of photovoltaic-hydroenergy

system for sustainable energy production, *Solar Energy*. 2012. 86, 972-982.

25. Đurin, B. *Održivost rada vodoopskrbnog sustava* / doktorska disertacija. Split: Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 28.08.2014, str 103.
26. Margeta, J. *Vodoopskrba naselja: Planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode*. Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2011.
27. Munzer, S.Y. Ebaid, Hasan Qandil, Mahmoul Hammadb, A unified approach for designing a photovoltaic solar system for the underground water pumping well-34 at Disi Aquifer, *Energy Conversation and Managment*, 2013, 86, 972-982.
28. Margeta, J., Glasnović, Z. Feasibility of the green energy production by hybridsolar + hydropower system in Europe and similar climate areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010. 14(6), 1580-1590.

POPIS SLIKA

Slika 1. Navodnjavanje cvjetače brazdama [2]
Slika 2. Navodnjavanje kazetama [3]
Slika 3. Navodnjavanje podzemnim kanalima [4]
Slika 4. Navodnjavanje voćnjaka [6]
Slika 5. Navodnajvanje celera kišenjem [7]
Slika 6. Samohodni sektorski rasprskivač – tifon [5]
Slika 7. Samohodni vučeni rasprskivač (tifon) s kišnim krilom, navodnjavanje pokusa [1]
Slika 8. Samohodni vučeni rasprskivač (tifon) s kišnim krilom, navodnjavanje sjemenskog ukuruza [1]
Slika 9. Navodnjavanje graška linijskim pokretnim sustavom navodnjavanja [8]
Slika 10. Linijski uređaji [5]
Slika 11. Kružno navodnjavanje [9]
Slika 12. Prikaz navodnjavanja kapanjem [5]
Slika 13. Cijevi s kapaljkama [11]
Slika 14. Fertirigator [12]
Slika 15. a) mini rasprskivač, b) rasprskivač dugog dometa [14]
Slika 16. Ilustracija fotonaponskog sustava navodnjavanja [19]
Slika 17. Prikaz akumulacijskog jezera, fotonaponskih mofula i navodnjavanog voćnjaka u Kneževim Vinogradima [17]
Slika 18. Iskoristivost snage u ovisnosti o godini starosti fotonaponskog modula [18]
Slika 19. a) Stara dizel crpka, b) nova fotonaponska električna crpka [6]
Slika 20. Fotonaponski moduli korišteni u projektu [17]
Slika 21. Geografski položaj Selnice Podravske [19]
Slika 22. Polje niskog graha
Slika 23. Prikaz analize oborina za mjesece lipanj, srpanj i kolovoz, meteorološka stanica Ludbreg [20]
Slika 24. Proračunate vrijednosti osunčanosti lokacije u Selnici Podravskoj [21]