

Mogućnost primjene tehnologije preciznog navodnjavanja u GIS okruženju

Vujić, Milan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:914930>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Milan Vujić, apsolvent

Sveučilišni diplomski studij: mehanizacije u poljoprivredi

**MOGUĆNOSTI PRIMJENE TEHNOLOGIJE PRECIZNOG NAVODNJAVANJA
U GIS OKRUŽENJU
Diplomski rad**

Osijek, 2019.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Milan Vujić, apsolvent

Sveučilišni diplomski studij: mehanizacije u poljoprivredi

**MOGUĆNOSTI PRIMJENE TEHNOLOGIJE PRECIZNOG NAVODNJAVANJA
U GIS OKRUŽENJU
Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf., član

Osijek, 2019.

S a d r Ź a j

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	2
3. OPĆENITO O GIS-u I PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI	4
3.1. GIS	4
3.1.1. Klasifikacija GIS-a prema namjeni	5
3.1.2. Klasifikacija GIS-a prema razmjeri	8
3.2. Precizna poljoprivreda	8
4. PROJEKTIRANJE NAVODNJAVANJA I SUSTAVI NAVODNJAVANJA	11
4.1. Projektiranje sustava za navodnjavanje	11
4.1.1. Idejno rješenje navodnjavanja	11
4.1.2. Idejni projekt navodnjavanja	11
4.1.3. Glavni i izvedbeni projekti	12
4.2. Sustavi navodnjavanja	12
4.2.1. Površinsko navodnjavanje	12
4.2.2. Podzemno navodnjavanje	16
4.2.3. Navodnjavanje kišenjem	18
4.2.4. Lokalizirano navodnjavanje	25
5. PREGLED ISTRAŽIVANJA PRECIZNOG NAVODNJAVANJA	30
5.1. Prednosti preciznog navodnjavanja	32
5.2. Ušteda vode	32
5.3. Prinos i dobit	33
6. ALATI I TEHNOLOGIJE PRECIZNOG NAVODNJAVANJA	34
6.1. Površinsko navodnjavanje	34
6.1.1. Simulacije	34
6.1.2. Automatizacija i kontrola površinskog navodnjavanja	34

6.1.3.	Programi za donošenje odluka.....	37
6.2.	Navodnjavanje kišenjem.....	39
6.2.1.	Simulacije	39
6.2.2.	Centar pivoti	40
6.2.3.	Kontrolni sustavi	40
6.2.4.	Sustav za donošenje odluka:.....	44
6.2.5.	Promjenjiva opskrba vodom.....	45
6.3.	Sustavi za mikro-navodnjavanje	46
7.	PRIKUPLJANJE PODATAKA.....	51
7.1.	Radiometrijski senzori	52
7.2.	Termalni senzori	54
7.3.	Senzori za tlo i vlagu	56
8.	ZAKLJUČAK.....	61
9.	LITERATURA	63
10.	SAŽETAK.....	69
11.	SUMMARY.....	70
12.	POPIS TABLICA.....	71
13.	POPIS SLIKA.....	72

1. UVOD

Navodnjavanje se može definirati kao umjetno opskrbljivanje tla vodom za uzgoj biljnih kultura. To je naziv za hidrotehničku mjeru poboljšavanja fizičkih svojstava tla dodavanjem vode kako bi se postigla najpovoljnija razina vlage za vrijeme vegetacije i time postigao optimalan urod. Navodnjavanje je neophodno zbog neujednačenih količina oborina tijekom uzgoja biljnih kultura. Zahtjev biljnih kultura za navodnjavanjem razlikuje se od biljke do biljke, vrsti tla te klimi područja uzgoja. Uporabom navodnjavanja povećava se prinos po hektaru, samim time i financijska dobit poljoprivrednika.

Opće je poznato da poljoprivreda opterećuje vodne resurse ujedno i potencijalna za onečišćenje podzemnih voda zbog upotrebom gnojiva i pesticida. Upotreba vode u poljoprivredi za Europu iznosi 30 %, dok u Hrvatskoj to iznosi oko 2 %. (Gereš, 2002.).

Vode je u svijetu sve manje. Iz tog je razloga potrebno što preciznije odrediti količinu potrebne vode koju biljka tijekom vegetacije zahtjeva. Uporaba precizne poljoprivrede postaje neizbježna za budućnost poljoprivrednika. Precizna poljoprivreda je definirana kao informacija i tehnologija koja je bazirana na identifikaciji sustava upravljanja uzgojem, analiza i upravljanje varijabilnostima unutar polja za optimalnu profitabilnost, održivost i zaštitu zemljišnim resursima (Šimatović, 2012.).

Mogućnosti precizne poljoprivrede glede gospodarskih i okolišnih koristi, je u smanjenom korištenju vode, gnojiva, herbicida i pesticida. Umjesto upravljanja cijelim poljem, temeljem nekog hipotetičkog, prosječnog uvjeta, koji možda ne postoji nigdje na polju, pristupom preciznog ratarstva prepoznaju se razlike specifične lokacije ili specifičnog mjesta na poljima, te se poslovi upravljanja podešavaju u skladu s takvim raznolikostima (Goovaerts, 2000.).

Precizno navodnjavanje zahtjeva posjedovanje određenih informacija kao što su primjerice: tekstura tla, vodni kapacitet tla, vlažnost tla, zahtjev biljke za vodom u određenim stadijima razvoja te tehnički dio kao što su: senzori, programi za obradu informacija i računala.

2. PREGLED LITERATURE

Voda se u tlu nalazi različitom silom vezana za čestice tla, molekule, koloide ili ione koje korijenski sustav kod usvajanja mora savladati. Zbog toga se voda u tlu dijeli na pristupačnu (slobodnu) i nepristupačnu (vezanu) vodu. Sile koje vodu drže uz čestice tla su s jedne strane tenzija vlažnosti (površinske, hidrostatičke i gravitacijske sile), a s druge strane djeluje osmotski tlak vodene faze tla (Vukadinović, 2016.).

Prema Mađar i Šoštarić (2009.) na poljoprivrednim zemljištima koja nemaju dovoljno vode za uzgoj poljoprivrednih kultura tijekom cijele vegetacije ili samo u određenom razdoblju rasta i razvitka, vodu dodajemo na umjetan način. Sve mjere i radovi kojima se svjesno i na umjetan način povećava sadržaj vode u tlu s ciljem uzgoja poljoprivrednih kultura nazivamo navodnjavanje.

Prema Mulla (2013.) termalna daljinska istraživanja koja se koriste prilikom utvrđivanja statusa vode u biljci, temelje se na emitiranom zračenju biljke u odnosu na temperaturnu razliku između lista i stabljike, koje variraju s temperaturom zraka i intenzitetom evapotranspiracije.

Proulx i sur. (1998.) proučavali su najbolju metodu za određivanje vlažnosti tla u uzgoju krumpira. Autori navode kako je moguće koristiti Watermark i tenziometar uređaje. Međutim, naglašavaju kako je potrebno imati krivulju umjeravanja kako bi se vrijednosti tlaka (kPa ili cbar) i volumnog sadržaja vode u tlu (vol %) povezale s trenutačnom vlažnosti tla. Nadalje autori navode kako su *Aquaterr* senzori osjetljivi na promjenu temperature tla pa stoga ne preporučuju upotrebu u uzgoju krumpira.

Prema rezultatima istraživanja koje je proveo Marković (2013.) učinkovitost *Watermark* senzora ovisan je o vremenskim uvjetima. Odnosno dubina postavljanja senzora ne bi trebala biti jednaka u prosječnim klimatskim godinama i u godinama s ekstremnim vremenskim uvjetima.

Prema rezultatima istraživanja Huđek (2014.) uređaj za mjerenje sadržaja vode u tlu (TDR 300) pokazao se vrlo korisnim i praktičnim. Uređaj je jednostavan za upotrebu i lako prenosiv što omogućuje brzo i jednostavno mjerenje na više različitih površina. Samim time uređaj je moguće koristiti u različitim agroekološkim uvjetima.

Breviki i sur. (2006.) na pet su vrsta tala uz pomoć elektrovodljivosti mjerili količinu vode u tlu te su potvrdili utjecaj promjene količine vode za buduće kartiranje tla. Najveća razlika u očitanjima nastupila je pri vlažnijem tlu. Stoga kako bi kartiranje tipova tla bilo preciznije preporuča se izvođenje mjerenja elektrovodljivosti.

GIS (geografski informacijski sustav, eng. *Geographic Information System*) relativno je novi pojam. Pojavio se kada i ostali informacijski sustavi (pojavom računala). GIS predstavlja skup povezanih objekata i aktivnosti koji svojim međuodnosima služe zajedničkoj namjeni (donošenje odluka pri upravljanju nekim prostornim aktivnostima). Informacijski sustav je skup postupaka izvršenih nad skupom podataka kojima se dobiva informacija prikladna za donošenje odluka (Jurišić i Plaščak, 2009.).

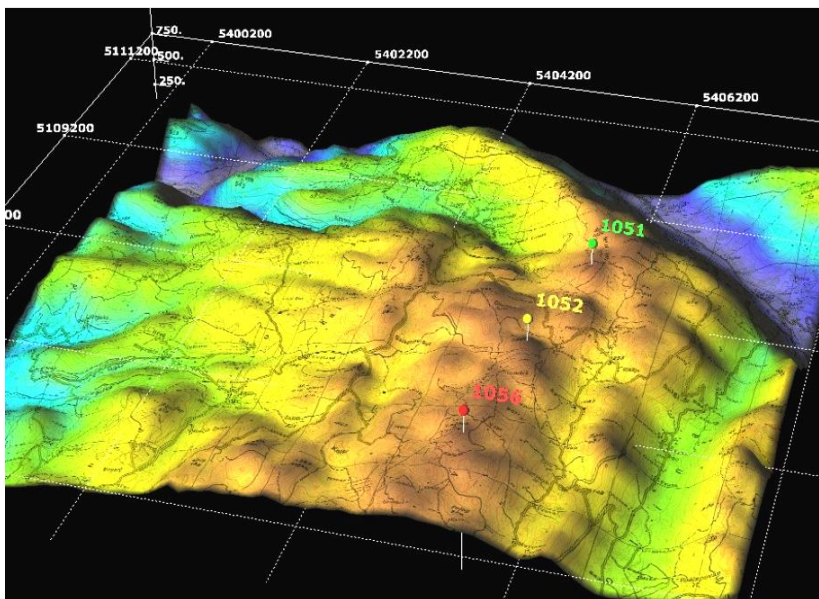
Jedno od najvažnijih područja u kojima se primjenjuje precizna poljoprivreda jest upravljanje varijabilnošću svojstava tla, što je od iznimne važnosti za donošenje određenih odluka (Jurišić i sur., 2010.).

3. OPĆENITO O GIS-U I PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI

Prema Jurišić i Plaščak (2009.) GIS se može smatrati tehnologijom (*hardware* i *software*) ili strategijom za obradu informacija, ovisno o kontekstu. Svrha GIS-a je unaprijediti donošenje odluka koje su na bilo koji način u svezi s prostorom. Precizna poljoprivreda temelji se na novo razvijenim informatiziranim strojnim sustavima programiranog eksploatacijskog potencijala, malom broju strojeva visoke pouzdanosti i visokim tehnološkim mogućnostima.

3.1. GIS

Prema slici 1. GIS sustav obrađuje prostorne podatke. Prostorne podatke definiramo kao informacije povezane s prostornim položajem s toga GIS omogućuje povezivanje aktivnosti koje su prostorno povezane.



Slika 1. Integracija i atribucija te vizualizacija podataka u geoprostoru

(Izvor: Jurišić i Plaščak, 2009.)

GIS možemo klasificirati prema namjeni odnosno specijalizaciji za što se koristi i na klasifikaciji GIS-a prema razmjeri (Jurišić i Plaščak, 2009.). GIS klasifikacija prema namjeni se dijeli na:

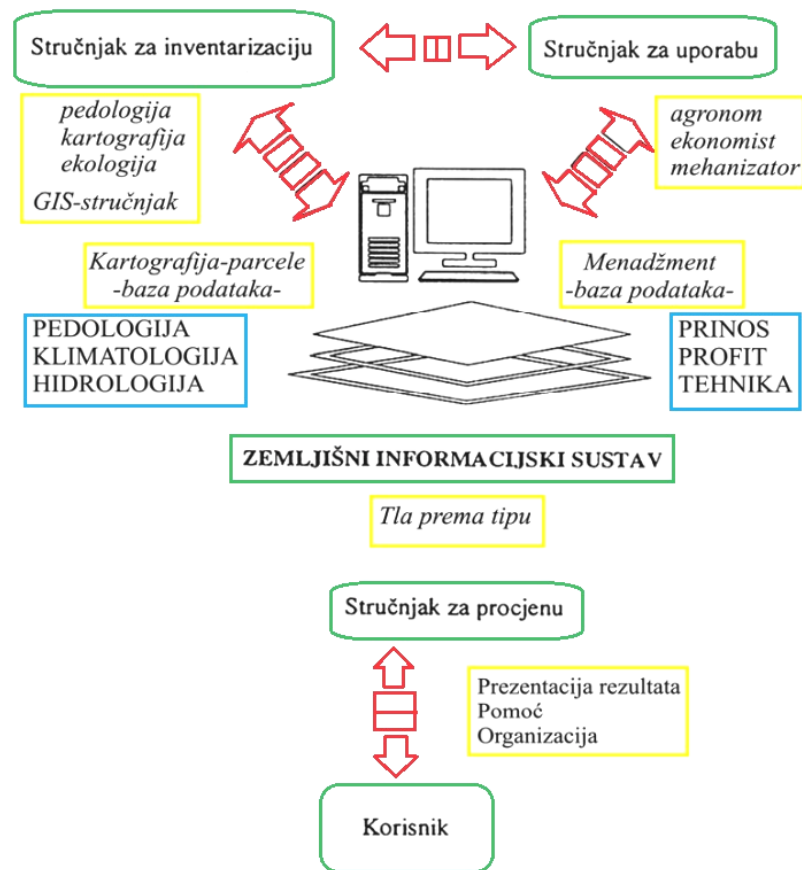
- Zemljišni informacijski sustav (ZIS – LIS)
- Prostorni informacijski sustav (AIS)
- Informacijski sustav u ekologiji (EIS)
- Mrežni informacijski sustav (NES)
- Specijalizirani informacijski sustav (SIS)

GIS prema razmjeri se dijeli na:

- Sitnorazmjereni informacijski sustav
- Krupnorazmjereni informacijski sustav

3.1.1. Klasifikacija GIS-a prema namjeni

Zemljišni informacijski sustav (ZIS – LIS) – ovakav sustav je pretežito geodetski sustav. Onosi se na egzatno geometrijsko obuhvaćanje zemljišta i svih podataka vezanih za zemljište. Prema navodima Jurišić i Plaščak (2009.) na 16. Kongresu geografa svijeta (FIG) koji je održan 1982. godine utvrđena je definicija Zemljišnog informacijskog sustava i glasi: „Zemljišni informacijski sustav je instrument odlučivanja u pravu, društvu i ekonomiji, kao i pomoćno sredstvo u planiranju i razvoju. On se sastoji s jedne strane iz baze podataka koja se odnosi na zemljište i teren jedne određene regije, a s druge strane iz postupaka i metoda za sistemsko obuhvaćanje, ažuriranje i obradu ovih podataka.“ Na slici 2. prikazana je shema nastanka zemljišnog informacijskog sustava.



Slika 2. Shema ZIS – LIS
(Izvor: Jurišić i Plaščak, 2009.)

Prostorni informacijski sustav (AIS) – korisnici ovoga sustava su: planeri, geografi, demografi, statističari. Primjeri gdje se prostorni informacijski sustav primjenjuje:

- programi uređenja prostora;
- donošenje i sprovođenje regionalnih prostornih planova;
- programi komunalnog razvoja;
- službena statistika

Informacijski sustav u ekologiji (EIS) – korisnici ovoga sustava su: stručnjaci za zaštitu šuma, voda, biotopolozi, geolozi, prostorni planeri. Jurišić i Plaščak (2009.) ističu osnovne značajke ovoga sustava, a to su:

- prikupljanje, obrada, analiza i prezentacija kao podjednako zastupljene komponente,

- hibridno modeliranje podataka
- permanentno prikupljanje vektorskih i rasterskih podataka,
- dominacija opisnih podataka,
- pokrivanje područja srednjih i sitnih razmjera, ali u specijalnim slučajevima mogu se formirati i za područja krupnih razmjera,
- povezivanje različitog tematskog sadržaja s prostornim podacima

Upotrebom GIS alata podaci o urodu poljoprivredne površine ili prirastu šume povezuju se s ključnim ekološkim podacima o tlu, padalinama, temperaturi, unosu gnojiva, korištenoj tehnologiji i ostalom. Ovakav oblik GIS-a potreban za izračun ovakvog modela između ekonomskih i gospodarskih veličina za svaku jedinicu površine naziva se rasterski GIS (*Grid based GIS*) (Jurišić i Plaščak, 2009.).

Mrežni informacijski sustav (NES) - prema Jurišić i Plaščak (2009) navedeni sustav pokriva široku grupu GIS korisnika, kao što su gospodarski subjekti, komunalne službe, veliki infrastrukturni sustavi, prostorni planeri i ostali. Zadaci ovih sustava su prikupljanje, obrada, analiza i prezentacija podataka o infrastrukturnoj mreži, kako u pogledu geometrije i topologije, tako i u pogledu karakteristika, eksploatacijskih uvjeta i drugih relevantnih podataka. Ostale karakteristike su još i:

- dominacija vektorskih podataka,
- dominacija funkcija mrežne analize,
- puno opisnih podataka,
- pokrivanje područja krupnih razmjera, ali u specijalnim slučajevima i opsega srednjih razmjera.

Specijalizirani informacijski sustav (SIS) – ovakvi sustavi predstavljaju jednu posebnu klasu GIS sustava koji se razvijaju za posebne specijalizirane namjene. Primjer ovakvih sustava su:

- sustavi u aero i putnoj navigaciji,
- prostorni informacijski sustavi industrijskih kompleksa,
- složenih objekata.

Prema navodima Dhanda (2013.) i Jurišić i Plaščak (2009.) zajedničko svim nabrojenim sustavima je da je funkcionalnost zbog specifičnosti primjene GIS-a vrlo često ograničena, te se uvođenjem SIS-a polje primjene GIS-a čini neograničenim.

3.1.2. Klasifikacija GIS-a prema razmjeri

Klasifikacija GIS-a prema razmjeri kako navode Jurišić i Plaščak (2009.) nije samo formalna, jer u vezi s razmjerom su i druge značajke kao što su namjena i organizacija podataka, izvori prostornih informacija i ostalo. Najznačajnije odlike su:

- **Sitnorazmjerni informacijski sustav** – to je geokodirani GIS izgrađen na bazi rastera, oslonjen na daljinsku detekciju kao osnovni izvor informacija te
- **Krupnorazmjerni informacijski sustav** – kojeg odlikuje relacijska organizacija podataka koja u svojoj osnovi ima parcelu. Glavna tehnika prikupljanja podataka je fotogrametrija, kombinirana s drugim konvencionalnim postupcima.

3.2. Precizna poljoprivreda

Prema Vekić (2017.) koncept precizne poljoprivrede osigurava porast produktivnosti poljoprivrednog dobra uz smanjenje proizvodnih troškova i utjecaja iste na okoliš. Postoje brojne definicije precizne poljoprivrede kao što su metoda poljoprivrednog gospodarenja, do procesa pametnog gospodarenja poljoprivrednim resursima.

Jurišić i Plaščak (2009.) spominju da klasičnu poljoprivrednu tehniku ili poljoprivrednu mehanizaciju zamjenjuje pojam inženjerstvo biosustava, što razumijeva širi pristup problematici tehnike i mehanizacije uz uvažavanje svih dijelova proizvodnje.

