

**IDEJNO REŠENJE NAVODNJAVANJA POLJOPRIVRENOG ZEMLJIŠTA „LOVCENAC“
ISTOČNO OD AUTOPUTA HORGOS–BEOGRAD-PREŠEVO****CONCEPTUAL DESIGN OF IRRIGATION FOR AGRICULTURAL LAND „LOVCENAC“
EAST OF THE HORGOS-BELGRADE-PRESEVO HIGHWAY**

Jovana Kalajdžić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj - U master radu je prikazana je analiza potreba i mogućnosti za sistem navodnjavanja na poljoprivrenom zemljištu na području Lovćenac. Usvojena tehnika navodnjavanja podrazumeva sistem sa 21 samohodnom mašinom tipa centar pivot, na parcelama istočno od autoputa, koja prekriva površinu od 1360 ha. Takav sistem navodnjavanja je usvojen kao najoptimalniji jer ostvaruje veliku pokrivenost zemljišta kao i ravnomeran raspored vode po polju. Mašine se snabdevaju vodom iz akumulacije „Mali Idoš“ na čijoj obali se nalazi i crpna stanica, koja je sa svojom kompletnom hidromašinskom opremom takođe predmet ovog rada.

Ključne reči – Navodnjavanje poljoprivredne površine, mašine tipa centar pivot, pumpe, crpna stanica.

Abstract - The master's thesis presents an analysis of the needs and possibilities for an irrigation system on agricultural land in the Lovćenac area. The adopted irrigation technique involves a system with 21 self-propelled center pivot machines located on parcels east of the highway, covering an area of 1,360 hectares. This type of irrigation system was selected as the most optimal due to its extensive land coverage and uniform water distribution across the fields. The machines are supplied with water from the "Mali Idoš" reservoir, on the shore of which a pumping station is located. This station, along with its complete hydromechanical equipment, is also addressed in this thesis.

Keywords - Irrigation of Agricultural Land, Center Pivot Machines, Pumps, Pumping Station

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor Prof. Dr. Goran Jeftenić.

1. UVOD

Osnovni zadatak navodnjavanja je da obezbedi optimalnu vlažnost zemljišta koja odgovara određenoj kulturi i nalazi se u tolerantnim granicama. Na našem području, zbog variranja godišnjeg prinosa, na koji direktno utiču padavine, posmatra se vegetacijski period navodnjavanja, koji traje od 01.04.-31.09. gde je najkritičniji period stvaranja gubitaka vode u mesecu julu i avgustu. Deficiti ovih gubitaka regulišu se pomoćnim zalivnim mašinama i uređajima, čiji tip definišu klimatski, geološki i ekonomski faktori. Svrha navodnjavanja je odstranjivanje nastalih gubitaka vode, koji se regulišu različitim pomoćnim tehnikama, zalivnim mašinama i uređajima, čiji tip definišu klimatski, geološki i ekonomski faktori. Sistem za navodnjavanje, u ovom radu, planira se sa samohodnim mašinama tipa „Centar pivot“, koje se kreću kružno po parcelama. Planirano je ukupno 21 mašina na površinama istočno od autoputa. Na osnovu zahtevane količine vode i pritiska na mašinama, definisani su ulazni parametri za dimenzionisanje crpne stanice. Ukupan kapacitet crpne stanice je $Q = 962$ l/s, a potreban pritisak 6 bara. Lokacija navodnjavane površine se nalazi na udaljenosti od oko 4 km od Lovćenca, odnosno oko 6 km od Malog Idoša. Ukupna neto površina iznosi oko 1360 ha.



Slika 1. Prikaz šire lokacije sistema za navodnjavanje „Lovćenac“

Crpna stanica je locirana na levoj obali akumulacije „Mali Idoš“, kao centralni objekat vodozahvata. Pored građevinskog objekta gde su smeštene pumpe i elektrooprema, u funkcionalnu celinu uključuje još i cevovode i prateće konstrukcije.

