

# **Agrometeorološko modeliranje – abiotički stres i produktivnost biljaka**

**Pomoćni udžbenik za studente PFNS**

## **Autori:**

<b>PFNS</b>	<b>BOKU</b>	<b>UNIFI</b>
Branislava Lalić	Philipp Weihs	Anna Dalla Marta
Ana Firanj Sremac	Josef Eitzinger	Leonardo Verdi
Ivana Maksimović	Gerhard Kubu	
Marina Putnik-Delić	Vojko Daneu	
Branko Ćupina		
Svetlana Vujić		
Ljiljana Dekić		



## SADRŽAJ

<b>Deo 1 – Sunčev zračenje, agroklimatski indeksi i modeli, agrometeorološka merenja, vremenske prognoze .....</b>	<b>7</b>
1.1. Sunčev zračenje: interakcija sa vegetacijom .....	7
1.2. Agroklimatski indeksi i modeli.....	24
1.3. Agrometeorološka merenja .....	39
1.4. Vremenske prognoze.....	59
<b>Deo 2 – Agrometeorološko modeliranje, Emisija gasova staklene bašte, Austrijski sistem za monitoring suše, efekti abiotičkog stresa na produktivnost biljaka (suša, zaslanjenost, teški metali) .....</b>	<b>69</b>
2.1. Agrometeorološko modeliranje, AquaCrop model .....	69
2.2. Emisija gasova staklene bašte iz zemljišta .....	87
2.3. Austrijski sistem za praćenje suše u poljoprivredi (AgroDroughtAustria – ADA).....	99
2.4. Tolerantnost prema suši – primer šećerne repe .....	108
2.5. Uticaj sonog i osmotskog stresa na gajene biljke i mehanizmi njihovog prilagođavanja .....	117
2.6. Stres teških metala i fitoremedijacija .....	128
<b>Deo 3 – Agrotehničke mere u uslovima izmenjene klime (primer za krmno bilje).....</b>	<b>137</b>
3.1. Uloga međuuseva u povećanju održivosti poljoprivrednih sistema .....	137
3.2. Združena setva zasnovana na korišćenju leguminoza .	149
<b>Deo 4 – Dodatak - Pregled baza podataka korisnih za poljopri- vrednu proizvodnju .....</b>	<b>162</b>
<b>Deo 5 – Literatura .....</b>	<b>177</b>



## PREDGOVOR

Pomoćni udžbenik "Agrometeorološko modeliranje – abiotički stres i produktivnost biljaka" zajednički su pripremili učesnici projekta "H2020-TWINN-2015-Serbia for Excell". Udžbenik je zasnovan na materijalima pripremljenim tokom različitih aktivnosti na projektu (2016-2018), kao što su ekspertske treninze, naučne posete i predavanja koja su učesnici držali na kao gostujući predavači. Namena ovog pomoćnog udžbenika je da se koristi kao deo literature na sledećim predmetima koji se predaju na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu:

**Osnovne studije:**

Meteorologija, Modeliranje biljne proizvodnje, Fiziologija biljaka, Ekotoksikologija i zaštita životne sredine, Krmno biljke u organskoj poljoprivredi, Gajenje žitarica i zrnenih mahunarki, Gajenje industrijskog bilja i Organska proizvodnja ratarskih biljaka

**Master studije:**

Bioremedijacija, Uloga pokrovnih useva u organskoj proizvodnji

Delovi ovog pomoćnog udžbenika su već korišćeni u nastavi tokom letnjeg semstra 2016/2017 i 2017/2018 u okviru predmeta Ekotoksikologija i zaštita životne sredine, na predavanjima i vežbama. Ostali delovi udžbenika će se koristiti počevši od 2018/2019 godine.

Ceo tekst udžbenika je objavljen na srpskom i engleskom jeziku.



## Deo 1 – Sunčev zračenje, agroklimatski indeksi i modeli, agrometeorološka merenja, vremenske prognoze

- 1.1. Sunčev zračenje: interakcija sa vegetacijom
- 1.2. Agroklimatski indeksi i modeli
- 1.3. Agrometeorološka merenja
- 1.4. Vremenske prognoze

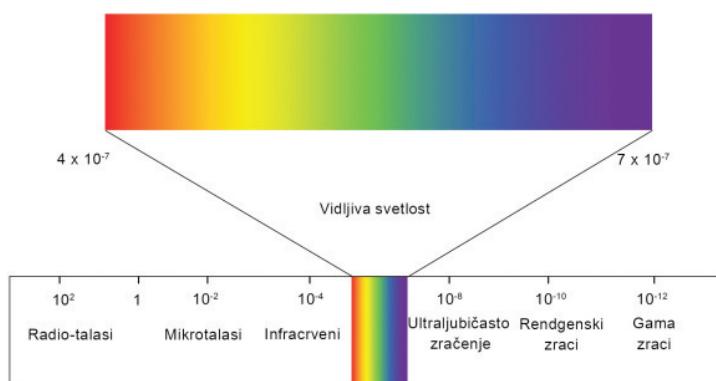
### 1.1. Sunčev zračenje: interakcija sa vegetacijom

#### 1.1.1. Fizičke osnove

Sunčevim zračenjem obično nazivamo elektromagnetno zračenje koje do Zemlje stiže od Sunca. Različiti fenomeni koje izaziva elektromagnetno zračenje mogu se objasniti samo ako se u obzir uzme i čestična (korpuskularna) i talasna (elektromagnetna) priroda ovog zračenja, tzv. dualna priroda elektromagnetnih talasa. Kod objašnjenja fotoelektričnog efekta izražena je čestična priroda elektromagnetnog zračenja, dok je kod objašnjenja optičkih pojava, kao što su disperzija i polarizacija, izražena talasna priroda elektromagnetskog zračenja. Na osnovu talasne teorije elektromagnetni talasi se mogu predstaviti kao ansambl talasa koji putuju kroz vakum brzinom svetlosti, dok se na osnovu kvantne teorije svakom talasu može pridružiti čestica (kvant datog polja, u slučaju elektromagnetskog polja ovaj kvant se naziva foton). Svaki foton ima sopstvenu energiju  $e_l$  koja zavisi od talasne dužine elektromagnetnog zračenja prema sledećoj jednakosti:

$$e_l = hn = h c / \lambda \quad (1.1)$$

gde je  $h$  Plankova konstanta (Planck) ( $6,626 \cdot 10^{-34}$  J s),  $n$  je frekvencija (Hz),  $c$  je brzina prostiranja svetlosti ( $3 \cdot 10^8$  m s $^{-1}$ ), a  $\lambda$  je talasna dužina (m). Prema jednakosti (1.1), energija fotona raste kada se talasna dužina smanjuje i obrnuto.



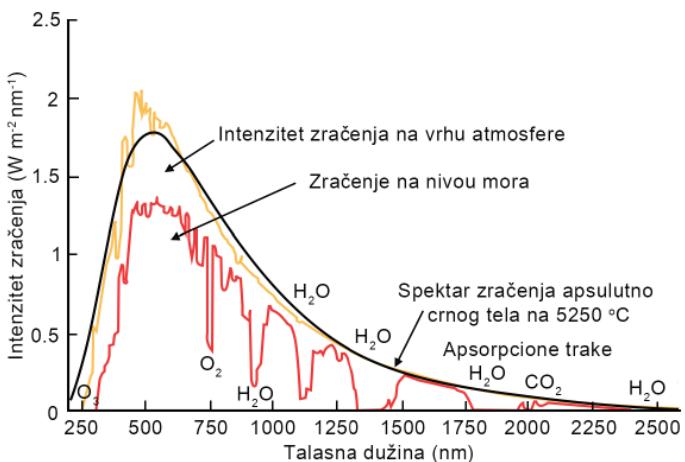
Slika 1.1. Spektar elektromagnetskog zračenja

Skup svih elektromagnetskih talasa različitih talasnih dužina čini spektar elektromagnetskog zračenja (Slika 1.1). Opseg talasne dužine elektromagnetskog zračenja od interesa za meteorologiju varira od ultraljubičastog (UV) talasnog opsega (počevši od oko  $0,2 \mu\text{m}$ ) do infracrvenih zraka (IR) opsega talasnih dužina koje se završavaju na  $100 \mu\text{m}$ . Ovaj opseg talasnih dužina podeljen je u dva dela: (1) kratkotalasno zračenje (talasne dužine od  $0,3$  do  $3 \mu\text{m}$ ) i (2) dugotalasno zračenje (talasne dužine između  $3$  i  $100 \mu\text{m}$ ). Deo spektra u rasponu talasnih dužina od  $0,1$  do  $0,4 \mu\text{m}$  predstavlja UV zračenje i podeljen je na opseg talasnih dužina od  $0,1$  do  $0,28 \mu\text{m}$  (UV-C), opseg talasnih dužina između  $0,28 \mu\text{m}$  i  $0,32 \mu\text{m}$  (UV-B) i opseg između  $0,32$  i  $0,4 \mu\text{m}$  (UV-A). Sunčev UV-C zračenje potpuno apsorbuju molekuli kiseonika ( $\text{O}_2$ ) i ozona ( $\text{O}_3$ ) u atmosferi i ono ne dospeva na tlo. UV-B je, u poređenju sa UV-A zračenjem, štetnije zbog manje talasne dužine i veće energije fotona. Vidljivo zračenje odnosi se na talasne dužine između  $0,4$  i  $0,8 \mu\text{m}$  ( $400$  i  $800 \text{ nm}$ ).

Fotoni u rasponima kratkih talasnih dužina (npr. UV) poseduju veću energiju i stoga imaju veću biološku efikasnost. UV zračenje je, između ostalog, poznato po svom štetnom uticaju na biosferu (biljke, ljudi i životinje). Kod ljudi, UV zračenje dovodi do akutnih negativnih posledica na zdravlje, poput opekotina od sunčanja, ali takođe može dovesti i do dugoročnih posledica kao što je rak kože, što je rezultat visokog stepena izlaganja UV zračenju tokom celog života. Ukupna energija elektromagnetskih talasa ( $E$ ) određuje se izračunavanjem integrala u datom opsegu talasnih dužina energije fotona pomnožene sa brojem fotona pomoću sledeće jednačine:

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e \lambda n_\lambda d\lambda \quad (1.2)$$

gde je  $n_\lambda$  broj fotona na talasnoj dužini  $\lambda$ , a  $e_\lambda$  predstavlja energiju fotona sa talasnom dužinom  $\lambda$ .



Slika 1.2. Spektar Sunčevog zračenja za uslove bez oblaka na vrhu atmosfere (plava linija) i na tlu (crvena linija). Smanjenje Sunčevog zračenja između vrha atmosfere i tla uzrokovano je rasejanjem, apsorpcijom i rasipanjem od strane atmosferskih gasova i aerosola. Spektar je nacrtan pomoću softverskog paketa LIBRADTRAN ([www.libradtran.org](http://www.libradtran.org)) (Mayer i Kylling, 2005)

S obzirom na to da je broj fotona u opsegu UV talasnih dužina manji, ukupna energija Sunčevog zračenja će biti veća kod većih opsega talasnih dužina. Slika 2. prikazuje spektar Sunčevog zračenja na vrhu atmosfere i pri tlu, kao i spektar zračenja apsolutno crnog tela na temperaturi od 6000 K.

### 1.1.2. Uticaj UV i vidljivog zračenja na biljke – fiziološki efekti

#### *Fiziološki efekti UV zračenja*

Uticaj UV zračenja na žive organizme je veoma značajan. Iz tog razloga definiše se spektar za svaku vrstu biološkog dejstva. Za čoveka je najvažniji eritemski spektar biološkog dejstva. Aktivni biološki spektar dobija se množenjem funkcija biološkog dejstva sa funkcijom spektralne raspodele zračenja kojem je organizam izložen. Ovaj spektar se naziva otežanim spektrom jer uzima u obzir ne samo spektar zračenja iz određenog izvora nego i biološko dejstvo na organizam (Slika 1.3). Integracijom biološki aktivnog spektra po talasnim dužinama dobija se njegov ukupni fluks koji je proporcionalan površini ispod krive i izražava se u jedinicama  $\text{W m}^{-2}$ . Ovaj način prezentacije biološki aktivnog UV zračenja nije pogodan za široku upotrebu, pa je kao merna jedinica za fluks, odnosno intenzitet UV zračenja, izabran UV indeks. UV indeks se definiše kao fluks zračenja od  $25 \text{ mW m}^{-2}$  otežan u odnosu na biološki aktivan spektar. Prema tome, vrednosti od 1 UV indeksa odgovara vrednost od  $25 \text{ mW m}^{-2}$  (Mijatović et al., 2002).

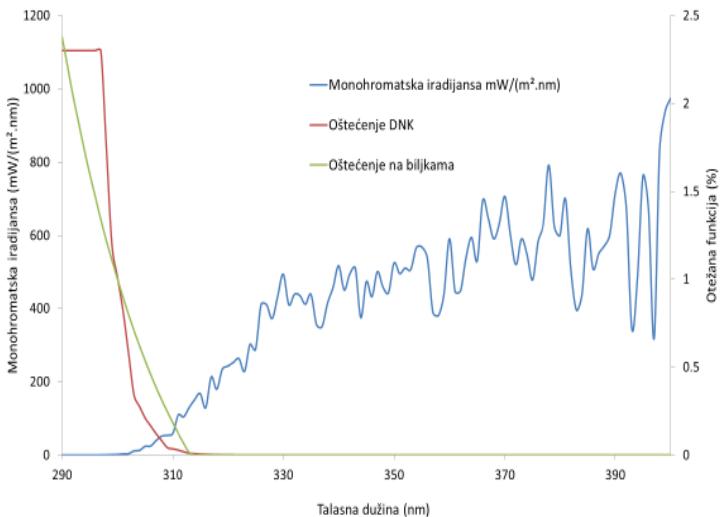
Kao što je već pomenuto, kratkotalasno zračenje (npr. UV zračenje) raspolaže većim energijama i ima veću biološku efikasnost. Slika 1.3 prikazuje oštećenja biljaka i oštećenja DNK u funkciji talasne dužine, predstavljene preko otežane krive (kalibracione krive). Prikazana kriva ukazuje na značajan porast oštećenja sa smanjenjem talasnih dužina.

Efekti UV-B zračenja na različite fiziološke procese biljka se mogu podeliti u četiri različite vrste (Prasad et al., 2003):

1) Oštećenja na biljci – ova oštećenja se sastoje od oštećenja DNK, razaranje proteina u bilnjom tkivu i razaranja masnih kiselina. Štetni efekti UV-B zračenja na biljke uključuju uništavanje ćelijskih membrana i svih organela unutar ćelije, uključujući mitohondrije, hloroplaste i jedarnu.

2) Oštećenja ćelijskih organела, s druge strane, utiču na metaboličke procese biljke kao što su fotosinteza, disanje, rast i reprodukcija i eventualno utiču na prinos i kvalitet useva. UV-B zračenje dovodi do velikih morfoloških promena na biljkama. Na listovima koji su izloženi pojačanom UV-B zračenju najpre se razvijaju nepravilne hlorotične lezije. Uz nastavljeno izlaganje UV-B zračenju, hlorotične lezije se pretvaraju u smeđe nekrotične tačke pre nego što kasnije listovi uvenu.

Slika 1.3. Monohromatska iradijansa u poređenju sa oštećenjem na biljkama i oštećenjem DNK u funkciji talasne dužine predstavljena preko otežane funkcije. Simulacije su obavljene pomoću Fast RT onlajn uređaja (<https://fastrt.nilu.no/>) (Engelsen i Kylling, 2005)



Ostali efekti UV-B zračenja su: smanjenje visine biljke, smanjenje veličine pojedinačnog lista, smanjenje dužine grana i smanjenje broja bokorenja. Ove morfološke promene takođe dovode i do smanjenja gustine krošnje. Krošnja manje gustine zadržava manje UV-B zračenja nego biljka koja se uzgaja pod povoljnim uslovima.

3) Smanjenjena sposobnost reprodukcije. Generalno, reproduktivni organi većine biljaka su veoma dobro zaštićeni. Čašićni listići, latici i zidovi ovarijuma štite reproduktivne organe od UV-B zračenja. Stoga je polen «u opasnosti» kada pada na stigmu. Iz tog razloga su brzina rasta polenove cevi i klijanje polena pod uticajem UV-B zračenja što može dovesti do smanjenja rasta polenove cevi za 10–25%. Pogođen je, takođe, i proces fertilizacije kod osjetljivih biljaka, što dovodi do smanjenja broja semenki u ovim biljkama. Međutim, zidovi dela karpela koji nosi stigmu i ovarijum mogu pružiti izvesnu zaštitu kad polenova cev prodre u stigmu.

4) Mehanizmi zaštite od UV-B zračenja. Tokom procesa evolucije biljke su razvile mehanizme oporavka i odbrane kojima se ograničavaju oštećenja ćelije zbog delovanja UV-B zračenja, a povećava se tolerancija na Sunčevo UV zračenje. Postoji nekoliko mehanizama oporavka i odbrane od UV zračenja koji menjaju optičke karakteristike listova ili drugih delova biljaka, ili koji deluju na biohemisko-molekularnom nivou. Ćelijski organizmi obično poseduju enzime za oporavak koji mogu prepoznati hemijski modifikovane baze, uključujući i one koje su nastale UV zračenjem. Pored toga, postoji različiti biohemiski mehanizmi za obnavljanje integriteta genetičkog materijala nakon oštećenja DNK, čime se održava njegova stabilnost.

Prvi tip odbrambenog mehanizma zasnovan je na boljem prilagođavanju strukture, fiziologije i sastava epidermalnog sloja kako bi se umanjila prolaznost UV-B zraka i konačno bolje zaštitele

ćelije. Zaštitne strukture imaju kapacitet da umanjuju oštećenje od zračenja tako što ga reflektuju, apsorbuju i rasipaju. Među ostalim mehanizmima, dlačice i voštani sloj imaju značajnu ulogu. UV-B zračenje dovodi do oksidativnog stresa, sličnog onome koji se zapaža kod abiotičkog i biotičkog stresa. Kao rezultat toga, biljke povećavaju sintezu nekih jedinjenja kao što su flavonoidi i antioksidativni enzimi, koji pružaju odbranu od UV-B zračenja. Flavonoidi, koji se proizvode i uglavnom deponuju u dlačicama lista i epidermalnim i mezofilnim slojevima, vrlo su efikasni u ublažavanju efekata UV-B zračenja. Prema tome, flavonoidi mogu smanjiti oštećenja osetljivih ćelijskih organa (npr. DNK, hloroplasta i mitohondrija). Druga jedinjenja koja mogu imati zaštitnu ulogu od efekata UV zračenja su karotenoidi i antocianini koji mogu zaštитiti zrna polena, posebno u cvetovima. Oni nemaju direktni uticaj na fotosintezu i druge fiziološke procese, jer umanjuju dolazni nivo zračenja samo u spektralnom opsegu UV-B zraka, a ne u opsegu fotosintetički aktivnog zračenja.

Smanjenje količine pigmenata hloroplasta i fotosinteze obično rezultira smanjenjem biomase i prinosa biljaka. Na nekim genotipovima različitih vrsta useva vidi se deblji sloj voska na listovima, gubitak hlorofila i porast prisustva fenolnih supstanci (koji omogućavaju bolju UV-B zaštitu), što na kraju dovodi do promena u biomasi i prinosu. Međutim, efekti UV-B zračenja na prinos se veoma razlikuju u zavisnosti od vrste useva. U svakom slučaju, većina studija pokazuje da povećanje UV-B zračenja dovodi do smanjenja prinosu (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Odabrani rezultati koji kvantifikuju uticaj povećanog UV zračenja na prinos useva (Kakan et al. 2003)

Vrsta useva	Simulacija smanjenja O <sub>3</sub> (%)	Eksperimentalno stanje	Uočene promene prinosa (%)
Ječam	-	Na otvorenom	-17 to -31
Crni mungo pasulj	-15	Na otvorenom	-63
Kukuruz	-20	Na otvorenom	-22 to -33
Mungo pasulj	-15	Na otvorenom	-76
Soja	-16	Na otvorenom, staklena bašta	-41
Pšenica	-12, -20, -25 15	Na otvorenom	-43 15

Neke vrste biljaka poput prosa, stočnog graška i duvana gotovo da i ne pokazuju smanjenje prinosu. Druge vrste (npr. grašak, ječam, slačica, crni pasulj, mungo pasulj i pšenica) pokazuju značajno smanjenje (Tabela 1.2). Ovaj gubitak prinosu sastoji se od smanjenog broja zrna zbog propusta u đubrenju, razaranja struktura ploda i smanjene veličine ploda zbog smanjenog snabdevanja ploda asimi-

Tabela 1.2. Osetljivost odabranih useva na povećane nivoje UV-B zračenja. Rezultati eksperimenata izvedenih u kontrolisanim sredinama (Prasad et al., 2003)

Osetljivi	Umereno osetljivi	Relativno tolerantni
Ječam ( <i>Hordeum vulgare</i> )	Običan pasulj ( <i>Phaseolus spp.</i> )	Kukuruz ( <i>Zea mays</i> )
Mrkva ( <i>Daucus carota</i> )	Zelena salata ( <i>Lactuca sativa</i> )	Pamuk ( <i>Gossypium hirsutum</i> )
Krastavac ( <i>Cucurnis sativus</i> )	Kikiriki ( <i>Arachis hypogaea</i> )	Kravlji grašak ( <i>Vigna unguiculata</i> )
Slačica ( <i>Brassica spp.</i> )	Biber ( <i>Piper nigrum</i> )	Detelina ( <i>Trifolium spp.</i> )
Ovas ( <i>Avena sativa</i> )	Petunija ( <i>Petunia spp.</i> )	Proso ( <i>Setaria italica</i> )
Grašak ( <i>Pisum sativum</i> )	Krompir ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Rotkvica ( <i>Raphanus sativus</i> )
Soja ( <i>Glycine max</i> )	Pirinač ( <i>Oryza sativa</i> )	Suncokret ( <i>Helianthus annuus</i> )
Slatki kukuruz ( <i>Zea mays var. saccharata</i> )	Raž ( <i>Secale cereale</i> )	Duvan ( <i>Nicotiana tabacum</i> )
Paradajz ( <i>Lycopersicon spp.</i> )	Sorgum ( <i>Sorghum vulgare</i> )	Pšenica ( <i>Triticum aestivum</i> )

latima. UV-B, takođe, utiče na kvalitet prinosa. Na primer, kod soje koja je izložena pojačanom UV-B zračenju smanjen je sadržaj proteina i količina ulja u semenu.

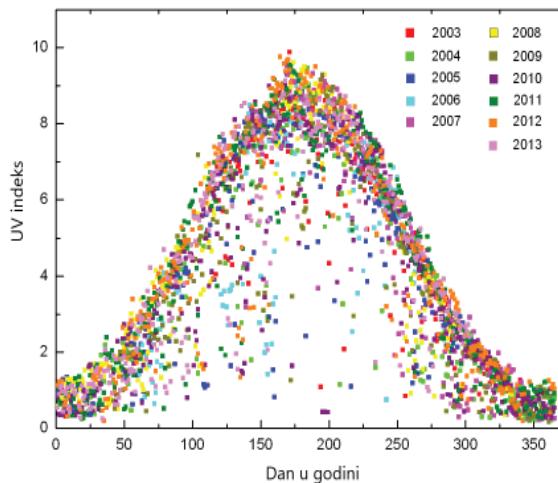
#### Faktori koji utiču na intenzitet UV zračenja

Dnevne i godišnje varijacije intenziteta ultraljubičastog zračenja prikazane su na Slikama 1.4a i b. Na slikama je intenzitet UV zračenja predstavljen preko UV indeksa. Intenzitet UV zračenja na tlu, a samim tim i njegova varijacija tokom godine i dana zavisi od 5 faktora.

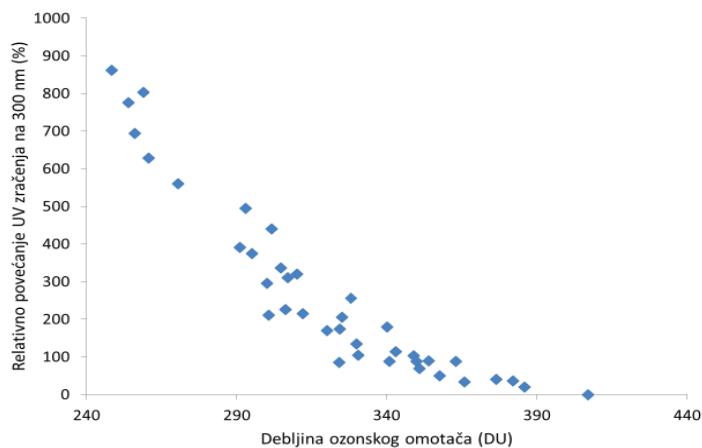
- Visina Sunca je ugao između horizonta i pravca u kojem se vidi Sunce. Njemu komplementarni ugao naziva se solarni zenitni ugao i određuje se u odnosu na normalu na Zemljinu površinu. Visina Sunca zavisi od geografske širine i doba godine. Najveće vrednosti visine Sunca javljaju se tokom letnjih meseci oko podneva, pa je tada i najveći intenzitet UV zračenja.
- Oblačnost. Oblaci reflektuju i apsorbuju UV zračenje i tako dovode do njegovog smanjenja. Od vrste, debljine i količine oblaka kojima je nebo prekriveno zavisi uticaj oblačnosti na UV zračenje. Visoki paperasti oblaci slabo utiču na smanjenje UV zračenja, ali oblaci sa velikim vertikalnim razvojem poput kumulusa mogu skoro u potpunosti da blokiraju UV zračenje.
- Debljina ozonskog omotača. UV zračenje u najvećoj meri apsorbuje stratosferski ozon koji se nalazi na visini od 15 do 30 km i tako direktno utiče na smanjenje intenziteta UV zračenja na tlu (Slika 1.5). UV-C zračenje je u potpunosti apsorbovano od strane ozona. Kao jedinica mere debljine ozonskog omotača koristi se

Dobsonova jedinica DU (Dobson Unit). DU predstavlja debljinu ozonskog omotača kompresovanog na 1013 Pa pri temperaturi od 0 °C, tako da 100 DU predstavlja debljinu od 1 mm omotača. Kako je prosečna debljina ozona 300 DU dolazimo do zaključka da Zemlju od štetnog UV-C zračenja štiti svega 3 mm ozonskog sloja (Mijatovic et al., 2002).