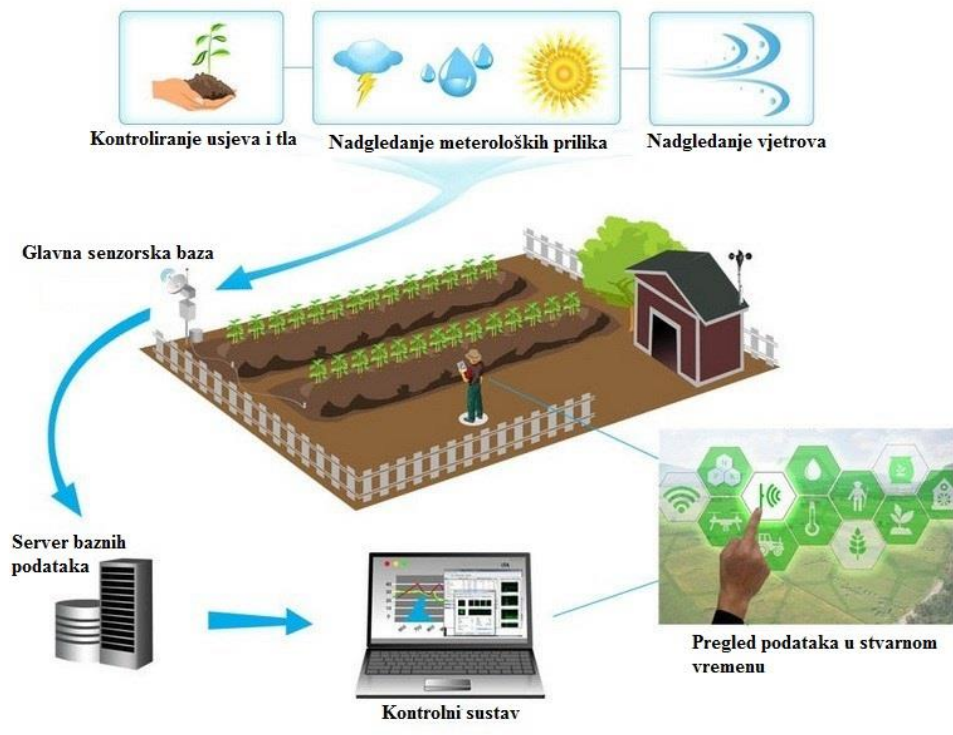
Kao jedan od glavnih alata u preciznoj poljoprivredi pojavljuje se Globalni Pozicijski Sustav (GPS) odnosno Globalni Navigacijski Satelitski Sustav (GNSS) koji omogućava da se prikupljeni podaci prostorno povežu putem geografskih koordinata i pohrane, te Geografski Informacijskih Sustav (GIS) koji omogućava pohranu i upravljanje tim podacima (Buick, 1997.).

Jurišić i Plaščak (2009.) navode kako precizna poljoprivreda služi ekonomskim i ekološkim poboljšanjima, prije svega pri:

- uštedi radnih sredstava,
- uštedi strojeva i radnog vremena,
- poboljšanju ostvarenja dobiti kroz veće prinose te poboljšanje kvalitete proizvoda,
- smanjenju opterećenja okoliša i poticanju prirodno-prostornih uvjeta te
- poboljšanju dokumentacije procesa produkcije.

Načela precizne poljoprivrede zahtijevaju: prikupljanje podataka, obradu podataka, primjenu podataka i dokumentaciju. Na slici 3. prikazan je primjer precizne poljoprivrede gdje se prate odnosno prikupljaju podatci o usjevu, tlu i vremenskim uvjetima preko senzorske stanice koja sprema podatke na server te korisnik, odnosno stručna osoba za GIS, pomoću računalnog programa obrađuje prikupljene podatke i prikazuje ih u stvarnom (*real-time*) vremenu. Prema Jurišić i Plaščak (2009.) poljoprivreda se treba podjednako ravnati i po ekonomskim i po ekološkim zahtjevima, a neki od zahtjeva su:

- učinkovita upotreba sirovina (gnojiva, sredstva za zaštitu biljaka, stočna hrana),
- smanjenje štetnog opterećenja ekosustava (nitrati, pesticidi),
- prikladan uzgoj životinja,
- stvaranje ciklusa recikliranja (prirodni plin i kompostiranje),
- proizvodnja obnovljivih nositelja energije (sadnja energetskih biljaka, biološka goriva) te
- njega krajolika (zaštita vrsta kroz povezivanje biotopa).



Slika 3. Shematski prikaz precizne poljoprivrede

(Izvor: <https://www.pakissan.com/2019/03/02/2019-iot-architecture-for-agriculture/>)

4. PROJEKTIRANJE NAVODNJAVANJA I SUSTAVI NAVODNJAVANJA

4.1. Projektiranje sustava za navodnjavanje

Prema Mađar i Šoštarić (2009.) krajnja faza priprema i planiranja navodnjavanja je projektiranje sustava te odabir načina, metoda i opreme za navodnjavanje. Projektiranje sustava za navodnjavanje može se podijeliti u tri dijela. Prvi dio je idejno rješenje navodnjavanja, drugi dio je idejni projekt navodnjavanja i treći dio je glavni i izvedbeni projekt.

4.1.1. Idejno rješenje navodnjavanja

Idejno rješenje pruža osnovne podatke o zemljištu, klimi, vodi, poljoprivrednim kulturama i grubim ekonomskim pokazateljima uspješnosti navodnjavanja. Odnosno daje samo preporuke o mogućim vrstama i opremi za navodnjavanje.

4.1.2. Idejni projekt navodnjavanja

Idejni projekt navodnjavanja sastoji se od tri točke koje treba razraditi, a to su:

1. agroekološki uvjeti proizvodnje kao što su: klima, tlo, hidrologija, hidrografija, pedološka osnova, pogodnosti tla za navodnjavanje,
2. agronomске osnove proizvodnje kao što su: plodored, potrebe biljke za vodom u planiranoj proizvodnji, obroci navodnjavanja, norme i turnusi navodnjavanja i uređenje zemljišta za navodnjavanje te
3. ekonomske osnove projekta: troškovi rada i održavanja, vrijednosti budućih rezultata, financijski tijek ulaganja, izvori financiranja, vrijeme povratka kapitala, ekonomska isplativost projekta.

4.1.3. Glavni i izvedbeni projekti

Glavni i izvedbeni projekt sastoji se od 6 točaka koje su vrlo bitne za provođenje projekta:

1. svi tehnički i ekonomski pokazatelji,
2. projektne podloge kao što su: pedološka, hidrološka osnova, bilanca raspoloživih voda za navodnjavanje, geomehaničke značajke terena, infrastrukturna ograničenja,
3. tehničko rješenje: hidraulički, statički i drugi izračuni, definiranje zahvata rada i distribucija do korisnika, sustavi navodnjavanja na parceli, energetski izvori,
4. održavanje i upravljanje sustavima za navodnjavanje koji se sastoji od tehničke suradnje, edukacije radnika, pogona i održavanja sustava za navodnjavanje,
5. opisi, troškovi i nacrti (tehnološki elementi izvođenja radova, troškovnici radova po vrstama, nacrti i detalji tehnoloških rješenja) te
6. odabir opreme za navodnjavanje (navodnjavanje kišenjem, samohodni strojevi za navodnjavanje kišenjem, mini rasprskivači, navodnjavanje kapanjem).

4.2. Sustavi navodnjavanja

Sustavi navodnjavanja mogu se podijeliti prema 4 metode navodnjavanja:

1. površinsko navodnjavanje,
2. podzemno navodnjavanje,
3. navodnjavanje kišenjem,
4. lokalizirano navodnjavanje.

4.2.1. Površinsko navodnjavanje

Površinsko navodnjavanje najčešće je primjenjivana metoda navodnjavanja u svjetskim razmjerima. Gotovo 60 % navodnjavanih površina primjenjuje ovu metodu (Pereira i Trout, 1999.). Ovakvo navodnjavanje temelji se na principu slobodnog tečenja vode u prirodi djelovanjem gravitacijske sile i zbog toga se ovakvo navodnjavanje zove gravitacijski sustav navodnjavanja poljoprivrednih kultura. Glavni princip površinskog navodnjavanja je da se voda dovodi na proizvodnu površinu gdje u tankom sloju stoji, otječe i upija se u tlo. Prema raspodjeli vode po površini proizvodne površine razlikuju se sljedeći načini površinskog navodnjavanja:

- navodnjavanje u brazdama,
- navodnjavanje potapanjem i
- navodnjavanje prelijevanjem.



Slika 4. Primjer navodnjavanja u brazdama

(Izvor: <https://www.mississippi-crops.com/2017/05/19/when-is-the-right-time-to-start-irrigating-your-corn/>)

Navodnjavanje u brazdama najstariji je način navodnjavanja, a primjer je prikazan na slici 4. Ovakav sustav sastoji se od odvodnog i razdjelnih kanala, razdjelnih brazda za natapanje i prenosivih ustavica. Razdjelne brazde mogu se zamijeniti plastičnim, gumenim ili metalnim cijevima pomoću kojih se voda prebacuje iz brazda za natapanje. Sustav se može poboljšati korištenjem prenosivih cjevovoda. Tada se dovodni i razdjelni kanali te razdjelne brazde zamjenjuju cijevima. Cijevi koje zamjenjuju razdjelne kanale i brazde imaju otvore koji se mogu zatvoriti, što omogućuje izbor brazda u koje se dodaje voda. Prenosivim cijevima osigurava se bolja raspodjela i kontrola dodavanja vode, smanjuju se gubici vode zbog filtracije pa se mogu smanjiti i obroci navodnjavanja.

Punjenje brazda vodom ovisi o svojstvima tla i nagiba terena i stoga na lakšem tlu u cilju da se smanji ocjeđivanje vode kroz dno brazde intenzitet ulijevanja vode u brazdu iznosi 0,5 – 1,0 l/s, a na težim tlima iznosi 0,1 – 0,5 l/s jer je potrebno tlo duže vlažiti.



Slika 5. Primjer navodnjavanja potapanjem sustavom kasete

(Izvor: <http://ridingthebuses.com/wp-content/uploads/2012/03/Subak-system.jpg>)

Navodnjavanjem potapanjem se može izvesti pomoću dva sustava:

- sustav kasete i
- sustav lokvi.

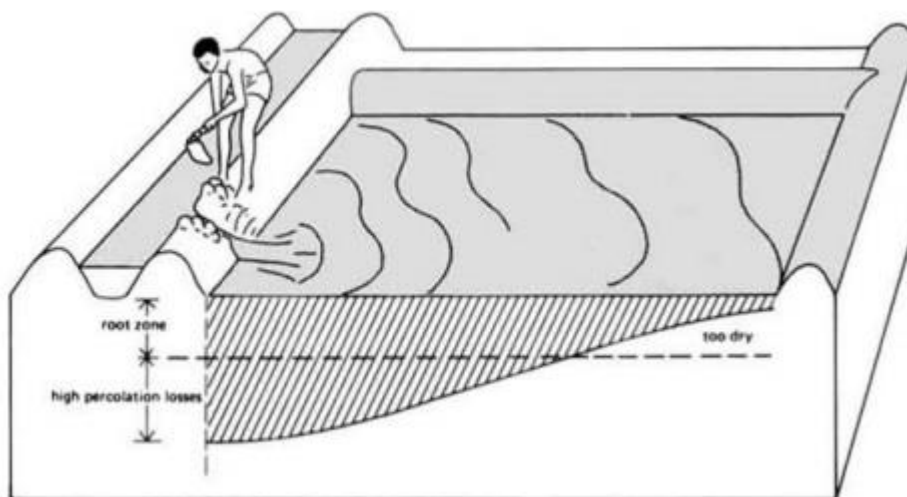
Na slici 5. je prikazan primjer navodnjavanja potapanjem sustavom kasete. Voda se ulijeva u kasete i potapa površinu u debljim ili tanjem sloju te se upija u tlo. Potapanje može trajati nekoliko dana do nekoliko mjeseci. Za navodnjavanje potapanjem teren se mora pripremiti ravnanjem i izradom zemljanih pregrada kojima se stvaraju ograđene proizvodne parcele. Ovakav sustav navodnjavanja najčešće se koristi u uzgoju riže. Najčešće su to veliki sustavi površinskog navodnjavanja s vrlo složenim hidrotehničkim građevinama za dovođenje, raspodjelu i odvođenje vode po završetku vegetacije.

Prilikom navodnjavanja potapanjem upotrebljavaju se ogromne količine vode koje poplavljuju velike površine te se stvaraju močvarni uvjeti, a pogoršavaju se vodo-zračni režimi i mikrobiološka aktivnost tla. Nužno je izgraditi dobar i učinkovit sustav odvodnje radi bržeg odvođenja suvišnih površinskih i podzemnih voda.



Slika 6. Primjer navodnjavanja potapanjem sustavom lokvi (Izvor: Majić, 2014.)

Na slici 6. je prikazan primjer navodnjavanja potapanjem sustavom lokvi. Kod navodnjavanja lokvama voda se ulijeva u male ograđene površine – lokve koje se izrađuju oko navodnjavane kulture. Sustav lokava uglavnom se koristi za navodnjavanje drvenastih kultura – voćke, vinova loza, ukrasno bilje, parkovi. Lokve se izvode samo oko biljke (debla) u obliku kvadrata ili kruga i ograđuju malim zemljanim nasipom. Voda se u lokve dovodi brazdama ili cijevima. Navodnjava se samo mala površina lokvi, a ostala proizvodna površina je suha i omogućuje kretanje poljoprivredne mehanizacije. Prednosti ovakvog sustava su korištenje manje količine vode, preciznije dodavanje vode i manje pogoršanje fizikalnih svojstava tla (Mađar, 2009.).



Slika 7. Navodnjavanje prelijevanjem (Izvor: Bajić, 2015.)

Navodnjavanje prelijevanjem ili rominjanjem prikazano na slici 7. se manje primjenjuje kod nas. Pretežito se koristi za višegodišnje kulture kao što su djetelina i djetelinsko-travne smjese, livade i pašnjaci. Osnovni princip navodnjavanja prelijevanjem je da se voda prelijeva (rominja) preko uređene površine na nagibu i u tankome sloju upija u tlo. Primjena ovoga načina navodnjavanja zahtjeva preciznu pripremu zemljišta. Praksa navodnjavanja prelijevanjem može se obavljati niz prirodni ili umjetni obronak ili padinu. Potrebni padovi terena mogu biti između 1 % i 3 % u smjeru dužine stranice što omogućava tečenje vode po površini (Mađar, 2009.).

Navodnjavanje prelijevanjem ima više nedostataka. Zahtjeva velike i precizne zemljane radove za uređenje parcela i cijeloga sustava. Pri navodnjavanju se vlaži cijela površina pa dolazi do pogoršanja fizikalnih i vodnih svojstava tla, erozije i raspadanja strukturnih agregata.

4.2.2. Podzemno navodnjavanje

Ovim se načinom voda podzemnim putem dovodi neposredno u zonu korijenskog sustava kulturnih biljaka. Voda se dodaje i raspoređuje samo unutar rizosfernog sloja tla, a ne i po površini. Sustavima podzemnog navodnjavanja održava se sadržaj vode u rizosferi unutar granica optimalne vlažnosti tla za biljke. Podzemno navodnjavanje dijelimo u dvije skupine:

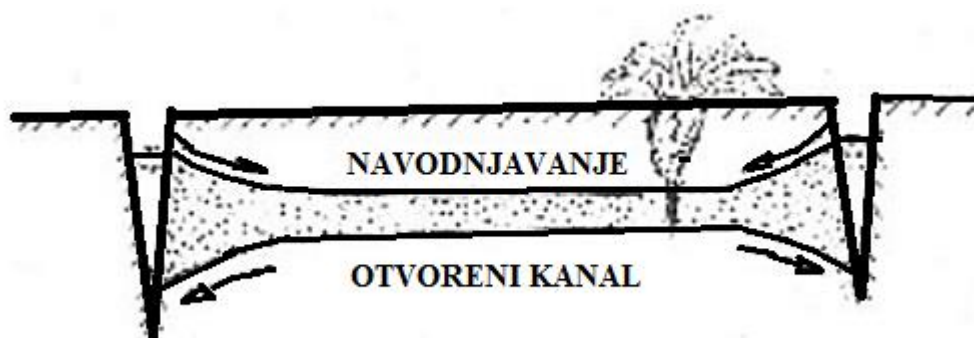
1. regulacija razine podzemne vode otvorenim kanalima i
2. navodnjavanje podzemnim cijevima.

Prednosti podzemnog navodnjavanja su sljedeće: ne navodnjava se površina zemljišta, ne stvara se pokorica, nema narušavanja strukture tla. Površina navodnjavanih parcela je slobodna i suha, nema zapreka za kretanje ljudi i strojeva tijekom proizvodnog procesa uzgoja kultiviranih biljaka. Međutim ideja podzemnog navodnjavanja je tehnički prilično zahtjevna. Zemljište za podzemno navodnjavanje mora biti ravno, lakšeg mehaničkog sastava i dobre vertikalne vodopropusnosti te povoljnog kapilarnog dizanja vode (Romić, 2014.).

Najčešće se primjenjuju dva načina podzemnog navodnjavanja: regulacija razine podzemne vode otvorenim kanalima i navodnjavanje podzemnim cijevima (subirigacija).

Podzemno navodnjavanje pomoću otvorenih kanala ili prirodnih vodotoka moguće je izvesti na poljoprivrednim površinama gdje postoji izgrađena kanalna mreža za odvodnju suvišnih voda. Voda se infiltrira iz otvorenih kanala u tlo i bočno širi na oranice. Kanali koji uobičajeno služe za odvodnju suvišnih voda u hladnom i vlažnom dijelu godine, mogu tijekom ljetnih mjeseci i suše poslužiti za kontrolirano održavanje razine podzemne vode te navodnjavati poljoprivredne kulture (Mađar, 2009.).

Za ovaj način navodnjavanja odvodni sustavi se moraju prilagoditi dvostrukoj namjeni tipa odvodnja – navodnjavanje. Primjeri podzemnog navodnjavanja otvorenom kanalskom mrežom u Republici Hrvatskoj su Baranja (Podunavlje) i područje donjeg toka rijeke Neretve. Na slici 8 prikazana je skica podzemnog navodnjavanja otvorenim kanalima.



Slika 8. Podzemno navodnjavanje otvorenim kanalima (Mađar, 2009.)

Drugi način podzemnog navodnjavanja, kod kojega se u tlo ugrađuju na određenu dubinu i razmaku perforirane cijevi ili cijevi sa posebnim kapaljkama kroz koje voda pod tlakom, izlazi i lagano se upija u rizosferni sloj tla (zoni korijenja). Sustav navodnjavanja

podzemnim cijevima sličan je cijevnoj drenaži koja u hidrotehnici služi za odvođenje suvišnih voda.

Najvažnije prednosti navodnjavanja podzemnim cijevima su: tlo se vlaži kapilarnim širenjem vode (u zoni korijena) pa se ne narušava njegova struktura, ne stvara se pokorica tla i ne dolazi do zbijanja tla, vlažnost tla je skoro uvijek optimalna, troše se manje količine vode, biljke bolje koriste hranjive tvari iz tla i ne ometa se rad poljoprivredne mehanizacije.

Glavni nedostaci su složena tehnička izvedba i zahvati u tlu, često začepljenje perforacija ili kapaljki na cijevima i mogućnosti prevlaživanja, zamočvarivanja i zaslanjivanja tla. Sustavi podzemnog navodnjavanja cijevima su veliki tehnički i investicijski zahvati što u znatnoj mjeri ograničava primjenu u praksi. Na slici 9. prikazana je skica podzemnog navodnjavanja cijevnom drenažom.