Voda se zahvata preko usisnih korpi uronjenih u akumulaciju, te putem dva cevovoda DN1000 mm dovodi u crpni bazen.

Zadatak rada bio je projektovanje sistema za navodnjavanje istočno od auto-puta Horgoš–Beograd–Preševo, kojim je obuhvaćen veći deo zalivnog polja sa cevima i mašinama za navodnjavanje, trafostanica, distributivni i sekundarni cevovodi, energetski i optički kablovi do autoputa. Pored toga odradio se hidraulički proračun koji obuhvata vodni bilans zemljišta, proračun potencijalne evapotranspiracije i hidromodul navodnjavanja. Uz ovaj proračun odrađen je i hidraulički model kompletne mreže zlivnog sistema uz program EPANET 2.2.



Slika 2. Pregledna situacija zalivnog Sistema "Lovćenac"

1.1. Distributivni cevovod

Za potrebe vodosnabdevanja celog zalivnog sistema, projektovana su tri glavna distributivna cevovoda (do autoputa) HDPE PE-100 prečnika Ø630, Ø710 i Ø400 PN 6 bara. Ukupna dužina distributivnih cevovoda iznosi 4123m. Cevovodi Ø710 i Ø630 su predviđeni za vodosnabdevanje budućih faza sistema za navodnjavanje istočno od autoputa. Sekundarni cevovodi su od polietilenskih cevi visoke gustine HDPE PE-100, PN 6 bara. Ukupna dužina cevovoda je oko 4138 m. Prečnici cevovoda su Ø280, Ø250, Ø225, Ø200, Ø180, Ø160 i Ø140.

2. VODNI BILANS ZEMLJIŠTA

Osnovni klimatski elementi za proračun vodnog bilansa zemljišta su srednje mesečne temperature vazduha i mesečne sume padavina. Osnovni izvori podataka o ovim meteorološkim veličinama su meteorološki godišnjaci koje

publikuje Republički hidrometeorološki zavod. Najbliža hidrometeorološka stanica je MS Sombor, čiji su podaci obrađeni za period od 1992. do 2022. godine. Proračun vodnog bilansa se vrši za hidrologšku godinu, koja počinje 1. oktobra i završava se 30. septembra, odnosno počinje od meseca u kome su rezerve vode u zemljištu potrošene. Obzirom da su osnovni klimatski elementi koji ulaze u proračun vodnog bilansa temperatura vazduha i padavine, analiza istih će se izvršiti po hidrološkim godinama.

2.1. Temperatura vazduha

Srednja godišnja temperatura vazduha u periodu 1992–2022. iznosi 11,8 °C, a kreće se od 9,8 °C do 13,2 °C. Uočava se da od 2012. godine nastupaju samo godine sa temperaturom vazduha većom od proseka i sve izraženijom razlikom od višegodišnjeg proseka. U Tabeli su prikazane prosečne, maksimalne i minimalne mesečne vrednosti temperature vazduha. Iz date tabele se uočava da je prosečno najhladniji mesec januar, sa prosečnom temperaturom vazduha 0,6 °C, a najtopliji je jul sa 22,6 °C. U vegetacionom periodu, prosečna višegodišnja vrednost temperature vazduha iznosi 10 °C, a kreće se od 8,1 °C do 12,5 °C.

Tabela 3. Srednje, maksimalne i minimalne sume temperature vazduha (1992.-2022 god.)

Месец	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Просек	11.5	6.4	1.6	0.6	2.5	6.6	12.1	17.3	21.1	22.6	22.1	16.8
Макс	14.0	10.0	4.2	5.8	6.5	9.7	16.6	20.5	24.6	25.1	24.5	19.8
Мин	8.3	1.3	-3.7	-5.3	-4.4	2.4	7.7	14.4	18.1	19.9	19.5	13.1

2.2. Padavine

Padavine predstavljaju jedan od osnovnih činilaca rasta i razvoja biljaka, jer su osnovni snabdevač zemljišta vodom. Nedostatak vlage u vegetacionom periodu uzrokuje niske prinose i proizvodne gubitke koji se nadoknađuju navodnjavanjem.