- d) Koncentracija aerosola u atmosferi. Aerosoli su male, tečne ili čvrste čestice u atmosferi. Izvori aerosola mogu biti prirodni ili antropogeni. Što je koncentracija aerosola veća, veća je i redukcija UV zračenja. Međutim, aerosoli, u poređenju sa oblačnošću i ozonom, mnogo manje utiču na intenzitet UV zračenja. Pod uticajem aerosola intenzitet UV zračenja, u ekstremnim slučajevima, može da se smanji i do 50%.
- e) Refleksija tla (albedo). Prolaskom kod atmosferu jedan deo upadnog UV zračenja biva apsorbovan i rasejan. Pored toga, zračenje biva i reflektovano od strane podloge što dovodi do



**Slika 1.4.** Godišnje varijacije dnevne vrednosti UV indeksa za Novi Sad, Srbija (Mijatovic et al. 2014)



**Slika 1.5.** Relativno povećanje UV zračenja na 300 nm kao funkcija debljine ozonskog omotača. Relativno povećanje UV zračenja se odnosi na UV zračenje pri 420 DU (Merenje je obavio tim istraživača BOKU u opservatoriji Sonnblick).

povećanja intenziteta UV zračenja koje prime objekti iznad tla. Refleksija tla (albedo) zavisi od vrste tla, tako da pesak reflektuje oko 30%, a sneg čak 80% upadnog UV zračenja. Takođe, zračenje koje reflektuje tlo, atmosfera može ponovo rasejati, reflektovati ili emitovati natrag na tlo.

#### 1.1.2.2. Fiziološki efekti uticaja vidljivog zračenja na biljke

Tokom procesa fotosinteze, energiju sunčevog zračenja biljke i drugi organizmi pretvaraju u hemijsku energiju koja se kasnije može oslobođiti kako bi se odvijale aktivnosti organizma (energetska transformacija). Ova hemijska energija se čuva u biljci. U većini slučajeva, kiseonik se takođe emisuje kao sporedni proizvod. Fotosinteza je bitan fiziološki proces za većinu biljaka, algi i cijanobakterija, a proizvodnja kiseonika u Zemljinoj atmosferi je direktno povezana s njom. Ovaj fiziološki proces obezbeđuje organska jedinjenja, kao i većinu energije potrebne za život na Zemlji.

Fotosinteza uvek počinje kada energiju iz vidljivog spektra Sunčevog zračenja apsorbuju proteini koji sadrže hlorofil. U biljkama se ovi proteini nalaze u organelama koje se nazivaju hloroplasti i najbrojniji su u ćelijama listova, dok se u bakterijama nalaze unutar plazma membrane. U ovim reakcijama proizvodi se kiseonik u molekularnom stanju. Elektromagnetno zračenje koje se koristi u procesu fotosinteze naziva se fotosintetski aktivno zračenje (FAZ) (eng. *Photosynthetic Active Radiation*). FAZ se odnosi na interval zračenja talasnih dužina od 0,4 do 0,7 μm. Fotoni sa manjim talasnim dužinama imaju tendenciju da budu toliko energetski aktivni da mogu oštetiti ćelije i tkiva. Međutim, njih uglavnom apsorbuje ozonski sloj u stratosferi. Fotoni na većim talasnim dužinama nemaju dovoljno energije da bi omogućili odvijanje procesa fotosinteze.

#### 1.1.3. Sunčev zračenje u krošnji

Usevi rastu i koriste usvojenu vodu i hranljive materije uz učešće, pored ostalog, apsorbovanog zračenja koje stiže od Sunca i iz atmosfere. Dnevne promene Sunčevog zračenja pokreću dnevne tokove fotosinteze i transpiracije, a vertikalni gradijent Sunčevog zračenja u krošnji je mera apsorpcije energije od strane krošnje na različitim visinama.

Prolazak Sunčevog zračenja kroz biljni sklop praćen je prilično složenim procesima. Ovom prilikom će biti navedeni samo procesi koji najviše utiču na promenu intenziteta zračenja unutar krošnje (Slika 1.6).

- 1) Refleksija od lišća i stabla.

- 2) Rasejanje na elementima biljnog sklopa ili kapljicama vode je naročito vidljivo kada male kapljice raseju direktno Sunčevu zračenje prema posmatraču.
- 3) Apsorpcija Sunčevog zračenja na listovima, stablu ili površini zemljišta dovodi do pretvaranja energije zračenja u toplotnu ili hemijsku energiju.
- 4) Transmisija Sunčevog zračenja opisuje iznos Sunčevog zračenja koji će stići do određene visine u krošnji. Razlikujemo transmisiju direktnog zračenja i transmisiju difuznog zračenja. Neujednačenost u distribuciji listova dovodi do nehomogene distribucije zračenja na tlu gde mogu da se uoče jako osvetljena područja sa maksimalnim intenzitetom Sunčevog zračenja i tamnije površine do kojih dolazi samo difuzno zračenje (Slika 1.6).



**Slika 1.6.** Različita distribucija intenziteta upadnog Sunčevog zračenja na tlu zbog efekata senke

#### 1.1.3.1. Metode ispitivanja prenosa zračenja unutar krošnje

Klasična metoda za ispitivanje Sunčevog zračenja u krošnji uključuje upotrebu kamere sa soćivom u obliku ribljeg oka (eng. *fisheye*) Slike 1.7–1.9 ili kraće “*fisheye*” kamerom. Fotografije sa ovakvim kamerama omogućavaju snimanje polusfere iznad kamere. Korišćenjem softvera koji digitalizuje fotografiju (npr. Software Hemiview <https://www.delta-t.co.uk/product/hemiview/>) moguće je odrediti ideo uvidljivog neba i izračunati indeks lisne površine (eng. *Leaf Area Index – LAI*). Slike 1.7–1.10. pokazuju različite fotografije snimljene pomoću “*fisheye*” kamere u toku i nakon opadanja lišća u botaničkoj baštvi BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija).



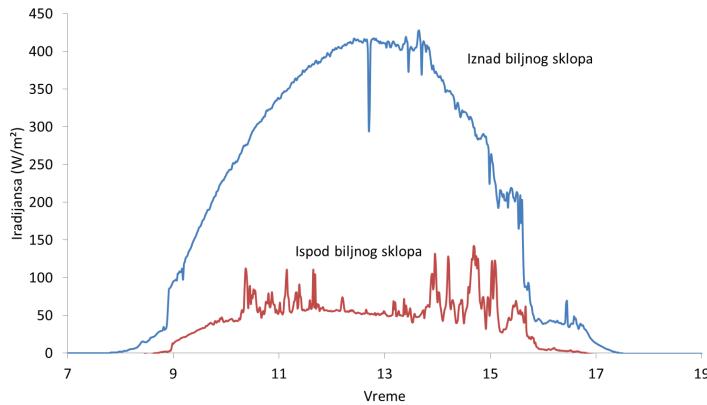
**Slika 1.7a.** Fotografije snimljene "fisheye" kamerom, 31. oktobra 2016. godine u botaničkoj bašti BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija)



**Slika 1.7b.** Digitalizacija fotografije snimljene "fisheye" kamerom za određivanje dela vidljivog neba na fotografiji. Vidljivo je 44% neba.



**Slika 1.8a.** Fotografija snimljena "fisheye" kamerom, 14. novembra 2016. godine u botaničkoj bašti BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija). Vidljivo je 47% neba.



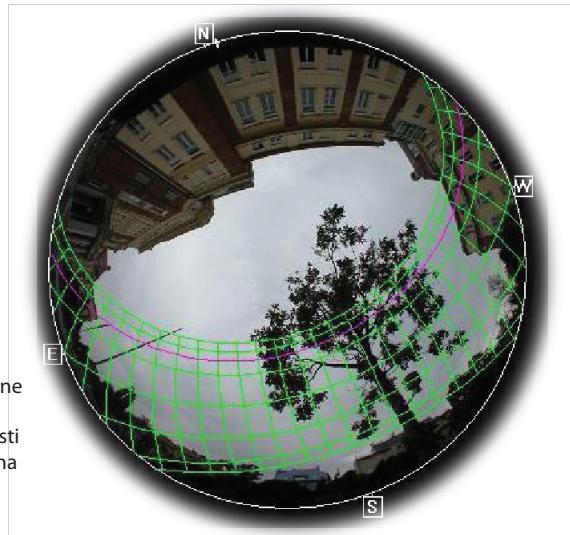
**Slika 1.8b.** Intenzitet Sunčevog zračenja iznad i ispod krošnje, merenje izvedeno 13. novembra 2016. godine



**Slika 1.9a.** Fotografija snimljena "fisheye" kamerom, 25. novembra 2016. godine u botaničkoj bašti BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija)



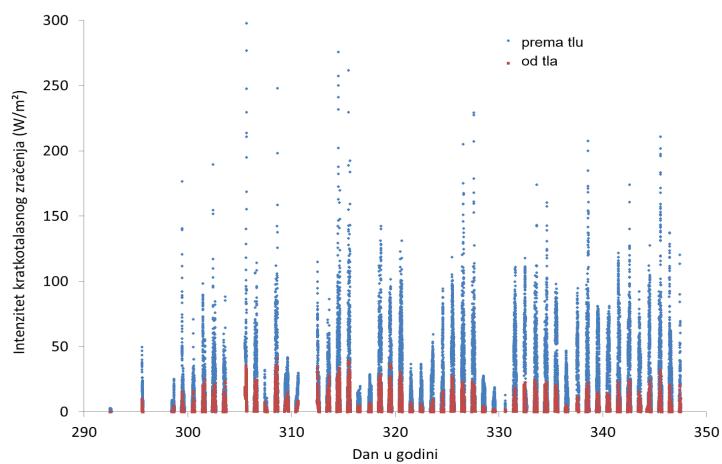
**Slika 1.9b.** Digitalizacija fotografije snimljene "fisheye" kamerom za određivanje dela vidljivog neba na fotografiji. Vidljivo je 49% neba.



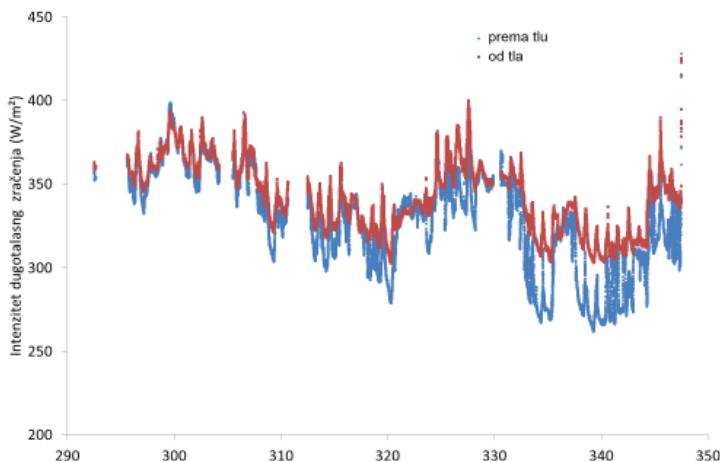
**Slika 1.10.** Analiza fotografije snimljene "fisheye" kamerom. Raslojavanje Sunčevih orbita na fotografijama koristi se za određivanje vremena u toku dana kada je senzor/posmatrač osenčen (Kerestes, 2016)



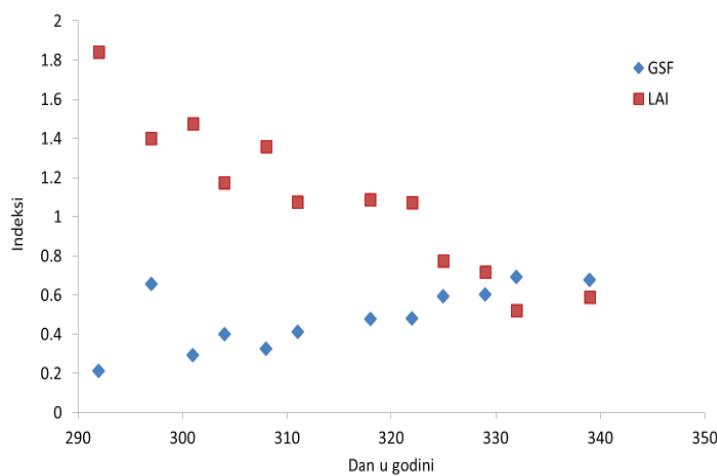
**Slika 1.11.** Instrumenti za merenje bilansa kratkotalsnog i dugotalsnog zračenja u krošnji



**Slika 1.12.** Upadno (plave tačke) i reflektovano (crvene tačke) kratkotalsno zračenje izmereno u botaničkoj baštiji BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija) tokom perioda merenja od 27. oktobra do 13. decembra 2016. godine



**Slika 1.13.** Upadno (plave tačke) i reflektovano+emitovano (crvene tačke) dugotalasno zračenje izmereno u botaničkoj bašti BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija) tokom perioda merenja od 27. oktobra do 13. decembra 2016. godine



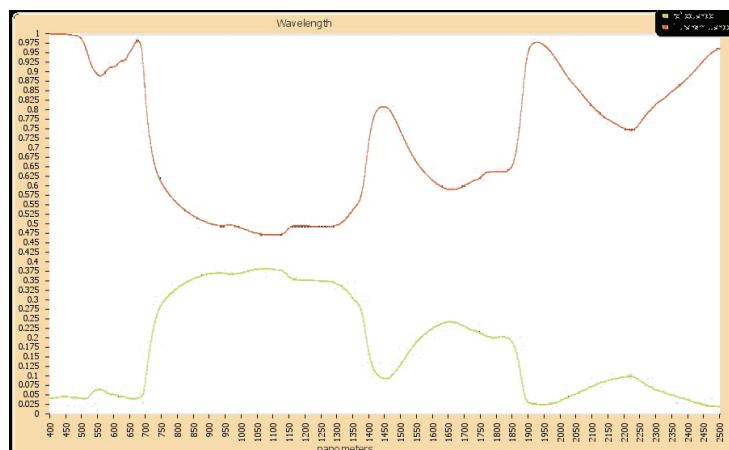
**Slika 1.14.** Promena LAI i GSF (eng. Global Site Factor) u botaničkoj bašti BOKU Univerziteta (Universität für Bodenkultur) u Beču (Austrija) tokom perioda merenja

Zračenje je mereno u periodu od 22. oktobra do 13. decembra 2016. godine korišćenjem četvorokomponentnog radiometra proizvođača Kipp i Zonen, koji je vršio merenja na visini od 1,5 m iznad tla dolznog kratkotalasnog i dugotalasnog zračenja i reflektovanog kratkotalasnog i emitovanog dugotalasnog zračenja (Slika 1.11). Četvorokomponentni radiometar obavlja zasebna merenja sa četiri različita senzora za kratkotalasno i dugotalasno zračenje usmereno ka tlu i od tla. Podaci o zračenju se automatski skladište pomoću data-logera. Izmerene vrednosti intenziteta zračenja tokom analiziranog perioda prikazane su na Slici 1.12. Intenzitet upadnog kratkotalasnog zračenja na dnu krošnje se smanjuje tokom godine zbog smanjenja visine (elevacije) Sunca. Crvena kriva pokazuje reflektovano zračenje koje je direktno u korelaciji sa dolaznim kratkotalasnim zračenjem. Slika 1.13. prikazuje intenzitet izmerenog upadnog i emitovanog dugotalasnog zračenja (LW). Na slici se takođe vidi da je trend izmerenog dugotalasnog zračenja tokom godine u skladu sa

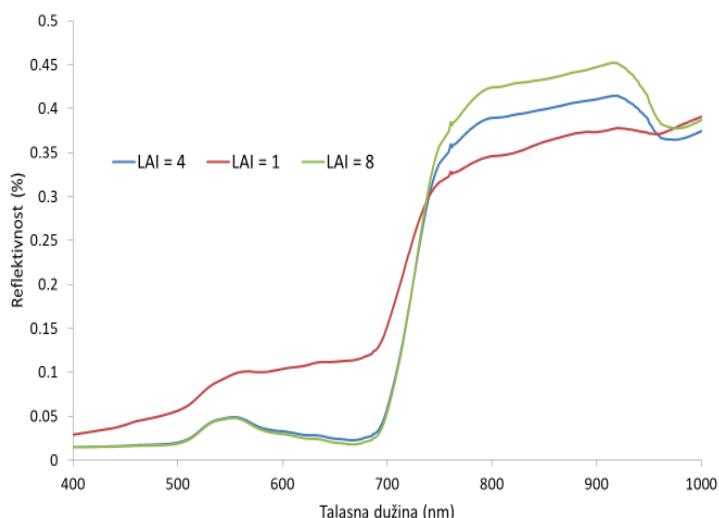
godišnjom varijacijom temperature vazduha i zemljišta, što je očekivani rezultat s obzirom da je emisija dugotalasnog zračenja atmosfere i tla proporcionalna sa temperaturom zemljišta i vazduha. Smanjenje dolaznog dugotalasnog zračenja u zimskom periodu je veće od povećanja odlaznog dugotalasnog zračenja zbog povećanja proporcije vidljivog neba u zimskom periodu. Takođe, atmosfera emituje manje dugotalasnog zračenja nego lišće i drveće koji imaju višu temperaturu od viših slojeva atmosfere.

Na Slici 1.14. prikazana je promena LAI (odnos površine lišća i površine tla ispod krošnje) i GSF faktora (GSF je odnos intenziteta zračenja ispod i iznad krošnje) tokom posmatranog vremenskog perioda. Kako se i očekivalo, LAI pokazuje smanjenje, a GSF povećanje tokom vremena zbog opadanja listova.

**Slika 1.15.** Spektralna transmitivnost (crvena kriva) i refleksivnost (zelena kriva) lista



**Slika 1.16.** Simulacija spektralne refleksije krošnje kao funkcija indeksa lisne površine (LAI)

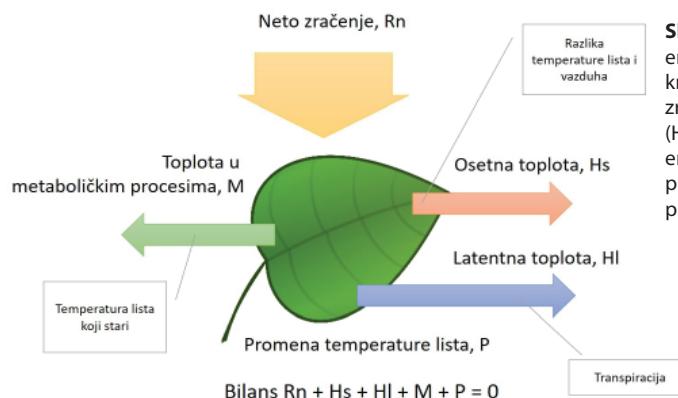


### 1.1.3.2. Model simulacije Sunčevog zračenja u krošnji

Zračenje u krošnji zavisi od njene strukture (LAI, visina krošnje, nagib listova, refleksija grana, vrsta stabala) i od refleksije pojedinačnih listova prikazane su na Slici 1.15. Refleksivnost i transmitivnost pojedinačnih listova prikazane su na Slici 1.15. Refleksivnost i transmitivnost pokazuju maksimum u infracrvenom spektru (IC) i bliskom IC delu spektra (eng. near IR, NIR) ( $0,7\text{--}1,2 \mu\text{m}$ ) sa refleksijom od oko 40% i transmitivnošću istog reda veličine. Drugi maksimum se može videti na  $0,55 \mu\text{m}$  (zeleno vidljivo zračenje). Preostala oblast na Slici 15. odnosi se na spektralnu apsorpciju dolaznog Sunčevog zračenja od strane lista. Simulacije su obavljene pomoću OPTICLEAF softvera dostupnog na internet-adresi [http://opticleaf.ipgp.fr/index.php?page=run\\_prospect](http://opticleaf.ipgp.fr/index.php?page=run_prospect) (Jacquemoud i Baret, 1990). Simulacije spektra zračenja u krošnji obavljene su korišćenjem softvera Fluoromodgui (Zarco-Tejada et al., 2006) koji uključuje refleksiju krošnje i listova (Slika 1.16). Dobijeni rezultati pokazuju da povećanje LAI dovodi do povećanja NIR zračenja u krošnji.

### 1.1.4. Dugotalasno zračenje u krošnji

Dugotalasno zračenje emitovano sa površine lista zavisi od temperature lista koja, opet, zavisi od energetskog bilansa lista (Slika 1.17). List apsorbuje kratkotalasno direktno i difuzno zračenje Sunca, kao i kratkotalasno zračenje reflektovano unutar biljnog sklopa. Jedan deo dolaznog kratkotalasnog zračenja prolazi kroz list, dok se drugi deo apsorbuje i pretvara u toplotnu ili hemijsku energiju. Dugotalasno zračenje koje emituju Zemlja, atmosfera i okolni objekti, takođe može biti apsorbovano na površini listova. Energetski fluksevi između lista i okolnog vazduha takođe uključuju latentnu i osetnu toplotu. Razmena osetne toplote se odvija kroz turbulentnu razmenu toplote i zavisi uglavnom od razlike temperatura lista i vazduha. Često su tokom dana listovi toplijici od vazduha, a tokom



**Slika 1.17.** Komponente energetskog bilansa lista: kratkotalasno i dugotalasno zračenje ( $R_n$ ), fluks osetne toplote ( $H_s$ ), fluks latentne toplote ( $H_l$ ) i energija metabolizma ( $M$ ) [ $P$  je promena energije koja dovodi do promene temperature lista]

noći hladniji. Do razmene latentne topote dolazi usled procesa transpiracije, u kom se vodena para oslobađa u atmosferu kroz stome. Ova razmena topote dovodi do hlađenja površine listova. Transpiracija dovodi do smanjenja temperature vegetacije u odnosu na temperaturu objekata tokom dana (Slike 1.18a. i b). Tokom stresa usled suše, biljke zatvaraju svoje stome. Zatvaranje stoma dovodi do velikog smanjenja transpiracije biljaka, što zauzvrat dovodi do povećanja temperature listova.

### 1.1.5. Daljinska detekcija vegetacije

*Daljinska detekcija (Remote sensing)* se definiše kao prikupljanje informacija o nekom predmetu ili pojavi bez fizičkog kontakta sa objektom. Stoga je ono u suprotnosti sa osmatranjem na licu mesta (*in situ*). U poljoprivredi se daljinska detekcija uglavnom koristi za dobijanje informacija o stanju, rastu i gustini biljaka.

Metode daljinske detekcije promena na vegetaciji su sledeće:

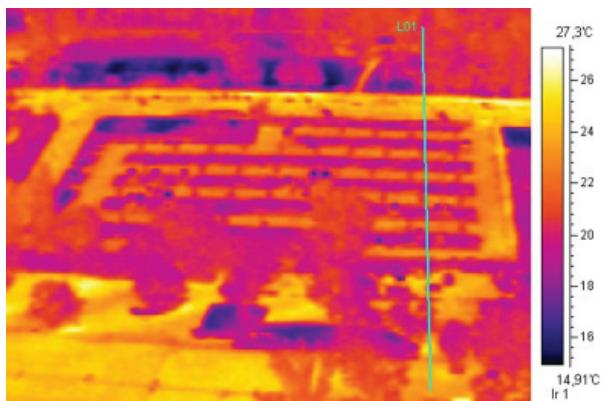
- 1) metode zasnovane na merenju IC zračenja,
- 2) metode zasnovane na merenjima spektralne refleksije vegetacije,
- 3) metode zasnovane na merenjima fluorescencije hlorofila.

**Slika 1.18.** Stvarna fotografija (a) područja za koje je snimljena fotografija infracrvenom kamerom (b). [Na stvarnoj fotografiji naznačeno je područje na kome je merena temperatura (crveni pravougaonik). Merenja su obavljena sa tornja Donauturm u Beču (Austrija) (obezbedili Trimmel i Mursh, 2010)]

a)



b)



Detaljan pregled indeksa i metoda koje se koriste u daljinskoj detekciji biljnog skopa bi daleko prevazišli obim ovog teksta. U narednim odeljcima biće objašnjene samo neke od izabranih metoda.

### *Metode zasnovane na merenju IC zračenja*

Da bi se, recimo, utvrdio stres usled suše kod biljke, koristi se često primenjivana metoda u preciznoj poljoprivredi, koja se zasniva na merenju temperature lista. Dobro poznati indeks koji se u ovom kontekstu koristi je Indeks vodnog stresa useva (*Crop Water Stress Index – CWSI*) koji može da se izrazi preko jednakosti

$$\text{CWSI} = (\text{dT} - \text{dTi}) / (\text{dT}_u - \text{dTi}) \quad (1.4)$$

gde je:  $\text{dT}$  – izmerena razlika između temperature biljke i temperature vazduha,

$\text{dT}_u$  – je gornja granica temperature biljke umanjena za temperaturu vazduha (za useve bez isparavanja),

$\text{dTi}$  – je donja granica temperature biljke umanjena za temperaturu vazduha (kada su usevi dobro zaliveni).

### *Metode zasnovane na merenjima spektralne refleksije vegetacije*

Kao što je već pomenuto, spektralna refleksivnost vegetacije zavisi od koncentracije pigmenata, sadržaja vode i gustine vegetacije. Daljinska detekcija vegetacije, koja se zasniva na merenjima spektralne refleksivnosti vegetacije, koristi uglavnom jednostavne indekse za određivanje intenziteta reflektovanog zračenja zasnovane na LAI ili složenije metode kao što su modeli refleksije krošnje (Slika 1.16).

Jedan od najčešće korišćenih indeksa vegetacije, koji je rezultat opisane metodologije, je NDVI indeks (eng. *Normalized Difference Vegetation Index*). Ovaj indeks se koristi za procenu gustine vegetacije i neto primarne proizvodnje za različite vrste biljaka. Može se, takođe, koristiti i za praćenje fenologije vegetacije, procenjivanje dužine fenoloških faza (npr. sezone rasta) i identifikaciju ekoregija. Ovaj indeks se izračunava korišćenjem relacije oblika

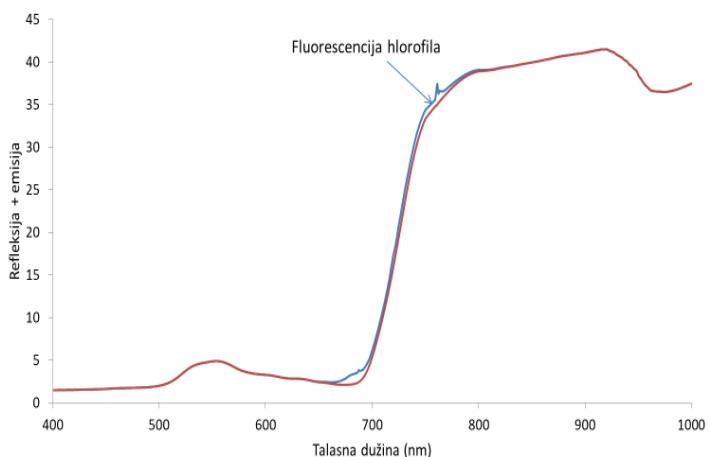
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{red}) / (\text{NIR} + \text{red}) \quad (1.5)$$

gde je  $\text{NIR}$  – refleksivnost u bliskom IC ( $0,7 \mu\text{m}$ – $1,1\mu\text{m}$ ) opsegu talasnih dužina, a crveno – refleksivnost u crvenom spektralnom opsegu ( $0,6$ – $0,7 \mu\text{m}$ ).