Slika 9. Navodnjavanje cijevnom drenažom

(Izvor: https://thewaternetwork.com/article-FfV/deep-irrigation-system-saves-water-UlbOKgdw-hu_aBOJZxwhqA)

4.2.3. Navodnjavanje kišenjem

Voda se raspodjeljuje po površini tla u obliku kapljica kao umjetna kiša pomoću rasprskivača. Na slici 10. prikazan je rasprskivač. Voda se zahvaća na izvorištu crpkama i pod tlakom se kroz sustav cjevovoda dovodi do proizvodnih poljoprivrednih površina gdje

se pomoću rasprskivača raspodjeljuje u kapljicama po navodnjavanoj površini. Sve se vrste kultura mogu navodnjavati umjetnom kišom, od ratarskih, voćarskih, povrćarskih te vinograda i kultura u staklenicima i plastenicima. 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. Međutim cijene uređaja i suvremene opreme vrlo su visoke, pogonski troškovi (gorivo, električna energija) su također znatni, a pri jakom vjetru neravnomjerna je raspodjela vode (Bajić, 2015.).



Slika 10. Primjer rasprskivača

(Izvor: <https://www.irritec.com/sprinkler-irrigation/>)

Rasprskivače razlikujemo prema radnom tlaku, dometu, količini vode, površini koju navodnjavaju, intenzivnosti kišenja i broju mlaznica. Glavni dijelovi rasprskivača su glava i mlaznica. Rasprskivač izbacuje vodu pod tlakom kroz mali otvor ili mlaznicu. Promjer mlaznice i tlak vode određuju intenzitet navodnjavanja (Mađar, 2009.). Jedno od važnijih svojstava rasprskivača je ravnomjernost kišenja. Idealan raspored kvira djelovanje vjetra, ali i nejednolika brzina vrtnje rasprskivača. Rasprskivači se moraju pravilno i prikladno razmjestiti po navodnjavanoj površini kako bi se postigao što ravnomjerniji raspored kišenja.

Rasprskivači se najčešće razmještaju u vrhove istostraničnih trokuta ili u vrhove kvadrata.

U trokutnom rasporedu prema (1) njihove udaljenosti iznose:

$$d = 1,73 r \text{ i } l = 1,5 r, \quad (1)$$

gdje je r domet rasprskivača.

U kvadratnom rasporedu prema (2) razmaci su u oba smjera jednaki i iznose:

$$d = 1,41 r. \quad (2)$$

Površina koja pripada jednom rasprskivaču uz trokutni raspored iznosi $2,6 r^2$, a uz kvadratni raspored $2,0 r^2$.

Prednosti kod navodnjavanja kišenjem su:

- moguća primjena u različitim topografskim uvjetima,
- nepotrebni su ili su potrebni vrlo mali pripremni radovi na zemljištu,
- ne smanjuju se obradive površine,
- moguće je precizno dozirati vodu za navodnjavanje,
- minimalno se pogoršavaju fizikalna svojstva tla,
- mogu se navodnjavati sve vrste tla i u svim fazama razvoja biljaka uz istovremeno dodavanje fertilizatora,
- može se primijeniti i kad je visoka razina podzemne vode.

Nedostaci su:

- visoka cijena uređaja,
- visoki pogonski troškovi,
- neravnomjerna raspodjela vode pri jakom vjetru,
- zrak nad tlom postaje vlažniji što pogoduje razvoju biljnih bolesti,
- relativno veliki gubici vode zbog ishlapljivanja,
- teško je prenositi cijevi kad su usjevi visoki.

U današnje vrijeme postoji više različitih sustava navodnjavanja kišenjem, a najčešći su:

- klasični (prenosivi, polustabilni i stabilni) te
- samohodni.

Prenosivi se sustavi sastoje 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. Ovi su sustavi pogodni za navodnjavanje na svim terenima gotovo svih poljoprivrednih kultura: ratarskih, povrtlarskih, voćarskih i cvjećarskih. Na kišna se krila postavljaju rasprskivači, posebne hidrauličke naprave koje služe za raspodjelu vode po površini u obliku kišnih kapi (Romić, 2014.). Na slici 11. prikazan je prenosivi sustav za navodnjavanje.



Slika 11. Prenosivi sustav navodnjavanja

(Izvor: <https://www.agrointer.rs/asortiman/linearni-i-pivot-sistemi/attachment/linearni-i-pivot-sistemi-za-navodnjavanje-3/>)

Polustabilni sustavi se sastoje od ugrađene crpne stanice, 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 tlakove vode (do 10 bara). Pokretna kišna krila su najčešće od aluminijskih legura ili plastičnih materijala. Cijevi su standardiziranih dimenzija, vrlo lagane i međusobno se povezuju pomoću brzo spajajućih spojnika. Kišenje se obavlja na jednoj radnoj poziciji u vremenu potrebnom da se realizira obrok navodnjavanja (Bajić, 2015.). Na slici 12. prikazan je polustabilni sustav navodnjavanja.



Slika 12. Polustabilni sustav navodnjavanja
(Izvor: <http://www.iceinnova.com/ice-pivot-2/>)

Stabilni sustavi za navodnjavanje imaju izgrađenu 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 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 (Bajić, 2015.). Na slici 13. prikazan je stabilni sustav navodnjavanja.



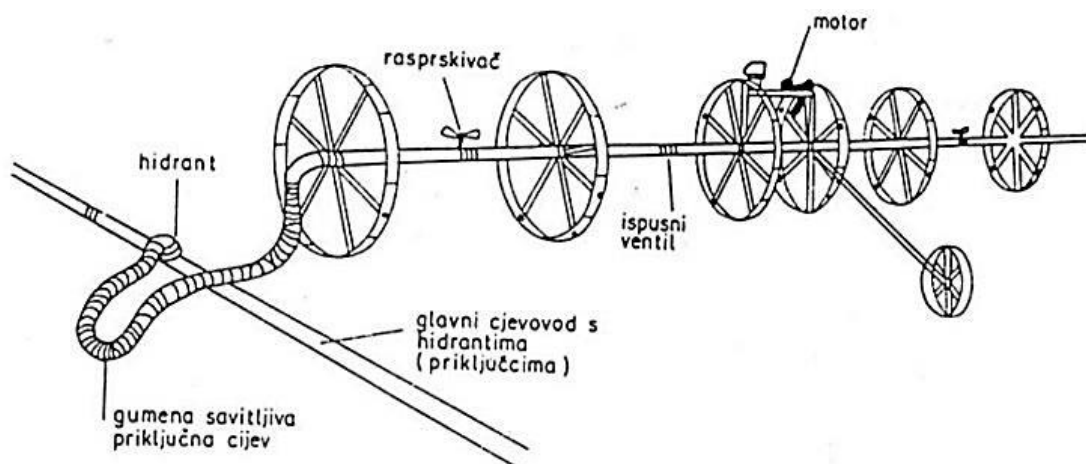
Slika 13. Stabilni sustav navodnjavanja
(Izvor: http://pinova.hr/hr_HR/baza-znanja/povrcarstvo/grasak/navodnjavanje-graska)

Samohodni sustavi za navodnjavanje kišenjem postavljeni su na kotačima ili pokretnim okvirima te se pomiču linijski (naprijed – nazad) ili kružno. S obzirom na to da su uređaji sa rasprskivačima izdignuti iznad površine tla, omogućeno je navodnjavanje visokih ratarskih kultura kao što su kukuruz i suncokret te ostale kulture visokog habitusa.

Postoje slijedeći tipovi samohodnih uređaja:

- samohodna bočna kišna krila,
- samohodni sektorski rasprskivači (Tifoni),
- samohodni automatizirani uređaji za linijsko ili kružno kretanje i
- samohodne kružne prskalice.

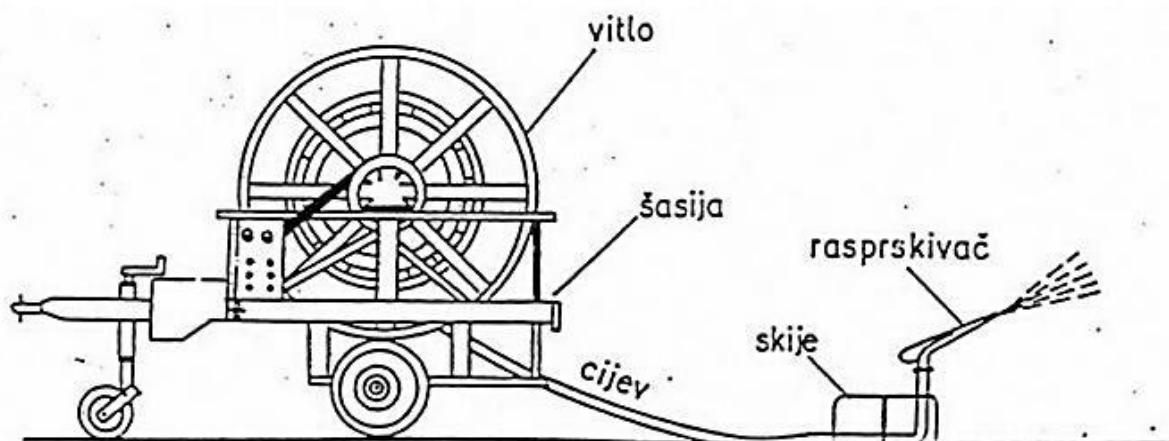
Samohodna bočna kišna krila, prikazana na slici 14. sastoje se od aluminijskih cijevi postavljenih na kotače i od malog pogonskog motora koji pokreće krilo u novi radni položaj. Širina zahvata krila je promjenjiva, a prilagođava se prema obliku i veličini parcele za navodnjavanje i kreće se od 200 do 400 m. Radni tlak u cjevovodu je od 3,5 do 4,5 bara, a intenzitet kišenja od 10 do 15 mm/h. Može se primjenjivati na ravnim terenima za navodnjavanje povrtlarskih kultura, šećerne repe, soje, pašnjaka i livada. Jedan uređaj može navodnjavati površinu od 30 do 70 ha. Kretanje kišnog krila u novu radnu poziciju je u smjeru naprijed-nazad (Mađar, 2009.).



Slika 14. Samohodno bočno krilo (Izvor: Romić, 2014.)

Samohodni sektorski rasprskivači, prikazani na slici 15. sastoje se od velikoga vitla s namotanim plastičnim crijevom i jednog rasprskivača velikoga intenziteta i dometa. On se nalazi na pomičnom postolju (skije) i kiši samo određeni sektor površine, a ne cijeli krug,

što mu omogućava kretanje unazad po suhom tlu. Radi s velikim tlakom vode (od 6 do 8 bara) te u toku eksploatacije troši znatne količine energije. Na početku navodnjavanja postolje sa rasprskivačem se odvlači na suprotni kraj parcele pomoću traktora. Tijekom rada veliko vitlo se lagano okreće, namata crijevo koje istovremeno povlači rasprskivač. Pokretanje vitla obavlja voda iz sustava pod tlakom. Samohodni sektorski rasprskivači sve se više primjenjuju za navodnjavanje gotovo svih poljoprivrednih kultura (Romić, 2014.).



Slika 15. Samohodni sektorski rasprskivač (Izvor: Knuštek, 2014.)

Samohodni automatizirani uređaji za linijsko ili kružno navodnjavanje, prikazani na slici 16. jesu jedinice velikih radnih zahvata, a pogodne su za navodnjavanje velikih površina. Sastoje se od kišnog krila podignutog na posebnim pokretnim tornjevima. Na krilu su postavljeni brojni rasprskivači različitih intenziteta kišenja, koji s visine od 2 do 3 m iznad tla navodnjavaju poljoprivredne kulture. Širina zahvata uređaja je različita, a kreće se od 300 do 500 m s jedne, a isto toliko s druge strane uređaja. Ovi strojevi obavljaju navodnjavanje tijekom kretanja koje može biti linijsko u smjeru naprijed-nazad ili kružno. Pomoću njih mogu se navodnjavati gotovo sve poljoprivredne kulture, niske ili visoke, ali pretežito na ravnim terenima. Linijski strojevi za automatizirano navodnjavanje kreću se pravolinijski uzduž parcele koju kiše, a kao izvorište vode služi im otvoreni natapni kanal. Mogu zahvatiti parcelu širine 2 x 500 m i dužine do 2000 m, što znači da jedan uređaj navodnja površinu od oko 200 ha (Bajić, 2015.).



Slika 16. Samohodni automatizirani uređaj za linijsko ili kružno navodnjavanje

(Izvor: <https://totaleden.com.au/centre-pivots-linear-irrigation/>)

Kružni uređaji za automatizirano navodnjavanje (tzv. „centar pivot“) fiksirani su u središnjem dijelu kišnog krila koje rotira i kružno navodnjava površinu. Izvorište vode se nalazi u središtu sustava, a obično je to hidrant ili crpka koju pogoni agregat. Dužina kišnog krila koje rotira kod ovih sustava je od 300 do 500 m, a može navodnjavati kružnu površinu veličine 40 do 90 ha. Između pojedinih jedinica ostaju neokišene površine, što je nedostatak ovih strojeva. Oni se programiraju na zadani intenzitet i obrok navodnjavanja te samostalno rade bez prisutnosti čovjeka. Okretanje kišnog krila se obavlja individualnim kretanjem svakog tornja, a njihove su brzine usklađene elektronikom (Bajić, 2015.).

4.2.4. Lokalizirano navodnjavanje

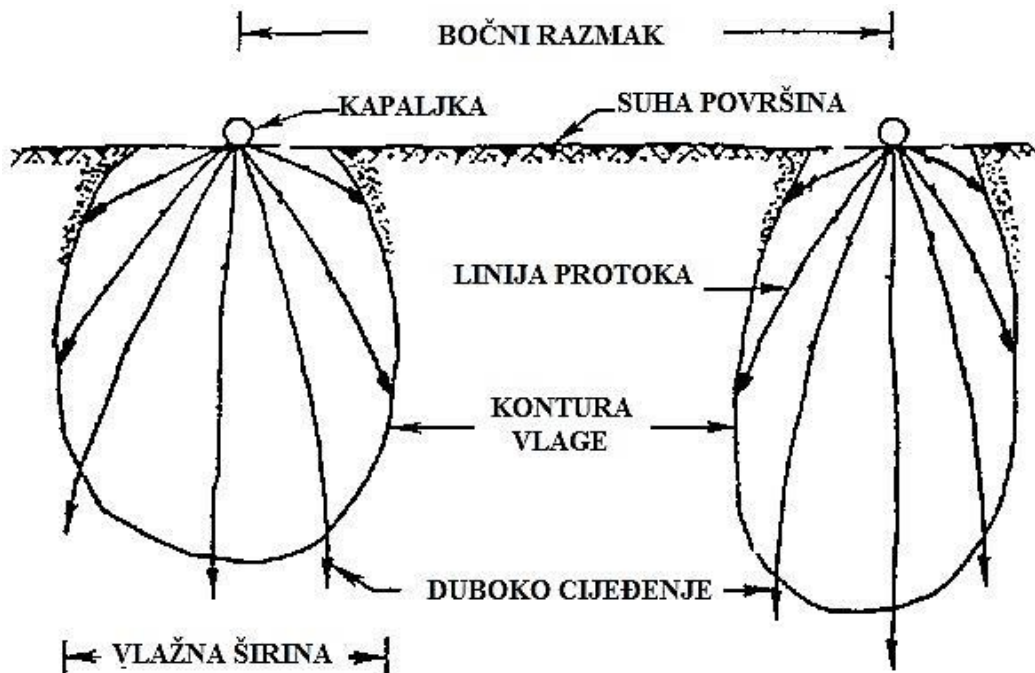
Pod lokaliziranim navodnjavanjem podrazumijeva se sustav kojim se voda dodaje u manjim količinama, precizno, u obliku malenih vodnih struja, mlazova, kontinuiranih ili pojedinačnih kapljica, a navodnjava samo dio poljoprivredne površine, i to onaj dio gdje se razvija glavna masa korijena (Mađar, 2009.). Sustavima lokaliziranog navodnjavanja se vlažnost tla može održavati prema zahtjevima uzgajanih kultura i u granicama optimalne vlažnosti što pogoduje biljkama. Lokalizirano navodnjavanje ima više prednosti prema ostalim metodama navodnjavanja; može se primijeniti na svim tlima, topografskim prilikama, na parcelama raznih oblika i dimenzija te za sve kulture u poljskim uvjetima i zaštićenim prostorima. Sustavi štede vodu i pogonsku energiju, te vrlo precizno doziraju vodu. Vrlo su pouzdani i tehnički funkcionalni te, uz mogućnost elektronske regulacije i

računalnog upravljanja, ostvaruju visok i kvalitetan prinos poljoprivrednih kultura (Bajić, 2014.).

Metoda lokaliziranog navodnjavanja se primjenjuje na dva načina:

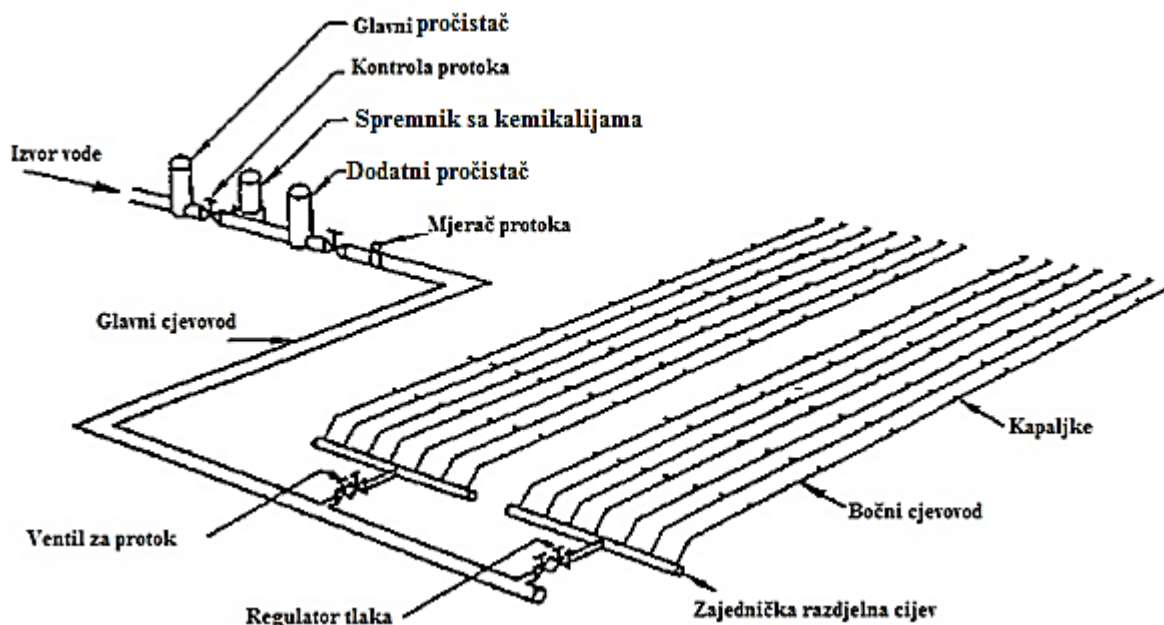
- navodnjavanje kapanjem i
- navodnjavanje mini rasprskivačima.

Navodnjavanje kapanjem (tzv. „kap po kap“) jedan je od najnovijih načina u praksi umjetnog dodavanja vode. Voda se dovodi cijevima do svake biljke i vlaži vrlo mali dio zemljišta, što smanjuje gubitke vode te se stoga naziva još „lokalizirano“ navodnjavanje. Sustavi navodnjavanja kapanjem su proizvodi modernih tehnologija. Potpuno su automatizirani i programirani te tijekom svog rada gotovo ne zahtijevaju prisustvo čovjeka. Ovaj sustav štedi vodu te sa minimalnom količinom postiže maksimalne učinke u biljnoj proizvodnji. 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 (slika 17.). To se postiže tako da se laganim, ali vremenski neprekinutim dodavanjem malih količina vode vlažnost tla zadržava oko poljskog vodnog kapaciteta. Sustav kapanja amortizira velike oscilacije vlažnosti tla, a što se kao negativna posljedica redovito događa kod ostalih načina navodnjavanja. Po tim karakteristikama navodnjavanje kapanjem je najprecizniji način umjetnog dodavanja vode tlu (Mađar, 2009.).