Višegodišnji prosek suma padavina za period 1992–2022. iznosi 635,8 mm. Najniža prosečna vrednost godišnje sume padavina je 371,6 mm, a najviša 1015,8 mm. U vegetacionom periodu, višegodišnji prosek sume padavina iznosi 372,8 mm, a varira od 138,3 mm (2000) do 694,0 mm (2010). Posmatrajući mesečne visine padavina, uočava se da je maksimum padavina zabeležen u junu – 240 mm, dok je minimum padavina zabeležen u aprilu – 0,5 mm.

Tabela 3. Srednje, maksimalne i minimalne sume padavina za MS Sombor (1992.-2022 god.)

Месец Година	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Просек	53.1	48.9	49.1	38.0	38.1	35.3	38.7	64.7	78.7	70.4	57.0	63.8
Макс	128.9	126.4	105.0	84.0	82.9	92.3	109.0	195.4	240.0	195.5	154.7	138.7
Мин	4.9	3.4	1.0	4.3	1.0	1.7	0.5	13.0	7.0	18.3	5.5	15.0

2.3. Proračun potencijalne evapotranspiracije

Evapotranspiracija predstavlja onu količinu vode koja se troši procesima transpiracije i evaporacije sa određene površine u određenom vremenu, i ona može biti stvarna ili realna (ETR) i potencijalna (ETP).

U prirodnim uslovima, biljke troše vodu od padavina u periodu vegetacije, od predvegetacionih rezervi vlage iz zemljišta, od podzemne vode i dotoka vode sa strane. Količine vode su često ograničene, stoga biljke ne mogu da zadovolje sve svoje potrebe za vodom. Upravo ovakva potrošnja vode predstavlja stvarnu ili realnu evapotranspiraciju (ETR), kada biljke troše samo onoliko vode koliko im je dostupno.

Ukoliko se obezbedi optimalno snabdevanje biljaka vodom, odnosno ako se održava optimalna vlažnost zemljišta, npr. u uslovima navodnjavanja, biljke će tada trošiti vodu na nivou svojih potreba u zavisnosti od fenofaze rasta i razvoja, kako bi ostvarile maksimalan prinos na osnovu genetskog potencijala. Ovakva potrošnja vode od strane biljaka naziva se potencijalna evapotranspiracija i ona u stvari predstavlja potrebe biljaka za vodom.

Preračun potencijalne evapotranspiracije je urađen metodom Thornthwaite-a, koji je dobro prilagođen za umerene klimatske uslove kakvi su u Vojvodini. Thornthwaite je utvrdio empirijsku eksponencijalnu jednačinu u kojoj kao osnovna veličina figurira srednja mesečna temperatura vazduha sa korekcijom za geografsku širinu.

$$ETP = 16 \cdot (10 \cdot t / I) a \cdot k$$

ETP - Mesečna potencijalna evapotranspiracija [mm]

t - Средња месечна температура ваздуха [°C]

I - Годишњи термички индекс, обрачунава се сумом месечних термичких индекса. (i)

$$I = \sum i, \quad i = (t / 5) 1,514$$

a - Експоненцијални коефицијент, обрачунава се поједностављеном формулом:

$$a = 0,0016 \cdot I + 0,5$$

k - Корекциони коефицијент за географску ширину

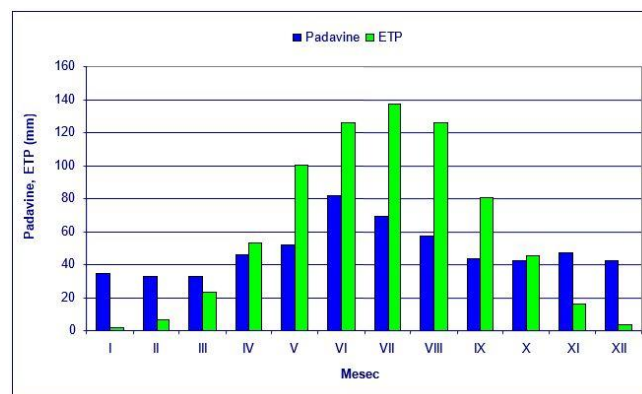
Srednje mesečne vrednosti evapotranspiracije su najmanje u zimskom periodu godine, a najveće u letnjem.