## Metode zasnovane na merenjima fluorescencije hlorofila

Fluorescencija hlorofila se re-emitiše molekulima hlorofila tokom povratka iz pobudnih u nepobudena stanja. Koristi se kao indikator fotosintetske aktivnosti u višim biljkama, algama i bakterijama. Analiza fluorescencije hlorofila je važno sredstvo za istraživanje biljaka sa širokim spektrom primena. Jedna od primena je vezana za identifikaciju stresa kod biljaka. Tokom izloženosti stresu biljke smanjuju intenzitet fotosinteze. Zračenje koje nije iskorišćeno za fotosintezu i zagrevanje biljke (konverzija u toplotu) mora se ponovo emitovati. Re-emisija se, zbog energije potrošene na fotosintezu i grejanje, odigrava na talasnim dužinama različitim od talasne dužine apsorbovanog zračenja. Fluorescencija hlorofila se može meriti prislanjanjem mernog uređaja direktno na list biljke. Ovaj uređaj je opremljen lampom koja emitiše PAR, kao i re-emitovanu hlorofilnu fluorescenciju na datim talasnim dužinama. Često korišćene linije se nalaze u opsegu od 680 do 690 nm i na 750 nm. Spektralna merenja se takođe mogu obaviti korišćenjem solarne induktivne fluorescencije sa daljinskim senzorskim uređajima (spektrometar koji meri spektralni signal biljaka) (Slika 1.19). Za merenje fluorescencije hlorofila senzorima je potrebna je vrlo velika osetljivost. Ovo i dalje predstavlja izazov za satelitsko daljinsko osmatranje. Novopostavljeni sateliti, kao što je SENTINEL su opremljeni spektrometrima koji omogućavaju merenja fluorescencije hlorofila.

**Slika 1.19.** Simulirana spektralna refleksija + emisija sa i bez emisije fluorescencije hlorofila (mali pikovi oko 762 nm). Simulacije su rađene uz pomoć softvera Fluormodgui (Zarco-Tejada et al., 2006)



## 1.2. Agroklimatski indeksi i modeli

U proteklim decenijama razvijen je širok spektar softverskih alata za podršku istraživanjima u poljoprivredi i donošenju odluka u poljoprivrednoj praksi. Modeli opisuju procesne sisteme različite kompleksnosti, uzimajući u obzir samo njihov deo (kao što je prora-

čun temperature zemljišta ili količine vode u zemljištu) ili sveukupne interakcije unutar sistema (rast i razvoj useva koji su rezultat stanja biljke i okoline). Možemo ih podeliti na modele fizičkih procesa, bio-fizičkih procesa i proširenih bio-fizičkih u koje je uključen ljudski faktor (kombinacija bio-fizičkog i socio-ekonomskog modela, kao što je model funkcionalisanja farme). U poljoprivrednoj praksi postoje modeli useva i funkcionalisanja cele farme, modeli pojave, rasta i razvoja štetnih organizama i insekata, modeli planiranja navodnjavanja i agroklimatski indeksi ili algoritmi mogu da puže podršku poljoprivrednicima u donošenju odluka prilikom planiranja proizvodnje i korišćenja aplikacija različitih poljoprivrednih tehnologija.

Modeli se u istraživačke svrhe najčešće koriste za simulaciju složenih interakcija u sistemu zemljište-biljka-atmosfera. Primer je upotreba modela za procenu uticaja klimatskih promena na bilans vode dostupne biljci i prinos useva. Ipak, rezultate modela treba koristiti sa rezervom jer u sebi nose nepoznanice i ograničenja kao rezultat promena u budućim ljudskim aktivnostima, manjka znanja o odzivu živih sistema na promene sredine i nepostojanja podataka za kalibraciju modela.

Agroklimatski indeksi, definisani za određenu biljnu vrstu ili ne, koriste se u proceni uticaja pojedinih vremenskih fenomena na poljoprivrednu proizvodnju. Dobro poznati primeri su rizik od mraza, prognoza suše, procena uslova za setvu i žetvu. Koriste se i za procenu pojave suše i toplotnih talasa prema različitim scenarijima promene klime.

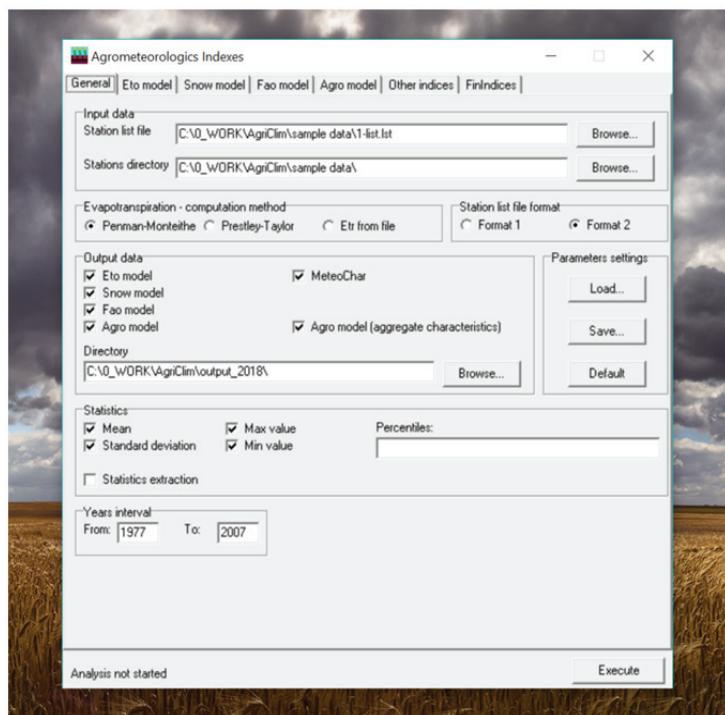
Za primer smo izabrali model AgriClim koji se sastoji iz širokog spektra agroklimatskih indeksa i koji je besplatan.

### 1.2.1. AgriClim - opis modela

AgriClim je softverski paket za procenu promene agroklimatskih uslova i proračun agroklimatskih indeksa. Osnovni paket je razvijan u periodu od 2005. do 2009. godine na Institutu za agrosisteme i bioklimatologiju na Mendel univerzitetu u Brnu, Češka Republika (Slika 1.20). S obzirom da je paket razvijen u okviru COST 734 akcije, interna baza AgriClima je bazirana na podacima sakupljenim u 19 država partnera (Austrija, Belgija, Bugarska, Hrvatska, Češka Republika, Danska, Finska, Francuska, Nemačka, Grčka, Irска, Italija, Holandija, Norveška, Srbija, Slovačka, Švedska, Španija i Švajcarska). Ulazni paket meteoroloških veličina za AgriClim uključuje globalna zračenja, maksimalnu i minimalnu temperaturu, padavine, pritisak vodene pare i srednju dnevnu brzinu veta za izračunavanje približno 200 agrometeoroloških parametara i indeksa (Trnka et al., 2010a, Trnka et al., 2011). Posebna pažnja u modelu pružena je analizi pojave ekstremnih meteoroloških pojava koji značajno utiču na prinose poljoprivrednih kultura, a nisu

obuhvaćeni dinamičkim modelima i često izostavljeni iz analiza uticaja klimatskih promena i mera adaptacije. Detaljan opis modela i indeksa koji se u modelu nalaze prikazani su u radovima Trnka et al. (2010a, 2011). Tekst koji se nalazi u nastavku baziran je na navedenim publikacijama.

Slika 1.20 AgriClim model



### AgriClim algoritmi

Osnovi ulazni podaci za AgriClim su meteorološki elementi: dnevna suma globalnog zračenja ( $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$ ), maksimalna temperatura vazduha ( $^{\circ}C$ ), minimalna temperatura vazduha ( $^{\circ}C$ ), dnevna suma padavina (mm), pritisak vodene pare (hPa, kPa) ili relativna vlažnost vazduha (%) i brzina veta na 10 m iznad površine ( $m\ s^{-1}$ ).

Na osnovu dnevnih unosa, AgriClim koristi sledeće modele:

- Model snega (prisustvo, dužina trajanja snežnog pokrivača, početak i kraj);
- Eto model (model za proračun evapotranspiracije);
- FAO model (model za proračun rasta useva i stvarne evapotranspiracije);
- Agro model (algoritam za proračun agroklimatskih indeksa).

Računanje uticaja snežnog pokrivača bazirano je na modifikovanoj verziji modela prikazanog u Trnka et al. (2010b). Sneg se uzima u obzir samo u vreme topljenja, dok se u toku trajanja snežnog pokrivača vrednost evapotranspiracije zanemaruje.

Model vodnog bilansa zemljišta kalibriran je i testiran za širok spektar tipova zemljišta i klimatskih uslova Centralne Evrope i Sjeverne Amerike podacima dobijenim eksperimentalno. Informacija o sadržaju vode u zemljištu se daje za dva predefinisana sloja zajedno sa podacima o dnevnoj referentnoj i stvarnoj evapotranspiraciji. Pri računanju stvarnog sadržaja vode u zemljištu, homogenost zemljišta i kapacitet zemljišta da zadrži vodu od 20 mm u prvom sloju debljine 0,1 m su uzeti u obzir pri proceni broja dana za setvu i žetvu. Profil zemljišta neophodan za proračun određenih indeksa oslanja se na profil dubokog černozema sa maksimalnom dubinom korena biljke od 1,3 m i kapacitetom zadržavanja vode od 270 mm. Prilikom računanja evapotranspiracije u obzir se može uzeti i promena koncentracije ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Ukoliko se vrednost ne menja, osnovna vrednost je 360 ppm.

Najnovija verzija AgriClima dozvoljava promenu biljne vrste. Podaci su dati za jare useve, ozime useve, kukuruz, listopadno i četinarsko drveće, kao i krmno bilje.

### *Agroklimatski indeksi u AgriClimu*

Agroklimatski indeksi su numerički indikatori koji opisuju različite aspekte složenih relacija između klime i biljke, tj. useva. Neki od najznačajnijih indeksa koji se mogu izračunati AgriClimom navedeni su u Tabeli 1.3

Skraćenica	Naziv	Parametri unosa	Definicija	Izlazni format
HeatStress_Early	Rani toplotni stres	Maksimalna temperatura ( $T_{\text{max}}$ )	Broj dana između 15,1, i 15,6, sa $T_{\text{max}} > 28^{\circ}\text{C}$	Broj dana
SVegS	Početak vegetacione sezone	Srednja temperatura ( $T_{\text{sr}}$ ), duže od 3 dana i bez Sneg	$T_{\text{sr}}$ kontinuirano $> 5^{\circ}\text{C}$ i bez snežnog pokrivača	Datum
DVegSummer	Dužina vegetacije	$T_{\text{sr}}$ , minimalna temperatura ( $T_{\text{min}}$ )	Broj dana sa $T_{\text{sr}} > 15^{\circ}\text{C}$ , bez padanja ispod granične vrednosti i $T_{\text{min}} > 0^{\circ}\text{C}$	Dužina u danima
SumEf_10	Suma efektivnih temperatura	$T_{\text{sr}}$ , $T_{\text{min}}$ , $T_{\text{max}}$ , bazna temperatura $= 0^{\circ}\text{C}$	Suma efektivnih temperatura kada je $T_{\text{sr}} > 10^{\circ}\text{C}$ , a $T_{\text{min}}$ nije manje od $0^{\circ}\text{C}$	Suma temperatur po godini
SnowDays	Broj dana sa snežnim pokrivačem	Snežni pokrivač	Broj dana sa snegom od 01.09. u jednoj godini do 31.08. u sledećoj godini	Broj dana

Tabela 1.3. Agroklimatski indeksi koji su prisutni u AgriClimu – primer

Frost- Stress_10	Broj dana sa mrazem	Tmin, snežni pokrivač	Broj dana sa Tmin < -10°C i bez kontinuiranog snežnog pokrivača (ili pokrivač ispod 3 cm)	Broj dana
FrostRisk- Probability_ till summer	Verovatnoća pojave rizika od mraza u toku vegetaci- onog perioda	Tmin	Broj sezona u kojima je Tmin < -0,1°C u toku vegetacionog perioda	% sezona
Harvest_ June_abb	Broj dana odgovarajućih za žetvu u junu	Padavine, vlažnost zemljišta	Broj dana mesečno kada A) dnevna količina pa- davina na dan N < 0,5 mm; B) dnevna zbirka precipitacije na dan N-1 je < 5 mm; c) dnevna količina padavina na dan N-2 < 10 mm i d) dnevna količina padavina na dan N-3 < 20 mm i e) sadržaj vode u gornjim 20 cm iznosi između 0-70% maksimalnog kapaciteta	Broj dana
Harvest_July	Broj dana odgovarajućih za žetvu u julu	Padavine, vlažnost zemljišta	Broj dana mesečno kada A) dnevna količina pa- davina na dan N < 0,5 mm; B) dnevna količina padavina na dan N-1 je < 5 mm; c) dnevna količina padavina na dan N-2 < 10 mm i d) dnevna količina padavina na dan N-3 < 20 mm i e) sadržaj vode u gornjim 20 cm iznosi između 0-70% maksimal- nog kapaciteta	Broj dana
TotalDu- ration of HeatW3	Suma dana po godini koja odgovara uslo- vima HeatW3	Tmax, Tmin	Ukupan broj dana sa epizodama Tmax iznad 30°C u najmanje 3 dana i Tmin iznad 20°C	Broj dana
Hughlin index	Huglin indeks	Tmax, Tmin, Ts <sub>r</sub>	Huglin indeks u periodu april-septembar	Vrednost indeksa (°C)
WatBal_- AMJ	Potencijalna vrednost vod- nog bilansa aprila-juna	Eto, kumu- lativne pada- vine	Razlika između padavina i Eto	Suma (mm)
WatBal_AS	Potencijalna vrednost vodnog bilan- sa aprila-sep- tembar	Eto, kumu- lativne pada- vine	Razlika između padavina i Eto	Suma (mm)
DryI_AMJ	Broj dana sa intenzivnim vodnim defici- tom aprila-juna	AET, ET <sub>0</sub> Stvarna ET, Eto	jedna vrednost za ceo period, ET/Eto < 0,4	Broj dan u izab- ranom periodu

DryI_AS	Broj dana sa intenzivnim vodnim deficitom april-septembar	Stvarna ET, Eto	Jedna vrednost za ceo period, $ET/Eto < 0,4$	Broj dana u izabranom periodu
SRAD_LGPt	Suma efektivnog globalnog zračenja	Tsr, ET, Eto, globalno zračenja (Srad)	Suma dnevnog globalnog zračenja u toku dana kada je $Tsr > 5^{\circ}\text{C}$ i $ET/Pet > 0,4$	Vrednost u MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>
Vernalization	Broj dana odgovarajućih za vernalizaciju	Tsr, Tmin	Broj dana odgovarajućih za vernalizaciju	Broj dana
WinterSeverity	„Jačina“ zime	Tsr	Suma hladnih temperatura	Vrednost u °C

## 1.2.2. Primena AgriClima za agroekološke uslove u Srbiji

Jedna od glavnih odlika indeksnih modela je širok spektar indeksa koji se mogu koristiti u analizi. Širina spektra je rezultat stvarnih razlika u regionalnim agroklimatskim karakteristikama.

Kao što je već pomenuto, model AgriClim Fao se može koristiti za jare useve, ozime useve, krmno bilje, kukuruz, četinarska i listopadna stabla. Potencijalna upotreba modela u proizvodnji grožđa i voća leži u praćenju dinamike vegetacije i obezbeđivanju dragocenih informacija za procenu pojave bolesti i štetnih organizama. S obzirom da su podaci o prinosima u Srbiji retki, najbolje je da analiza uticaja ekstremnih vremenskih prilika na prinos počne od modela. Rezultati modela pokazuju u kom regionu i u kojim godinama su meteorološki uslovi uticali na proizvodnju. S tom informacijom prinos se može ciljano pronaći od proizvođača.

AgriClim model je korišćen uz upotrebu meteoroloških podataka izmerenih na meteorološkoj stanici na Rimskim Šančevima ( $45^{\circ}15\text{N}$ ,  $19^{\circ}50\text{E}$ , 84 m nadmorske visine). Ova stanica je deo mreže Hidrometeorološkog zavoda Republike Srbije. Ulagni meteorološki elementi su: (i) dnevna suma globalnog zračenja ( $\text{MJ m}^{-2}$  dan<sup>-1</sup>), (ii) maksimalna dnevna temperatura vazduha ( $^{\circ}\text{C}$ ), (iii) minimalna dnevna temperatura vazduha ( $^{\circ}\text{C}$ ), (iv) dnevna količina padavina (mm), (v) pritisak vodene pare (hPa) i (vi) brzina veta 10 m iznad površine ( $\text{m s}^{-1}$ ). Rezultati su prikazani u obliku tabela i grafikona kako bi se u različitim godinama okarakterisao deficit vode i naglašile godine u kojima je uzrok smanjenja prinosa bila suša.

### Temperatura

Opis dinamike vegetacije predstavljen je sumama temperature iznad određene granične vrednosti ( $0,5$  i  $10^{\circ}\text{C}$ ) u toku vegetacionog perioda ili u toku godine u kombinaciji sa brojem dana sa ekstremnim temperaturama (Tabela 1.4).

Tabela 1.4. Dnevni temperaturni ekstremi

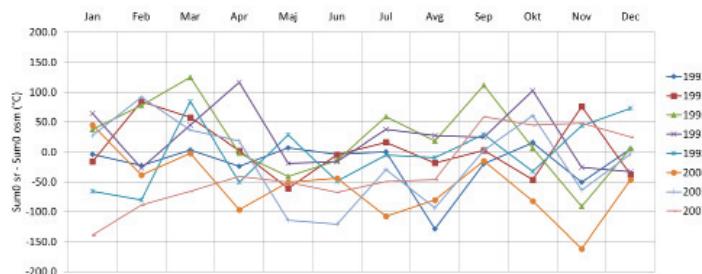
	Maksimalna temperatura (°C)	Minimalna temperatura (°C)
Mrazni dan	-	≤ 0
Hladni dan	≤ 0	-
Snažan mrazni dan	-	≤ -10
Letnji dan	≥ 25	-
Tropski dan	≥ 30	-
Tropska noć	-	≥ 20

Godine sa visokim sumama temperature izdvojene su uz pomoć rezultata predstavljenih u Tabeli 1.5 i predstavljenih na Slici 1.21 u obliku odstupanja od srednje vrednosti. Pozitivne vrednosti na Slici 1.21 predstavljaju godine u kojima su sume temperature iznad 0 °C male, dok negativne vrednosti pokazuju godine sa visokim sumama temperature koje potencijalno ukazuju na sušu.

Tabela 1.5. Suma temperaturna iznad 0°C

Godina	Jan.	Feb.	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Avg.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
1977	87.3	197.2	308.8	311.9	523.6	593.9	646.5	637.3	453.6	394.6	217.2	34.9
1978	58.3	70.0	246.0	321.6	446.2	553.3	613.5	606.3	471.3	354.6	75.0	102.6
1979	56.6	88.8	298.3	300.4	526.9	642.5	600.2	620.7	538.4	335.2	203.2	158.2
1980	19.7	71.4	194.0	260.7	425.7	579.2	621.6	626.2	489.0	380.8	157.7	41.9
1981	15.3	59.4	293.5	333.9	497.5	597.0	630.5	639.3	546.5	419.7	154.4	73.3
1982	49.3	17.5	178.3	245.9	541.8	614.0	650.5	648.2	618.0	431.2	182.2	140.9
1983	131.3	54.7	261.0	419.3	558.8	567.9	694.2	664.7	519.5	355.6	113.4	90.6
1984	54.1	55.8	168.0	313.1	497.6	534.3	581.4	618.7	552.3	420.0	199.3	60.7
1985	31.8	21.3	167.0	359.0	562.3	523.4	649.1	661.2	516.5	331.7	147.6	184.5
1986	66.1	14.7	156.3	415.2	569.9	565.9	607.2	684.9	515.2	357.4	165.4	43.8
1987	14.3	80.1	108.3	329.4	462.6	597.2	720.5	604.7	615.5	400.0	215.8	104.4
1988	118.4	124.9	173.1	313.8	519.1	582.6	711.8	682.9	523.6	349.9	54.8	98.6
1989	25.3	150.0	300.9	437.1	478.4	541.8	678.4	661.3	514.5	389.4	177.6	127.0
1990	100.3	186.8	309.5	340.1	534.2	582.5	653.0	670.4	469.3	406.5	215.4	52.5
1991	90.3	26.0	265.6	285.9	404.0	591.5	671.3	630.8	537.3	342.8	205.9	14.2
<b>1992</b>	<b>70.3</b>	<b>114.7</b>	<b>217.1</b>	<b>369.7</b>	<b>516.0</b>	<b>599.8</b>	<b>669.3</b>	<b>795.7</b>	<b>539.5</b>	<b>368.4</b>	<b>234.7</b>	<b>79.4</b>
<b>1993</b>	<b>82.4</b>	<b>7.8</b>	<b>163.1</b>	<b>343.4</b>	<b>584.1</b>	<b>600.4</b>	<b>653.4</b>	<b>685.2</b>	<b>517.0</b>	<b>430.2</b>	<b>108.5</b>	<b>122.8</b>
1994	111.1	104.0	287.4	355.0	517.5	596.8	730.0	723.3	628.7	328.9	218.1	87.9
1995	56.4	196.7	196.4	341.6	496.6	579.9	715.2	650.5	484.5	398.3	122.8	77.6
<b>1996</b>	<b>28.9</b>	<b>14.3</b>	<b>96.2</b>	<b>347.7</b>	<b>563.7</b>	<b>610.1</b>	<b>610.7</b>	<b>648.8</b>	<b>408.5</b>	<b>377.3</b>	<b>275.5</b>	<b>78.3</b>
<b>1997</b>	<b>2.5</b>	<b>119.2</b>	<b>176.4</b>	<b>229.3</b>	<b>542.1</b>	<b>611.9</b>	<b>631.7</b>	<b>640.0</b>	<b>495.9</b>	<b>281.5</b>	<b>210.1</b>	<b>118.0</b>

1998	132.1	172.5	136.4	396.3	494.4	644.9	674.7	676.3	491.4	416.1	140.6	12.1
1999	62.8	78.4	264.3	392.1	521.3	605.4	667.9	665.6	591.7	388.2	143.1	96.5
<b>2000</b>	<b>21.9</b>	<b>130.6</b>	<b>223.1</b>	<b>442.3</b>	<b>573.7</b>	<b>639.9</b>	<b>777.0</b>	<b>747.6</b>	<b>534.7</b>	<b>466.5</b>	<b>346.2</b>	<b>131.5</b>
2001	114.4	134.3	337.2	332.8	552.3	545.3	686.8	703.6	477.2	461.0	126.4	9.1
2002	78.5	204.1	276.1	349.4	593.6	652.6	727.3	685.8	512.2	392.2	300.9	69.9
<b>2003</b>	<b>39.6</b>	<b>0.8</b>	<b>184.9</b>	<b>327.9</b>	<b>637.1</b>	<b>717.2</b>	<b>698.9</b>	<b>760.9</b>	<b>517.3</b>	<b>323.6</b>	<b>248.2</b>	<b>88.0</b>
2004	48.0	93.6	213.1	371.9	470.2	590.4	677.2	675.6	491.3	436.2	208.7	94.6
2005	60.8	15.6	178.9	358.6	521.0	576.7	663.6	622.7	538.1	387.9	165.4	80.5
2006	30.7	73.2	185.4	388.0	507.8	580.9	724.5	627.1	557.8	443.8	244.6	103.5
<b>2007</b>	<b>206.1</b>	<b>181.1</b>	<b>286.6</b>	<b>386.5</b>	<b>573.8</b>	<b>663.8</b>	<b>718.6</b>	<b>713.4</b>	<b>461.6</b>	<b>339.4</b>	<b>136.2</b>	<b>60.2</b>
Prosek	66.6	92.2	221.0	345.8	523.0	596.2	669.5	667.1	520.2	384.1	184.3	85.1



Slika 1.21 Razlika između srednje vrednosti sume temperature iznad 0°C za 30 godina i srednje mesečne vrednosti po izabranim godinama

Godina	Jan.	Feb.	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Avg.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
1977	0.6	17.9	54.0	55.7	213.6	293.9	336.5	327.3	159.1	88.7	26.1	0.0
1978	0.0	3.9	22.2	52.0	146.6	253.3	303.5	296.3	172.5	76.5	0.0	1.3
1979	2.5	0.0	35.1	38.7	218.2	342.5	290.2	310.7	238.4	72.0	14.7	2.8
1980	0.0	0.0	10.4	27.0	121.8	279.2	311.6	316.2	189.0	84.9	1.6	0.0
1981	0.0	0.0	36.8	64.1	187.6	297.0	320.5	329.3	246.5	124.9	9.8	0.0
1982	0.0	0.0	5.3	20.3	234.4	314.0	340.5	338.2	318.0	123.1	2.6	5.7
1983	1.1	0.0	29.7	139.0	248.8	267.9	384.2	354.7	219.5	75.8	2.4	0.8
1984	0.0	0.0	9.7	35.8	190.1	234.3	271.6	308.7	252.3	118.3	17.1	0.0
1985	0.0	0.0	3.1	74.0	253.4	223.4	339.1	351.2	216.5	81.0	5.7	4.7
1986	0.0	0.0	12.6	141.3	259.9	265.9	297.2	374.9	215.2	60.7	1.6	0.0
1987	0.0	0.0	8.4	59.8	155.4	297.2	410.5	294.7	315.5	114.9	9.6	0.0
1988	0.7	0.9	5.2	50.7	209.1	282.6	401.8	372.9	223.7	78.6	0.0	0.0
1989	0.0	16.4	37.1	141.2	173.6	241.8	368.4	351.3	214.5	86.6	30.7	21.9
1990	0.9	4.6	41.0	57.4	224.2	282.5	343.0	360.4	169.3	123.6	22.5	0.0
1991	0.0	0.0	33.1	24.2	96.3	291.5	361.3	320.8	237.3	111.5	3.9	0.0
<b>1992</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>19.1</b>	<b>92.1</b>	<b>206.2</b>	<b>299.8</b>	<b>359.3</b>	<b>485.7</b>	<b>239.5</b>	<b>85.1</b>	<b>22.6</b>	<b>0.0</b>
1993	0.0	0.0	22.3	78.1	274.1	300.4	343.4	375.2	217.0	141.1	15.3	0.0

Tabela 1.6. Suma temperatura iznad 10 °C (°C).