Slika 17. Skica vlaženja tla (izvor: <http://www.nzdl.org>)

Vrijeme navodnjavanja može trajati i do 24 sata. Radni tlak pri navodnjavanju kapanjem se kreće u rasponu od 0,8 do 1,5 bara, a održava se pomoću regulatora tlaka. Kod ovog načina navodnjavanja cjevovod pripada među najveće investicijske troškove u izgradnji sustava. Za potrebe navodnjavanja 1 ha povrtnjaka potrebno od 5.000 do 10.000 m, voćnjaka 2.000 do 4.000 m, a rasadnika 3.000 do 6.000 m cijevi. Navodnjavanje kapanjem prikladno je samo za vrlo intenzivne i dohodovne kulture koje mogu platiti visoke troškove izgradnje, korištenja i održavanja sustava. 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 (Romić, 2014.). Shema lokaliziranog navodnjavanja prikazana je na slici 18.

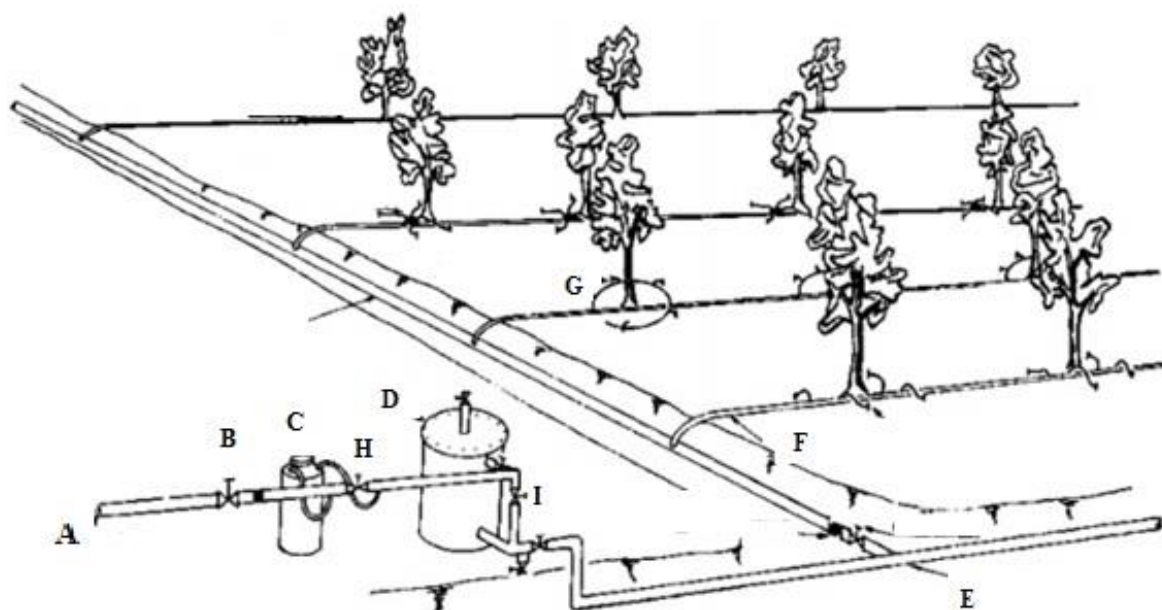


Slika 18. Skica lokaliziranog navodnjavanja "kap po kap"

(Izvor: <http://www.nzdl.org>)

Sustav navodnjavanja kapanjem sastoji se od sljedećih elemenata: pogonskog dijela s pročistačem, cijevi i kapaljki (Mađar, 2009.).

Navodnjavanje mini rasprskivačima (slika 19.) novijeg je datuma i alternativa je sustavima kapanja. Danas se sve više širi u poljskim uvjetima, naročito za uzgoj voćarskih i povrćarskih kultura. Također je pogodno za intenzivni uzgoj u staklenicima i plastenicima. Sustavi navodnjavanja mini rasprskivačima slični su sustavima kapanja. Glavna razlika je što su kapaljke zamijenjene malim rasprskivačima (mini rasprskivačima). Mini rasprskivači raspršuju vodu u obliku sitnih kapljica, pod tlakom do 3,5 bara i u dometu do 5 m. Mini rasprskivač je izrađen od plastičnih materijala te ga je moguće jednostavno postaviti i na kraju vegetacije demontirati te spremiti za iduću sezonu. 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 rasprskivači se manje začepljuju u odnosu na kapaljke (Mađar, 2009.).



Slika 19. Navodnjavanje mini rasprskivačima (Izvor: Brouwer i sur., 1985.)

Dijelovi na slici 19:

- A. Crpka
- B. Glavni protočni ventil
- C. Pročistač
- D. Spremnik
- E. Glavni protočni vod
- F. Bočne cijevi
- G. Multi-mlaznice
- H. Regulator tlaka
- I. Pomoćni protočni ventil

5. PREGLED ISTRAŽIVANJA PRECIZNOG NAVODNJAVANJA

Istraživanje vezano za precizno navodnjavanje započeto je u SAD-u ranih 1990 godina. Započeto istraživanje naveliko se baziralo na modifikaciji pokretnih sustava za navodnjavanje koji su u mogućnosti zahvatiti veliku površinu i primijeniti raznoliku količinu vode i dušika. Došli su do zaključka u slučaju da se koristi bunarska voda potrebno je ugraditi pročistače također isto vrijedi i za primjenu kemikalija. Odzrake moraju biti na povišenim mjestima i na kraju bočnih cijevi za navodnjavanje radi ispuštanja zraka iz cijevi (Evans i sur, 1996.).

Takav sustav kontrolira se na bazi ulaznih prostornih podataka. Isprobani su razni postupci za implementaciju upravljanja ventilima radi postizanja željene primjene navodnjavanja u obrocima. To je uključivalo programirane logičke regulatore s magnetskim ventilima. Sustavi navodnjavanja u obrocima uključivali su primjenu višestrukih rasprskivača ili grupa rasprskivača s unaprijed određenim vremenskim intervalom propuštanja vode. Zaključili su da zbog troškova i složenosti ovih sustava ekonomska izvedivost ovisi o velikoj poljoprivrednoj proizvodnji tj. malim poljoprivrednicima se ne isplati (Kincaid i Buchleiter, 2004.).

Broj istraživanja Europskih istraživača u pogledu preciznog navodnjavanja narastao je oko 2000. godine i naglasak se preusmjeravao na svrhu i izvedbu prostorno različitih navodnjavanja (Al-Karadsheh i sur., 2002.; Camp i sur., 2006.; Chevaz i sur., 2006.; King i sur., 2005.; Sadler i sur., 2005.).

Radovi Petersa i Evetta (2004.) te O'Shaughnessyja i sur. (2008.) uključuju upotrebu infracrvenog termometra postavljenog na kišno krilo tj. pivot sustave (slika 20.), a uloga infracrvenog termometra je da prikuplja podatke o temperaturi tla, temperaturi biljne površine i razvija protokole za automatsko navodnjavanje. Peters i Evett (2004.) zaključili su da metoda modeliranja dinamike temperature biljnog pokrova ne mora biti skupa, ako se mjerenje izvodi jednom na dan. Većina tehnologija za navodnjavanje je preskupa i složena da bi je koristio prosječni poljoprivrednik. Ovakva metoda zbog malih troškova i jednostavnosti metoda predstavljenih u njihovom istraživanju mogu postati privlačne za prosječne poljoprivrednike.



Slika 20. Pivot sustav - kišno krilo (Izvor: <https://www.pkb.rs/navodnjavanje.htm>)

Dodatna istraživanja koja su provedena u Europi, prema Al-Karadsheh i sur. (2002.) imala su u fokusu variranja ostvarenog prinosa od nejednakog navodnjavanja, a koristeći pokretne sustave za navodnjavanje. Na Novom Zelandu Yule i sur. (2008.) su istraživali uštedu vode te ekonomske beneficije preciznog navodnjavanja koristeći pivot sustave.

Zajedničke značajke ovih istraživanja uključuju:

- naglasak na dizajnu i kontroli sustava kako bi se dobila prostorno različita primjena;
- postignuće više mlaznica različitih veličina koje kontrolira elektromagnetski ventil i pokrivajući istu površinu koju pokriva jedna mlaznica konvencionalnih sustava;
- upotrebu GNSS-a za kontroliranje navodnjavanja upotrebom prije određenih karata tla;
- diferencijalnog navodnjavanja u rasponu od 40 do 100 m²

Camp i sur. (2006.) su se fokusirali na razvoj i testiranje digitalnih upravljačkih sustava koji koriste ugrađeno računalo za obradu i primjenu odašiljanih radio valova. Koristili su LEPA (*low-energy precision application*) sustav na pivot sustavu za navodnjavanje. Zaključili su kako se pivot sustavi i LEPA mogu korigirati za primjenu prostorno različitog navodnjavanja. Zajednička strategija koju koristi većina istraživača za navodnjavanje bila je mijenjati količinu vode, a samim time i dubinu primjene vode za potrebe biljke. Ovakav

razvijeni sustav odnosi se bez obzira na potrebe biljke za vodom u stvarnom vremenu ili na unaprijed utvrđenom planu navodnjavanja, a to znači da je prije svakog navodnjavanja potrebno prikupiti podatke o stanju na polju. Glavni čimbenik preciznog navodnjavanja leži u tome da je potrebno razviti tehnologiju odlučivanja i prepoznavanja odgovarajućih radnji upravljanja navodnjavanjem koji se bazira na prikupljenim informacijama o biljci i njezinim zahtjevima za vodu i hraniva u realnom vremenu.

5.1. Prednosti preciznog navodnjavanja

Precizno navodnjavanje potencijalno može povećati ekonomsku učinkovitost kroz optimalno navodnjavanje na svakom dijelu polja prema zahtjevima biljke i na taj način smanjiti troškove. Potencijalna ekonomska prednost preciznog navodnjavanja leži u smanjivanju troška navodnjavanja kroz povećanje prinosa, odnosno navodnjavanje nije jednako za sve dijelove polja i time se automatski uklanja višak navodnjavanja za cijelo polje.

Pojam prostorno raznolikog navodnjavanja temelji se na hipotezi da svaka biljka zahtjeva nejednaku količinu vode zbog razlike dubine korijenske zone. Također je prinos maksimalan ako je svaka biljka dobila točnu količinu vode koju zahtjeva, odnosno da se svaka biljka gleda kao jedinka.

5.2. Ušteda vode

Primaran cilj preciznog navodnjavanja je optimalizacija količine vode za cijelo polje. Navodnjavanje na specifičnim mjestima nije bitna komponenta preciznog navodnjavanja, međutim ipak je to poželjna komponenta, jer mnogi istraživači tvrde da se time može postići značajna ušteda vode (Kincaid i Buchleiter, 2004.). U konvencionalnim metodama navodnjavanja, količina vode uobičajeno je veća od količine vode koja je zaista potrebna biljkama.

Prema rezultatima istraživanja Sadlera i sur. (2005.) i analize raznolikog navodnjavanja konvencionalnim metodama ušteda vode kreće se od 10 do 15 %, dok Hadley i Yule (2009.) Autori su došli do zaključka kako potencijalna ušteda vode koristeći precizno navodnjavanje iznosi oko 25 %.

5.3. Prinos i dobit

Prema istraživanjima Kinga i sur. (2006.) koji su proučavali prinos krumpira dobivenih pri navodnjavanju pivot sustavima i to opremljenih sustavima prostorno raznolikog navodnjavanja. Za svaku količinu utrošene vode prinos je narastao od 4 do 6 %. Modeliranje usjeva pokazalo se kao bitno i učinkovito sredstvo za određivanje prinosa i dobiti kroz upotrebu raznolike strategije preciznog navodnjavanja. Isto je utvrđeno i za prostorno raznoliko navodnjavanje.

DeJonge i Kaleita (2006.) koristili su *CERES* model za modeliranje usjeva kukuruza i istraživali su izvedivost navodnjavanja kukuruza. Utvrđeno je da navodnjavanje smanjuje prostornu i vremensku varijabilnost u prinosu, a prostorno raznoliko navodnjavanje imalo je za posljedicu veće prinose kukuruza u odnosu na konvencionalno navodnjavanje.

Rezultati su pokazali da u preciznom navodnjavanju leži prednost u povećanju prinosa, ali da takva prednost tada nije mogla pokriti troškove tehnologije koja je potrebna za prostorno raznoliko navodnjavanje. Lu i sur.(2005.), Heermann i sur. (2002.) te Almas i sur. (2003.) zaključili su da ovakav sustav nije profitabilan za male proizvođače.

6. ALATI I TEHNOLOGIJE PRECIZNOG NAVODNJAVANJA

6.1. Površinsko navodnjavanje

6.1.1. Simulacije

SIRMOD model za navodnjavanje razvijen je u Utah-u u SAD-u (*Utah State University*), a u Australiji je prihvaćen kao standard za ocjenu i optimizaciju površinskog navodnjavanja brazdama (Gillies, 2008.). Baziran je na rješavanju punih hidrodinamičkih jednadžbi i preciznost mu je određena samo ulaznim parametrima, npr. tip tla, propusnost tla i otpor tla. Ovaj model koristi trenutne podatke o navodnjavanju i stvara statistiku navodnjavanja za buduću primjenu.

Korištenjem modela *WinSRFR* i modela *AIM* Bautista i sur. (2009.) te Austin i Prendergast (1997.) zaključili su da ova oba modela koriste približne hidrodinamičke jednadžbe i preciznost im je određena za pojedine situacije.

Poboljšanje performansi navodnjavanja brazdama postupkom ocjenjivanja, simulacije i optimizacije s *IRRIMATE* programom.

Poboljšanje performansi navodnjavanja brazdama kroz proces ocjenjivanja, simulacije i optimizacije s *IRRIMATE* programom. *IRRIMATE* je prihvaćen uvelike za proizvodnju pamuka, međutim *IRRIMATE* i drugi slični alati korisni su samo za buduća navodnjavanja u različitim uvjetima tla (npr. pogoršanje strukture tla).

Značajna ograničenja postojećih simulacijskih alata su:

- potreba za korištenje drugih alata za određivanje parametra tla (primjerice *IPARM*, koji određuje infiltraciju vode u tlo pomoću senzorima unaprijed izmjerenim vrijednostima) i
- postupak ručne optimizacije.

6.1.2. Automatizacija i kontrola površinskog navodnjavanja

Automatizacija i prilagodljivost kontrole u stvarnom vremenu predložena je za upravljanje vremenskom varijabilnošću infiltracije. Prema Khatri i Smith (2006.) na navedeni je način

moguće osigurati veću učinkovitost navodnjavanja u odnosu na tradicionalne procjene navodnjavanja, a uz znatnu uštedu rada.

Kontrolni sustavi korišteni za površinsko navodnjavanje mogu se primijeniti na različitim razinama sofisticiranosti, a mogu biti ručni ili automatski. Automatizacija nije bitna karakteristika preciznog navodnjavanja, međutim može pružiti bolju praktičnost i smanjenje rada.

Kontrola površinskog navodnjavanja u stvarnom vremenu podrazumijeva provođenje mjerenja relevantnih parametara trenutku navodnjavanja i da se onda takvi prikupljeni podaci odmah obrađuju i koriste za izmjenu i optimizaciju tog istog navodnjavanja. Sustav upravljanja u stvarnom vremenu prati napredak kretanja vode uzduž brazde i određuje karakteristike upijanja tla kroz simulacijski postupak te prema tome izmjenjuje ulazne varijable (protok i trenutak prestanka navodnjavanja) prije kraja procesa navodnjavanja. Ako se zadani parametri navodnjavanja kontinuirao i automatski izmjenjuju, to znači da je sustav navodnjavanja prilagodljiv prema uvjetima na polju.

Prilagodljivost ili kontrola površinskog navodnjavanja brazdama u stvarnom vremenu dovodi do bolje učinkovitosti navodnjavanja i uštede vode zbog korištenja trenutnih ili realnih procjena infiltracije tla.

AWMA Pyt Ltd, je australska kompanija koja je razvila sustav *AQUATOR* za automatske i daljinske kontrole vodnih resursa. Operacije zadane preko *AQUATORA* odašilju se preko odašiljača koji je najčešće postavljen na krov bazne stanice. Kontrolni otvori imaju ugrađene prijemnike i napajani su preko solarnih panela (slika 21.)



Slika 21. *Aquator* sustav (Izvor: R.J. Smith i sur. 2010.)

Povratno daljinsko očitavanje razvijeno je od Lam i sur. (2007.) kao alternativni kontaktni senzor koji služi za praćenje napretka ulaska vode u brazde i dopuštenje automatske kontrole otpusta vode u brazde tijekom navodnjavanja brazdama. Kamera je smještena na granici polja i slika vodu koja se slijeva niz brazdu tijekom navodnjavanja. Slike koje kamera snimi analiziraju se računalnim sustavom kako bi se izračunao stvarni položaj granice nadolazeće vode.

Khatri i Smith (2006.) postavili su osnove za praktično kontroliranje navodnjavanja brazdama u stvarnom vremenu. Predloženi sustav uključuje:

- automatski početak priljeva u brazde i mjerenje tog priljeva,
- mjerenje unaprijed kroz brazde usred svakog navodnjavanja,
- procjena infiltracije tla i nedostatka vlage u tlu u stvarnom vremenu,
- simulacija u stvarnom vremenu i optimizacija navodnjavanja za odabir vremena prekida, koji ima svrhu dati maksimalan učinak za navodnjavanje i
- automatsko isključenje dotoka u zadano vrijeme.

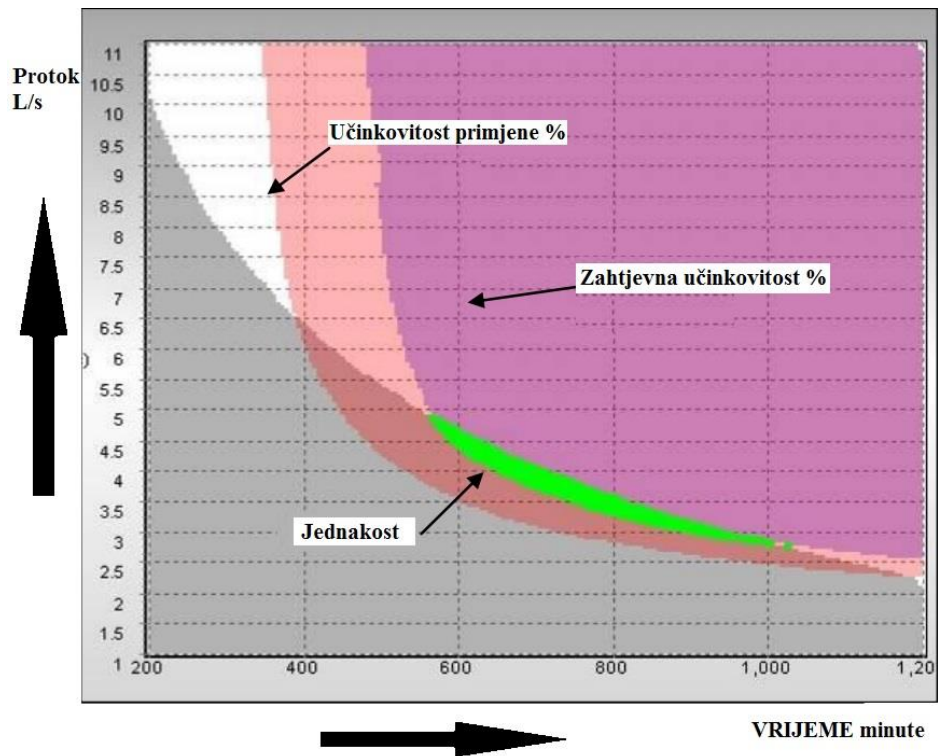
Sustav sve to obavlja bez interakcije korisnika.