Najmanja prosečna vrednost ETP za januar iznosi 2,2 mm, a za decembar 3,2 mm, dok najveća prosečna vrednost ETP za jul iznosi 148,8 mm. Maksimalna vrednost ETP zabeležena je u julu i iznosi 170,1 mm. Minimalna evapotranspiracija od 0,0 mm javlja se u decembru, januaru i februaru pri negativnim temperaturama vazduha. Ovako dobijeni podaci o vrednostima ETP služe za obračun

vodnog bilansa, odnosno za određivanje manjkova i viškova vode u zemljištu.

Tabela 3. Srednje, maksimalne i minimalne sume ETP (1992.-2022 god.)

Месец	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Пројек	43.2	16.8	3.2	2.2	7.0	22.3	55.7	101.6	133.2	148.8	132.9	79.3
Макс	54.2	28.2	8.6	12.8	16.9	36.2	81.1	124.6	162.6	170.1	151.7	98.6
Мин	29.3	1.9	0.0	0.0	0.0	7.6	33.7	76.5	108.2	128.6	113.9	59.8



Slika 3. Mesečne vrednosti suma padavina i ETP za MS Vrbas (1966–2004)

Na osnovu rezultata obračuna vodnog bilansa zemljišta, u kritičnom periodu najveći mesečni deficit vode iznosi 148 mm. Analiza vodnog bilansa pokazala je da se u zimskom periodu odvija akumuliranje vode u zemljištu, dok se u letnjem periodu zemljište prazni. Manjkovi vode u zemljištu obično se javljaju od maja do septembra – oktobra meseca. U oktobru i novembru, pa sve do februara, rezerve pristupačne vode u zemljištu se popunjavaju.

Tabela 4. Vodni bilans zemljišta za karakterističnu hidlošku godinu 2011/2012 – najsušnija godina.

mes.	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
ETP	34.4	3.4	6.1	3.0	0.0	27.5	56.3	100.1	144.5	170.1	148.4	90.6
P	23.2	3.4	67.6	36.5	57.3	3.4	40.2	56.5	24.3	22.2	6.9	30.1
Δ	-11.2	0.0	61.5	33.5	57.3	-24.1	-16.1	-43.6	-120.2	-147.9	-141.5	-60.5
r	0.0	0.0	61.5	95.0	100.0	75.9	59.8	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	23.2	3.4	6.1	3.0	0.0	3.4	40.2	56.5	24.3	22.2	6.9	30.1
m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.0	147.9	141.5	60.5
v	0.0	0.0	0.0	0.0	52.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.4. Hidromodul zalivanja

Hidromodul navodnjavanja se određuje za mesec najjače potrošnje, najčešće su to meseci jul i avgust. Radno vreme sistema u vršnim mesecima je 24 h.

$$q = N/T = 148 \times 10 \times 1000 / 30 \times 24 \times 3600 = 0,57 \text{ l/s/ha}$$

Zbog sigurnosti, hidromodul navodnjavanja je usvojen **0,60 l/s/ha**. Obezbeđenje dovoljnih količina vode za biljke imaće

puni efekat u navodnjavanju samo ako se svako zalivanje obavi pravovremeno

Vreme zalivanja obuhvata moment pravovremenog zalivanja koji se može utvrditi i svakodnevnim obračunom utroška vode evapotranspiracijom. Nije greška čak i ako se primene obe pomenute metode istovremeno.