<b>1994</b>	<b>2.8</b>	<b>0.8</b>	<b>27.9</b>	<b>78.3</b>	<b>207.5</b>	<b>296.8</b>	<b>420.0</b>	<b>413.3</b>	<b>328.7</b>	<b>63.1</b>	<b>23.0</b>	<b>0.2</b>
1995	1.6	4.2	4.5	94.3	188.3	279.9	405.2	340.5	185.8	108.8	6.9	6.6
1996	0.0	0.0	0.0	82.4	253.7	310.1	300.7	338.8	109.4	92.0	52.7	0.0
1997	0.0	5.5	2.4	27.9	232.4	311.9	321.7	330.0	195.9	63.2	27.1	0.0
1998	0.9	13.9	6.1	102.6	184.4	344.9	364.7	366.3	191.4	116.5	12.4	0.0
1999	0.0	0.0	23.3	92.9	211.3	305.4	357.9	355.6	291.7	102.4	9.7	0.5
<b>2000</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>23.8</b>	<b>156.9</b>	<b>263.7</b>	<b>339.9</b>	<b>467.0</b>	<b>437.6</b>	<b>234.7</b>	<b>164.5</b>	<b>67.7</b>	<b>2.2</b>
2001	1.8	6.3	70.3	57.4	242.3	245.3	376.8	393.6	177.5	164.5	2.3	0.0
2002	0.3	10.9	26.0	75.4	283.6	352.6	417.3	375.8	212.2	87.9	54.9	0.0
<b>2003</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>19.9</b>	<b>71.1</b>	<b>327.1</b>	<b>417.2</b>	<b>388.9</b>	<b>450.9</b>	<b>217.3</b>	<b>72.0</b>	<b>26.3</b>	<b>0.0</b>
2004	0.0	1.5	34.0	83.9	160.3	290.4	367.2	365.6	191.3	136.0	21.7	5.3
2005	0.0	0.0	22.6	74.0	215.3	278.1	353.6	312.7	238.1	97.4	5.5	0.0
2006	0.0	1.1	29.7	101.1	197.8	280.9	414.5	317.1	257.8	148.7	20.6	3.8
<b>2007</b>	<b>3.0</b>	<b>4.3</b>	<b>20.9</b>	<b>88.7</b>	<b>263.8</b>	<b>363.8</b>	<b>408.6</b>	<b>403.4</b>	<b>161.6</b>	<b>66.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>
Prosek 0.5	3.0	22.4	75.4	214.3	296.2	359.6	357.1	220.5	101.0	16.7	1.8	

Procena uticaja kasnih mrazeva može se izvršiti pobrojavanjem hladnih i mraznih dana. U primeru je data tabela za period 1977–2007. u mesecima u kojima se oni potencijalno javljaju, mart, april i maj. U Tabeli 1.7 polja sa više od 15 hladnih i više od 3 mrazna dana su posebno obeleženi.

Tabela 1.7. Broj hladnih i mraznih dana

	Hladni Tmax ≤ 0°C	Mrazni Tmin ≤ 0°C										
	Januar	Februar	Mart	April	Maj							
1977	1	16	1	5	0	4	0	2	0	0	0	0
1978	6	23	6	16	0	6	0	1	0	0	0	1
1979	13	23	0	16	0	6	0	4	0	0	0	0
1980	19	28	1	16	0	9	0	1	0	0	0	0
1981	13	28	1	20	0	3	0	2	0	0	0	0
1982	17	24	5	25	0	8	0	3	0	0	0	0
1983	0	12	5	20	0	6	0	0	0	0	0	0
1984	2	21	8	20	0	12	0	3	0	0	0	0
1985	20	27	16	27	0	5	0	0	0	0	0	0
1986	2	21	12	24	1	12	0	1	0	0	0	0
1987	15	29	6	16	10	19	0	0	0	0	0	0
1988	0	16	0	12	0	10	0	4	0	0	0	0
1989	6	30	1	12	0	3	0	0	0	0	0	0
1990	13	20	0	13	0	4	0	0	0	0	0	0

1991	6	21	8	24	0	5	0	1	0	0
1992	7	20	1	15	0	15	0	3	0	0
1993	9	25	7	27	3	14	0	2	0	0
1994	2	15	7	16	0	3	0	0	0	0
1995	13	24	0	7	0	9	0	4	0	0
1996	7	24	11	28	1	20	0	1	0	0
1997	10	30	2	16	0	20	0	8	0	0
1998	5	10	1	16	0	20	0	0	0	0
1999	8	23	4	20	0	8	0	0	0	0
2000	14	27	0	17	0	14	0	1	0	0
2001	0	17	0	16	0	1	0	2	0	0
2002	11	22	0	7	0	9	0	1	0	0
2003	12	26	20	28	0	17	0	6	0	0
2004	12	21	2	16	0	10	0	0	0	0
2005	6	24	6	25	4	17	0	1	0	0
2006	8	25	5	17	1	14	0	0	0	0
2007	0	6	0	10	0	1	0	0	0	0

Prosečan datum pojave prolećnog (kasnog) i jesenjeg (ranog) mraza za dati period 1977-2007. pokazuje (Tabela 1.8) da je područje oko Rimskih Šančeva podložno ranim i kasnim mrazevima. Višoka standardna devijacija kod kasnih mrazeva pokazuje povećanu frekvenciju pojave u poslednjoj nedelji aprila, kada se mnoge poljoprivredne kulture mogu naći u osetljivoj fazi razvoja.

1977-2007.	Kasni mraz		Rani mraz	
Srednji	96	06.04.	302	29.10.
Standardna devijacija	16	16.01.	10	10.01.
Maksimum	133	13.05.	325	21.11.
Minimum	64	05.03.	283	10.10.

Tabela 1.8. Prosečan datum početka prolećnog (kasnog) i jesenjeg (ranog) mraza

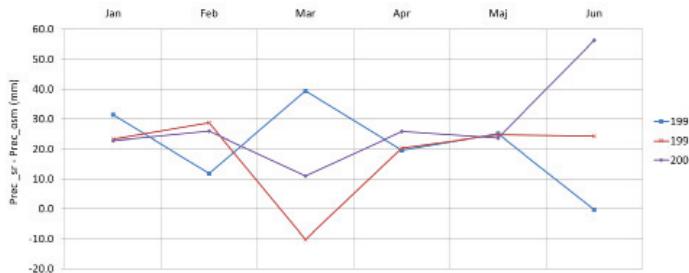
### *Padavine*

U različitim fazama razvoja biljke imaju različite potrebe za vlagom, kao i sposobnost da se suoče sa nedostatkom vlage u tlu. Ako su drugi faktori životne sredine na optimalnom nivou (temperatura, zračenje, ishrana tla), razvoj i konačan prinos će pretežno zavisiti od količine raspoložive vode.

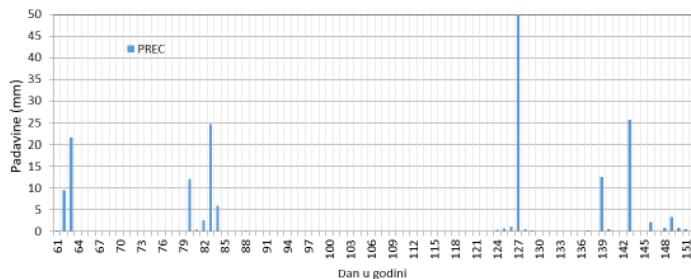
U studijama uticaja klimatskih promena na poljoprivrednu proizvodnju količina padavina se najčešće predstavlja u obliku godišnje sume. S obzirom da nas interesuje mogući uticaj na biljke, primer koji je naveden u Tabeli 1.9 odnosi se na mesečne količine padavina po godinama.

Tabela 1.9. Mesečne količina padavina (mm)

Godina	Jan.	Feb.	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Avg.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
1977	37.6	94.4	54.6	58.8	52.3	84.3	49.2	107	34.6	16	90.7	59.1
1978	30.9	85.7	40.1	35.7	126.2	128.4	26	11.7	71.1	2.7	9.6	42.7
1979	60.6	33.5	33.4	25.7	23.6	89.9	66.6	69.9	20.4	53.7	43	46.1
1980	32.4	35.3	45.6	53.7	65.4	87.8	41.6	58.1	26.3	42.9	74.5	40.5
1981	35.8	18.4	117.1	39.6	38	204.5	20.4	63.2	85.9	63.7	42.3	99.3
1982	26.3	16.3	56.3	68	22.7	69.7	59	58.9	9.5	48.6	25.8	62.7
1983	43.4	19.7	23.4	31.9	35.9	87.6	58.1	33.7	75.3	27.6	18.7	23.3
1984	66.5	25.3	13.1	40.1	107.7	47.4	98.1	42.4	34.7	56.2	35.3	16.7
1985	30.2	63.7	65	42.6	93.2	77.8	31.4	80	10	11.3	70.3	17.6
1986	52	42.5	37.5	56.9	50.8	50.4	77.1	40	4.3	42	6.7	16.1
1987	101.8	2.3	63.1	80.8	175.7	62	31.6	50.5	5.5	11.9	83.2	29.7
1988	36.2	42.7	95.2	56.8	25.9	64.6	20.1	17.1	55.3	12.1	20	25.2
1989	6.5	8.6	35.2	82.1	66.2	92.5	11.1	72.4	30	32.5	50	19.9
1990	6.3	35.4	33.3	34.2	17.9	69.8	28.4	14.7	54.1	52.8	38.8	67.1
1991	15.1	23.1	46.9	46.6	76.5	71.5	192.9	64.3	35.7	110.7	75.4	20.7
1992	7.1	22.2	3.3	30.9	39	88.1	21.6	0.2	32.1	142.5	84.9	43.9
1993	15.3	5.3	52.9	30.1	39.4	63.6	42.8	35.7	38.2	19.6	68.2	87.4
1994	42	33.6	33	53.5	73.7	101.4	32.2	44.7	42.6	58.5	25.4	33.5
1995	75.1	51.3	42.8	54	86	108.8	40.5	75.9	101.4	0.6	39.6	64.2
1996	46.3	34.5	29.8	25.2	90	79.1	83.8	112.8	119.2	33.1	94.5	65.8
1997	44.1	46.6	32.2	75.2	17.4	62.4	130.5	124.6	30.3	92.2	38.3	81.7
1998	68.1	0.9	22.6	39.8	64.1	103.7	123.5	82.1	76.9	79	66.1	27.9
1999	42.2	47.8	11.1	61.2	77.2	91	209.4	28.2	76.9	52.4	103.8	138.5
2000	15.7	8.1	31.7	24.6	40.4	31.5	29.7	6.4	15.5	6.9	23.4	52.7
2001	38.4	28.6	75.9	156	78.6	237.4	80.4	29.5	160.1	14.7	71.4	27.6
2002	7.5	28.4	10.1	33.4	84.7	27.5	35	53.8	47.5	91.7	23.7	41.6
2003	49.2	21.5	8.9	9.2	21.9	30.7	61.5	30.4	83.3	142.3	29	21.3
2004	53.4	43.3	17.8	118.6	87.9	97.4	65.1	39.3	50.1	86.1	142.9	33.8
2005	30.2	41.6	40.1	33	38.1	135.8	122.5	133.9	67	7.1	19.6	66.5
2006	30.5	43.5	72.5	66	70.1	104.3	30.9	124.9	23.8	17.6	17.2	39.8
2007	47.7	50.7	78.8	0	99.4	71.1	38.8	79.6	78.8	101.4	119.5	32.8
Ave- rage	38.5	34.0	42.7	50.5	64.1	87.8	63.2	57.6	51.5	49.4	53.3	46.6



**Slika 1.22** Razlika između srednje mesečne količine padavina (1977-2007) i mesečne količina padavina u odabranim godinama.



### Evapotranspiracija

Evapotranspiracija je složen fiziološki proces u kojem biljka gubi vodu zbog isparavanja sa površine biljaka, zemljišta kao i zbog fiziološkog procesa transpiracije. Evapotranspiracija je uključena u AgriClim paket u skladu sa definicijom Organizacije za hranu i poljoprivredu (Food and Agriculture Organization – FAO) i pod referentnom evapotranspiracijom se podrazumeva maksimalna količina vode koju biljka može izgubiti u datom trenutku ako je tlo zasićeno vlagom do maksimalnog kapaciteta sadržaja vode i ravnomerno pokriveno travom visine 0,12 m. Ako su navedeni uslovi ispunjeni, stvarna evapotranspiracija je jednaka referentnoj, u drugim slučajevima treba koristiti faktor koji određuje potencijalnu evapotranspiraciju u odnosu na stvarnu. U agrometeorološkoj praksi intenzitet suše se, pored drugih parametara, izražava kroz odnos stvarne (ET) i referentne (ET0) evapotranspiracije (ET/ET0). Ako je ovaj odnos manji, intenzitet suše je veći. Kriterijumi intenziteta suše se formiraju kroz sledeće granične vrednosti odnosa ET/ET0:

Tabela 1.10. Broj dana sa početnom, intenzivnom, ekstremnom, vrlo ekstremnom i kompletном sušom u toku perioda april–maj–jun (AMJ), jun–jul–avgust (JJA), septembar–oktobar–novembar (SON), mart–aprili–maj (MAM).

	Suša (početna)			Suša (intenzivna)			Suša (ekstremna)			Suša (vrlo ekstremna)			Suša (kompletna)				
Godina	AMJ	JJA	SON	MAM	AMJ	JJA	SON	MAM	AMJ	JJA	SON	MAM	AMJ	JJA	SON	MAM	
1977	62	57	73	49	42	40	51	22	28	23	34	6	9	9	1	0	0
1978	5	54	89	0	0	45	86	0	0	39	61	0	0	30	1	0	16
1979	84	60	91	90	55	47	65	32	26	36	42	8	19	16	13	3	0
1980	29	70	88	30	3	56	55	0	0	42	41	0	0	14	11	0	0
1981	14	63	32	12	10	54	11	4	4	30	0	0	0	12	0	0	0
1982	19	61	91	3	11	39	79	0	5	18	40	0	0	1	18	0	0
1983	69	64	78	63	36	44	78	18	29	31	40	12	15	16	9	2	0
1984	62	63	90	50	14	35	60	0	2	11	24	0	0	0	0	0	0
1985	4	59	83	0	0	51	63	0	0	38	51	0	0	17	33	0	7
1986	42	68	91	25	15	48	90	7	5	32	82	2	0	13	36	0	20
1987	2	55	84	1	0	48	82	0	0	24	80	0	0	8	64	0	0
1988	35	83	82	14	15	73	76	4	3	64	74	0	0	46	23	0	20
1989	32	67	80	57	23	61	50	28	3	51	33	3	0	22	8	0	0
1990	76	92	89	73	50	83	55	42	39	73	50	24	7	50	31	3	0
1991	16	35	62	28	8	13	38	1	1	1	17	0	0	0	0	0	0
1992	73	81	62	85	36	73	52	25	11	47	49	7	0	38	41	0	27
1993	46	88	91	20	23	81	61	4	7	62	36	0	2	36	3	0	6
1994	31	82	89	11	11	65	62	1	1	41	31	0	0	26	4	0	13
1995	3	51	65	2	0	29	38	0	0	9	24	0	0	0	0	0	0
1996	38	39	51	26	15	29	17	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0
1997	36	40	67	11	27	22	26	9	12	12	10	0	0	0	2	0	0
1998	25	43	26	10	10	31	8	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0
1999	13	36	59	0	7	23	36	0	1	3	10	0	0	0	0	0	0
2000	62	92	91	35	43	91	91	14	26	88	91	0	15	62	69	0	33
2001	2	37	50	11	1	19	39	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0
2002	56	71	56	40	32	63	39	19	21	52	33	9	5	20	15	0	0
2003	91	91	48	67	83	80	31	53	54	61	16	24	33	38	3	9	1
2004	2	52	52	0	1	40	32	0	0	26	25	0	0	14	0	0	3
2005	19	21	70	8	12	16	50	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0
2006	4	48	78	2	0	38	66	0	0	25	35	0	0	8	4	0	0
2007	47	69	36	28	30	53	25	17	12	24	10	10	1	11	0	1	0
Maks	91	92	91	90	83	91	91	53	54	88	91	24	33	62	69	9	1
Pro- sek	35	61	71	27	20	48	52	10	10	32	34	3	3	16	13	1	0
																	0
																	2
																	0

- $ET/ET_0 < 0,5$  – početna
- $ET/ET_0 < 0,4$  – intenzivna
- $ET/ET_0 < 0,3$  – ekstremna
- $ET/ET_0 < 0,2$  – vrlo ekstremna
- $ET/ET_0 < 0,1$  – kompletna.

Sumiranjem gore navedenih podataka, nameće se nekoliko zaključaka:

- Godine sa visokom sumom prolećnih temperatura (mart  $T_{10}^{\circ}\text{C} > 40^{\circ}\text{C}$ , prosek =  $22,4^{\circ}\text{C}$ ): 1977, 1990, **2001**;
- Godine sa visokom sumom prolećnih temperatura (aprili  $T_{10}^{\circ}\text{C} > 100^{\circ}\text{C}$ , prosek =  $75,4^{\circ}\text{C}$ ): 1983, 1986, 1989, 1998, **2000**, 2006;
- Godine sa visokom sumom letnjih temperatura (jun  $T_{10}^{\circ}\text{C} > 350^{\circ}\text{C}$ , prosek =  $296,2^{\circ}\text{C}$ ): **2003**, 2007;
- Godine sa visokom sumom letnjih temperatura (julij  $T_{10}^{\circ}\text{C} > 410^{\circ}\text{C}$ , prosek =  $359,6^{\circ}\text{C}$ ): 1987, **1994**, **2000**, **2002**, 2006;
- Godine sa niskim količinama padavina u proleće (mart  $P < 15\text{mm}$ , prosek =  $42,7\text{ mm}$ ): 1984, **1992**, 1999, **2002**, **2003**;
- Godine sa niskim količinama padavina u proleće (aprili  $P < 35\text{mm}$ , prosek =  $50,5\text{ mm}$ ): 1983, **1992**, 1993, **2000**, **2002**, **2003**, 2005, 2007 ( $0\text{ mm}$ );

Godine sa ekstremnim sumama temperaturama i nedostatkom padavina ukazale su na prisustvo sušnih uslova koji se potvrđuju na osnovu podataka datih u Tabeli 1.10 Uticaj suše na poljoprivrednu proizvodnju zabeležen je na terenu u istim periodima koji su indikovani rezultatima modela 1992–1994. i 2000–2003. za kulture koje se ne navodnjavaju.

### 1.2.3. Agrometeorološka mreža

Neki delovi Zemljine površine apsorbuju zračenje efikasnije nego drugi, što rezultira pojmom toplih lokaliteta i zona. Stoga vazduh iznad njih postaje topliji od vazduha iznad okolnog hladnijeg terena. Topli delić vazduha se podiže, a kako se podiže i širi, on se i hlađi. Ako se takav delić vazduha ohlađi do temperature tačke roze, dolazi do kondenzacije vlage i formira se kumulusni oblak. Zavisno od gradijenta temperature i količine vodene pare koju topli vazduh nosi, mogu se formirati konvektivni kumulonimbusni oblaci. Zbog toga su konvektivne kiše koje dolaze iz konvektivnih oblaka u velikoj meri zavisne od karakteristika površine, a njihova prostorna raspodela može doneti različite količine padavina na lokacije koje se nalaze veoma blizu jedna drugoj.

U modeliranju rasta i razvoja useva prostorna razlika u količini padavina može dovesti do velikih grešaka u proračunu. Početna tačka za modeliranje useva je kalibracija modela za stvarne uslove.

Pitanje je koji su stvarni uslovi, jer se u većini slučajeva meteorološka stanica iz koje prikupljamo podatke nalazi u blizini, ali nije postavljena na polju. Da bismo istražili koliko velika može da bude greška kod izračunavanja modela, koristili smo AgriClim paket za upoređivanje suma temperature i količine padavina sa stanice Hidrometeorološkog zavoda Srbije, smeštene na Rimskim Šančevima ( $45^{\circ}15'N$ ,  $19^{\circ}50'E$ , 84 m asl) i podatke prikupljene na agrometeorološkim stanicama oko ove lokacije, koje su deo agrometeorološke mreže Prognozno-izveštajne službe za zaštitu bilja Srbije (PIS).

Tabela 1.11. Podaci o stanicama

Geografska širina	Geografska dužina	Nadmorska visina	Lokacija		
45.39805	19.8201	78	Čenej	CE1216	PIS
45.24902	19.7239	80	Futog	FU1216	PIS
45.38614	19.7745	77	Kisač	KI1216	PIS
45.333	19.85	84	Rimski Šančevi	RS1216	RHMZ



Slika 1.24. Rastojanje između odabralih stаница

Za odabrane lokacije (Tabela 1.11), uz korišćenje AgriClim paketa, urađeno je poređenje prosečnih temperatura, izračunata je suma temperatura iznad  $10^{\circ}C$  i suma količine padavina za period 2012–2016. godine (Tabela 1.12).

Godina	RS1216	FU1216	CE1216	KI1216
Prosečna temperatura (°C)				
2012	17.64	17.25	18.18	17.43
2013	17.04	16.60	17.23	17.00
2014	16.60	16.41	17.01	16.64
2015	16.75	16.67	17.28	16.73
2016	17.64	17.42	17.87	17.34
Suma temperatara iznad 10°C				
2012	<b>714.95</b>	687.60	<b>769.05</b>	701.50
2013	669.45	635.30	690.70	670.55
2014	<b>608.6</b>	593.85	<b>646.20</b>	611.10
2015	644.85	644.00	690.65	641.80
2016	703.15	682.90	725.05	675.70
Količina padavina				
2012	162.5	143.2	195.4	119.4
2013	<b>279.6</b>	267.8	<b>337.6</b>	271.4
2014	<b>291.5</b>	274.4	<b>361.6</b>	274.6
2015	234.3	228.2	180.2	173.4
2016	<b>302.7</b>	291.8	<b>267</b>	239.8

Tabela 1.12. Prosečna temperatura, suma temperatara i količine padavina za period aprila-juna

Rezultati pokazuju velike razlike između suma temperaturama i količine padavina na svim lokacijama, na tako malom rastojanju. Stoga moramo biti veoma oprezni kada koristimo stanične podatke za prezentaciju stvarnih uslova na terenu.

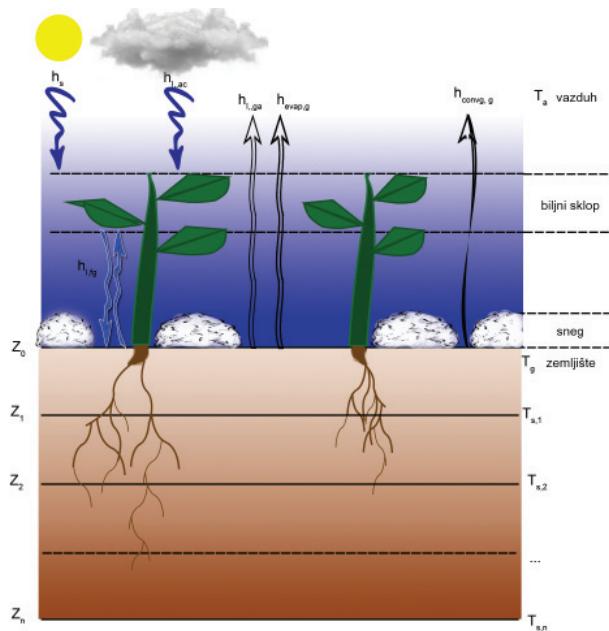
### 1.3 Agrometeorološka merenja

#### 1.3.1 Uvod

Agrometeorologija je interdisciplinarna holistička nauka koja predstavlja stvarni most između fizičkih i bioloških nauka. Iako mlada naučna disciplina, agrometeorologija se već početkom novog milenijuma suočava s nekim od najvećih izazova svetske nauke. Promene klime i milioni gladnih – civilizacijski su problemi s kojima će se naučna javnost hvatati u košta tokom godina i decenija koje dolaze, a agrometeorologija će svakako biti neizostavni deo tog procesa. Suštinska interdisciplinarnost i holističnost predstavljaju istovremeno i prednost i „teret“ agrometeoroloških istraživanja. Naime, bez potpunog sagledavanja interakcije atmosfera–zemljište–biljka nije moguće dati odgovore na pitanja sa kojima se agrometeorologija danas sreće. Otuda je i spektar bazičnih informacija u

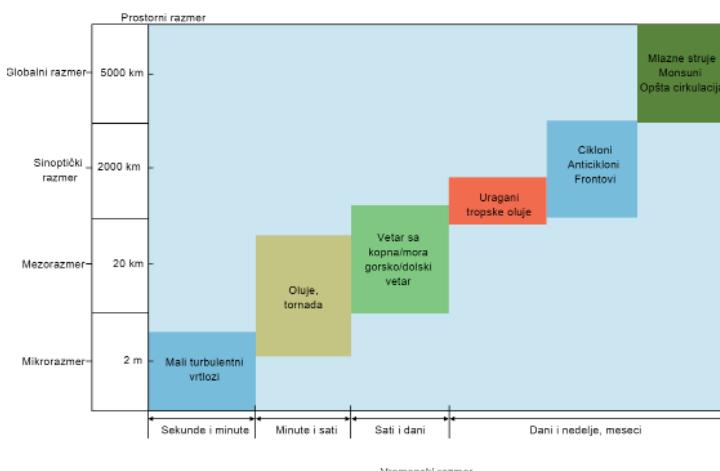
agrometeorologiji širok, uključujući ne samo meteorološke već po-djednako i hidrološke, pedološke i biološke faktore koji utiču na interakciju biljka-životna sredina, a samim tim i na poljoprivrednu proizvodnju.

**Slika 1.25.** Shematski prikaz modela biljnog sklopa.



Prostor u kome se obavljaju merenja i osmatranja za potrebe agrometeoroloških analiza i prognoza ograničen je, sa donje strane, najdubljim korenjem biljaka i drveća, prostire se kroz površinski sloj vazduha u kome biljke i životinje rastu i razvijaju se, i završava se u visokim slojevima atmosfere u kojima se odigravaju procesi kao što su transport i disperzija prašine, semenki i polena (Slika 1.25). Agrometeorološka merenja treba da zadovolje potrebe biljne i stočarske proizvodnje, šumarstva, ribarstva, proizvodnje u zatvorenom prostoru i na otvorenom polju, planiranja poljoprivredne proizvodnje, transporta i čuvanja poljoprivednih proizvoda. **Slika 1.26.** Shematski prikaz prostornih i vremenskih razmara kretanja u atmosferi (Izveštaj radne grupe Kolegijuma direktora hidrometeoroloških zavoda, 1984).