6.1.3. Programi za donošenje odluka

Programi za donošenje odluka bitan su segment za ovakav sustav i uključuju:

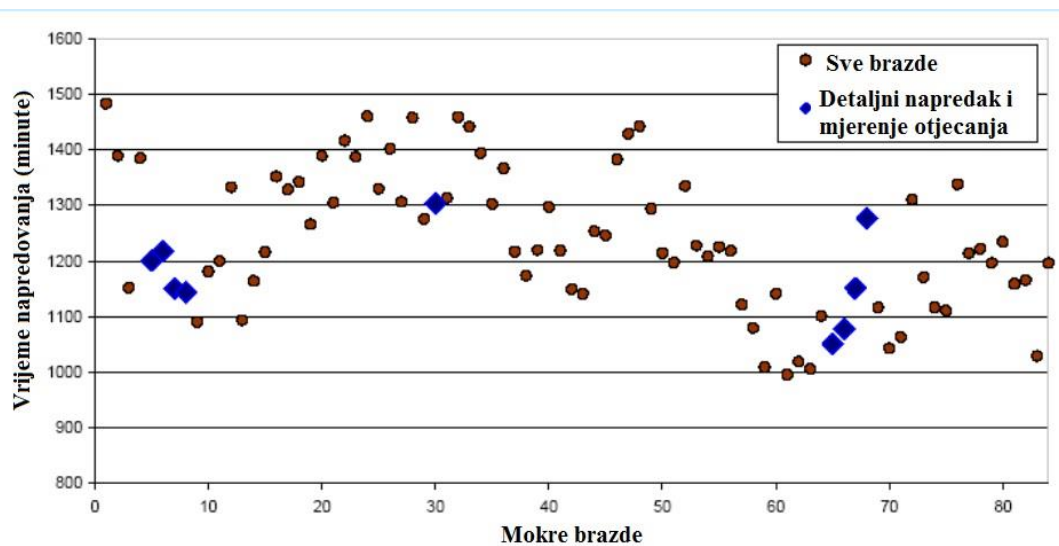
- kontinuirano mjerenje dotoka pomoću mjerenja tlaka u opskrbnom sustavu,
- raniju karakterizaciju zemljišta tj. tip tla i mogućnosti infiltracije vode u tlo. Npr. detaljna mjerenja jednog ranije provedenog navodnjavanja koristeći program kao što je *IPARM*,
- predviđanje trenutnih parametara infiltracije vode u tlo u stvarnom vremenu i napretka navodnjavanja u jednom promatranju te
- simulacije navodnjavanja i optimizaciju kako bi se odredilo preferirano vrijeme za prekid dotoka vode u polje.

Irripro programski je paket razvijen da proširi hidrauličko modeliranje pojedine brazde ili cijelog polja. *Irripro* simulacije koriste hidrodinamičke jednačbe za opisivanje protoka vode u pojedinoj brazdi. Program koristi višestruke simulacije za svaku brazdu na polju ili kombinira rezultate za stvaranje 2D mreža primijenjenih dubina. (slika 22. i 23.) Nakon toga određuje brzinu protoka i vrijeme zatvaranja protoka i to radi postignuća maksimalnog učinka na polju.



Slika 22. Rezultati *IrriPro*-a (Izvor: R.J. Smith i sur. 2010.)

Na slici 22. prikazan je primjer zaslona za optimizaciju *IrriPro*-a koji prikazuje interakciju parametara za više brazda u cijelom polju. Zelena površina označava zonu optimalnih performansi.



Slika 23. Rezultati *IrriPro*-a (Izvor: R.J. Smith i sur. 2010.)

Prikaz unaprijed predviđenog kraja navodnjavanja za 84 brazde koje pokazuju raznolikost od brazde do brazde (slika 23.).

6.2. Navodnjavanje kišenjem

6.2.1. Simulacije

U svom najjednostavnijem obliku uključuje preklapanje poznatih šablona, kao što je opisano u računalnom paketu *SPACE Pro*, a u svrhu odabira veličine i razmaka rasprskivača (Cape, 1998.). Cilj je maksimizirati ujednačenost navodnjavanja. Navedeno programsko rješenje oslanja se na poznavanje parametara za pojedini rasprskivač kao što su tlak i visina iznad tla. Utjecaj vjetra obično se zanemaruje što pogoršava učinkovitost rasprskivača (Christiansen, 1941.).

Simulacije modela navodnjavanja kišenjem razvijala se posljednja dva desetljeća, Korištena su dva glavna pristupa:

- balistički pristup za izračunavanje leta putanje pojedinih kapljica vode i
- empirijski pristup koji uključuje ekstrapolaciju iz izmjerenih parametara za rasprskivače, a kao što su: različite brzine vjetra i smjerovi za isti rasprskivač, tlak i kut putanje.

TRAVGUN model razvijen je od strane Smitha i sur. (2008.), a koristi pravac navodnjavanja kako bi se izračunao obrazac bez puhanja vjetra i kako bi se utvrdilo šest parametara koji se koriste za prilagođivanje uzorka utjecaja vjetra. Dobivena informacija iz modela procjena je ujednačenosti primjene navodnjavanja za bilo koji kut, razmak, smjer leta kapljica i brzinu i smjer vjetra. Model ne predviđa dubine navodnjavanja u određenim točkama na terenu.

U svim modelima, svrha je procijeniti ujednačenost navodnjavanja, odabir odgovarajućih mlaznica i njihov razmak. Nijedan od modela nije dovoljno precizan za predviđanje primjene navodnjavanja na određenim mjestima u polju i zbog toga nije prikladan u sustavu za podršku odlučivanja za precizno navodnjavanje. Ograničeni su sa:

- točnošću balističkih modela,
- veličinom rasprskivača ili kapljice i
- korištenjem prosjeka brzine i smjera vjetra.

6.2.2. Centar pivoti

Od svih sustava za navodnjavanje, ovi sustavi nude najveći potencijal za jednoliku primjenu navodnjavanja, jer su lako prilagodljivi za prostorno različito upravljanje. Značajan napredak postignut je u razvoju hardvera za kontrolu pivot sustava s ciljem postizanja preciznosti navodnjavanja. McCarthy i sur., (2010.) zaključili su da je potrebno daljnje razvijanje alata za donošenje odluka u navodnjavanju pivot sustavima radi postizanja optimalne preciznosti navodnjavanja.

6.2.3. Kontrolni sustavi

Razvijeno je niz tehnologija za upotrebu navodnjavanja s promjenjivom količinom vode i klasificirane su prema Camp i suradnici (2006.) kao:

- višestruki diskretni uređaj u kombinaciji sa konstantnom brzinom primjene radi postizanja dubine navodnjavanja,
- uređaj sa fiksnom brzinom protoka sa mogućnošću brzog prekida kako bi se osigurao raspon dubine primjene navodnjavanja i
- promjenjivi rasprskivači s vremenskom kontrolom.

Razvijen je i upravljački sustav za kontrolu brzine kretanja stroja i promjenjive brzine primjene navodnjavanja za svaki rasprskivač posebno.

Ključni kriteriji u razvoju ovih tehnologija uključuju:

- jednostavnost ugradnje u postojeće komercijalne sustave za navodnjavanje,
- dobru ujednačenost primjene vode unutar zone upravljanja,
- kompatibilnost s postojećom opremom sustava za navodnjavanje,
- smanjenje robusne elektronike,
- dvosmjernu komunikaciju i
- mogućnost proširenja za budući razvoj.

Točne lokacije svih elemenata za primjenu navodnjavanja moraju biti poznate u svakom trenutku tijekom navodnjavanja u cilju postizanja bolje preciznosti primjene vode na specifično mjesto. Korišteni su različiti pristupi za precizno lociranje više segmenata ili raspona. Pristupi za centar pivotne su:

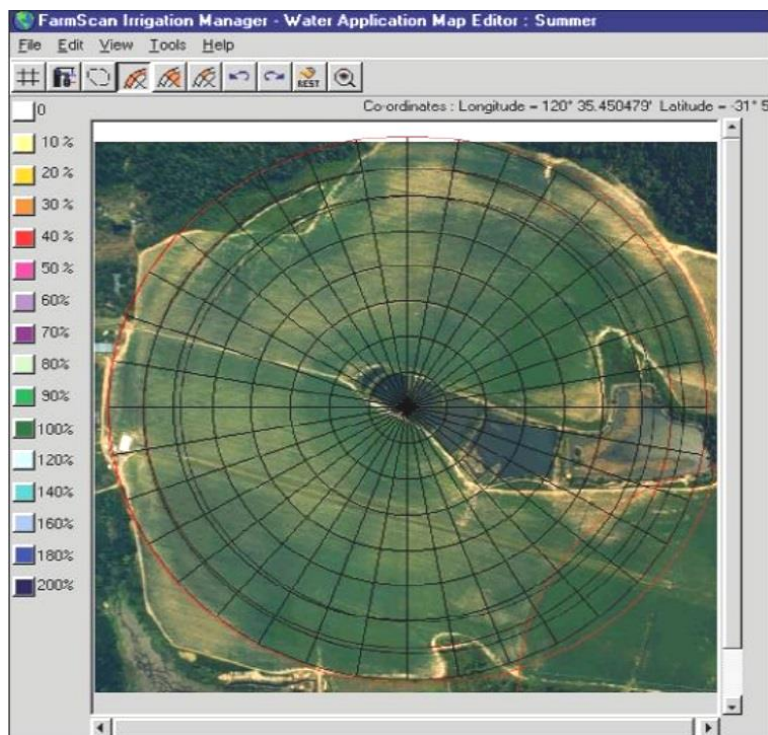
- upotreba više elektroničnih kompasu za kontinuirano mjerenje neusklađenosti duž duljine sustava ili
- upotreba GNSS-a za pozicioniranje na jednoj ili više lokacija.

Većina takvih sustava koristi jedan ili više GNSS senzora za određivanje lokacije.

Prilagodba pivot uređaja za primjenjivanje s promjenjivim obrocima navodnjavanja unaprijed određenim planom sada je komercijalno dostupna tehnologija. Primjer je *FARMSCAN 7000VRI*. To je važan korak za centar pivot uređaje da postanu precizni sustavi. Navedeni sustav služi za kontrolu različite primjene za centar pivot uređaje (slika 24., 25. i 26.).

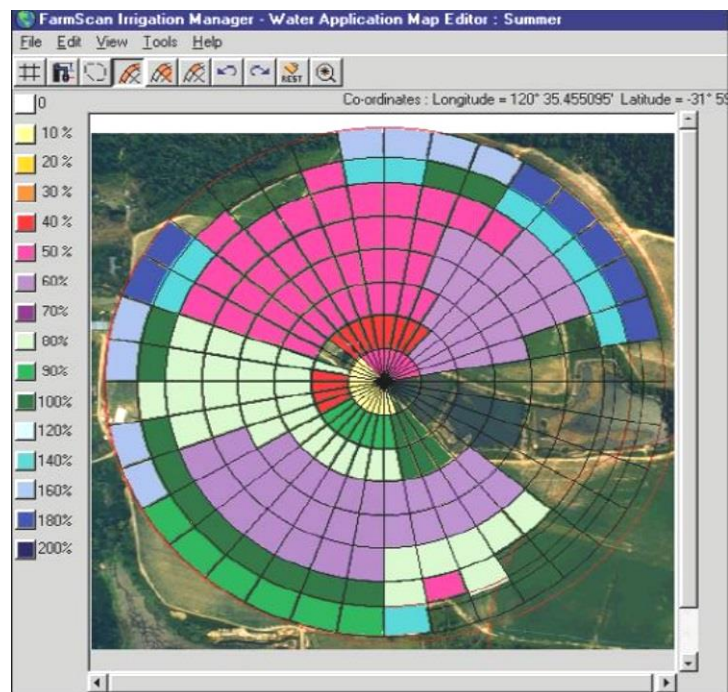
Propisane karte su nastale korištenjem osobnog računala. Karta primjene odvaja kružna područja prekrivena rasprskivačem u $2-10^\circ$ dijelove kruga i svaki dio je podijeljen na segmente. Obroci navodnjavanja po segmentu su promjenjive vrijednosti i moguće je označiti nekoliko ili sve segmente za navodnjavanje. Zatim su karte premještene u kontrolor 7000 putem *USB*-a. GNSS na kraju rasprskivača nadzire trenutni položaj. Ako se obroci navodnjavanja trebaju povećati iznad 100 %, rasprskivač će se usporiti. Slično, ako je u zonama potrebno manje od 100 %, rasprskivač će ići brže, štedi energiju i trošenje.

Ovim sustavom je moguće kontrolirati pet zona navodnjavanja. Dodavanjem pomoćnih mlaznica smještenih duž nosača je moguće navodnjavati do 48 zona. Mlaznice su grupirane u blokove, a blokovi su pod kontrolom glavne vodne linije koja je elektronski upravljana s *FARMSCAN 7000* kontrolorom.



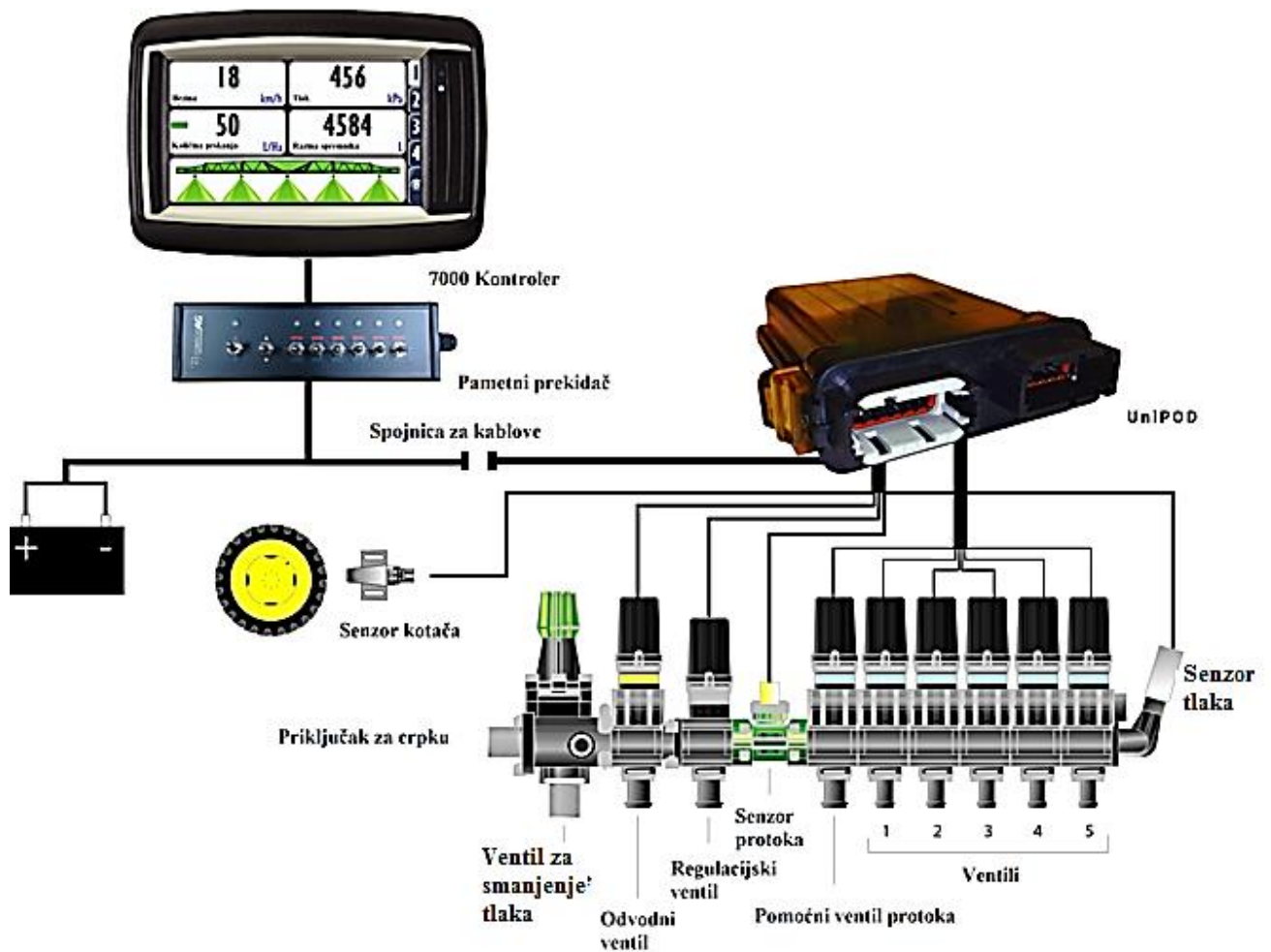
Slika 24. *FARMSCAN* (Izvor: R. J. Smith i sur. 2010.)

Na slici 24. je prikaz *FARMSCAN* upravljanje navodnjavanjem gdje se vidi poljoprivredna površina podijeljena u ćelije.



Slika 25. *FARMSCAN* (Izvor: R. J. Smith i sur. 2010.)

Na slici 25. su ćelije obojane i svaka boja donosi koliki postotak vode je biljci dostupan.



Slika 26. Elementi *FARMSCAN*-a

(Izvor: <https://farmscan.com.au/pages/spray-rate-controller>)

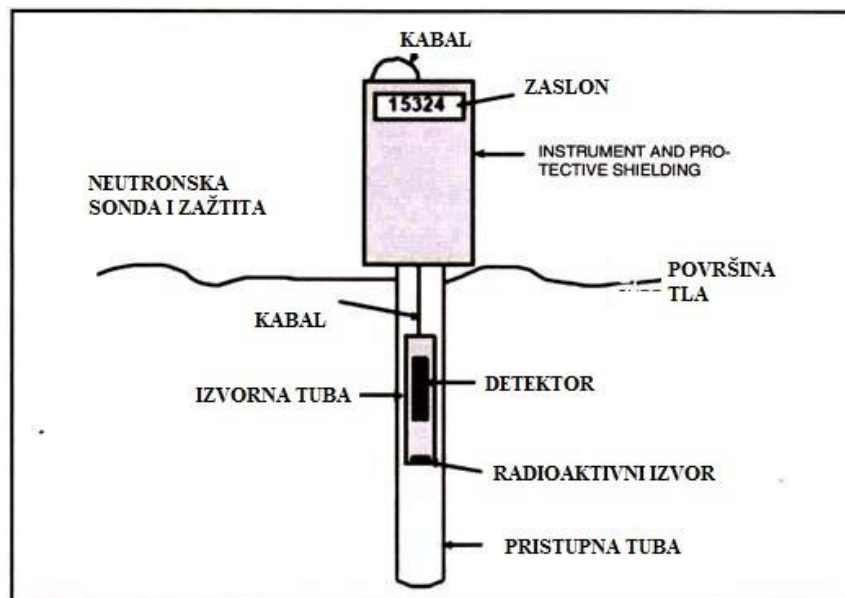
Zbog toga što su tla različite strukture, različitih kapaciteta zadržavanja vode, različite infiltracije obroka i slično, potrebe navodnjavanja mogu se razlikovati između različitih zona u jednom polju. Primjena obroka može se utvrditi prije za potrebe automatske kontrole obroka na različitim tipovima tla. Nisko ležeća i močvarna područja mogu biti izostavljena iz navodnjavanja.

S brojnim usjevima pod produkcijom, vrijeme berbe / žetve i režim navodnjavanja su često različiti. Rasprskivači mogu biti programirani da se automatski isključe kako bi se izbjeglo preklapanje.

6.2.4. Sustav za donošenje odluka:

Senzorski sustavi na sustavima navodnjavanja mogu biti precizniji od onih koji se temelje na kartama i to zbog pristupa odnosno prikupljanja podataka u stvarnom vremenu. Postojeći upravljački sustavi obično koriste: digitalnu kartu ili datoteku s unaprijed određenim prostornim podacima. Danas se razvijaju sustavi za upravljanje koji dinamički prikupljaju podatke u stvarnom vremenu koristeći se daljinskim očitavanjem ili ugrađenim senzorima na sustav za navodnjavanje (Peters i Evett, 2008.).