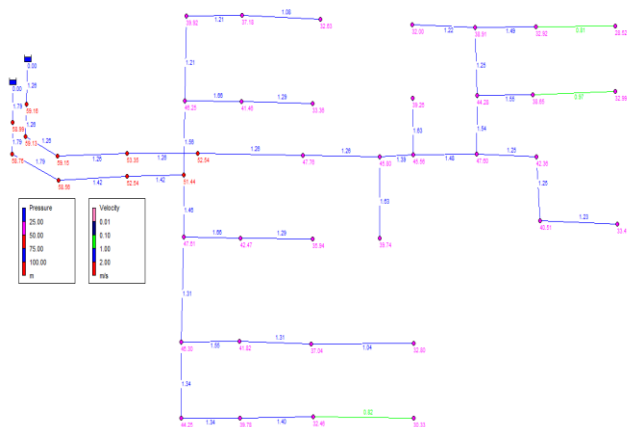
Metodom unapred određenih turnusa zalivanja po vremenu koristi se šablon, koji može da izneveri u promenljivim klimatskim uslovima. Kod primene turnuskog zalivanja moraju se uzeti u obzir i padavine koje se javljaju između utvrđenih turnusa, zbog čega se turnus mora produžiti za nekoliko dana ili se izostavlja.

Padavine do 10 mm po pravilu ne remete plan zalivanja i daje se puna zalivna norma, kao da kiše nije ni bilo. Kiše od 10 do 25 mm odlažu zalivanje za 5 do 7 dana, ponekad i 10 dana. Padavine veće od 30 mm odlažu zalivanje za čitav jedan turnus, ali samo ako su u vidu tihe kiše koja traje oko 24 časa, a ne ako su u obliku pljuskova.

3. HIDRAULIČKI PRORAČUN CEVOVODA

Dobijen je potrebni kapacitet pumpe, koji je isti za podsistem 1 (sastoji se od 5 pumpi) i podsistem 2 (sastoji se od 4 pumpe), i iznosi 100 l/s, kao i manometarska visina dizanja, koja se dobija oduzimanjem visine rezervoara od apsolutne kote terena: **H_{man} = 60 m** (pumpa je u programu aproksimirana kao rezervoar na određenoj visini).

Rezultati proračuna su prikazani grafički, gde su dati i svi hidraulički elementi.



Slika 4. Hidraulički model radnih pritiska i visina dizanja pumpe

5. ZAKLJUČAK

Izvršena je studija slučaja sistema za navodnjavanje poljoprivredne površine na području Lovćenca, prema kojoj je osmišljeno zalivanje uz pomoć centar pivot mašina i snabdevanje vodom iz crpnog postrojenja na akumulaciji Mali Idoš u sklopu kog se nalaze 9 pumpi, gde je projekat ispunjava sve važeće standarde. Svi neophodni hidraulički

proračuni su izvedeni primenom programskog paketa EPANET.

Ovaj rad predstavlja značajan korak ka unapređenju poljoprivredne proizvodnje na području Lovćenac. Idejno rešenje za sistem navodnjavanja i izbor sistema sa 21 samohodnom mašinom centar pivot omogućuje poboljšanje proizvodnje, efikasnu upotrebu vodnih resursa i borbu sa klimatskim izazovima.

6. LITERATURA

- [1] Srđan Kolaković, skripta „Navodnjavanje“ sa predmeta „Hidrotehničke melioracije“.
- [2] Dr Dimitrije Avakumović, „Hidrotehničke melioracije – navodnjavanje“. Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [3] Dr Đuro Bošnjak, „Navodnjavanje poljoprivrednih useva“. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu.
- [4] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske – Zagreb. Priručnik za hidrotehničke melioracije II kolo. Navodnjavanje. Knjiga 1. Opšti dio.

Kratka biografija:



Jovana Kalajdžić rođena je u Novom Sadu 1999. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, iz oblasti Građevinarstva – Tehnologija i organizacija građenja odbranila je 2023. godine, a master rad 2025. godine.