Pored meteoroloških pojava i fenomena velikih i mezo razmara (Slika 1.26), koji su obično predmet interesovanja šire javnosti, operativna agrometeorologija se bavi i procesima i pojavnama malih razmara koji su povezani sa prisustvom vetrozaštitnih pojaseva, navodnjavanjem, malčovanjem, senčenjem, kao i zaštitom od mraza i grada. Agrometeorološka merenja uključuju merenja meteoroloških elemenata, ali i merenja hidroloških, pedoloških i bioloških



Slika 1.26. Shematski prikaz prostornih i vremenskih razmera kretanja u atmosferi (Izveštaj radne grupe Kolegijuma direktora hidrometeoroloških zavoda, 1984).

faktora koji utiču na interakciju biljka–životna sredina, a samim tim i na poljoprivrednu proizvodnju. Prostor u kome se obavljaju merenja i osmatranja za potrebe agrometeoroloških analiza i prognoza ograničen je sa donje strane najdubljim korenjem biljaka i drveća, prostire se kroz površinski sloj vazduha u kome biljke i životinje rastu i razvijaju se, i završava se u visokim slojevima atmosfere u kojima se odigravaju i procesi kao što je transport i disperzija prašine, semenki i polena. Agrometeorološka merenja treba da zadovolje potrebe biljne i stočarske proizvodnje, šumarstva, ribarstva, proizvodnje u zatvorenom prostoru i na otvorenom polju, planiranja poljoprivredne proizvodnje, transporta i čuvanja poljoprivednih proizvoda. Posebno značajan problem sa stanovišta merenja u agrometeorologiji predstavljaju merenja za potrebe praćenja i prognoze pojave štetnih organizama.

Merenja i osmatranja fizičkih/meteoroloških i bioloških veličina su od suštinske važnosti za obezbeđivanje adekvatne informacije za najrazličitije korisnike: od proizvođača (malih i velikih), preko prognozno-izveštajnih službi u zaštiti bilja, savetodavaca u poljoprivrednim stručnim službama i istraživača u naučnim ustanovama, pa sve do eksperata koji treba da predlože strateške mere i planove razvoja poljoprivrede i za poljoprivrednu vezanih delatnosti. Način na koji će merenja i osmatranja biti obavljena zavisi od svrhe za koju se podaci obezbeđuju. Za potrebe agroklimatske karakterizacije, za monitoring klime ili za upravljanje prirodnim resursima potrebni su podaci na nivou regiona ili cele države za duži niz godina (najmanje 30 ako se radi o klimatološkim istraživanjima). Kada se radi o donošenju kratkoročnih odluka i ranim najavama prirodnih nepogoda, bolesti i štetočina, agrotehničkim merama, upravljanju mikroklimom, kao i za potrebe istraživanja, pored navedenih, potrebno je obaviti dodatna detaljna merenja i osmatranja naročito kada se radi o biološkim veličinama. Drugim rečima, neophodno je da

standardizovana meteorološka merenja budu upotpunjena standardizovanim biološkim merenjima i/ili osmatranjima.

U cilju stalne provere kvaliteta obezbeđenih podataka, važno je da izmereni biološki podaci budu uporedivi sa meteorološkim podacima sa stanovišta, pre svega, prostornog i vremenskog razmara na koji se odnose. Biološka osmatranja su, po svojoj prirodi fenološka, fenometrijska ili oboje. Fenološka su ona osmatranja koja treba da ukažu na moguće veze između fizičkih (pre svega meteoroloških) uslova životne sredine i dinamike razvoja biljaka i životinja, dok fenometrijska osmatranja ukazuju na uticaj ovih uslova na rast i razvoj biljke (*Manual on the Global Observing System*, WMO-No. 544; WMO Technical Notes 1). Od značaja su, takođe, i biološka osmatranja koja uključuju ocenu štete prouzrokovane ekstremnim vremenskim prilikama, štetnim organizmima, kao i merenje rasta i prinosa.

Prostorne razmere merenja u agrometeorologiji kreću se od mikro do makro razmara. Prema dokumentu Svetske meteorološke organizacije (SMO) iz 2008. (WMO, 2008b), za potrebe agrometeorologije, pod makro (velikim) razmerama se podrazumevaju razmere veće od 100 km, mezo (srednje) razmere su od 3 km do 100 km, topo (lokalne) razmere su od 100 m do 3 km i mikro razmere su manje od 100 m.

Specifičnost agrometeoroloških analiza i prognoza je česta potreba da budu obavljene u realnom vremenu. Kada se radi o fenomenima makro razmara (recimo promene u polju pritisaka kao posledice prolaska fronta) mogu se koristiti podaci izmereni i osmotreni u okviru mreže sinoptičkih stаницa nacionalnih hidrometeoroloških zavoda. Međutim, za potrebe planiranja i sprovođenja aktivnosti u poljoprivredi, važno je raspolagati informacijama koje su prikupljene na manjem prostornom razmeru. U nekim slučajevima, meteorološki podaci koji se odnose na male i mikro razmere mogu da se obezbede odgovarajućom interpolacijom podataka izmerenih na sinoptičkim meteorološkim stanicama (Wieringa, 1998; WMO, 2001b) ili primenom posebnih tehnika skaliranja („downscaling“). Sa druge strane, relevantni biološki podaci mogu da budu obezbeđeni jedino merenjem ili opreznim korišćenjem dobro kalibriranih satelitskih snimaka i modela za simulaciju rasta i razvoja biljaka („crop model“).

Meteorološki i biološki podaci bez metapodataka su nepouzdani. Meteorološka merenja ne obezbeđuju pouzdanu informaciju o stanju atmosfere u lokalnim razmerama ako nije poznato kako su podaci izmereni, uključujući tu i informacije o mernom instrumentu, njegovom položaju i orientaciji, učestalosti merenja, vremenu osrednjavanja i načinu na koji je obrada izmerenih podataka obavljena. Specifikacije svih ovih elemenata merenja se nazivaju *metapodaci*. Recimo, maksimalna temperatura vazduha izmerena brzim termometrom (sa malom inercijom) iznad suvog, peskovitog tla

može biti za nekoliko stepeni viša od maksimalne temperature izmerene istog trenutka u blizini, iznad vlažnog glinovitog zemljišta korišćenjem „sporijeg“ termometra, odnosno termometra sa većim koeficijentom inercije.

Kako bi se procenio sadržaj i kvalitet merenja neophodno je poznavati odgovarajuće metapodatke. Kada se radi o merenjima na sinoptičkim stanicama u mreži nacionalnih hidrometeoroloških službi, metapodaci su u nadležnosti SMO koja u potpunosti propisuje proceduru merenja. Međutim, veliki otvoreni prostor oko mernog mesta koji je zahtevan prema SMO procedurama nije uvek dostupan, a budžet koji je na raspolaganju ne ostavlja mnogo mesta za rešavanje ove vrste problema. Početkom 1990-ih klimatološka istraživanja su istakla značaj poznavanja stvarnog položaja meteorološke stanice, čak i u slučaju zvanično standardizovanih sinoptičkih stanica. Za agrometeorološke stanice, kojima se obavljaju različita merenja na različitim terenima, metapodaci su oduvek bili značajni, ali su obično označavani kao „istorija stanice“. Iz tog razloga je važno da se i sada uz stanicu koja obavlja merenja za agronomске potrebe beleže podaci koji se odnose na instrumente (tip, kalibracija, održavanje), njihovo postavljanje (visina, orijentacija, okruženje na topo razmerama) i proceduru merenja (način i frekvencija merenja, osrednjavanje, beleženje, arhiviranje). Više detalja o metapodacima u agrometeorološkim merenjima može se naći u publikaciji *WMO\_No134\_en\_Guide to Agricultural Meteorological Practices* (Poglavlje 2.2.5).

### 1.3.2 Organizacija agrometeoroloških merenja

(Delovi ovog poglavlja se baziraju na publikaciji Vasiraju R. K. Murthy et al.: *Agricultural Meteorological Variables and their Observations*. Prilagodila i uredila B. Lalić)

#### *Izbor lokaliteta*

Tačnost merenja je merljiva, unapred određena karakteristika merenja. Međutim, reprezentativnost merenja varira od jedne situacije do druge. Reprezentativnost merenja može da se opiše kao stepen do koga izmerena veličina pouzdano opisuje vrednost nekog parametra (na primer, temperature ili vlažnosti vazduha) na datim prostornim razmerama i za datu svrhu. Izbor mernog instrumenta, trajanje merenja i kompletna merna procedura treba da budu izabrani tako da se obezbedi najveća moguća reprezentativnost merenja. Recimo, temperatura vazduha u biljnom sklopu može biti merena na svaki minut i zatim osrednjena na nivou sata – kako bi računanjem akumulisanih stepen-sati pratili razvoj nekog štetnog organizma. Takođe, temperatura može da bude osrednjena na nivou dana kako bi poslužila kao bitan element u oceni proizvodnih uslova u regionu. Zato, prilikom izbora lokacije na kojoj će biti obavljena merenja prvo

mora biti jasno definisan cilj merenja – da li treba da bude reprezent regionalnih uslova ili treba da pruži vrlo specifičnu informaciju o stanju atmosfere na mikro razmerama? U prvom slučaju, centralna pozicija u zasadu obezbediće reprezentativnost merenja ukoliko se radi o ravničarskom predelu. Međutim, ako se radi o procesima mikro razmera onda stanicu treba postaviti na mesto na kome će dati fenomen najviše doći do izražaja: u krošnji drveta (u kojoj je vazduh uvek topliji i vlažniji nego izvan nje) ako se radi o praćenju bolesti i štetočina ili pak na dnu doline (gde se uvek skuplja i zadržava hladan vazduh tokom dana) ako se radi o zaštiti od mraza u brdovitim predelima. Međutim, i u ovim prilikama treba izbegavati lokacije koje su na (ili u neposrednoj blizini) terenu sa vrlo velikim nagibom, blizu jezera ili močvara ili se, pak, radi o lokaciji koja se često kvasi i plavi. Na kraju, meteorološka stаница ni pod kojim uslovima ne treba da bude postavljena na betonu, asfaltu ili drobljenom kamenu. Bitno je da je stаница postavljena na pokrivaču koji je karakterističan za dato područje. Objekti kao što su drveće, grmlje ili građevinski objekti treba da budu što dalje od mernih instrumenata. Merenje trajanja i intenziteta sunčevog zračenja može da se obavi na nekom lokalitetu samo ako se on, najveći deo dana, ne nalazi u senci. Brzina vetra ne može da se meri ukoliko se u okolini nalazi objekat koji je od mernog uređaja udaljen manje od rastojanja koje odgovara njegovoj desetostrukoj visini. Prilikom merenja padavina, kišomer mora biti postavljen tako da u njega ne stiže voda koja se cedi nakon što je tokom padavina zadržana na vegetaciji. Na kraju, treba uzeti u obzir i pristupačnost lokaliteta, raspoloživost ljudi na terenu koji će biti zaduženi za stanicu, kao i verovatnoću da izabrani lokalitet zadrži prvo-bitni izgled i namenu u toku dužeg vremena.

Kako bi uticaj ljudi i životinja na merenja bio smanjen na najmanju moguću meru, merni uređaji na stanicama su postavljeni u kućišta kad god je to moguće. Termometar uvek mora biti zaštićen od direktnog sunčevog zračenja, dok nosač anemometra treba postaviti na otvorenom – daleko od kućišta drugih instrumenata.

#### *Manipulacija izmerenim podacima*

Prilikom organizacije merenja važno je imati u vidu da li će stаница biti deo veće mreže ili će funkcionišati individualno, tj. za lokalne potrebe. Ukoliko je stаница deo mreže meteoroloških stаница, onda treba voditi računa da metodologija merenja bude ista kao kod ostalih stаница u mreži, da je tehnički moguće izvesti daljinsko očitavanje podataka ili lokalno merenje, čuvanje i slanje podataka do zajedničke baze. U tom slučaju, samo osnovna kontrola kvaliteta podataka se obavlja na mestu merenja, dok se kompletne kontrole obavlja u okviru zajedničke baze podataka. Međutim, ukoliko stаница funkcioniše samostalno, onda je odgovornost za kvalitet podataka, njihovo čuvanje i obradu u potpunosti lokalnog karaktera. Na

kraju, u oba slučaja je važno da se **rezervna kopija i sirovih i obrađenih podataka** redovno pravi i čuva na jednom mestu.

Inicijalna kritička kontrola podataka je, uglavnom, deo odgovornosti onog ko organizuje merenja i prikupljanje podataka. Ovde se ne radi samo o manipulaciji datotekama već o stvarnoj analizi izmerenih podataka na osnovu koje će kasnije biti doneti zaključci važni za proizvodnju i zaštitu biljaka. Kritička kontrola podataka uvek podrazumeva sledeće aktivnosti:

*i)* proveru kontinuiteta merenja i identifikaciju nedostajućih podataka. Datoteka sa informacijom o nedostajućim podacima je bitan element seta izmerenih podataka. Jedan od najvećih izazova u manipulaciji podacima jeste prevazilaženje malih „rupa“ u podacima.

*ii)* Identifikacija netačnih podataka. To su merenja koja ni u kom slučaju ne mogu biti tačna: relativna vlažnost vazduha veća od 100%, trajanje sunčevog sjaja veće od potencijalnog, temperatura vlažnog termometra veća od temperature suvog termometra, odsustvo vlaženja lista nakon kiše, prisustvo vlaženja lista iako nije bilo ni padavina ni rose. Važno je imati u vidu da ovakva merenja ne znače nužno da se radi o neispravnoj opremi. Naime, prva dva problema su sigurno posledica neispravnosti opreme, ali vlažni termometar može biti topliji od suvog ukoliko se greškom nađe izvan senke kućišta, senzor za vlaženje može biti na neki način poprskan i kada nema kiše ili pomeren iz senke i izložen vetru i sunčevim zracima koji ga gotovo trenutno osuše nakon prestanka padavina.

*iii)* Identifikacija potencijalno netačnih podataka. To su vrednosti meteoroloških elemenata izmerenih na meteorološkoj stanici koje su moguće ali malo verovatne. Recimo, nagli kratkotrajni pad temperature u julu za nekoliko stepeni ( $5^{\circ}\text{C}$  i više) a zatim isto tako nagli porast. Ovaj događaj može da bude rezultat naglog naoblazeњa praćenog brzim i kratkotrajnim prodom hladnih vazdušnih masa, ali isto tako može biti rezultat narušavanja prostora u kome se obavlja merenje od strane ljudi ili životinja. Otkrivanje potencijalno netačnih podataka jedan je od najkomplikovanijih zadataka kada se radi o kritičkoj kontroli podataka, ali i veoma značajan! Jer, ako je podatak tačan on može da ukaže (recimo u slučaju naglog kratkotrajnog pada temperature) na ekstremnu vremensku pojavu koja značajno utiče na fiziološke procese kod biljaka domaćina i štetnih organizama (na primer, prekid razvoja štetnog organizma), ali ako nije tačan onda njegova pogrešna interpretacija može da nanese značajnu štetu.

### *1.3.3 Merenje pojedinih meteoroloških elemenata*

#### *Intenzitet i trajanje sunčevog zračenja*

Intenzitet direktnog sunčevog zračenja se meri pirhelometrija, dok se piranometrima meri intenzitet difuznog, globalnog i zračenja reflektovanog od neke površine.

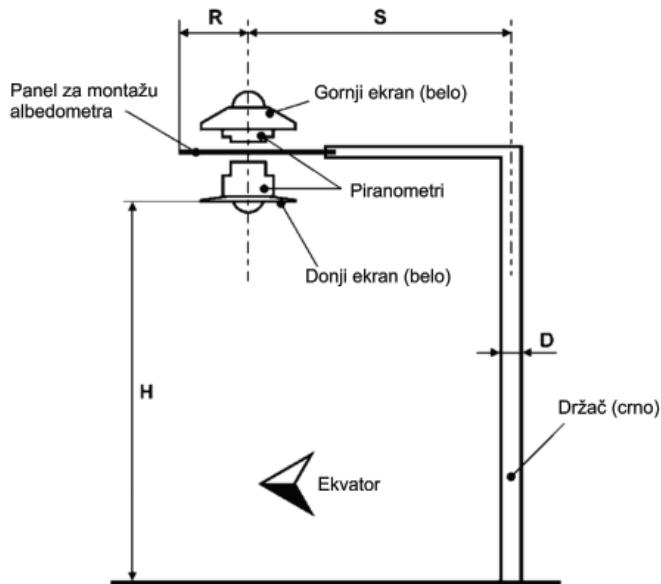
*Albedometri.* U meteorologiji albedo je mera reflektivnosti sunčevog zračenja od Zemljine površine ili oblaka u atmosferi. Na primer, svež sneg reflektuje 75–95% od kratkotalasnog sunčevog zračenja, dok Zemljina površina tipično reflektuje samo 5–35%. Merenje albeda se obično obavlja pomoću dva piranometra. Jedan, usmeren naviše prima globalno zračenje.

Slika 1.27. Albedometar



Drugi, usmeren naniže prima zračenje reflektovano od Zemljine površine. Ovakva kombinacija dva piranometra se zove albedometar (Slika 1.27). Senzor usmeren naniže ovičen je konkavnim ekranom koji ima zadatku da efikasno prikuplja reflektovano zračenje, ali i da eliminiše zrake koji stižu pri svitanju i sumraku. Naravno, idealno bi bilo da su oba senzora istog tipa. Ako senzori imaju istu osjetljivost moguće je spojiti signale sa njihovih izlaza kako bi bio produkovani signal koji odgovara neto zračenju. Ipak, uobičajeno je da se dva izlazna signala snimaju nezavisno, a potom se dele intenziteti reflektovanog i globalnog zračenja. S obzirom da se karakter i oblik površine ispod senzora mogu dramatično razlikovati, u

Slika 1.28. Postavljanje albedometra



cilju dobijanja reprezentativnih rezultata, eksperimentalno je utvrđeno da je najbolje postaviti piranometre na visinu od 2 m iznad tla. Veoma je bitno da noseća konstrukcija ne utiče na intenzitet zračenja koje stiže do senzora. Zato je uobičajeno da senzori budu orijentisani u pravcu najbližeg pola kako bi efekat senke bio eliminisan.

*Senzor za merenje trajanja sunčevog sjaja.* Iako konstruisan pre više od jednog veka (polovina XVIII veka), heliograf Kempbel-Stoksa je zbog svoje jednostavnosti i efikasnosti široko prihvaćen uređaj za merenje trajanja sunčevog sjaja, tj. trajanja direktnog sunčevog zračenja. Čak je prema standardima SMO, heliograf ušao u upotrebu kao standardni instrument za merenje trajanja sunčevog sjaja na meteorološkim stanicama. Ipak, vremenom se pokazalo da ovaj uređaj ima i značajne manjkavosti. Naime, minimun intenziteta sunčevog zračenja koji će da proizvede trag na heliografskoj traci zavisi i od temperature i relativne vlažnosti vazduha (koji utiču na stanje trake), kao i od vrste papira od koga je traka napravljena. Uređaj, takođe, zahteva i svakodnevnu zamenu trake i nema mogućnost formiranja elektronskog signala čime se eliminiše bilo kakva automatizacija u radu ili zapisivanju rezultata.

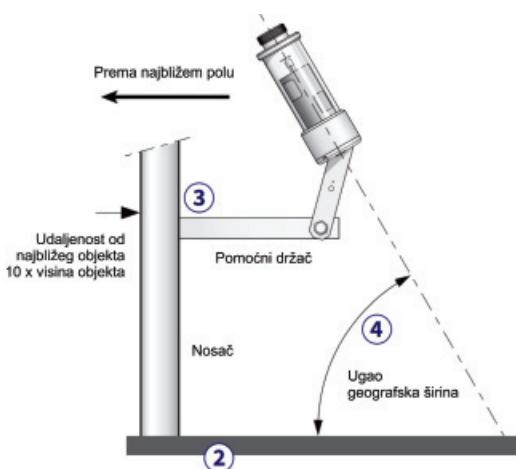
Dominacija automatskih meteoroloških stanica (AMS) sa savremenim oblicima komunikacije nametnula je zahtev za uniformisanjem merenja trajanja sunčevog sjaja. Analizom dugih vremenskih serija osmotrenih podataka utvrđeno je da se donja granica intenziteta sunčevog zračenja za pojavu traga na heliografskoj traci nalazi između 100 i 200  $\text{W m}^{-2}$ . Svetska meteorološka organizacija (SMO) je 1981. godine usvojila vrednost od 120  $\text{W m}^{-2}$  intenziteta direktnog sunčevog zračenja kao donju graničnu vrednost intenziteta zračenja koji odgovara vremenu koje nazivamo „sunčanim“. Otud potiče i definicija trajanja sunčevog sjaja kao vremenskog perioda tokom dana kada je intenzitet direktnog sunčevog zračenja veći od ili jednak 120  $\text{W m}^{-2}$ .

**Slika 1.29.** Uređaj za merenje trajanja sunčevog sjaja



Senzor prikazan na Slici 1.29 je najčešće korišćeni senzor za merenje trajanja sunčevog sjaja u Evropi. Razvijen je u holandskoj firmi Kip&Zonen i predstavlja unapređenu verziju Fosterovog senzora. Sastoje se od tri fotodiode raspoređene kao na Slici 6, sa koje se jasno vidi da senzor D1 prima globalno zračenje, dok su senzori D2 i D3 u senci i primaju samo difuzno zračenje. Elektronski sklop ovog uređaja zatim identificuje koji od senzora (D2 ili D3) meri difuzno zračenje i stvara, naravno, signal mnogo manjeg intenziteta. Potom, ovaj sklop oduzima manji signal (sa D2 ili D3) od većeg (sa D1) i tako određuje intenzitet direktnog sunčevog zračenja. Ovaj

**Slika 1.30.** Postavljanje uređaja za merenje trajanja sunčevog sjaja



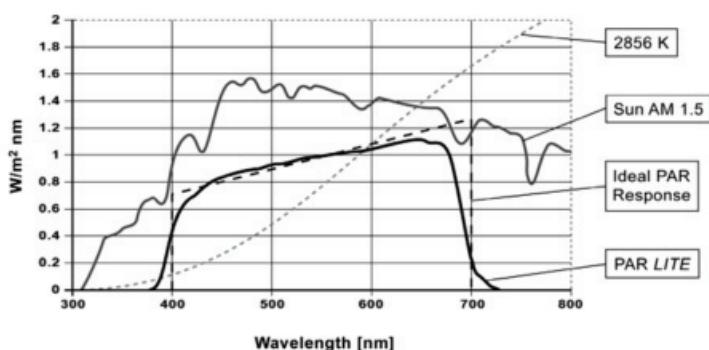
izlazni signal odlazi u komparator signala u kome se proverava da li on odgovara intenzitetu zračenja koje je veće od  $120 \text{ W m}^{-2}$  ili ne.

Prilikom postavljanja i orijentacije uređaja treba voditi računa o okolnim objektima i senci koju mogu da stvore elementi noseće konstrukcije. Senzori treba da budu postavljeni u vertikalnoj ravni, usmereni ka najbližem polu i pod uglom koji odgovara geografskoj širini mesta na kojem se nalaze (Slika 1.30). Sezonske promene položaja senzora nisu potrebne.

Instrument prikazan na Slici 1.30 može da radi na temperaturama od  $-40^\circ\text{C}$  do  $+70^\circ\text{C}$ , ali je opremljen grejačima postavljenim u dva nivoa koji obezbeđuju funkcionisanje i u ekstremnim uslovima. Prvi nivo grejača (1 W) namenjen je za prevenciju negativnih efekata rose, dok grejači na drugom nivou (10 W) ublažavaju efekte mraza i leda. Ovi grejači mogu da istope čak i sneg na temperaturi od oko  $-15^\circ\text{C}$ , što omogućava rad uređaja u ekstremnim klimatskim uslovima.

*Senzori za merenje fotosintetski aktivnog zračenja (FAZ).* Spekter sunčevog zračenja obuhvata opseg talasnih dužina od 300 nm do 3000 nm, od čega samo mali deo (400–700 nm) pripada vidljivom

delu spektra. FAZ senzori su napravljeni tako da mogu da obavljaju detekciju zračenja u onom delu spektra koji biljke koriste u procesu fotosinteze. U osnovi, struktura FAZ senzora se malo razlikuje od luksmetara. Upadni ugao za oba senzora je  $180^\circ$  (a ne  $5^\circ$  kao što je slučaj kod pirhelijometara), ali se difuzeri, optički filteri i fotodiode značajno razlikuju. Na Slici 1.31 naznačena je spektralna kriva za FAZ senzor koji treba da je kalibriran u  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ . Ova jedinica izražava broj fotona po  $\text{m}^2$  koji se javljuju u spektralnom opsegu od 400 do 700 nm, pri čemu ova kalibracija može da bude valjana samo



**Slika 1.31.** Spektralna osetljivost FAZ senzora

ako je obavljena u uslovima dnevnog svetla. Senzor je dizajniran tako da meri tzv. „kvantni odgovor“ u okviru talasnih dužina od 400 do 700 nm. Sa aspekta fotosinteze svaki foton iz ovog opsega talasnih dužina je podjednako značajan, ali fotoni sa manjom talasnom dužinom imaju veću energiju. Zato osetljivost FAR senzora treba da bude veća na većim talasnim dužinama, a manja na manjim talasnim dužinama. Time se obezbeđuje linearни porast spektralne osetljivosti, kao što je prikazano na Slici 1.31. Svi rezultati prikazani na ovoj slici zasnivaju se na pretpostavci o bezoblačnom nebu.

#### *Merenje temperature vazduha i zemljišta*

Temperaturni senzori na AMS su otporni senzori koji rade na principu merenja električnog otpora i izračunavanja njegove temperaturu na osnovu poznate veze između električne otpornosti materijala i njihove temperature.

Za potrebe agrometeoroloških merenja temperaturni senzori treba da budu postavljeni na različitim nivoima iznad zemljišta do 10 m iznad vrha dominantne vegetacije. Ovakav izbor mernih nivoa posledica je činjenice da temperatura vazduha utiče na razvoj lisne površine i biomasu. Ukoliko je cilj merenja praćenje dnevnih varijacija temperature, termometri treba da se instaliraju na najmanje jednoj visini. Kada iz nekog razloga nije moguće kontinuirano merenje temperature, onda je potrebno merenje maksimalne i minimalne temperature na 2 ili 3 nivoa. Ovakva

merenja treba da budu obavljena u standardizovanim uslovima, što podrazumeva da je termometar postavljen iznad kratke trave koja se redovno šiša ili iznad golog zemljišta.