Automatizirani sustavi za kontrolu navodnjavanja koriste senzore na jednom mjestu. Takav način upravljanja koristi samo dobivene informacije o svojstvu tla za planiranje navodnjavanja i ciljaju na ujednačenost usjeva na polju, a ne na pokušaj optimizacije proizvodnje u različitim dijelovima polja. Međutim lokalna mikroklima, biljna genetika i pojava zaraze/štetočina u usjevima mogu rezultirati da jedno područje ima različit prinos u odnosu na drugi dio polja, a ovakva strategija upravljanja ima za cilj postizanje ujednačenog prinosa na cijelom polju. Sustav koji su razvili Evans i sur. (2007.) stvara kartu tla na temelju podataka dobivenih s neutronskim sondama i meteorološkom stanicom. Neutronske sonde daju podatke o vlažnosti tla. Slike 27. i 28. prikazuju neutronske sonde i njezine dijelove.



Slika 27. Shema neutronske sonde

(Izvor: <http://www.soilmanagementindia.com/soil-water/how-to-measure-soil-moisture-soil-water-relationship-soil-science/4514>)



Slika 28. Neutronska sonda

(Izvor: <https://www.flickr.com/photos/landlearnsw/4076514556>)

6.2.5. Promjenjiva opskrba vodom

Većina konvencionalnih sustava za navodnjavanje dizajnirani su da rade sa konstantnim protokom u sustavu i tlakom na rasprskivače. Kod preciznog navodnjavanja pivot sustavi za navodnjavanje koriste konstanti tlak, ali promjenjiv protok vode.

Moguća rješenja za promjenjivu opskrbu vodom:

- postrojenja s više crpki npr. četiri crpke koje su spojene na spremnik vode i svaka crpka je spojena na razvodnik za postizanje konstantnog tlaka,
- korištenje crpke s promjenjivom brzinom vrtnje.

Oba rješenja povećavaju troškove preciznog navodnjavanja u odnosu na konvencionalne metode navodnjavanja (Camp i sur. 2006.).

6.3. Sustavi za mikro-navodnjavanje

Sustavi za mikro navodnjavanje dizajnirani su da vlaže samo zonu u kojoj se biljka nalazi i održava tu zonu vlažnom. Prednosti ovog sustava za navodnjavanje su:

- vlaže manju površinu tla,
- voda s površine tla minimalno isparava,
- smanjen rast korova i veća ujednačenost primjene vode u zoni korijena biljke.

Posebna prednost mikro-navodnjavanja je dodavanje manje količine vode u kratkim intervalima navodnjavanja. To pruža mogućnost održavanja vlažnosti tla uz određeni deficit vlage ispod kapaciteta polja u cijeloj sezoni ili samo dio sezone, a čime se postiže veća učinkovitost oborina tijekom sezone navodnjavanja, a čime se pak smanjuju troškovi navodnjavanja. Učinkovitost mikro navodnjavanja veća je od 90 %. Gubici vode u mikro navodnjavanju uglavnom se javljaju isparavanjem vode s površine tla i otjecanjem vode u drenažu. Gubici isparavanja su mali zbog ograničene površine vlaženja i nema stajace vode na površini tla zbog niskih stupnjeva navodnjavanja. Primjena vode se događa ispod biljnog pokrova ili ispod površine tla. Međutim kao i kod svih sustava za navodnjavanje, sposobnost postizanja visoke učinkovitosti navodnjavanja leži u upravljanju navodnjavanjem.

Uzroci neujednačenih navodnjavanja kod mikro sustava su:

- dužina cijevi osciliranje tlaka,
- kapaljke uslijed rada se začepljuju.

Mikro-sustav navodnjavanja ima visok potencijal za precizno navodnjavanje u odnosu na druge sustave. Upravljanje je lako i obično se automatizira na vremenskoj osnovi, vlažnosti tla ili okolnoj temperaturi (Evatt i sur. 2006.). Mogu se prilagoditi u primjeni prostorne raznolikosti tako da je u upotrebi samo jedna bočna cijev i pojedinačna kapaljka. Posebno primjenjivi na sustav mikro-navodnjavanja su regulatori brzine koji reagiraju na odlučivanje i praćenje usjeva u stvarnom vremenu.

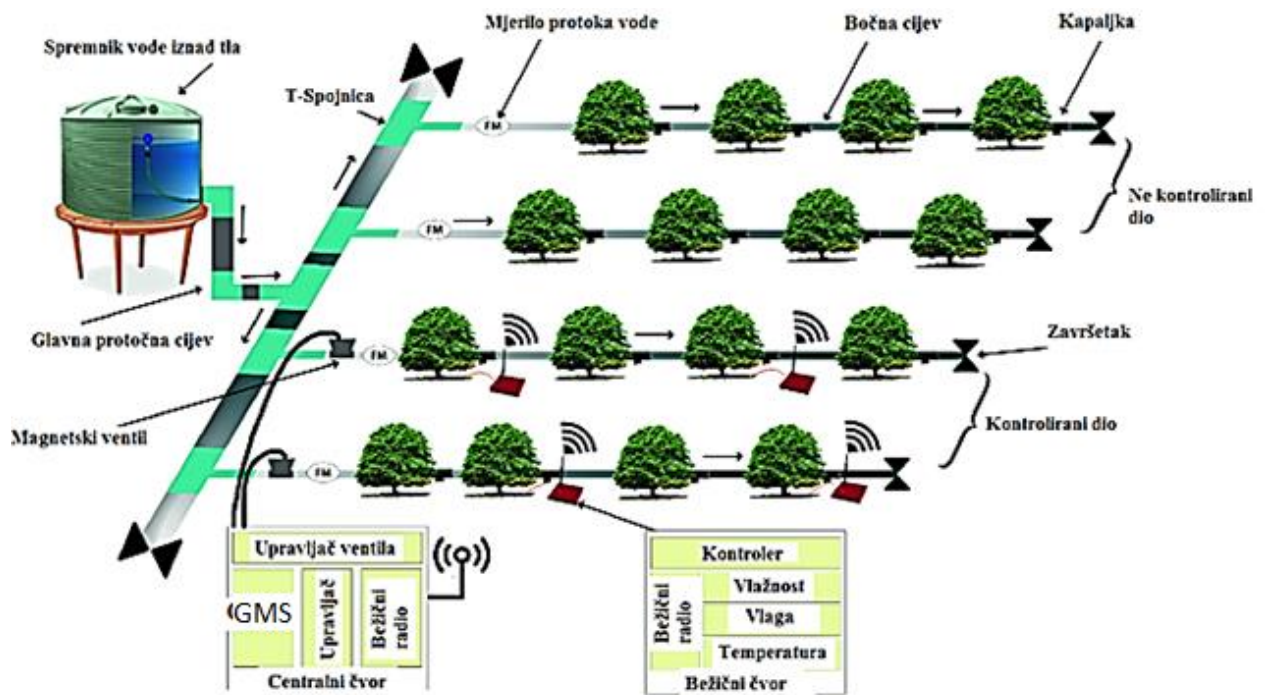
Capraro i sur. (2008.) su u vinogradarstvu koristili sustav za nadzor vlažnosti u zoni korijena i mjerili vlagu u tlu i održavali optimalnu vlažnost tla prema zahtjevima biljke,

takav sustav se zove zatvorena petlja (*Close Loop*). Regulator određuje kada i koliko navodnjavati, regulator uzima u obzir izmjerene vrijednosti elektriciteta između dvije elektrode u tlu i time mjeri vlažnost tla.

Coates i sur. (2006.) fokusirali su se na razvoj prostorno varijabilnog sustava mikro-navodnjavanja koji omogućuje upravljanje pojedinim kapaljkama u voćnjaku. Fokus istraživanja bila je različita opskrba vodom i otopljenim kemijskim gnojivima za jedno ili više pojedinačnih stabala koja se nalaze na jednom cjevovodu mikro-prskalica. Istraživanje se posebno fokusiralo na:

- projektiranje inteligentnog čvora sustava za mikro-navodnjavanje koji može pojedinačno upravljati kapaljkama,
- razvoj fizičke mreže i protokola serijskih podataka za distribuciju energije i komunikaciju između regulatora kapaljki i pojedinačnih čvorova duž linije navodnjavanja kapanjem te
- razvijanje programa za upravljanje glavnim upravljačem, kontrolorom kapaljki i pojedinih čvorova mikro-prskalica.

Navedeno je provedeno testiranjem prototipova četiri čvora prostorno različitog navodnjavanja sustavom mikro-rasprskivača. Ukupno je raspoređeno 50 čvorova. Svaki čvor mikro-rasprskivača sastojao se od mikro-kontrolora i električnog sklopa. Magnetski su ventili pojedinačno kontrolirali protok vode na svakoj kapaljci. Senzor tlaka koristio se za praćenje tlaka u kapaljkama. Kontrolor kapaljke pružao je informacije i pohranjivao podatke za raspored navodnjavanja. Prijenosno računalo korišteno je za prijenos rasporeda navodnjavanja i pristup podacima senzora na regulatoru cjevovoda. Rezultati su pokazali da je mikro sustav za navodnjavanje moguće konfigurirati za različito navodnjavanje i to prema potrebama svake biljke posebno. Na slici 29. prikazan je sustav mikro navodnjavanja sa bežičnom mrežom.



Slika 29. Mikro navodnjavanje (Izvor: Barman i sur. 2019.)

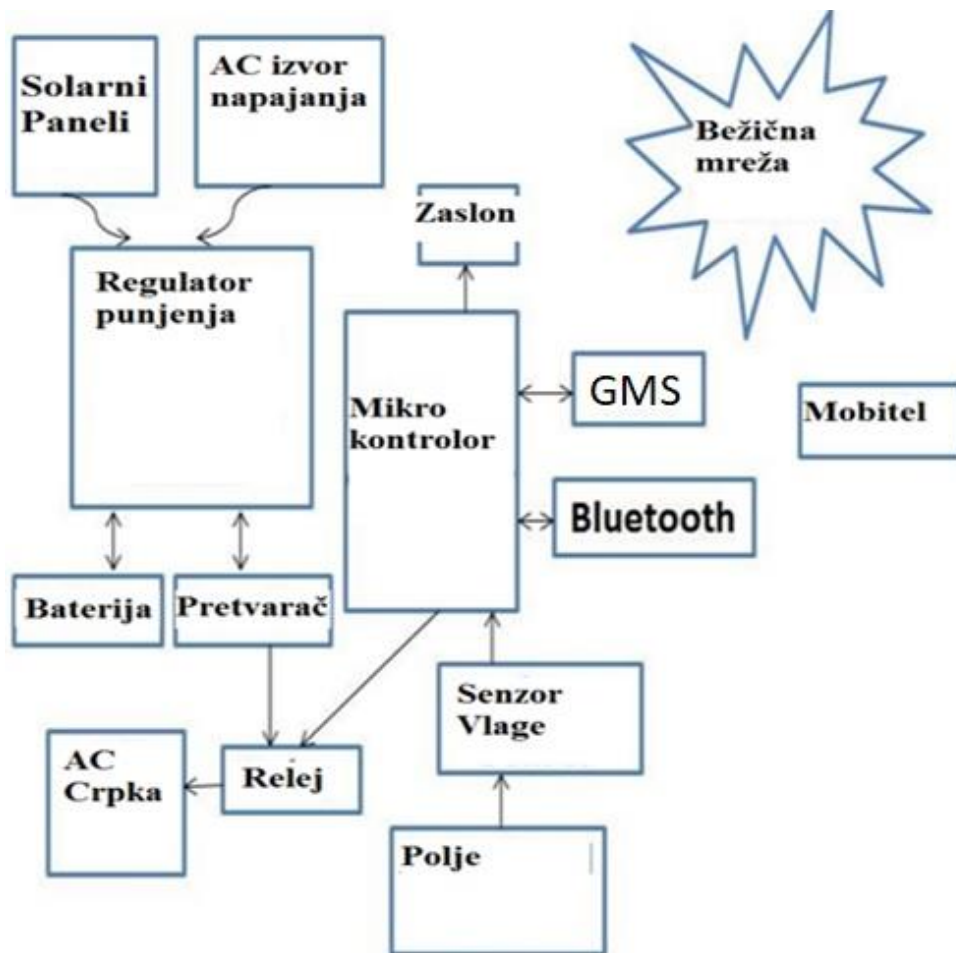
Sustav radi na principu bežične mreže. Senzor spojen na bežični čvor mjeri vlažnost tla i to prema zadanim vrijednostima koje označavaju kad je tlo vlažno, a kada nije i kada treba započeti navodnjavati. Bežični kontrolor mjeri vlažnost tla i temperaturu i ima ugrađen odašiljač koji šalje informacije centralnom čvoru. Centralni čvor upravlja magnetskim ventilima i na čvoru je ugrađen prijamnik koji prima informacije poslane s bežičnog čvora. Centralni čvor može bit spojen (a i ne mora) na prijenosno računalo, a također može biti upravljan i preko mobilnog uređaja (GMS – eng. *Global System for Mobile Communications*) modul. Upravljač u centralnom čvoru obrađuje podatke prema zadanim vrijednostima i tako upravlja sa automatskim mikro-navodnjavanjem. Na ovaj sustav se mogu ugraditi crpke za vodu i pripadajući solarni paneli za crpke. Tablicom 1. prikazan je primjer zadanih vrijednosti određivanja vlažnosti tla senzorem vlage.

Tablica 1: Tablica vrijednosti za senzor vlage (Izvor: Kumar i sur. 2017.)

Redni broj	Masa tla u gramima [g]	Dodavana voda [ml]	Očitavanje senzora [V]	Vlažnost tla [%]
1.	200 (suho)	0	4,50	0,00
2.	200	12	3,10	38,67
3.	200	24	2,60	52,48
4.	200	36	2,10	66,29
5.	200	48	1,40	85,63
6.	200 (vlažno)	60	0,88	100,00

Na slici 30. prikazan je dijagram toka za solarno automatsko navodnjavanje korištenjem *GMS-Bluetooth* tehnologije. Solarni paneli, izvor izmjenične struje, baterije i pretvarač su spojeni na regulator punjenja. Pretvarač je spojen sa releom koji je povezan sa crpkom i mikro kontrolorom. Mikro-kontrolor spojen je sa zaslonom, *GMS-Bluetooth* vezom i sa senzorom vlage. Princip rada ovog sustava:

- senzor vlage očitava vlagu u tlu i očitavanja su vidljiva na zaslonu koji pruža informacije o crpki i vlažnosti tla.,
- mikro-kontrolor na temelju očitavanja senzora vlage preko relea uključuje crpku za navodnjavanje (ako je vlažnost tla ispod zadane vrijednosti). Preko mobitela moguće je upravljati kontrolorom i unositi/izvoziti podatke dobivene od senzora vlage u realnom vremenu,
- regulator punjenja uključuje/isključuje solarne panele od akumulatora ukoliko su baterije napunjene dok AC izvor struje služi kao pomoćni izvor energije.



Slika 30. Dijagram automatskog navodnjavanja s solarnim panelima
(Izvor: Kumar i sur. 2017.)

7. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Sustav preciznog navodnjavanja zahtijeva točne podatke prostornih i/ili vremenskih varijabilnosti u uvjetima u tlu i usjeva na polju te zahtijeva sposobnost prepoznavanja i kvantificiranja takvih podataka kako bi se primijenilo odgovarajuće navodnjavanje. Postoje razni mjerni uređaji za prikupljanje podataka o vlažnost tla, zahtjevima biljke prema vodi, meteorološke stanice. Za prikupljanje podataka sustav navodnjavanja može uključivati biljna očitavanja, ispitivanja tla i vode, vremenske uvjete i njihovu kombinaciju. Prostorna varijabilnost polja može se mjeriti:

- kontinuirano (npr. pokretni nadzor postavljene termičke kamere na pivot centre),
- diskretno (npr. točkasto uzrokovanje tla i vode pomoću sonde za vlagu tla) i
- daljinski s dovoljne visine da jedno mjerenje obuhvaća većinu ili cijelo polje (npr. bespilotne letjelice s ugrađenim sensorima i/ili kamerom ili sateliti)

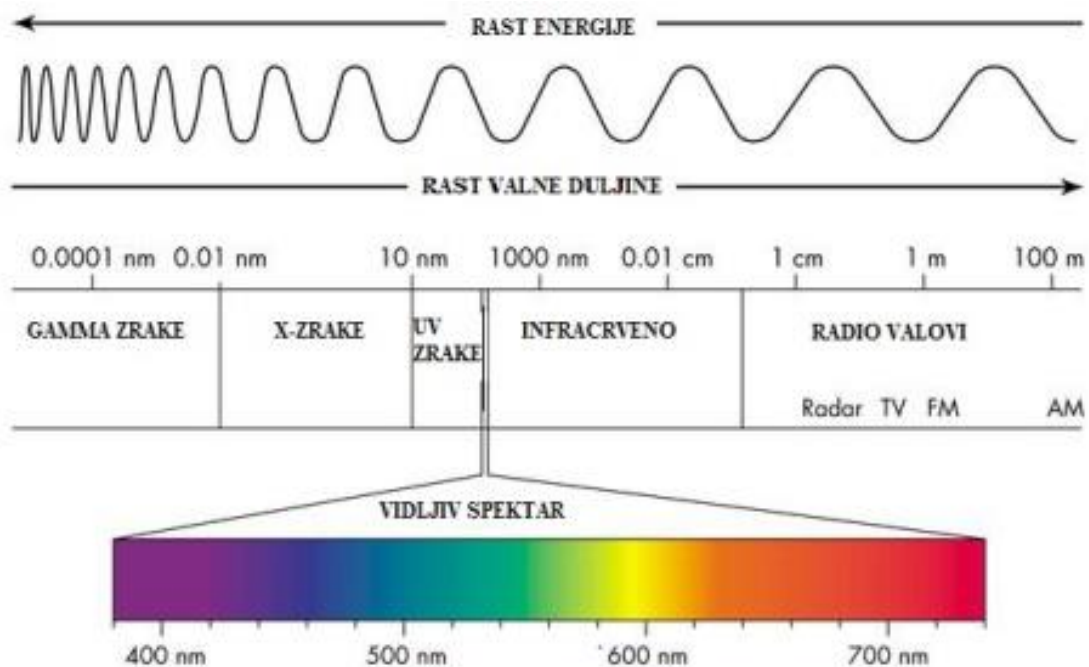
Na raspolaganju je širok spektar biljnih senzorskih tehnologija za prepoznavanje pojave i jačine biljnog stresa. Tehnologije biljnih očitavanja mogu se podijeliti u dvije grupe, a to su kontaktni senzori ili bez kontaktni senzori. Kontaktni senzori mogu biti i ručni, a bez kontaktni senzori u pravilu su u zraku (bespilotne letjelice, sateliti). Kontaktni senzori pružaju detaljne podatke za pojedine biljke koji su korisne za razumijevanje dnevnih fluktuacija. Daljinski senzori su prikladniji za prikupljanje prostornih podataka na lokalnoj ili regionalnoj razini pa su stoga prikladniji za procjenu prostornih razlika u opterećenju biljaka i primjene u sustavu preciznog navodnjavanja.

Takvi senzori tipično mjere reakcije biljaka koje su povezane s unosom vlage, isparavanjem vlage i stopama porasta biljaka. Varijacije u ovim mjerenjima koje ukazuju na stres usjeva moguće je koristiti za donošenje odluka u navodnjavanju. Međutim biljni senzori ne daju nikakve naznake koliku količinu vode je potrebno primijeniti u navodnjavanju. Stoga se ove metode trebaju koristiti u kombinaciji s mjerenjima vlage u tlu kako bi se točnije odredili zahtjevi za navodnjavanje.