Temperatura zemljišta direktno utiče na rast i razvoj biljaka jer se seme nakon setve, korenov sistem biljaka i mikroorganizmi nalaze na toj temperaturi. Takođe, ova temperatura utiče na usvajanje vode i mineralnih materija iz zemljišta. Standardne dubine na kojima se obavlja merenje temperature zemljišta su 5, 10, 20, 50 i 100 cm. Na većim dubinama su dnevne promene temperature sporije, tako da je dovoljno meriti temperaturu zemljišta jednom dnevno. Na dubinama manjim od 2 cm merenja mogu biti ozbiljno kompromitovana spiranjem ili uklanjanjem zemljišta sa senzora na različite načine. Prilikom merenja temperature zemljišta važno je biti siguran da je senzor u bliskom kontaktu sa zemljištem.

#### *Brzina, pravac i smer vetra*

Vetar transportuje toplotu i vlagu od tla, kroz biljni sklop u više slojeve atmosfere, narušava inverziju i smanjuje intenzitet mraza ako je temperatura ispod 0 °C, raznosi semenke, polen i prašinu, pojačava eroziju zemljišta, povećava intenzitet isparavanja sa zemljišta i evapotranspiracije sa biljnog pokrivača, a turbulentni transport umerenog intenziteta pojačava intenzitet usvajanja CO<sub>2</sub> od strane biljaka. Vetar velikog intenziteta može da dovede do mehaničkog oštećenja biljaka. Takođe, poznavanje vertikalnog profila vetra unutar i iznad vegetacije može da da bolju informaciju o procesima razmene topote i vlage između biljnog sklopa i atmosfere.

Brzina vetra se meri anemometrima, a pravac i smer vetrokazima. Električni daljinski anemometri koji se koriste na AMS mere trenutnu brzinu, pravac i smer vetra. Merenja mogu da se obavljaju u veoma kratkim vremenskim intervalima (1 s i manje), ali se potom izmereni podaci osrednjavaju u okviru 1 min, 30 min ili 60 min. Za razliku od temperature, recimo, osrednjavanje karakteristika vetra se obavlja po pravcu. To znači da se za izabrani period osrednjavanja izračunaju srednje brzine vetrova koji su duvali iz svih pravaca.

Agrometeorološke analize zahtevaju merenja karakteristika vetra toporazmera na visini od 10 m ili, ako to nije moguće, onda bar visini koja je tri puta veća od visine okolne vegetacije ili objekta koji se nalazi na udaljenosti ne manjoj od njegove desetostrukte visine.

#### *Vlažnost vazduha i zemljišta*

Vlažnost vazduha i zemljišta rezultat je balansa između dobitka vode usled padavina i njenog gubitka usled isparavanja, evapotranspiracije, oticanja ili usvajanja vode od strane biljaka. Vlažnost značajno utiče na razvoj biljaka i štetnih organizama i na taj način doprinosi povećanju ili smanjenju prinosa. Prevelika vlažnost vazduha doprinosi pojačanom razvoju različitih spora, ali i smanjenju

evapotranspiracije što nepovoljno utiče na fiziološke procese u biljci. Svište niska vlažnost vazduha povećava intenzitet isparavanja i dovodi do vodnog stresa. Poznavanje vlažnosti zemljišta od suštinske je važnosti za određivanje optimalnog trenutka i intenziteta navodnjavanja.

Elektronski higrometri su instrumenti koji rade na principu promene kapacitivnosti ili otpornosti izabranog materijala. Kapacitivni higrometri se sastoje iz dve metalne pločice između kojih je vazduh ili neki higroskopni materijal i koje igraju ulogu kondenzatora. Promenom vlažnosti vazduha menja se kapacitet ovog kondenzatora što lako može da se izmeri, a potom izračuna kolika je bila vlažnost vazduha. Otporni higrometri rade na sličnom principu, ali se koristi osobina materijala da im se električni otpor menja pri promeni vlažnosti. Za ove potrebe se koriste jako higroskopni materijali koji brzo reaguju na promenu sadržaja vlage u vazduhu i kojima se otpornost sporo menja sa promenom vlažnosti.

Postavljanje senzora za merenje vlažnosti vazduha treba da prati ista pravila koja važe za senzor za merenje temperature vazduha u pogledu reprezentativnosti, visina na kojima se merenja obavljaju i učestalosti merenja.

Vlažnost zemljišta opisana preko zapreminskega sadržaja vlage u zemljištu ( $m^3 m^{-3}$ ), može da se meri direktno (gravimetrijski i volumetrijski metod) i indirektno (kapacitivni i otporni higrometri, neutronski senzori, reflektometrijski senzori). Na AMS se za merenje vlažnosti zemljišta obično koriste kapacitivni i otporni higrometri zbog jednostavnosti upotrebe i cene. Prilikom instalacije treba obratiti pažnju na reprezentativnost mesta. Takođe, senzor treba postaviti na ravnom terenu, u homogenom zemljištu, u horizontalnom položaju (ukoliko je jedna dimenzija senzora značajno veća od druge dve), na najmanje 2 cm dubine. Preporuka je da u okviru metapodataka, za AMS koja meri i sadržaj vlage u zemljištu, postoje i informacije o vrsti zemljišta, poljskom vodnom kapacitetu i tački venjenja. Treba obratiti pažnju i na veličinu koju senzor zaista meri. Naime, proizvođači stanica često postavljaju senzore za merenje vodnog potencijala koji, bez dodatnih podataka, nije moguće preračunati u sadržaj vlage u zemljištu.

### *Vlažnost lisne površine*

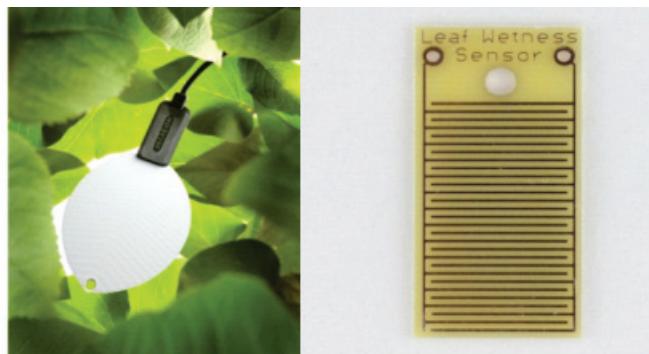
Merenje vlažnosti lisne površine je ekskluzivno agrometeorološko merenje koje je od značaja pri analizi uslova za pojavu štetnih organizama. Senzori za merenje vlažnosti lista rade na principu promene provodnosti materijala koji su izloženi istim uslovima kao i list. Specifična struktura strujnog kola omogućava da se utvrdi koji deo površine i koliko provodi električnu struju što odgovara površini lista prekrivenoj vodom. Kada se površina senzora osuši strujni režim se promeni i tada se smatra da je i list suv. Kao materijal koji kod senzora igra ulogu lista često se koristi filter hartija koja se vre-

menom ošteći. Zato je važno da se ova hartija redovno proverava i menja po potrebi. Prilikom postavljanja, bitno je da se senzor postavi unutar biljnog sklopa, u senci.

#### *Padavine*

Kontinuirano merenje količine padavina je od ključnog značaja za agrometeorološke analize i prognoze.

**Slika 1.32.** Senzori za merenje vlaženja lista

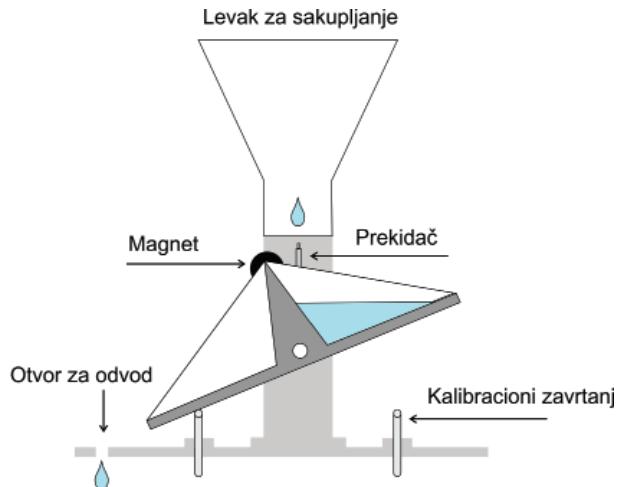


Padavine značajno utiču na energetski i vodni bilans zemljišta i biljnog sklopa, kao i na rast i razvoj biljaka i štetnih organizama.

Instrumenti za merenje količine padavina su kišomeri. S obzirom na princip rada, razlikujemo analogne i digitalne kišomere. Digitalni kišomeri mogu biti „standardni“, maseni i optički. „Standardni“ kišomeri rade na principu prebrojavanja signala koji se generišu kada se posuda pozname zapremine ispuni vodom od padavina.

Maseni digitalni kišomeri rade na principu merenja mase sakupljene vode od padavina. Optički kišomeri koriste laserski snop

**Slika 1.33.** Princip rada „standardnog“ elektronskog kišomera



koji biva prekinut prolaskom vode sakupljene od padavina kroz kišomer. Zbog velike osetljivosti laserski snop može da prekine i kapki tako da mu je preciznost veoma velika. Veoma važan element korišćenja elektronskog kišomera jeste njegova instalacija.

Kišomer treba da bude postavljen na otvorenom, u horizontalnom položaju na najmanje 30 cm iznad tla prekrivenog tipičnom

**Slika 1.34.** Postavljanje kišomera



vegetacijom. Objekti koji utiču na vazdušno strujanje treba da budu udaljeni od kišomera najmanje 2–4 visine objekta. Periodično, veoma je važno obaviti kalibraciju kišomera kako bi se izbegle greške merenja koje su posledice nesavršenosti uređaja, a koje nastaju usled eksploracije na otvorenom i izloženosti atmosferalijama.

<i>Variable</i>	<i>Accuracy required in daily values</i>
Temperature, including max/min, wet and dry bulb, soil	< ±0.5°C
Rainfall	±1 mm
Solar radiation including sunshine	10% (±1h)
Evaporation	±1 mm
Relative humidity	±5%
Photoperiod	10% (±1h)
Wind speed	±0.5 ms <sup>-1</sup>
Air pressure	±0.1 hPa

Tabela 1.13. Minimalna tačnost senzora prema SMO standardima

### 1.3.4 Radari (Radio detecting and ringing)

Meteorološki radari su izuzetno korisno sredstvo za detekciju i osmatranje različitih vremenskih sistema. Ćelije nevremena su, na primer, suviše male iz ugla osmatrača da bi ih mogle registrovati široko rasprostranjene mreže osmatračkih uređaja. Sa druge strane, meteorološki radar kontinuirano skenira veoma široku oblast i može da locira male i izložene zone padavina.

Meteorološki radari registruju razvoj i disipaciju ćelija nepogoda, smer i brzinu kretanja, kao i spiralne trake pljuskova koje se poklapaju sa uraganima. U nekim situacijama kada je tornado prisutan, eho kukastog oblika može da se uoči na ekranu radara. Ovakav kukasti eho u osnovi ukazuje na pljuskove koji su uskovitlani cirkulacijom unutar nekoliko nepogoda.

#### *Princip rada radara*

Pri ispitivanju unutrašnje strukture oblaka, padavina, olujnih i turbulentnih zona, oni se tretiraju kao prostorno raspoređeni meteorološki objekti, dok se kao površinski raspoređeni objekti obično tretiraju talasi na vodenoj površini, veliki komadi leda na vodenoj ili čvrstoj podlozi, granične površine između oblaka i atmosferskih vrtloga i sl. Bez obzira da li se radi o prostorno ili površinski raspoređenim meteorološkim objektima, njihova udaljenost od radara se određuje na osnovu vremena potrebnog da radarski signal pređe put do objekta i nazad, dok se položaj objekta određuje na osnovu orientacije faznog fronta odbijenog talasa. Meteorološki objekti na koje padaju radarski signali delimično rasejavaju, a delimično pojačavaju ove signale, igrajući ulogu novih izvora signala. Nakon sudaša sa objektom menjaju se amplituda, frekvencija, faza i polarizacija odbijenog signala.

Pored do sada navedenih uzroka, na pojačanje i rasejanje radarskih signala u atmosferi mogu uticati molekuli gasova koji su sastavni deo atmosfere, kao i različite primese antropogenog ili nekog drugog porekla. U cilju kvantifikovanja rasejanja radarskog signala na različitim objektima uveden je pojam efektivne površine rasejanja koja opisuje mogućnost objekta da rasejava radarski signal i predstavlja odnos gustine fluksa zračenja rasejanog u pravcu prijemnika u odnosu na fluks zračenja koji je pao na objekat.

Meteorološki radari su doživeli brojna poboljšanja tokom poslednjih 10 godina. Ipak, bez obzira na mogućnosti i složenost, svim ovim uređajima je zajedničko da rade na principu odbijanja radarskog snopa od objekata na koje nailaze na svom putu. Analizom povratnog snopa moguće je odrediti udaljenost, položaj, oblik i mnoge druge karakteristike posmatranog objekta. Jedna od osnovnih jednačina na kojoj se zasniva analiza radarskog snopa koji se vratio do uređaja je tzv. *radarska jednačina* koja je oblika:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \theta^2 H \pi^3 K^2 L}{1024 \ln 2 \lambda^2} \frac{Z}{R^2} \quad (1.6)$$

Ova jednačina uključuje veličine koje su ili promenljive ili mogu da budu direktno izmerene. Evo koje su to veličine i kako mogu da se odrede:

$P_r$  je prosečna snaga signala vraćenog od mete. Prvobitno je radar obično slao ne više od 25 impulsa i potom određivao prosečnu snagu vraćenih signala. Koncept zasnovan na principu emisije više impulsa je neophodan jer snaga signala odbijenih od meteoroloških objekata varira od impulsa do impulsa.

$P_t$  – maksimalna snaga poslatog signala. Za svaki radar ovo je poznata veličina od koje direktno zavisi prosečna snaga vraćenog signala.

$G$  – parametar antene je poznata karakteristika svakog radara koja pokazuje koliko je data antena sposobna da fokusira energiju odlazećeg signala u snop. Snaga povratnog signala je direktno сразмерna kvadratu ovog parametra.

$q$  – prostorni ugao radarskog snopa. Snaga povratnog signala je direktno сразмерna kvadratu ove veličine. Ova pretpostavka je takođe neprimenljiva na radar čiji cilj su jako udaljeni objekti. Smanjenje rezolucije radara sa povećanjem udaljenosti objekta se zove „aspect ratio problem”.

$H$  – trajanje radarskog signala.

$K$  – fizička konstanta koja zavisi od dielektrične konstante za vodu. Uobičajena je pretpostavka da je dielektrična konstanta za vodu približno 1, što je odraz njene visoke reflektivnosti. Problem nastaje kada je meteorološki objekat, zapravo u nekom od agregatnih stanja vode koje nema tako dobru reflektivnost. Tipičan primer su sneg i suvi led (grad) za koje konstanta ima vrednost oko 0,2.

$L$  – je faktor gubitka koji uključuje smanjenje registrovane snage povratnog snopa koje je izazvano padavinama, gasovima, kao i ograničenjima prijemnog uređaja. Slabljenje radarskog snopa izazvano padavinama zavisi od intenziteta padavina i talasne dužine snopa. Kada se radi of atmosferskim gasovima umanjenje zavisi od ugla elevacije snopa, opsega i talasne dužine. S obzirom da svi ovi efekti mogu da dovedu do slabljenja za oko 2 db, onda se uobičajeno svi signali pojačavaju za ovaj iznos.

$I$  – talasna dužina transportovanog elektromagnetnog zračenja. Ovo je poznata karakteristika svakog radara. Iznos energije koji se do radara vrati nakon odbijanja od padavina je obrnuto сразмерan talasnoj dužini signala s obzirom da je za male talasne dužine karakteristično veliko prigušenje.

$Z$  – koeficijent refleksije za padavine. Ovo je veličina koja mora da se izračuna u dатој situaciji i zavisi od broja i dimenzija kapljica. Određivanje ove vrednosti može da predstavlja problem jer radar nije u mogućnosti da odredi dimenzije padavina. Ove dimenzije su

značajne jer se koeficijent refleksije padavina određuje izračunavanjem šestog stepena prečnika svih padavina u nekoj zapremini. Tako kapljica od 1/4 inča reflektuje isti iznos energije kao i 64 kapljice od 1/8 inča iako je u potonjima 729 puta više vode.

R – udaljenost mete-padavina od radara. Ova vrednost može da se izračuna merenjem vremena koje je potrebno da se signal vrati do radara. Njeno tačno poznavanje je veoma važno jer je prosečna energija koja stigne do radara obrnuto srazmerna udaljenosti mete. Naravno, do izvesnog, dodatnog slabljenja signala može doći i zbog pomeranja mete. Korišćenjem relacije između Z i R moguće je proceniti količinu padavina. Empirijska jednačina koja se obično koristi u tu svrhu je oblika  $Z = 200 R^{1.6}$ , pri čemu ona, naravno može biti korigovana za dato područje ili doba godine kako bi se postigla bolja predviđanja.

#### *Doppler radar*

Princip rada većine meteoroloških radara zasnovan je na merenju snage reflektovanog radarskog snopa. Ovi radari su veoma korisni za određivanje položaja, strukture, kretanja i razvoja nepogoda. Konvencionalni meteorološki radari, koji su u operativnoj upotrebi od kraja četrdesetih godina, korišćeni su za određivanje intenziteta padavina i prisustva padavinskih oblaka iznad velikih prostorijava (na rastojanjima 100–300 km od radara). Princip detekcije se zasnivao na transmisiji snažnog snopa elektromagnetskog zračenja visoke frekvencije koncentrisanog u snop malog prostornog ugla, njegovoj refleksiji od delića oblaka i prijemu energije reflektovanog snopa putem antene. Orientaciono, ovi impulsi su imali frekvenciju od nekoliko stotina herca, trajanje oko  $\mu\text{s}$  i talasnu dužinu  $l = 3\text{--}10 \text{ cm}$ . Danas, za operativne svrhe Doppler-meteorološki radari predstavljaju standard. Za razliku od konvencionalnih radara koji su registrovali, pre svega, reflektivnost radarskog snopa na uočenom objektu, Doplerovi radari mogu da registruju i promenu frekvencije reflektovanog signala na osnovu koje se određuje radikalna brzina mete (uglavnom padavine i fluktuacije indeksa prelamanja vazduha).

Mnogi novi radari su zasnovani na merenju brzine kretanja objekta korišćenjem Doplerovog efekta. Može se pokazati da promena frekvencije radarskog signala,  $f$ , uzrokovana kretanjem posmatranog objekta brzinom  $V$ , iznosi:

$$\Delta f = \frac{2V}{\lambda} \quad (1.7)$$

gde je  $l$  – talasna dužina radarskog signala.

Radari imaju izvesna organičenja kada se radi o brzini i udaljenosti objekta koji će biti jasno detektovan. Kada se posmatrani objekat kreće tako da je njegovo radikalno odstojanje od radara konstantno (kao kod kružnog kretanja), dakle kada se objekat ne kreće ni ka radaru ni od njega, posmatrani objekat će biti tretiran kao da se

nalazi u stanju mirovanja, bez obzira što brzina (ali ne radijalna) objekta može biti značajna. Sa druge strane, postoje i ograničenja u smislu koliko velike fazne promene radar može da detektuje. Na primer, ako se objekat udaljava takvom brzinom da prelazi  $1/2 l$  između dva uzastopna radarska impulsa koja stižu do objekta, to će prouzrokovati fazni pomeraj p. Isti pomeraj će radar detektovati i ako se objekat kreće ka radaru istom brzinom. Dakle, u ovakvoj situaciji ne možemo da registrujemo razliku u kretanju između ova dva objekta. Pored toga, ako je brzina objekta takva da između prispeća dva radarska impulsa pređe put  $l$ , radar neće registrirati nikakvu promenu faze i smatraće da objekat miruje.

Ograničenja u smislu udaljenosti posmatranog objekta uslovljena su, pre svega, zakrivljenošću Zemlje, tako da meteorološki objekti udaljeni više od 400 do 500 km od radara fiksiranog na Zemlji, verovatno neće biti jasno detektovani. Drugi razlog koji postavlja ovu vrstu ograničenja, čak i kada se posmatrani objekat kreće tako da eliminiše negativan efekat zakrivljenosti Zemlje, je činjenica da se snaga reflektovanog impulsa smanjuje po stepenom zakonu kao  $1/r^2$ . Dakle, kada bi i stigao do prijemnika njegova snaga bi bila toliko mala da radar ne bi mogao da ga registruje.

#### *Meteorološki objekti*

Jedna od najznačajnijih funkcija radara je njegova sposobnost da detektuje nepogode i druge vremenske fenomene. Pogledajmo kako registruje samo neke od njih i koja se ograničenja pri tom javljaju.

*Oblaci.* Radari samo pod određenim okolnostima mogu da registruju echo koji stiže od oblaka. Meteorološki radari za određivanje mikrofizičkih karakteristika oblaka i padavina zasnivaju se na pojavi da kapljice u oblacima, kišne kapi, ledeni kristali, zrna grada i snežne pahulje raspršuju radarske signale i time pobuđuju radarske objekte.

Različiti tipovi oblaka će formirati sadržajniji ili slabiji echo u zavisnosti od tipa, starosti, porekla i visine oblaka. Što su oblaci stariji dimenzije kapljica su veće, te se tom prilikom formira intenzivniji radarski odraz. Novije verzije meteoroloških radara imaju dve talasne dužine tako da mogu da posluže za obe namene. Radari mogu da se upotrebe i za određivanje kako horizontalnih tako i vertikalnih razmraza oblačnih i padavinskih područja.

*Kiša.* Većina radara može lako da detektuje kišu. Pri tom, padavine mogu da budu različitog intenziteta – od sipećih kiša do teških pljuskova. Merenje kišnih padavina pomoći radara jedan je od njihovih osnovnih zadataka. Pri tom, neke karakteristike kišnih padavina, kao što su njihove dimenzije igraju odlučujuću ulogu.

Radari su u mogućnosti da obezbede kvantitativne informacije o padavinama visoke rezolucije. Koeficijent refleksije radara za kišu varira od oko 20 dB do više od 50 dB. Reflektivnost od 75 dB obično je vezana za pojavu grada. Što je ovaj faktor veći to je veća verovatnoća da je grad prisutan, dok njegovo dalje povećanje ukazuje na

povećanje dimenzija zrna grada u odnosu na uobičajene vrednosti. Radarski procesori mogu da detektuju veoma male razlike u reflektivnosti. Kod većine radara je dinamički opseg (razlika između najmanje i najveće snage impulsa koji radar može da registruje izražena u dB reda veličine od 80 do 90 dB, i najčešće je podeljen na 256 delova, dajući tako rezoluciju od 1/3 dB po jedinici mernog intervala. Naravno, ovolika rezolucija nije uvek neophodna.

*Sneg.* U većini slučajeva detekcija snega za radare ne predstavlja problem. Naravno, postoje izvesne razlike u detektovanju kiše i snega. Jedan od glavnih uzroka leži u činjenici da je intenzitet padavina kada se radi o kiši daleko veći nego kada je u pitanju sneg. Pri tome treba imati u vidu da je intenzitet padavina definisan kao zapremina vode od padavina koja u jedinici vremena padne na jedinicu površine.

Druga značajna razlika između refleksivnosti snega i kiše je posledica razlike u dielektričnim konstantama. Naime, led ima manju dielektričnu konstantu od vode. Zbog ovih razlika, snaga radarskog snopa koji se vrati od mete tipa sneg/led je oko 7 dB manja nego što bi bila da se snop reflektovao na vodi. S obzirom da su kristalići leda obično veći od oblačnih kapljica, oni za radar predstavljaju ledene sfere odgovarajuće mase. Na kraju, mogućnost detekcije snega je dodatno umanjena zato što se nepogode koje donose sneg veoma često javljaju na različitim visinama. Naime, snežne nepogode obično imaju velike prostorne razmere, ali se javljaju na visini od samo nekoliko stotina metara od površine. Ovakva nepogoda, produkovana na visini od oko 500 m nalaziće se ispod radarskog snopa ako je udaljenost od radara veća od 260 km. Svi ovi efekti doprinose da sneg bude manje vidljiv za radar od kiše.

*Grad.* Po definiciji, to su padavine u obliku leda čiji je prečnik najmanje 5 mm. Uglavnom su praćene grmljavinskim nepogodama. Reflektivnost grada zavisi od toga da li je njegova spoljašnja površina vlažna ili suva, da li ima delova zapremine koji su ispunjeni vodom ili nema. Reflektivnost jednog zrna grada se menja dok ono pada kroz atmosferu i prelazi put od iznad do ispod nivoa topljenja.

Činjenica je da proces formiranja većine padavina bar u jednoj fazi prolazi kroz očvršćavanje, umesto da se radi o različitim fazama tečnog stanja. Kiša koja stiže do tla u većini slučajeva je prvobitno bila u fazi snega ili leda. Prilikom pretvaranja snega u kišu, odigravaju se promene koje su značajne i koje utiču na to šta će radar “videti”.

Kada se radi o česticama istog prečnika (ili približno iste mase) reflektivnost leda je manja od reflektivnosti kapljice vode. Takođe, treba imati u vidu da sfere i drugi glatki objekti padaju brže od hrapavih objekata iste mase, kao i da teški objekti padaju brže od lakih objekata istih dimenzija. Tela padaju brže dok su u višim slojevima atmosfere, nego u blizini površine gde je gustina vazduha veća.

Imajući sve navedeno u vidu, možemo razmotriti šta se dešava kada sneg pada i topi se pretvarajući se u kišu. Iznad nivoa topljenja u atmosferi (tj. iznad izoterme od 0 °C) sneg će padati relativno

manjom brzinom s obzirom da se tada kreće kroz slojeve čija je temperatura malo iznad tačke mržnjenja. Kada mržnjenje otpoče, prvo se mrznu spoljašnji slojevi, a zatim unutrašnji. Topljenje se odigrava u istom smeru, što znači da se prvo tope vrhovi pahuljica. Kada proces topljenja uzme maha oko pahulje se formira vodeni sloj iako ona sama zadržava relativno velike i nepravilne dimenzije. Otuda, radaru sve ovo više liči na velike kapljice vode koje padaju vrlo spor. Transformacija leda u vodu će u početku povećati koeficijent refleksije za oko 7 dB.

Tokom padanja i topljenja ovakvog snega obloženog vodom njegove dimenzije se smanjuju, a brzina povećava. Usled promena dimenzija smanjuje se reflektivnost. Zbog povećanja brzine kapljice mnogo brže napuštaju nivo topljenja nego što dolaze na njega, što smanjuje reflektivnost ove oblasti koja za radar postaje tamnija. Reflektivnost radarskog snopa koja odgovara snegu iznad nivoa topljenja će se povećati za 5–15 dB usled topljenja snega. Nakon toga, pri prolasku kroz atmosferu dolazi do smanjenja njene vrednosti za 5–10 dB da bi dostigla minimum u zoni neposredno ispod nivoa topljenja. Kada postoji jaka konvekcija, iako su fizički procesi u atmosferi isti, prelazni sloj između snega i kiše je gotovo nemoguće detektovati.

## 1.4. Prognoza vremena

Agrometeorološka merenja igraju značajnu ulogu u poljoprivrednoj praksi. Međutim, merenja nam pokazuju trenutno stanje mikrometeoroloških veličina ispod, unutar i iznad biljnog sklopa. Neretko je u planiranju agrotehničkih mera za ublažavanje delovanja ekstremnih vremenskih prilika ili prevenciju pojave pojedinih bolesti i štetnih organizama potrebno poznavanje meteoroloških elemenata u narednom periodu. Takve informacije možemo dobiti iz prognoze vremena. Prognoza vremena je izveštaj o očekivanim meteorološkim uslovima za određeni period i za određenu oblast ili deo atmosfere.

Ona se dobija progniziranjem stanja atmosfere primenom fizičkih principa, podržanih različitim numeričkim, statističkim i empirijskim tehnikama. Promene u atmosferi često su rezultat promena na površini Zemlje (npr. snežni pokrivač, temperatura i vlažnost tla) koje su isto tako uključene u proces prognoze.

Za prognozu vremena koriste se numerički modeli (NPV). NPV predstavlja sistem jednačina koje opisuju stanje i tok fluida (atmosfere). Do danas, razvijen je veliki broj NPV. Složenost modela rasla je sa razvojem kompjuterskih resursa. Jedan od prvih koraka u prognozi vremena napravio je Luis Ričardson (Lewis Fry Richardson) 1922. godine. Proračun primitivnim jednačinama trajao je šest nedelja za prognozu stanja atmosphere iznad dve tačke u Centralnoj Evropi.

NPV koji uključuje celu planetu Zemlju naziva se globalni model. Za inicijalizaciju globalnog modela potrebni su početni i granični

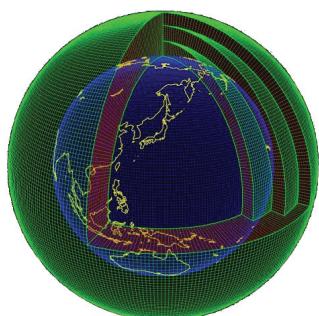
Tabela 1.14. Definicije različitih razmara prognoze vremena (izvor: <http://www.wmo.int>)

uslovi koji se dobijaju iz merenja meteoroloških veličina na tlu, odnosno iz mreže meteoroloških stanica. Pored osmatranja na meteorološkim stanicama podaci koji mogu da se uvrste u modele dospevaju iz veoma različitih izvora, kao što su satelitski podaci, merenja radarima, meteorološkim balonima, avionima, brodovima itd. Složeni sistem osmatranja i kompjuterski resursi omogućavaju prognozu vremena na različitim prostornim i vremenskim skalamama (Tabela 1.14). Rezultate simulacija (“izlaze”) globalnog modela teško je direktno koristiti kao prognozu vremena jer je rezolucija na kojoj oni rade veoma niska. Iz tog razloga razvijeni su regionalni modeli. Rezolucija regionalnih modela može biti veoma visoka i često dostiže 1 do 2 km. Regionalni modeli kao početne i granične ulaze koriste izlaze iz globalnih modela.

1	Trenutna prognoza (Nowcasts)	Opis trenutnog stanja atmosfere i prognoza za narednih 0 do 2 časa.
2	Skraćena kratkoročna prognoza	Prognoza vremena u, najduže, narednih 12 časova.
3	Kratkoročna prognoza	Prognoza vremena za budućih 12 do 72 časa.
4	Srednjoročna prognoza	Prognoza vremena za budućih 72 do 240 časova.
5	Producena prognoza	Prognoza vremena za 10 do 30 dana. Najčešće data u obliku srednjih vrednosti.
6	Dugoročna prognoza	Prognoza vremena za budućih 30 dana do 2 godine.
6.1	Mesečni srednjaci	Opis srednjih vrednosti meteoroloških elemenata, najčešće prikazanih u obliku odstupanja od srednjih klimatoloških vrednosti.
6.2	Tromesečni srednjaci	Opis srednjih vrednosti meteoroloških elemenata, najčešće prikazanih u obliku odstupanja od srednjih klimatoloških vrednosti za dati tromesečni period.
6.3	Sezonski srednjaci	Opis srednjih vrednosti meteoroloških elemenata, najčešće prikazanih u obliku odstupanja od srednjih klimatoloških vrednosti za datu sezonom.
7	Klimatološke prognoze	BI znad dve godine.
7.1	Prognoze varijabilnosti klime	Opis očekivanih vrednosti klimatoloških parametara povezani sa varijacijama u godišnjim, dekadnim i multidekadnim klimatskim anomalijama.
7.2	Klimatske projekcije	Opis očekivanih klimatskih uslova u odnosu na promene u prirodnoj sredini koja uključuje ljudski faktor.

U nekim zemljama dugoročna prognoza se smatra produktom klimatologije. Sezone su najčešće definisane kao Dec/Jan/Feb =

zima, Mar/Apr/Maj = proleće, itd., na severnoj hemisferi. U tropskim predelima sezone se često drugačije definišu.



**Slika 1.35.** Globalna horizontalna i vertikalna mreža (<https://public.wmo.int/en/our-mandate/weather>)

Skoro svi fiziološki i biohemijski procesi koji imaju ulogu u rastu i razvoju biljaka i štetnih organizama su aktivirani i/ili limitirani temperaturom (donji i gornji prag), a stopa i brzina procesa je najčešće proporcionalna količini dostupne energije. Prema tome, ukoliko postoji numerički model koji opisuje proces koji je zavistan od meteoroloških elemenata, izlazi iz NPV modela mogu se koristiti za prognozu posmatranog procesa. U poljoprivrednoj praksi mesecne i sezonske prognoze su od posebnog značaja. Najbolji efekti mogu se očekivati upotrebom kalibriranih modela čiji su ulazni podaci rezultati dugoročne prognoze. Na ovaj način mogu se prognozirati fiziološki procesi, fenologija, rast i razvoj useva, prinos i pojava i intenzitet bolesti i štetnih organizama.

Fiziološki i biohemijski procesi odigravaju se na tačno određenim vremenskim i prostornim skalamama. Fenologija biljaka zahteva više vremena nego pojava bolesti i štetnih organizama. Sam proces prema tome diktira koji produkt prognoze vremena je moguće koristiti za njegovo prognoziranje. U praksi se za prognozu biljnih bolesti koristi kratkoročna prognoza vremena. Za prognozu nastupanja određenih fenoloških faza i prinosa mogu se koristiti dugoročne i sezonske prognoze. Međutim, uvek se postavlja jedno značajno pitanje: „Koliko smemo ići u budućnost sa prognozom vremena, a da ne smanjimo tačnost prognoze posmatranog procesa?“ Odgovor na ovo pitanje je tesno vezan za proces ili događaj koji želimo da prognoziramo.

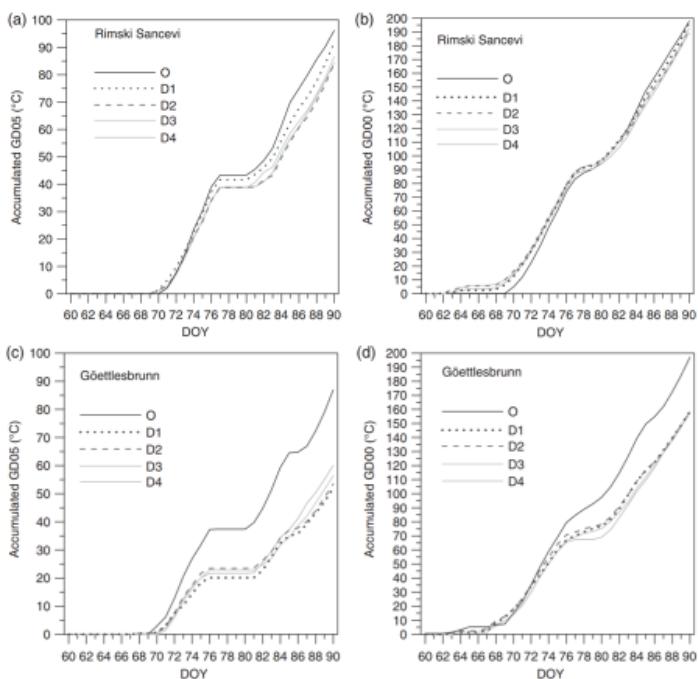
U daljem tekstu dati su primeri upotrebe različitih produkata NPV.

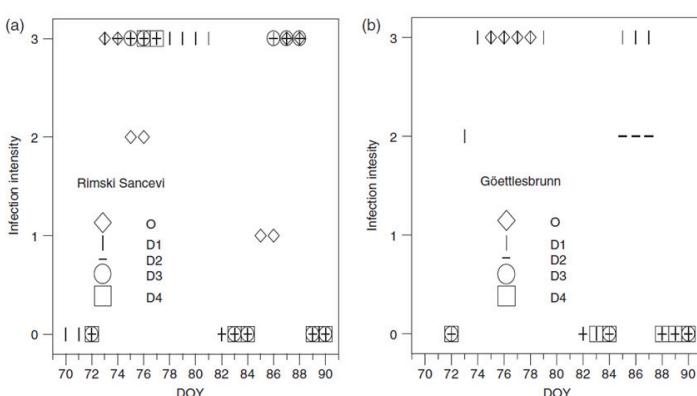
#### 1.4.1. Upotreba kratkoročne prognoze vremena

WorkEta model potiče od HIBU modela (Hydrometeorological Institute and Belgrade University), koji je razvijen 1970. godine u Beogradu, najranija relevantna referenca je Mesinger and Janjic (1974). Tokom 1980. godine kod je unapređen promenom horizontalne advektivne šeme sa Arakava šemom (Arakawa-style horizontal advection scheme) (Janjic, 1984). Napredni paket fizičkih processa dodat je naknadno (Janjic, 1990) u NCEP-u (National Centers for Environmental Prediction, Washington, USA).

Poslednja verzija WorkEta NPV modela korišćena je za prognozu meteoroloških elemenata za naredna četiri dana. Izlazi iz NPV modela iskorišćeni su kao ulazni podaci za biometeorološki sistem za opis pojave bolesti u voćnjacima i vinogradima (BAHUS) (Mihailovic et al., 2001). Deo BAHUS-a odgovoran za procenu pojave čađave krastavosti jabuka korišćen je na dva lokaliteta – Rimski Šančevi u Srbiji i Goettlesbrunn u Austriji (Lalic et al., 2016). Prilikom obrade rezultata, osmotrene sume temperatura (GDD) su poređene sa sumama temperature računatim za jedan dan prognoze (D1), dva dana prognoze (D2), tri dana prognoze (D3) i četiri dana prognoze (D4) za mart mesec 2011. godine (Slika 2).

**Slika 1.36.** Poređenje akumuliranih sumi temperature izračunatih za jedan (D1), dva (D2), tri (D3) i četiri (D4) dana prognoze, kao i za osmatranja u martu 2011. godine (DOY, označava dan u godini) (Lalic et al., 2016)





**Slika 1.37.** Intenzitet  
čađave kravatosti jabuke  
izračunat sa D1, D2, D3 i D4  
prognozom i osmotrenim  
vrednostima u martu 2011.  
godine na dva lokaliteta  
(DOY, označava dan u  
godini) (Lalic et al., 2016)

Rezultati su pokazali da su GDD računati sa svim danima prognoze (1, 2, 3 i 4) veoma bliski GDD računatim sa osmotrenim podacima. Međutim, postojao je nedostatak u prognoziranju meteoroloških uslova za inicijaciju inkubacije bolesti.

Prema prikazanom primeru, izlazi iz drugog NPV modela, WRF modela, su korišćeni za testiranje efikasnosti prognoze pojave plamenjače vinove loze. WRF predstavlja novu generaciju NPV modela koji se koriste operativno i u istraživačke svrhe. Prognoze su pravljene na svaka 4 dana i korišćene su kao ulazni podaci za BA-HUS model za dve lokacije u Srbiji (Čerević i Vršac). Vrednosti progniziranih meteoroloških elemenata varirali su u odnosu na osmotrene vrednosti, ali je start inkubacionog perioda dobro prognoziran. Ova istraživanja podržala su trdnju da kratkoročna prognoza predstavlja moćan alat koji treba iskoristiti operativno u prognozi pojave biljnih bolesti (Firanj Sremac et al., 2016).

#### 1.4.2. Producena srednjoročna prognoze vremena

Producena srednjoročna prognoza je produkt Evropskog centra za srednjoročnu prognozu vremena (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF). Vremenski korak prognoze je 46 dana i fokusirana je najviše na nedeljnim promenama meteoroloških elemenata. Prognoza je kreirana u obliku ansambala (ANS), možemo reći mesečne prognoze koja je kreirana kaplovanim integracijama atmosferskog i okeanskog modela. Okeanski model je uključen s obzirom da varijabilnost meteoroloških veličina na mesecnom nivou zavisi od uticaja okeana na atmosfersku cirkulaciju. ANS su proizvedeni puštanjem istog modela sa različitim ulaznim podacima, odnosno sa malim promenama na podacima. Razlog kreiranja ANS je postojanje grešaka u velikom broju podataka koji ulaze u modele. Prema tome, promene u ulaznim podacima mogu dati odgovor na pitanje kako oni utiču na krajnju prognozu. Pored ANS, uvek se pušta i kontrolna prognoza koja se pravi bez promena

na inicijalnim vrednostima. Druga uloga ANS prognoze je nemogućnost modela da predviđa tačnu vrednost meteoroloških elemenata, zato se iz ANS prognoza može izraziti verovatnoća pojave određene vrednosti.

Da bi se procenili efekti mogućih inicijalnih grešaka i neodređenost prognoza napravljena je analiza bazirana na malim izmenama u 4D-Var. Ovaj proces rezultira ansamblom mnogih (trenutno 50) različitih, "promenjenih", početnih stanja. Nedostaci modela predstavljeni su stohastičkim procesima. Ako se prognoze, počevši od analiza sa promenjenim poljima, slažu sa kontrolnom prognozom (predviđanja kontrolnog člana ansambla), onda se može smatrati da je atmosfera u predvidivom stanju, a da sve nepoznate greške neće imati značajan uticaj na prognozu. U takvim slučajevima moguće je sa velikom sigurnošću izdati kategoričnu prognozu. S druge strane, ako ANS prognoze značajno odstupaju od kontrole i jedna od druge, može se zaključiti da se atmosfera nalazi u prilično ne-predvidivom stanju.

Pretpostavlja se da je izvor predvidljivosti u mesečnim prognozama koje se odnose na evropski kontinent Madden-Julian oscilacija (MJO), koja predstavlja tropsku oscilaciju dužine 40–50 dana (Ferranti et al., 1990; <https://www.ecmwf.int>).

### *Praktična upotreba mesečne ansambl prognoze*

Praktična upotreba mesečne ansambl prognoze započinje uvođenjem metodologije za verifikaciju prognoze koja uključuje računanje srednje kvadratne greške (root mean squared error, RMSE) i "raspon" ansambla (ensemble spread, SPRD). Ista metodologija se može upotrebiti ako se ansambli meteoroloških podataka koriste kao ulazni podaci u modelima biljne proizvodnje. Svaki član ansambla ima istu verovatnoću. Prema tome, RMSE koji se koristi za određivanje efikasnosti modela može da se koristi i kao mera tačnosti proračuna izlaza iz modela za biljnu proizvodnju (crop model outputs, CMOs). RMSE se računa na sledeći način:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_{ji} - A_i^{OB})^2} \quad (1.8)$$

gde su  $A_{ji}$  vrednost veličine A za i-ti element uzorka (u ovom slučaju dan) i j-ti član ansambla;  $A^{OB}$  je osmotrena vrednost veličine A i-tog dana; m je dužina uzorka (182 dana); i je broj ansambala (u ovom slučaju 40). Obično, srednja vrednost ansambla ( $1/n \sum A_j$ ) od vrednosti A i-tog elementa uzorka obeležen je sa  $A_i^{EA}$ . SPRD, koji predstavlja nepouzdanost ansambla definiše se kao:

$$SPRD = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (A_{ji} - A_j)^2} \quad (1.9)$$

U agronomskim istraživanjima mesečna prognoza, produkt ECMWF, može se koristiti za prognozu prinosa, deficit vlage u zemljištu, evapotranspiracije, indeks lisne površine, formiranja biomase, nastupanja određenih fenoloških faza i mnogih drugih veličina.

U primeru koji sledi mesečna prognoza je korišćena za prognoziranje agroekoloških uslova u Srbiji i Austriji. Prognozirane i osmotrene ekstremne mesečne temperature za period mart – jun su upoređene korišćenjem izračunatih RMSE i SPRD (Tabela 1.15).

	RMSE (°C)				SPRD (°C)			
	M	A	M	J	M	A	M	J
	Tmin							
Groß-Enzersdorf	2,9	1,6	1,0	0,8	1,2	1,1	0,9	0,7
Rimski Šančevi	1,3	1,2	1,0	1,6	1,2	1,2	0,9	0,7
Tmax								
Groß-Enzersdorf	5,1	4,0	2,4	2,8	1,5	1,4	1,3	1,3
Rimski Šančevi	3,0	1,9	1,7	1,5	1,7	1,4	1,4	1,5

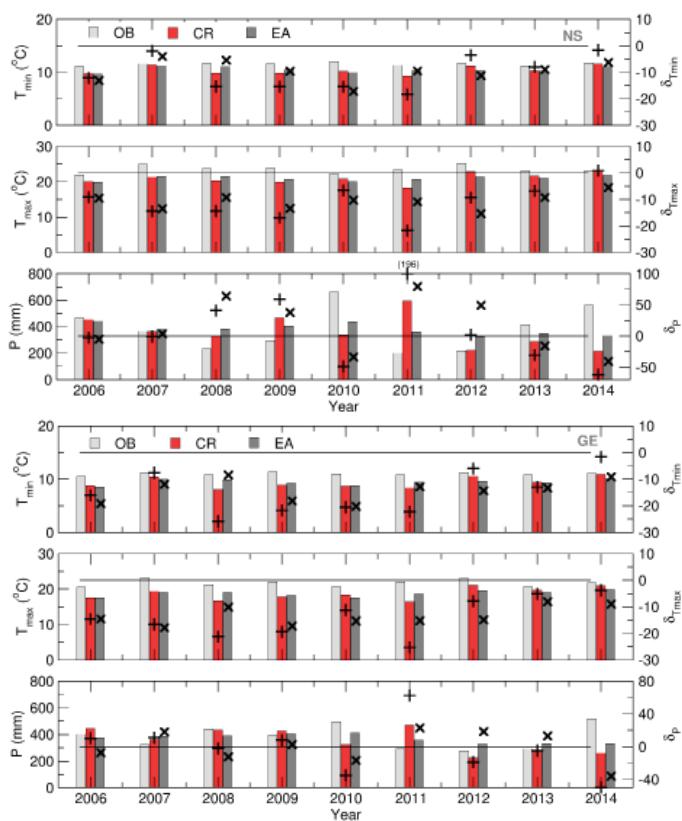
Tabela 1.15. RMSE i SPRD za srednje mesečne vrednosti maksimalne (Tmax) i minimalne (Tmin) temperature vazduha dobijene upotrebom 50 članova ansambla (M – mart, A – april, M – maj, J – jun).

Visoka tačnost mesečne prognoze u prognoziranju niskih temperatura, posebno u proleće, je obećavajuća posebno kada se govorи o mogućnosti prognoze kasnog mraza. Naime, u godinama sa značajnim pomeranjem fenoloških faza prema početku godine, prognoza i odbrana od mraza postaju značajan problem. Visoke temperaturе su loše prognozirane na obe lokacije. Razlika u Groß-Enzersdorf na početku godine rezultat je prodora toplog vazduha koji mesečna prognoza nije predvidela. Problem može najčešće da nastane u opisu lokacije u modelu. Često se tačka osmatranja ne nalazi na istoj nadmorskoj visini kao tačka u modelu (Lalic et al., 2017).

#### 1.4.3. Dugoročna prognoza vremena

Tokom protekle decenije, ECMWF je razvio sistem za izradu ansambla sezonskih prognoza zasnovanih na istom sistemu hidrodinamičkih jednačina korišćenih u srednjoročnim prognozama. U ovom sistemu, perturbacije se koriste za stvaranje početnih uslova za kreiranje ansambala. Sezonske prognoze su opravdane dugim vremenskim korakom okeanske cirkulacije (red veličine od nekoliko meseci) i značajnim uticajem varijabilnosti temperature tropskih mora na globalnu atmosfersku cirkulaciju. Pošto okeanska cirkulacija predstavlja glavni izvor predvidljivosti na sezonskoj vremenskoj skali, NPV sistem za sezonske prognoze baziran je na integracijama modela okeana i atmosfere. Sezonsko predviđanje je takođe problem početnih vrednosti, ali se većina informacija nalazi u početnom stanju okeana. U sezonskim vremenskim koracima, glavni izvor predvidljivosti je fenomen El-Nino južne oscilacije (ENSO) (Vu et al., 2009). Smatra se da sezonska predvidljivost proističe iz interak-

**Slika 1.38.** Minimalne temperature ( $T_{\min}$ ), maksimalne temperature ( $T_{\max}$ ) i količina padavina (P) za period od 1. marta do 31. avgusta. Srednje vrednosti (stubići) i relativna devijacija ('+', kontrola – CR; 'x', srednja vrednost ansambla – EA) dobijene upotreboom osmotrenih (OB), CR i EA setova podataka za Novi Sad (NS gore) i Groß-Enzersdorf (GE, dole) u periodu 2006–2014. (Lalic et al., 2017)

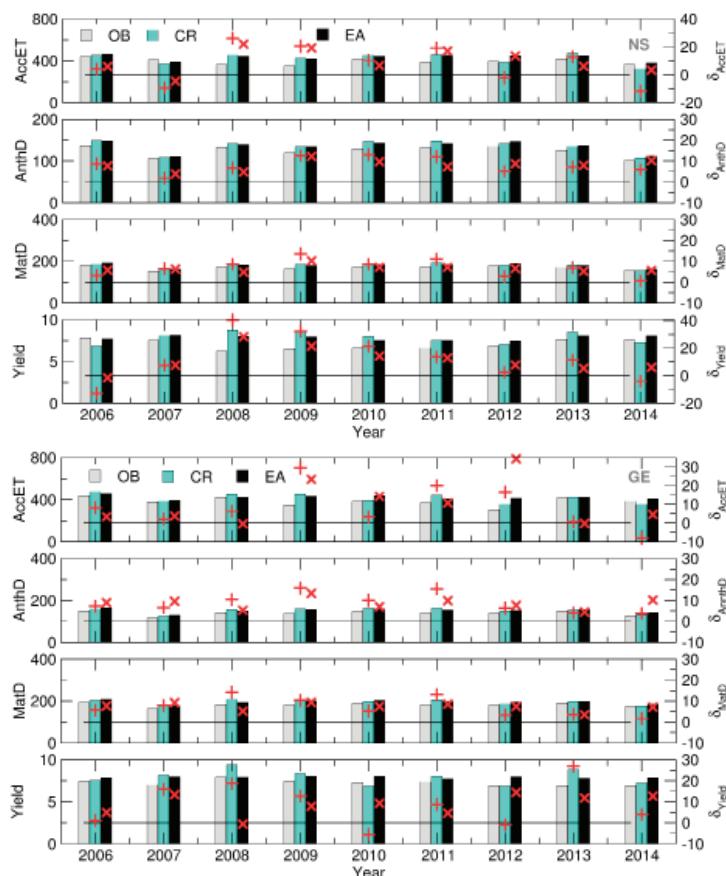


cije troposfere i stratosfere koje su povezane sa kvazi-bienialnom oscilacijom (KBO) (Baldwin et al., 2001) i iznenadnim stratosferskim zagrevanjem (SSV) (Marshall i Scaife, 2010).

Sistem za sezonske prognoze ECMWF započeo je sa 10 članova ansambla u 2006. godini. Do 2014. godine taj broj je porastao na 50. Vremenski korak sezonske prognoze je sedam meseci.

Primer praktične primene sezonskih prognoza, opisan u nastavku, predstavlja upotrebu prognoza kao ulaznih parametara za model biljne proizvodnje. Za testiranje prognoze prinosa ozime pšenice modelom SIRiUS u Austriji i Srbiji izabran je period od 2006. do 2014. godine (Lalic et al., 2017).

Razlike između vrednosti, dobijenih osmotrenom meteorologijom i onih izračunatih sa sezonskim prognozama posebno su izražene u 2010. i 2014. godini. Rezultat ovih razlika je greška u proceni količine padavina (Slika 1.38). U periodu od 1. marta do 31. avgusta 2010. godine odigrala se epizoda sa ekstremnim vrednostima padavina. Zabeležena suma padavina u toku tih 6 meseci iznosila je 655 mm, nešto više od srednje godišnje vrednosti za isti lokalitet koja iznosi 647 mm. Većina ovih padavina od maja do avgusta, i mesečne vrednosti padavina prešle su srednje mesečne



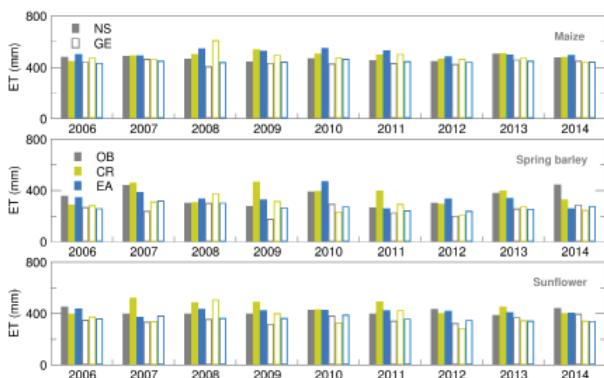
**Slika 1.39.** Prinos (Yield,t), dan punog zrenja (MatD,DOY), dan početka cvetanja (AnthD, DOY) i stvarna evapotranspiracija (AccET, mm) (stubići) i njihovo relativno odstupanje ('+', CR, 'x', – EA) izračunati pomoću OB, CR i EA setova podataka za Novi Sad (NS gore) i Groß-Enzersdorf (GE, dole) u periodu 2006–2014. (Lalic et al., 2017)

vrednosti za više od 50%. U proleće i leto 2014. godine zabeležene su padavine koje su iznad klimatološke srednje vrednosti, a u Srbiji je došlo do ekstremnih poplava. Čak i tačnije srednjoročne prognoze koje je objavio ECMWF ne pokrivaju taj konkretan događaj (Lalic et al., 2017).