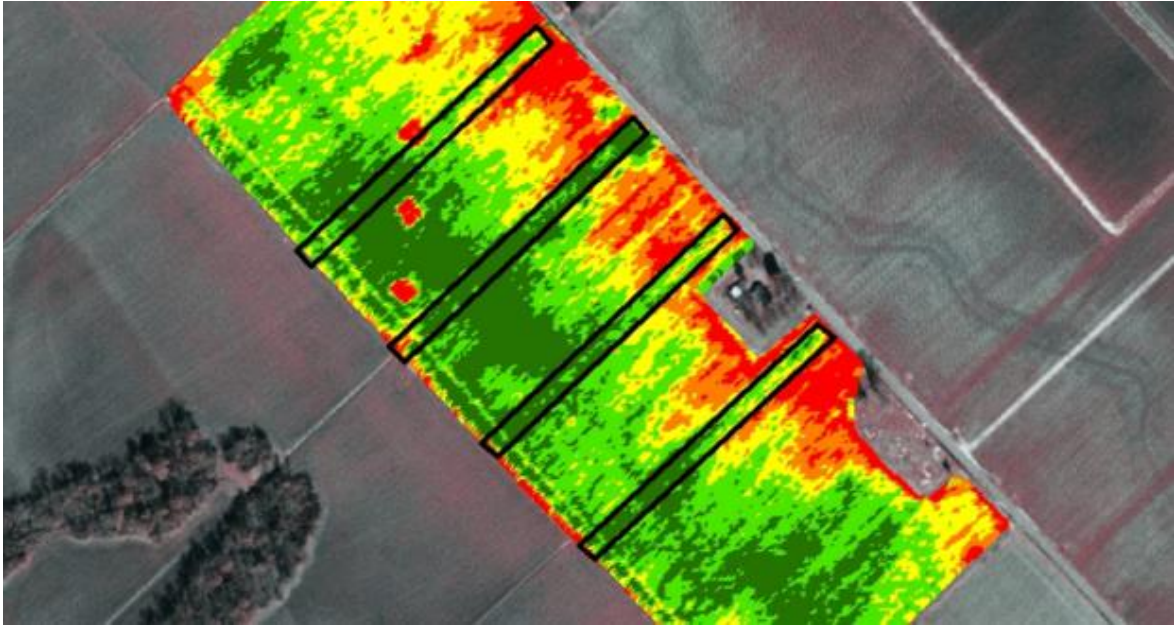
Biljni senzori obično imaju mogućnost snimanja i GNSS očitavanja i mogu izraditi karte mjerenja na terenu. Postoji i širok spektar satelitskih senzora iz kojih se mogu dobiti podatci za poljoprivrednu upotrebu.

7.1. Radiometrijski senzori

Bastaiaanssen i sur. (2000.) navode kako je dostupan širok raspon senzora koji se mogu koristiti na blizinu ili daljinu, a mjere elektromagnetsku refleksiju površine. McBratney i sur. (2003.) dali su ilustraciju dijelova elektromagnetskog spektra koji se mogu koristiti za praćenje varijabilnosti tla i okoliša. Podaci dobiveni u elektromagnetskom spektru mogu se obično obrađivati kako bi se istakle razlike u uvjetima usjeva koristeći normalizirani indeks vegetacijske razlike (NDVI). Razni istraživači otkrili su odnos između NDVI i koeficijenta usjeva za širok raspon usjeva. Alternativa upotrebi NDVI je predviđanje stvarnog isparavanja usjeva pomoću daljinskog istraživanja energetske bilance. Prema Gowda i sur. (2008.) i Chavez i sur (2009.) oba pristupa nude sredstva za dobivanje velikog broj podataka o isparavanju vode sa usjeva radi pomoći u upravljanju navodnjavanjem. Na slici 31. prikazan je elektromagnetski spektar i korisne frekvencije za daljinsko istraživanje. Na slici 32. prikazan je primjer uporabe NDVI.



Slika 31. Elektromagnetski spektar (Izvor: McBratney i sur. (2003.))



Slika 32. Primjer NDVI snimke

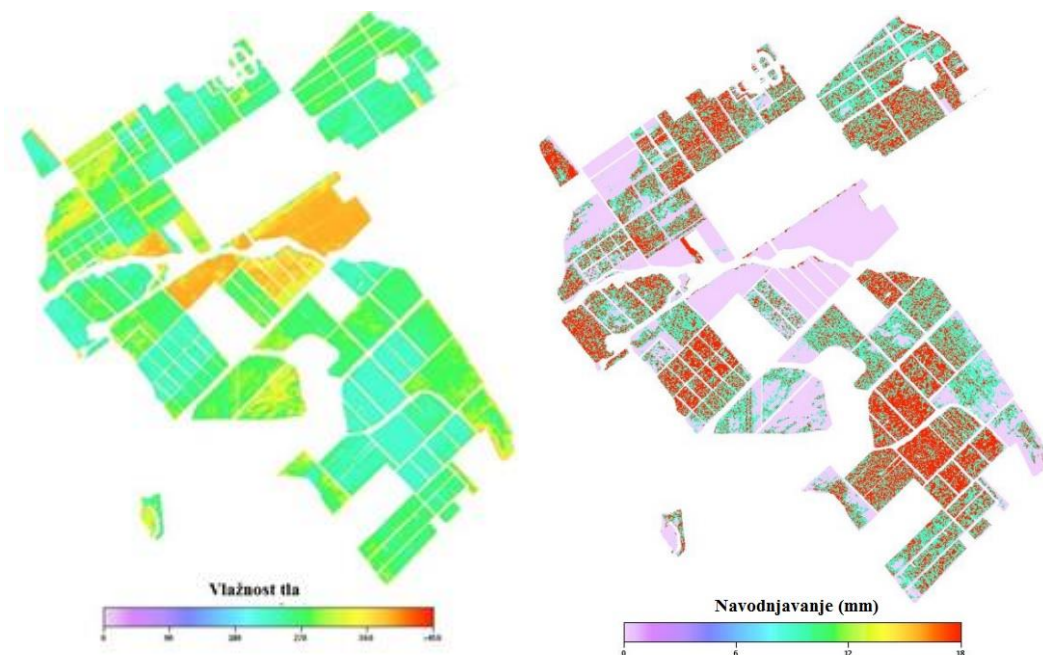
(Izvor: <https://precisionagriculture.re/ndvi-and-satellite-crop-monitoring/>)

Normalizirani indeks razlike u vegetaciji (NDVI) kvantificira vegetaciju mjerenjem razlike između infracrvenog zračenja (kojeg vegetacija snažno održava) i crvenog zračenja (kojeg vegetacija apsorbira). NDVI uvijek varira od -1 do +1. Za primjer, kada su vrijednosti NDVI negativne, vrlo vjerojatno je slikom prikazana vodena površina, a ako su vrijednosti bliže +1 tada je velika mogućnost da su slikom prikazani gusti zeleni listovi. Izrazom (3) izračunava se vrijednost NDVI.

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (3)$$

Zdrava vegetacija (klorofil) reflektira više blisku infracrvenu svjetlost (NIR-near infrared) i zeleno svjetlo u usporedbi s drugim valnim duljinama, ali upija više crvene i plave svjetlosti. Rezultat formule (3) stvara vrijednosti između -1 i +1. Ako su niske vrijednosti u crvenom kanalu i visoka na NIR kanalu to će dati visoku vrijednost NDVI i obratno. Stoga na primjeru koji vidimo na slici 29. zelena boja označava zdravu i gustu vegetaciju dok crvena označava usjev pod stresom (npr. manjak vode). NDVI karte mogu se izrađivati u programima kao *QGIS*, *ArcGIS* i *SAGA*. Radiometrijski senzori pripadaju u daljinska istraživanja i najčešće se koriste radiometrijske satelitske snimke, ali moguće je i radiometrijski senzor postaviti na bespilotnu letjelicu radi što bolje očitavanja. Na slici 33.

prikazan je primjer određivanja/očitavanja vlažnosti tla i karte provedenog navodnjavanja uporabom CERES modela.



Slika 33. Primjer karte navodnjavanja dobivene uporabom CERES modela
(Izvor: R.J.Smith i sur. 2010.)

7.2. Termalni senzori

Temperatura biljnog pokrova daje relativnu mjeru brzine isparavanja vode i naznaku stresa usjeva. Infracrveni termometri i kamere mjere energiju zračenja (temperaturu) objekta unutar toplinskih infracrvenih elektromagnetskih valova. Temperatura biljnog pokrova dobivena mjerenjem uspoređuje se s usjevom bez stresa i izražava se kao indeks stresa vode u biljkama (*CWSI-Crop water stress index*). Prema izrazu (4).

$$CWSI = \frac{T_c - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}} \quad (4)$$

Gdje je:

- T_c - temperatura biljnog pokrova dobivena od termalne slike,
- T_{wet} - donja temperaturna granica,
- T_{dry} - gornja temperaturna granica.

Glavne prednosti termalnog mjerenja za primjene u sustavima preciznog navodnjavanja mogu se pripisati mogućnosti uređaja da može snimati u stvarnom vremenu. IC kamere i IC termometri omogućuju izradu karata prostornih varijacija na polju. Na slici 34. prikazana je IC kamera postavljena na pivot sustav navodnjavanja.



Slika 34. Infracrvena kamera za snimanje usjeva
(Izvor: <https://www.pinterest.com/johannsnr/farming/>)

Peters i Evett (2008.) raspored navodnjavanja za kontrolirani pivot sustav i kap-po kap sustave kontrolirali su TTT metodom (*temperature-time threshold*). TTT metoda uključuje infracrvene termo kamere koje kontinuirano mjere temperaturu biljnog pokrova. Ako bi temperatura pokrova narasla za neku unaprijed zadanu vrijednost u određenom vremenu bilo bi započeto navodnjavanje.

7.3. Senzori za tlo i vlagu

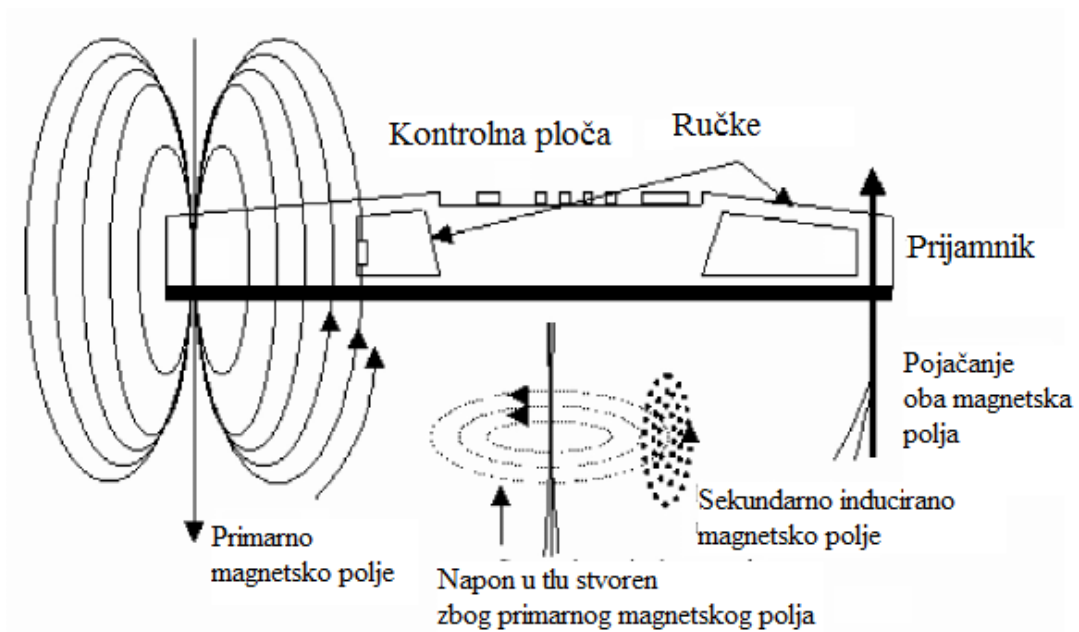
Sadržaj vlage u zoni korijena usjeva varira i prostorno i vremenski. Vлага u ovoj zoni je presudna za razvoj biljke, pa je razumijevanje varijabilnosti i dinamike raspodjele vlage u ovoj zoni ključno za optimalno navodnjavanje.

Uređaj EM38 (Slika 35.) je elektromagnetski senzor za mjerenje prividne električne vodljivosti u tlima. Može se koristiti za određivanje niza svojstva tla, uključujući vlagu tla i ostala svojstva tla koja utječu na električnu vodljivost poput teksture tla, koncentracije elektrolita i slično. Uređajem EM38 za vrijeme ispitivanja i kartiranja električne vodljivosti (EC_a – električna vodljivost) moguće je izraditi karte tla visoke rezolucije koje mogu značajno pomoći u upravljanju poljoprivrednim površinama (Hossain i sur., 2008.). Princip rada uređaja EM38 prikazan je na slici 36.



Slika 35. EM38 senzor

(Izvor: <https://www.georeva.eu/en/produit/em38-mk2/>)



Slika 36. Princip rada EM38

(Izvor: Lesch i sur. 2005.)

U područjima gdje je sadržaj vode dominantni faktor tada je elektrovodljivost tla veća odnosno bolje provodi struju od suhog tla. Primarno magnetsko polje izaziva u tlu napon, a sekundarno magnetsko polje služi kao prijamnik i bilježi zbog čestica tla i vode varijabilnu elektrovodljivost tla.

Korištenjem TDR senzora (slika 37.) praćena je vlažnost tla na dubini od 60cm po satu u svakoj zoni upravljanja navodnjavanjem omogućena je kalibracija EM karte za vlagu u tlu i time se izrađuje karta vlažnosti tla. Zatim se na karti vlažnosti tla dodaje vremenski faktor koji mjeri koja je zona podložnija bržem isušivanju i u skladu s time pokreće se navodnjavanje.



Slika 37. TDR senzor vlage

(Izvor: <https://www.e-test.eu/field-tdr-probe.html>)

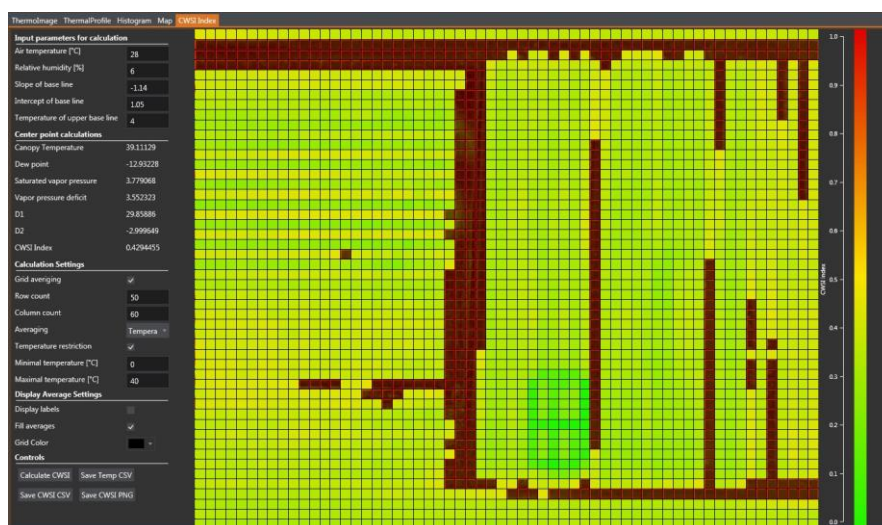
Indeks za vodni stres biljke (CWSI – *crop water stress indeks*) razvijen je 1981. godine i normaliziran je za određivanje stresa usjeva. U današnje doba postoji kamera koja radi na principu infracrvenih valnih duljina (LWIR – *long wavelength infrared*). WIRIS Agro kamera radi na takvom principu i može se montirati na bespilotnu letjelicu radi snimanja poljoprivrednih površina iz zraka. Na slici 38. i 39. prikazan je primjer kamere i bespilotne letjelice upravljanje pomoću mobilnog uređaja.



Slika 38. WIRIS Agro kamera
(Izvor: <https://www.workswell-thermal-camera.com>)



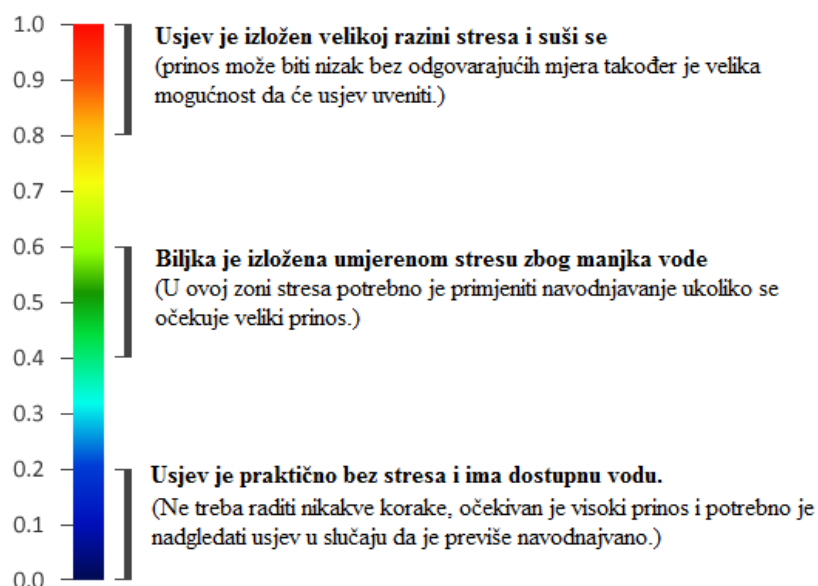
Slika 39. Беспилотна летјелца управљана мобителним уређајем
(Izvor: <https://www.workswell-thermal-camera.com>)



Slika 40. Prikaz vodnog stresa nakon snimanja u programu za obradu podataka

(Izvor: <https://www.workswell-thermal-camera.com>)

Na slici 40. prikazana je poljoprivredna površina podijeljena na piksele i svaki piksel ima određen indeks nakon snimanja koji određuje količinu vode potrebnu za biljku. Ako je vrijednost piksela 0 tada indicira kako biljka nije pod stresom i sadrži optimalnu količinu vode. Ako je vrijednost piksela 1 tada navedeno predstavlja maksimalni stres biljke i potrebno je primjenjivati navodnjavanje. Na slici 41. prikazan je primjer ljestvice razine stresa usjeva.



Slika 41. Ljestvica razine stresa usjeva

(Izvor: <https://www.workswell-thermal-camera.com>)

8. ZAKLJUČAK

Kombinacije praćenja usjeva i tla s odgovarajućim modelima simulacije rasta prvi je korak preciznog navodnjavanja za sve biljne kulture. Kombiniranjem navedenog sa sustavima za kontrolu i optimizaciju pojedinog sustava navodnjavanja upotpunjuje se sustav preciznog navodnjavanja. Precizno navodnjavanje oslanja se na mogućnost nadziranja razlika u pojedinim biljkama i njezinoj potrebi prema vodi kako bi zadovoljili potrebe biljke.

Precizno navodnjavanje je sustav koji:

- zna što radi,
- zna kako radi,
- zna što je napravio te
- nauči iz onoga što je napravio.

Nema univerzalnog najboljeg sustava za navodnjavanje. Bitno je samo odabrati prikladan sustav navodnjavanja baziran na financijskoj mogućnosti i proizvodnoj površini. Precizna poljoprivreda zahtjeva znanje što se događa na polju u stvarnom vremenu. Kretanje prema preciznom navodnjavanju podrazumijeva sustav koji se može prilagoditi prevladavajućim uvjetima. Također se podrazumijeva i ideja da će se sustavom uspjeti postići određeni cilj koji npr. može biti maksimalna iskorištenost vode, najveći prinos ili maksimalna profitabilnost. Četiri su važna koraka za precizno navodnjavanje:

- prikupljanje podataka,
- analiza podataka,
- kontrola i
- ocjena sustava.

Precizni sustavi zahtijevaju točne prostorne podatke koji se dobivaju mjerenjem na polju (vrsta tla, zahtjevi usjeva, vlažnost tla i zraka). Takvi podatci se prikupljaju pomoću raznih mjernih instrumenata (EM38, neutronska sonda, senzori za vlagu itd.). Jedna bitna značajka kod preciznog navodnjavanja je da se sve odvija u stvarnom vremenu. Jednostavno rečeno, ako vlažnost tla padne ispod optimalne vrijednosti senzor vlage očitava stanje tla u realnom vremenu i prema izmjerenim parametrima kontrolna jedinica pokreće navodnjavanje.

Dobiveni podatci se interpretiraju i analiziraju računalnim programima za pomoć u odlučivanju za navodnjavanje. Prikladni višedimenzionalni alati za simulaciju rasta usjeva, zahtjeva usjeva i simulaciju navodnjavanja bitna su stavka za optimizaciju i automatizaciju navodnjavanja.

Mogućnosti preraspodjele inputa i prilagodbe navodnjavanja na vremenskoj i prostornoj raznolikosti ključna je stavka preciznog navodnjavanja. Automatski kontrolori s podacima u stvarnom vremenu sa senzora u pokretu pružaju najpouzdanije podatke o stanju na polju. Primjer je montirana infracrvena kamera na pivot sustavu za navodnjavanje koja snima sliku i temperaturu biljnog pokrivača.

Ocjena preciznog navodnjavanja također je bitna stavka. S inženjerskog, agronomskog i ekonomskog gledišta ocjenjuje se sustav za navodnjavanje i prema takvim podacima moguće je razvijanje i poboljšanje budućih performansi sustava za navodnjavanje. Precizno navodnjavanje zahtjeva znanja iz poljoprivrede, strojarstva, elektrotehnike i ekonomije.

Prema poljoprivrednom portalu (www.agroklub.com) u Hrvatskoj navodnjavanje nije razvijeno u tolikoj mjeri i iznosi svega 0,46 % navodnjavane poljoprivredne površine (nepunih 10.000 ha). Pogodnih tala za navodnjavanje najviše ima u Osječkoj-baranjskoj i Vukovarsko-srijemskoj županiji. Hrvatska prema raspoloživoj kvaliteti i količini vode može navodnjavati oko 30 % obradivih površina ili oko 600.000 ha.

9. LITERATURA

1. Bajić, M. (2015.) Analiza efikasnosti sustava za navodnjavanje, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.
2. Barman A., Neogi B., Pal S. (2019.) Solar-Powered Automated IoT-Based Drip Irrigation System, IoT and Analytics for Agriculture, Studies in Big Data, vol 63. Springer, Singapore. 978-981-13-9177-4
3. Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. (1998.) A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), Journal of hydrology, 198-212
4. Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J., and Makin, I.W. (2000) Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. Agricultural Water Management, 46: 137-155
5. Brevik, E.C., Fenton, T.E., Lazari, A., (2006.) Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. Precis. Agric. 7, 393-404.
6. Brouwer, C., Goffeau, A. and Heibloem, M. (1985.) Irrigation Water Management: Training Manual No. 1-introduction to irrigation. FAO, Rome.
7. Buick, R.D. (1997.) Precision Agriculture: An intergration of information technologies with farming, 50th N.Z. Plant Protection Conf., 176-184
8. Cape, J. (1998.): Using software to review sprinkler performance, Irrigation Australia, 18-20.
9. Chavez, J.L., Gowda, P.H., Howell, T.A and Copeland, K.S. (2009.) Radiometric surface temperature calibration effects on satellite based evapotranspiration estimation, International journal of Remote sensing, 2337-2354.
10. Coates, R., Delwiche, M. and Brown, P. (2006) Design of a system for individual microsprinkler control. Trans ASABE, 49(6): 1963-1970
11. DeJonge K.& Kaleita A. (2006.) Simulation of spatially variable precision irrigation and its effects on Corn growth using CERES-Maize, ASABE Annual International Meeting, 062119.
12. Dhanda N.(2013.) CLEP Information Systems And Computer Applications. Research & Education Association, New Jersey

13. Evans, R.G., Kim, Y, and Iversen, W.M. (2007) Evaluation of closed-loop irrigation control with wireless sensor network. 2007 ASABE Annual International Meeting. Minneapolis, Minnesota: Paper No. 072248.
14. Evans, R.G., Han, S., Kroeger, M.W., and Schneider, S.M. (1996) Precision centre pivot irrigation for efficient use of water and nitrogen. Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd International Conference, ASA/CSSA/SSSA, Minneapolis, Minnesota, June 23-26, p75-84.
15. Evett, S.R., Peters, R.T. and Howell, T.A. (2006) Controlling water use efficiency with irrigation automation: cases from drip and center pivot irrigation of corn and soybean. Southern Conservation Systems Conference. Amarillo TX.
16. Gereš, D. (2002.) Održivo iskorištavanje vode u Hrvatskoj i u Europi, Građevinar 54, 345-353.
17. Goovaerts, P. (2000.) Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, Journal of Hydrology, 113-129
18. Gowda, P.H, Senay, G.B., Howell, T. A., Marek, T.H. (2008.) Lysimetric Evaluation of Simplified Surface Energy Balance Approach in the texas high plains, American society of Agricultural and Biological Engineers, 0883-8542.
19. Hossain, B. (2008.) EM38 for measuring and mapping soil moisture in a cracking clay soil, doktorat, University of New England, Armidale.
20. Hedley, C.B. and Yule, I.J. (2009) A method for spatial prediction of daily soil water status for precise irrigation scheduling. Agricultural Water Management, 96(12): 1737-1745.
21. Hedley, C.B. and Yule, I.J. (2009b) Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. Precision Agriculture, 10: 342-355.
22. Heerman, D.F., Hoeting, J., Thompson, S.E., Duke, H.R., Westfall, D.G., Buchleiter, G.W., Westra, P., Peairs, F.B. and Fleming, K. (2002) Interdisciplinary irrigated precision farming research. Precision Agriculture, 3: 47-61.
23. Huđek, J. (2014) ' Mjerenje sadržaja vode u tlu TDR uređajem u navodnjavanju, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
24. Jurišić, M. i Plaščak, I. (2009.) Geoinformacijske tehnologije GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša, Poljoprivredni fakultet, Osijek.

25. Jurišić, M., Stanisavljević, A., Plaščak, I.(2010.) Application of Geographic Information System (GIS) in the selection of vineyard sites in Croatia. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 16
26. Kanya L. Khatri and R. J. Smith (2006.) Real-time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation, *Irrigation Science*, 33-43
27. King, B.A., Stark, J.C. and Wall, R.W. (2006.) Comparison of site-specific and conventional uniform irrigation management for potatoes. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(5): 677-688.
28. Kumar, S., Sethuraman, C., Srinivas, K. (2017.) Solar Powered automatic drip irrigation system (SPADIS) using wireless sensor network technology, *international research journal of engineering and technology*, 2395-0056
29. Lam, Y., Slaughter, D.C., Wallender W.W. and Upadhyaya, S.K. (2007.) Machine vision monitoring for control of water advance in furrow irrigation. *Transactions ASABE*, 50(2): 371-378.
30. Lesch, S.M., D.L. Corwin, and D.A. Robinson. (2005.) Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers & Electronics in Agriculture*, 46: 351-378.
31. Lu, Y.C., Sadler, J.E. and Camp, C.R. (2005.) Economic feasibility study of variable rate irrigation of corn production in southeast coastal plain. *Journal of Sustainable Agriculture*, 26: 69-81.
32. Mađar, S., Šoštarić, J., (2009.) Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
33. Majić, J. (2014). Navodnjavanje i proizvodnja cvijeća na OPG „Zea“ - zlatar', Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
34. Marković, M. (2013.) 'Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kvalitetu zrna hibrida kukuruza (*Zea mays* L.)', Disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
35. McBratney, A.B., Mendonca Santos M.L., Minasny, B. (2003.) On digital soil mapping, *Geoderma* 117; 3-52.
36. Mulla, D.J. (2013.): Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps, *Biosystems Engineering journal*, 358-371.

37. O'Shaughnessy, S.A., Evett, S.R., Coliazzi, P.D and Howell, T.A. (2008.) Soil water measurement and thermal indices for center pivot irrigation scheduling. Irrigation Association Conference Proceedings Anaheim, California
38. Pereira L. S., Trout T.J. (1999.) Irrigation methods. In: van Lier H.N, Pereira L.S., Steiner F.R. (eds) CIGR Handbook of Agricultural Engineering, vol.1: Land and water Engineering, ASAE, St. Joseph, MI, pp. 297-379
39. Peters, R.T. and Evett, S.R. (2006.) A fully Automated Center Pivot Using Crop Canopy Temperature, USCID Water Management Conference, 139-148.
40. Proulx, s., Sri Ranjan, R., Klassen, G. (1998.): Evaluation of soil moisture sensors in potato fields, North Central Region Intersectional Meeting, 98-118
41. Smith, R.J., Baillie, J.N., McCarthy, A.C., Raine, S.R. & Baillie, C.P. (2010.) Review of Precision Irrigation Technologies and their Application, National Centre for Engineering in Agriculture, Toowoomba.
42. Romić, D. (2014.) Navodnjavanje – skripta, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
43. Sadler, E.J., Evans, R.G., Stone, K.C. and Camp, C.R. (2005.) Opportunities for conservation with precision irrigation, Journal of Soil and Water conservation, 371-379
44. Smith, R.J., Gillies, M.H., Newell, G. and Foley, J.P. (2008.) A decision support model for travelling gun irrigation machines. Biosystems Engineering, 100(1): 126-136.
45. Šimatović, J. (2012.) Primjena geoinformacijskih sustava u biljnoj proizvodnji – precizna poljoprivreda, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
46. Todorčić Vekić, T. (2017.) 'GIS modeliranje u održivom izboru usjeva i optimizaciji gnojidbe', Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
47. Vukadinović, V. (2016.) Tlo, gnojidba i prinos, Vlastita naklada, Osijek.
48. Yule, I.J., Hedley, C.B. and Bradbury, S. (2008.) Variable-rate irrigation. 12th Annual Symposium on Precision Agriculture Research & Application in Australasia. Sydney
49. Kincaid, D.C. and Buchleiter, G. (2004.) Irrigation, Site-Specific. Encyclopedia of Water Science, 10.1081/E-EWS 120010137.

50. Capraro, F., Patino, D., Tosetti, S. and Schugurensky, C. (2008a.) Neural network-based irrigation control for precision agriculture. IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Sanya, China, April 6-8, pp357-362.
51. Austin, N.R. and Prendergast, J.B. (1997.) Use of kinematic wave theory to model irrigation on cracking soil. *Irrigation Science*, 18: 1-10
52. Almas, L.K., Amosson, S.H., Marek, T. and Colette, W.A. (2003.) Economic feasibility of precision irrigation in the northern Texas high plains. Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting. Mobile, Alabama.
53. Camp, C.R., Sadler, E.J. and Evans, R.G. (2006.) Precision Water Management: Current Realities, Possibilities and Trends. *Handbook of Precision Agriculture*, A. Srinivasan (ed), Binghamton, NY, Food Products Press
54. Chavez, J.L., F. Pierce, F.J., Matthews, G.R., Elliot, T.V., Evans, R.G., and Kim, Y. (2006.) Performance of a continuous move irrigation control and monitoring system. 2006 ASABE Annual International Meeting, Oregon
55. Peters, R.T. and Evett, S.R. (2004.) Complete center pivot automation using the temperature-time threshold method of irrigation scheduling. 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada, Paper No. 042196.
56. King, B.A., Wall, R.W., Kincaid, D.C. and Westermann, D.T. (2005.) Field testing of a variable rate sprinkler and control system for site-specific water and nutrient application. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(5): 847-853.
57. Al-Karadsheh, E., Sourell, H. and Krause, R. (2002.) Precision Irrigation: New strategy irrigation water management. Deutscher Tropentag 2002, Conference on International Agricultural Research for Development, Witzenhausen, Germany.
58. <http://ridingthebuses.com/wp-content/uploads/2012/03/Subak-system.jpg>
(17.08.2019.)
59. <http://www.nzdl.org/gsdllmod?e=d-00000-00---off-0envl--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&c=envl&cl=CL1.3&d=HASH01d3de6fe890e99cf2eed029.6.8.2>
(17.08.2019.)
60. <http://www.soilmanagementindia.com/soil-water/how-to-measure-soil-moisture-soil-water-relationship-soil-science/4514> (24.10.2019.)
61. <https://farmscan.com.au/pages/spray-rate-controller> (24.10.2019.)
62. <https://precisionagricultu.re/ndvi-and-satellite-crop-monitoring/> (10.12.2019.)

63. <https://totaleden.com.au/centre-pivots-linear-irrigation/> (17.08.2019.)
 64. <https://www.e-test.eu/field-tdr-probe.html> (10.12.2019.)
 65. <https://www.flickr.com/photos/landlearnsw/4076514556> (24.10.2019.)
 66. <https://www.georeva.eu/en/produit/em38-mk2/> (10.12.2019.)
 67. <https://www.irritec.com/sprinkler-irrigation/> (17.08.2019.)
 68. <https://www.mississippi-crops.com/2017/05/19/when-is-the-right-time-to-start-irrigating-your-corn/> (17.08.2019.)
 69. <https://www.pakissan.com/2019/03/02/2019-iot-architecture-for-agriculture/>
(17.08.2019.)
 70. <https://www.pinterest.com/johannsnr/farming/> (10.12.2019.)
 71. <https://www.pkb.rs/navodnjavanje.htm> (17.08.2019.)
 72. <https://www.workswell-thermal-camera.com> (10.12.2019.)
- <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/navodnjavanje-u-hrvatskoj/8465/>
(20.12.2019.)

10. SAŽETAK

Uvođenjem preciznih poljoprivrednih proizvoda u sljedeću proizvodnju je povećana učinkovitost biljne proizvodnje koja smanjuje trošak proizvodnje. Precizno navodnjavanje može se smatrati sponzorima mjernih instrumenata, računalnih programa i sustava za navodnjavanje. Cilj preciznog navodnjavanja smanjio je utrošak vode i povećao prinose, a samim time povećao i ekonomski profit. Razvijanje novih tehnologija snimanja i praćenja usjeva omogućeno je prikupljanjem i analizom podataka stanja usjeva. Cilj diplomskog rada je detaljno opisao stanje i mogućnosti preciznog navodnjavanja u praksi i u GIS okruženju na području EU i RH. Da bismo prikazali prikaz i predvidjeli uloge trenutnih tehnologija, prvobitno navodnjavanje u precizno navodnjavanje, kao i prilagodljivo upravljanje istim (automatizacijom) te zahtjevima za senzorskim i pomoćnim odlučivanjem.

11. SUMMARY

The introduction of precision agricultural products into the next production has increased the efficiency of plant production which reduces the cost of production. Precision irrigation can be considered as a sponsor of measuring instruments, computer programs and irrigation systems. The goal of precision irrigation has reduced water consumption and increased yields, and thus increased economic profits. The development of new crop imaging and monitoring technologies has been made possible by the collection and analysis of crop condition data. The aim of the thesis is to describe in detail the state and possibilities of precision irrigation in practice and in GIS environment in the EU and Croatia. To give an overview and anticipate the roles of current technologies, the original irrigation in precision irrigation, as well as the adaptive management of the same (automation) and requirements for sensory and auxiliary decision making.

12. POPIS TABLICA

Tablica 1. Tablica vrijednosti za senzor vlage.....	49
---	----

13. POPIS SLIKA

Slika 1. Integracija i atribucija te vizualizacija podataka u geoprostoru	4
Slika 2. Shema ZIS – LIS	6
Slika 3. Shematski prikaz precizne poljoprivrede	10
Slika 4. Primjer navodnjavanja u brazdama	13
Slika 5. Primjer navodnjavanja potapanjem sustavom kasete	14
Slika 6. Primjer navodnjavanja potapanjem sustavom lokvi.....	15
Slika 7. Navodnjavanje prelijevanjem.....	16
Slika 8. Podzemno navodnjavanje otvorenim kanalima.....	17
Slika 9. Navodnjavanje cijevnom drenažom	18
Slika 10. Primjer rasprskivača	19
Slika 11. Prenosivi sustav navodnjavanja.....	21
Slika 12. Polustabilni sustav navodnjavanja.....	22
Slika 13. Stabilni sustav navodnjavanja	22
Slika 14. Samohodno bočno krilo.....	23
Slika 15. Samohodni sektorski rasprskivač	24
Slika 16. Samohodni automatizirani uređaj za linijsko ili kružno navodnjavanje	25
Slika 17. Skica vlaženja tla.....	27
Slika 18. Skica lokaliziranog navodnjavanja "kap po kap"	28
Slika 19. Navodnjavanje mini rasprskivačima	29
Slika 20. Pivot sustav - kišno krilo	31
Slika 21. <i>Aquator</i> sustav	36
Slika 22. Rezultati <i>IrriPro</i> -a.....	38
Slika 23. Rezultati <i>IrriPro</i> -a.....	38
Slika 24. <i>FARMSCAN</i>	42
Slika 25. <i>FARMSCAN</i>	42
Slika 26. Elementi <i>FARMSCAN</i> -a	43
Slika 27. Shema neutronske sonde	44
Slika 28. Neutronska sonda	45
Slika 29. Mikro navodnjavanje.....	48
Slika 30. Dijagram automatskog navodnjavanja s solarnim panelima	50
Slika 31. Elektromagnetski spekta.....	52

Slika 32. Primjer NDVI snimke	53
Slika 33. Primjer karte navodnjavanja dobivene uporabom CERES modela.....	54
Slika 34. Infracrvena kamera za snimanje usjeva.....	55
Slika 35. EM38 senzor	56
Slika 36. Princip rada EM38	57
Slika 37. TDR senzor vlage	58
Slika 38. <i>WIRIS Agro</i> kamera	59
Slika 39. Беспilotna letjelica upravljana mobitelним uređajem	59
Slika 40. Prikaz vodnog stresa nakon snimanja u programu za obradu podataka.....	60
Slika 41. Ljestvica razine stresa usjeva	60

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Diplomski rad

Mogućnosti primjene tehnologije preciznog navodnjavanja u GIS okruženju

Milan Vujić

Sažetak:

Uvođenjem preciznih poljoprivrednih proizvoda u sljedeću proizvodnju je povećana učinkovitost biljne proizvodnje koja smanjuje trošak proizvodnje. Precizno navodnjavanje može se smatrati sponzorima mjernih instrumenata, računalnih programa i sustava za navodnjavanje. Cilj preciznog navodnjavanja smanjio je utrošak vode i povećao prinose, a samim time povećao i ekonomski profit. Razvijanje novih tehnologija snimanja i praćenja usjeva omogućeno je prikupljanjem i analizom podataka stanja usjeva. Cilj diplomskog rada je detaljno opisao stanje i mogućnosti preciznog navodnjavanja u praksi i u GIS okruženju na području EU i RH. Da bismo prikazali prikaz i predvidjeli uloge trenutnih tehnologija, prvobitno navodnjavanje u precizno navodnjavanje, kao i prilagodljivo upravljanje istim (automatizacijom) te zahtjevima za senzorskim i pomoćnim odlučivanjem.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv. dr. sc. Ivan Plaščak

Broj stranica: 73

Broj slika: 41

Broj tablica: 1

Broj literaturnih navoda: 72

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: precizna poljoprivreda, precizno navodnjavanje, GIS, sateliti, senzori, softveri, hardveri

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo:

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek****Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek****University Graduate Studies, course Mehanization****Graduate thesis**

Review of precision irrigation technologies and their application in GIS environment

Milan Vujić

Abstract:

The introduction of precision agricultural products into the next production has increased the efficiency of plant production which reduces the cost of production. Precision irrigation can be considered as a sponsor of measuring instruments, computer programs and irrigation systems. The goal of precision irrigation has reduced water consumption and increased yields, and thus increased economic profits. The development of new crop imaging and monitoring technologies has been made possible by the collection and analysis of crop condition data. The aim of the thesis is to describe in detail the state and possibilities of precision irrigation in practice and in GIS environment in the EU and Croatia. To give an overview and anticipate the roles of current technologies, the original irrigation in precision irrigation, as well as the adaptive management of the same (automation) and requirements for sensory and auxiliary decision making.

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak**Number of pages:** 73**Number of figures:** 41**Number of tables:** 1**Number of references:** 72**Number of appendices:** 0**Original in:** Croatian**Key words:** precision agriculture, precision irrigation, GIS, satellites, sensors, software, hardware**Thesis defended on date:****Reviewers:**

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, president
2. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. Ing. geod. et geoinf., member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.