Ulazi za model biljne proizvodnje SIRIUS obezbeđeni su iz osmotrenih meteoroloških podataka, kontrolnog člana ansambl prognoze i svih članova sezonske ansambl prognoze da bi se dobili ansambl izlaznih podataka. Rezultati prikazani na Slici 1.39 pokazuju vrlo malu razliku u proceni početka cvetanja i datuma punog zrenja izračunatih sa EA i CR podacima. Razlog je visoka efikasnost prognoze temperature koje predstavljaju promenljivu vrednost u jednačinama za proračun fenologije. Stvarna evapotranspiracija (AccET) i prinos (Yield) računati sa svim podacima dali su bolje rezultate za Novi Sad nego za Groß-Enzersdorf i vrlo dobre rezultate dobijene sezonskim prognozama.

U drugom primeru, sezonske prognoze su korišćene za proračun komponenata bilansa “zelene” vode, prinosa različitih kultura i “vodnog otiska” (eng. water footprint). Vodni otisak poljo-

**Slika 1.40.** Evapotranspiracija (ET) u toku vegetacionog perioda kukuruza, jarog ječma i suncokreta izračunata sa osmotrenim podacima (OB), kontrolom (CR) average ansamblima (EA) za period 2006–2014. (Lalic et al., 2018)



privrednih useva predstavlja količinu utrošene vode u procesu njihove proizvodnje. Razlikuju se zeleni "vodni otisak" (količina vode koju poljoprivredne kulture dobijaju od padavina) i plavi "vodni otisak" (količina vode iz navodnjavanja) i sivi "vodni otisak" (količina vode koju treba dodati vodnom telu da bi se zagađena voda dovela do željenog kvaliteta) (Stričević et al., 2017). Za proračun je korišćen AquaCrop model verzija 5.0 kalibriran i testiran za agroekološke uslove u Srbiji i Austriji. Izlaz iz modela koji je predstavljen u ovom primeru je stvarna evapotranspiracija (Slika 1.40) računata za jari ječam, kukuruz i suncokret na dva lokaliteta i sa osmotrenim meteorološkim podacima (OB) i sezonskim prognozama (kontrola CR i srednja vrednost ansambala EA).

Primeri i studije odakle su primeri proistekli, pokazuju veliki potencijal primene sezonskih prognoza u poljoprivrednoj praksi. Primena može da se sproveđe kroz sisteme za donošenje odluka i operativne sisteme za rano alarmiranje i upozorenja. Na državnom nivou upotrebom sezonskih prognoza procena prinosa poljoprivrednih kultura mogla bi značajno da se unapredi, kroz bolju procenu šteta nastalih ekstremnim vremenskim prilikama (suša, tolotni talasi i dr.).

Slabost sezonskih prognoza je često nemogućnost da prognozira kratkotrajne ekstremne vremenske prilike. U tim slučajevima rešenje je kombinacija izlaza na različitim vremenskim koracima (kratkoročna, srednjoročna i dugoročna prognoza).

## **Deo 2 – Agrometeorološko modeliranje, Emisija gasova staklene bašte, Austrijski sistem za monitoring suše, efekti abiotičkog stresa na produktivnost biljaka (suša, zaslanjenost, teški metali)**

- 2.1. Agrometeorološko modeliranje, AquaCrop model
- 2.2. Emisija gasova staklene bašte iz zemljišta
- 2.3. Austrijski sistem za praćenje suše u poljoprivredi (AgroDroughtAustria – ADA)
- 2.4. Tolerantnost prema suši – primer šećerne repe
- 2.5. Uticaj sonog i osmotskog stresa na gajene biljke i mehanizmi njihovog prilagođavanja
- 2.6. Stres teških metala i fitoremedijacija

### **2.1. Agrometeorološko modeliranje AquaCrop model**

#### **Uvod**

Modeli biljne proizvodnje (eng. *crop models*) su tokom poslednjih decenija XX veka započeli novo poglavje savremene poljoprivrede. Nastali na temeljima vekovne želje čoveka da predviđi ponašanje živih bića, rezultat su rada brojnih timova biologa, agronoma različitih specijalnosti, meteorologa i programera. Modeli biljne proizvodnje su tokom dosadašnjeg razvoja i eksploracije uglavnom služili istraživačima kao korisno sredstvo za sistematizaciju i korišćenje podataka prikupljenih tokom poljskih eksperimenata. U razvijenim zemljama ovi modeli su postali nezamenljivi izvor informacija u savetodavnim službama, poljoprivrednim stanicama i svim drugim mestima na kojima se donose odluke vezane za proizvodnju i zaštitu bilja. Ipak, ne treba izgubiti izvida ni ogromne mogućnosti njihovog korišćenja tokom obrazovanja budućih agronomova, biologa i drugih stručnjaka za koje je izuzetno značajna interakcija biljka–spoljašnja sredina i efekti ove interakcije.

Cilj ovog dela kursa jeste da budućim agronomima, koji treba da budu direktno uključeni u ratarsko-povrtarsku proizvodnju, da pruži osnovna znanja o modeliranju ove proizvodnje, o mogućnostima aplikacije i ograničenjima. Važno je, takođe, imati u vidu da su značajna unapređenja postojećih i razvoj novih modela uvek u toku i da predstavljaju otvoren poziv mladim agronomima i istraživačima.

## Uticaj cilja modeliranja na strukturu i razvoj modela

Nivo detalja koje modelar uključuje u svaki matematički opis rasta i razvoja biljaka zavisi od svrhe koju dati model treba da ispunii. Recimo, da je zadatak modelara da razvije model koji će za potrebe globalnog ekonomskog modela predviđati godišnji prinos žitarica u svetu. Za te potrebe bi verovatno bilo dovoljno napraviti regresionu analizu na osnovu višegodišnjih podataka o prinosu žitarica u svetu i na osnovu nje predvideti koliki se prinos može очekivati u narednoj godini. Međutim, ako je cilj da se ista veličina izračuna za jednu državu ili manji region, onda je potrebno uključiti mnogo više ulaznih podataka koji će uzeti u obzir uticaj lokalnih karakteristika (vrsta zemljišta, vreme, sorta, itd.) na prinos posmatranog područja. Na kraju, ako je cilj da se razvije model koji će simulirati rast i razvoj posmatrane žitarice na dnevnom nivou i na osnovu toga na kraju izračunati prinos, onda je neophodno da model uzima u obzir promene u okruženju biljke u kraćem vremenskom periodu (reda veličine dana) u vidu velikog broja ulaznih podataka. Za ove potrebe, uobičajeno se razvijaju dinamički modeli rasta koji, pored dosad navedenih, uzimaju u obzir i agrotehničke mere, karakteristike sorte i zemljišta i meteorološke podatke.

## Tehnike modeliranja – regresiona analiza

Regresiona analiza jedna je od najčešće korišćenih statističkih tehniki da se neki matematički model ili funkcija koja opisuje posmatranu pojavu ili proces uskladi sa eksperimentalnim podacima. Iz tog razloga je od početka XX veka korišćena kao najjednostavnija tehnika modeliranja. U cilju prognoziranja prinosa, ovu tehniku je prvi put upotrebio Ser Ronald Fišer 1924. godine kada je na osnovu podataka prikupljenih na Eksperimentalnoj stanici Rothamsted (Engleska) pokušao da utvrdi uticaj padavina na prinos (Pereira, 1987). Različite varijante (procedure) regresione analize mogu da se upotrebe u zavisnosti od toga da li se radi o linearnim ili nelinearnim modelima. Za potrebe analize i prognoze u agronomiji, regresiona analiza može da obezbedi jednostavan opis rasta i razvoja biljaka. U agronomskoj nauci, četiri glavna aspekta ponašanja useva mogu da budu modelirana korišćenjem regresionih parametara: i) celokupna produkcija suve materije ili samo delovi ovog ciklusa; ii) komponente prinosa kao što je npr. broj zrna; iii) fenološki razvoj useva; iv) korišćenje raspoloživih resursa i odgovor useva. Ovako formulisani i kalibrirani modeli bili su korišćeni prilikom ispitivanja uticaja primenjenih agrotehničkih mera, kao što su primena đubriva i varijacija gustine setve na prinos i komponente prinosa.

Prvi koraci u korišćenju regresione analize svodili su se na podešavanje linearne funkcije na osnovu serija eksperimentalnih podataka što je bio relativno jednostavan zadatak. Međutim, podeša-

vanje nelinearne funkcije je mnogo komplikovanije i obično podrazumeva korišćenje iterativnih metoda kako bi se izračunali parametri za koje suma kvadrata odstupanja ima minimalnu vrednost (Dourado-Neto & Teruel, 1996). Hunt (1978, 1981) je revidirao tehnike i primenu tipova regresione analize. Jednačina koja je rezultat procesa primene tehnika regresione analize je u potpunosti empirijska i njeni parametri nemaju nikakvo fiziološko značenje. Primera radi, primenom gore navedene tehnike može da se dobije jednačina sledećeg oblika:

$$Y = a + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j=1}^m c_j T_j + e \quad (2.1)$$

gde je Y očekivani prinos; a, b i c su regresione konstante; xi – klimatološka promenljiva; n – broj klimatoloških promenljivih; Tj – tehnološke promenljive; m – broj tehnoloških promenljivih i e – očekivana greška. Kao klimatološke promenljive obično se koriste srednja mesečna temperatura tokom vegetacionog perioda, količina padavina i intenzitet sunčevog zračenja. Pod „tehnološkim“ promenljivim se često podrazumevaju karakteristike zemljišta (u nekim slučajevima), vreme i količina đubrenja i zalivanja i slično. Ovakav model, razvijen na osnovu dovoljno velikog broja podataka, može biti dovoljno egzaktan za primenu u specifičnim uslovima i na lokalitetu sa koga podaci potiču. Međutim, opisani model teško da može da se koristi na drugom lokalitetu ili u drugačijim uslovima. Ipak, treba naglasiti da su neki koncepti, koji su zasnovani na ovakvim modelima, a potiču iz XVIII veka, u upotrebi i danas. Najbolji primer je fenološki model razvoja biljaka, zasnovan na akumulaciji toplotnih jedinica, odnosno stepen-dana (Réaumur, 1735). Na kraju treba zaključiti da, iako ne može da se koristi izvan lokaliteta i uslova za koje je razvijen, statistički model zasnovan na regresionoj analizi i visokom nivou znanja o modeliranim procesima, može da bude korisniji od kompleksnog mehanicističkog modela (Rimington & Charles-Edwards, 1987).

### Jednačine i indeksi rasta biljaka

Koncept indeksa rasta (eng. *growth index*) potiče od ideje o klimatskim indeksima kod kojih je relativni razvoj pojedinih karakteristika biljke izražen kao funkcija jedne ili više klimatoloških promenljivih. Vrlo često je agroekološka reonizacija zasnovana na indeksima rasta biljaka ili klimatološkim indeksima, kao što su indeks vlažnosti i indeks suše nekog područja. Jedan od prvih primera indeksa rasta predložili su Fitzpatrick i Niks (Fitzpatrick & Nix, 1970):

$$GI = LI \cdot TI \cdot MI \quad (2.2)$$

gde je GI indeks rasta (maksimalna produktivnost koji može da se dobije na datom lokalitetu); LI je svetlosni indeks; TI je temperaturni indeks i MI je indeks relativne vlažnosti vazduha. U osnovi, LI, TI i MI predstavljaju odnos između izmerenih i optimalnih vrednosti (onih za koje bi bio dobijen maksimalan prinos) intenziteta sunčevog zračenja, temperature i padavina/evapotranspiracije tokom pojedinih fenoloških faza.

Jedan od prvih modela, koji je 1979. korišćen u FAO (Doorenbos & Kassam, 1979) za izračunavanje očekivanog prinosa je:

$$Yr = Yp \left[ 1 - K \left( 1 - \frac{ETr}{ETp} \right) \right] \quad (2.3)$$

Navedena relacija je, zapravo, kombinacija dva indeksa: K(1-ETr/ETp) – indeks koji opisuje deficit vlage i (1-Yr/Yp) – indeks koji opisuje odnos između registrovanog prinosa i potencijalne produktivnosti.

### Dinamički modeli za simulaciju rasta i razvoja povrća

Prilikom razvoja ovih modela, modelar uvek pretpostavlja da se stanje biljke u bilo kom trenutku kvantitativno može opisati numeričkim vrednostima diskretnog broja unapred definisanih promenljivih stanja (Rimington & Charles-Edwards, 1987).

Ove promenljive opisuju karakteristike stanja čitavog biljnog sklopa. Pored veličina koje opisuju stanje izabrane biljke, one uvek uključuju i masu stabla i listova, indeks lisne površine (LAI) ili broj listova. Osnovna pretpostavka jeste da se promene vrednosti ovih veličina tokom vremena mogu opisati matematički. Recimo, Pereira & Machado (1986) su predložili model koji opisuje razvoj šećerne trske, koji je ugrađen u dinamički model (SIMCANA), a koji se ukratko može izraziti na sledeći način:

$$MSC_t = MSC_{t-1} + TCC_t \cdot \Delta t \quad (2.4)$$

gde je  $MSC_t$  – masa suve materije u trenutku  $t$ ,  $MSC_{t-1}$  – masa suve materije u prethodnom trenutku,  $TCC_t$  – intenzitet rasta u datom trenunku  $t$ ,  $\Delta t$  – korak u vremenu (vremenski interval merenja).

$$TCC_t = EC(FC_t - M \cdot MSC_t) \quad (2.5)$$

gde je: EC – efikasnost konverzije materije koja ulazi u fotosintezu,  $FC_t$  – neto intenzitet fotosinteze u trenutku  $t$ ,  $M$  – empirijski parametar.

$$FC_t = F_{MAX} \cdot LAI_t \cdot FL \cdot F \quad (2.6)$$

gde je: Fmax – potencijalni intenzitet fotosinteze, FL – odnos dužine dana i noći; F – faktor podešavanja Fmax uslovima sredine.

## Funkcionalne komponente modela biljne proizvodnje

Model biljne proizvodnje je kompjuterski program čiji je zadatak da simulira procese koji određuju rast i razvoj biljaka, a koji su uslovljeni, pre svega, interakcijom genotip–spoljašnja sredina, kao i primenjenim agrotehničkim merama i navodnjavanjem. Otud je, za funkcionisanje modela, neophodno definisati vrednosti najznačajnijih parametara i veličina koji utiču na karakter ove interakcije, a koji se obično nazivaju **ulazni podaci**. Nakon „prolaska“ kroz **model** ulazni podaci su konvertovani u **izlazne podatke** u vidu različitih informacija o tempu razvića biljke, prinosu i komponentama prinoса.

### Ulazni podaci

Obim i složenost ulaznih podataka zavisi, u prvom redu, od sofisticiranosti samog modela biljne proizvodnje. Sa jedne strane, na skali složenosti, su modeli kao što je SIRIUS za pšenicu i ječam (Jamieson et al., 1998, Brooks et al., 2001, Lawless et al., 2005), koji se odnose na samo jednu ili dve biljne vrste i namenjeni su, pre svega, za operativnu upotrebu. Sa druge strane su veoma kompleksni modeli kao što je DSSAT (Jones et al., 1998), koji sadrže informacije o više biljnih vrsta i njihovih sorti i namenjeni su pre svega za ispitivanje interakcije genotip–spoljašnja sredina. Osnovni set informacija neophodnih za funkcionisanje modela čine: a) *meteorološki podaci* (minimalna i maksimalna dnevna temperatura vazduha, količina padavina, intenzitet sunčevog zračenja, brzina vetra i pritisak vode-ne pare u vazduhu); b) *podaci o datumu setve*, datumu i iznosu navodnjavanja i đubrenja i sadržaju vlage i mineralnih đubriva u zemljištu; c) *karakteristike sorte* (suma aktivnih temperatura po feno-loškim fazama, potencijalna površina listova, filohron, minimalni i maksimalni broj listova, maksimalna koncentracija proteina i sl.); d) *karakteristike zemljišta* (poljski vodni kapacitet, maksimalni i minimalni iznos drenaže, koeficijent filtriracije kroz slojeve zemljišta (gornja i donja granica, u zapreminske %), koeficijent mineralizacije, sadržaj organskog azota, minimalni sadržaj mineralnog azota, ukupni sadržaj neorganskog azota i sl.)

### Model

Centralna komponenta modela biljne proizvodnje sastoji se od niza kompjuterskih programa čiji je zadatak da simuliraju najzna-

čajnije procese koji se odigravaju u biljci ( eng. *crop simulation*) i njenom okruženju (eng. *weather and soil simulation*), a koji odlučujuće utiču na tempo razvoja i prinos.

Procesi koji opisuju interakciju atmosfera–zemljište–biljni sklop su kvantifikovani izračunavanjem komponenata vodnog bilansa, intenziteta potencijalne evapotranspiracije i isparavanja sa površine zemljišta, oticanja, erozije, transporta hemijskih supstanci u zemljištu, kao i smrzavanja zemljišta. Intenzitet produkcije biomase u modelima se često izračunava na osnovu intenziteta usvojenog fotosintetički aktivnog zračenja, dok se razvoj semena (eng. *grain growth*) simulira korišćenjem procedure (eng. *simple partitioning rules*), koju je predložio Džemison (1998).

Imajući u vidu značaj i složenost transporta i usvajanja azota, kao i realizacije pojedinih fenoloških faza, u modelu su razvijeni posebni podprogrami u kojima dominira mehanistički pristup u tretiraju ovih procesa (Jamieson and Semenov, 2000; Jamieson et al., 2001).

U okviru fenološkog modula modela biljne proizvodnje, izračunavaju se datumi nastupanja sledećih fenoloških faza: nicanje, formiranje listova, cvetanje, početak i kraj nalivanja zrna i puno zrenje. Trajanje perioda od setve do nicanja izračunava se na osnovu akumulacije suma aktivnih temperatura vazduha iznad 0°C. Za većinu sorti ova suma iznosi 150°C, ali se u okviru ulaznih podataka ("karakteristike sorte") može zadati i drugačija vrednost. Naravno, bilo bi logično da je ovo izračunavanje povezano sa temperaturom površinskog sloja zemljišta, ali s obzirom da je do tih podataka teško doći, u okviru modela se obavlja odgovarajuća kalibracija koja se pokazala robustnom. Primera radi, model SIRIUS, koji je namenjen za prognozu rasta i razvoja žitarica se, značajno razlikuje od drugih modela po modeliranju perioda koji se proteže od nicanja do pojave ligule lista zastavičara. U ovom periodu model razlikuje sedam faza koje su prema Zadoksovoj skali označene sa: Z21, Z22, Z30, Z31, Z32, Z33 i Z39 (Zadoks et al., 1974). Trajanje svake faze izračunava se na osnovu tempa pojave listova, konačnog broja listova, kao i reakcije biljke na dužinu dana i kaljenje. Trajanje perioda od pojave ligule lista zastavičara do cvetanja i od cvetanja do nalivanja zrna izračunava se na osnovu karakterističnih vrednosti filohrona i suma temperatura biljke u ovom periodu. U okviru fenološkog modula temperatura biljke se izračunava na osnovu energetskog bilansa površine prekrivene vegetacijom. Trajanje nalivanja zrna i nastupanje punog zrenja određuje se na osnovu suma aktivnih temperatura vazduha većih od 0 °C koje se, za svaku fazu, definišu kao karakteristika sorte u ulaznim podacima.

### Izlazni podaci

Modeli biljne proizvodnje daju širok spektar izlaznih podataka koji se odnose pre svega na komponente prinosa i prinos biljke u

pojedinim trenucima. Tipični rezultati simulacija pomoću modela biljne proizvodnje uključuju: konačan broj listova, vreme nastupanja pojedinih fenoloških faza, biomasu, prinos, sadržaj azota u zrnu i celoj biljci. Pored ovih veličina, često kao izlazni podaci mogu da se dobiju i informacije o stvarnoj evapotranspiraciji i maksimalnom deficitu vlage u zemljištu.

### 2.1.1. Agrometeorologija

Poljoprivreda se razvila u neolitskom periodu oko 10.000 godina p. n. e., kada je čovek užgajanjem biljaka može da proizvede više nego što je potrebno za opstanak zajednice. Poljoprivreda je imala svoj začetak u tzv. „Plodnom polumesecu“ (severna Mesopotamija, jugoistočna Anadolija, Palestina), gde su prve gajene biljke bile žitarice, uključujući ječam, proso i pšenicu. Ljudi su već u to vreme pokušavali da poboljšaju proizvodnju žitarica, pre svega selektivnim gajenjem. Polazna tačka su bile divlje biljke sa slabim klasom koje su se spontano ukrštale, ali one nisu bile zadovoljavajuće sa tačke gledišta proizvodnje. Čovek je zatim za dalje umnožavanje počeo da bira samo najbolje biljke sa jakim, krupnim klasovima koji su puni zrna, pospešujući zapravo „veštački“ karakter biljke. To je dovelo do gubitka kapaciteta biljaka za samostalnu reprodukciju i do velike zavisnosti od intervencije čoveka.

Ovo je bio početak spontane evolucije poljoprivrednih aktivnosti, koja se i danas nastavlja kroz naučna istraživanja i inovativne primene, kao što su unapređivanje genetskog potencijala, nove metode proizvodnje (precizna poljoprivreda), unapređenje metoda đubrenja, zaštite biljaka, uvođenje nove mehanizacije, itd.

I pored svega navedenog, poljoprivredna proizvodnja se može sačuvati, stabilizovati ili poboljšati jedino ako uvek imamo u vidu klimu i vremenske prilike. Poljoprivredna proizvodnja zapravo u velikoj meri zavisi od vremenskih uslova.

Agrometeorologija ili poljoprivredna meteorologija je oblast nauke koja proučava interakcije meteoroloških i hidroloških faktora sa poljoprivredno-šumskim ekosistemima, odnosno sa poljoprivredom shvaćenom u najširem smislu. Ona se bavi gajenjem biljaka (i životinja), od obrade zemljišta do žetve.

Tabela 2.1. Odnosi između meteorologije i agrometeorologije. Izvor:  
*Prasada Rao,  
 Poljoprivredna  
 meteorologija*

METEOROLOGIJA	AGROMETEOROLOGIJA
je grana atmosferske fizike	se može smatrati ili granom primjenjene meteorologije ili granom poljoprivrede
je nauka o vremenskim prilikama	je proizvod poljoprivrede i nauke o vremenskim prilikama
je fizička nauka	je biofizička nauka
pruža informacije o vremenskim prilikama	se bavi pružanjem savetodavnih usluga poljoprivrednicima, zasnovanim na vremenskoj prognozi
je nauka koja povezuje društvo	je nauka koja povezuje poljoprivrednike

Najvažnije promenljive koje utiču na poljoprivredu, konkretno na rast, razvoj i proizvodnju biljaka, su:

- ✓ sunčev zračenje
- ✓ temperatura
- ✓ vlažnost
- ✓ padavine i
- ✓ evapotranspiracija.

Sunčev zračenje može se smatrati pokretačem čitavog sistema. Energetski bilans, koji je rezultat bilansa između dolaznog (kratkotalasnog) i odlaznog (dugotalasnog) zračenja, reguliše dinamiku svih ostalih meteoroloških promenljivih.

Pored toga, sunčev zračenje direktno utiče na biljke kao glavni pokretač fotosinteze. Fotosinteza zapravo pretvara sunčevu svetlost u hemijsku energiju, oslobađa  $O_2$  iz vode i fiksira  $CO_2$  u šećere koji su osnova za akumulaciju biomase.

Sunčev zračenje, takođe, utiče na biljke kroz fotoperiodizam, proces koji reguliše zimsko mirovanje pupoljaka, opadanje lišća, formiranje lukovica i krtola, determinaciju pola kod dvodomih biljaka i reguliše cvetanje.

Druga važna promenljiva koja je u korelaciji sa sunčevim zračenjem je temperatura vazduha. Temperatura je jedna od najvažnijih promenljivih jer utiče na dva osnovna procesa u biologiji: brzinu biohemskihs reakcija i brzinu prenosa energije. Od temperature zavise svi hemijski, fizički i hemijsko-fizički procesi koji su u osnovi bioloških reakcija biljaka. Temperatura određuje intenzitet vegetativnih procesa (klijanja, apsorpcije korenem, fotosinteze, itd.) i mikrobioloških reakcija (humifikacije, itd.). Ona utiče i na brzinu razvića biljaka, određivanje pola, mirovanje semena i dr.

Odnos između biljaka i temperature obično se analizira uzimajući u obzir sledeće granične vrednosti:

**Optimalna temperatura:** vitalne funkcije se odvijaju maksimalnom brzinom;

**Kardinalne temperature:** iznad i ispod kojih se funkcije zaustavljaju, i ponovo počinju kada se uslovi poboljšaju;

**Kritične temperature:** iznad i ispod kojih su funkcije i/ili organi trajno ugroženi.

Takođe, vreme potrebno da bi se završile različite faze razvoja (fenologija) je funkcija ukupne topoteke koju prime biljke. Ovaj odnos se izražava toplotnim sumama (stepen dani), koje predstavljaju sumu srednjih dnevnih temperatura unutar određene faze razvoja.

Svaka vrsta ima osnovnu baznu temperaturu iznad koje stepen dani počinju da se akumuliraju, kao i ukupan broj stepen dana potreban da se završi ciklus od kljanja do sazrevanja.

Još jedna važna promenljiva je vlažnost. Količina vodene pare koja je prisutna u atmosferi naziva se atmosferska vlaga ili vlažnost. Stvarni sadržaj vlage može se izraziti na različite načine.

**Apsolutna vlažnost** je masa vodene pare po jedinici zapremine vazduha ( $\text{g m}^{-3}$ ). Veća je tokom toplijih sati/dana kada je evapotranspiracija veća. Ona izražava sadržaj vlage u atmosferi, ali ne daje informacije o tome kada će nastupiti kondenzacija.

**Pritisak vodene pare** izražava doprinos vodene pare atmosferskom pritisku. Prema tome, količina vlažnosti u atmosferi može se izraziti u vidu pritiska (pare) (u Pa, bar). Postoji gornja granica vlage koja je prisutna u atmosferi koja je definisana kao zasićujući pritisak pare iznad kojeg se višak vodene pare kondenzuje u vodu.

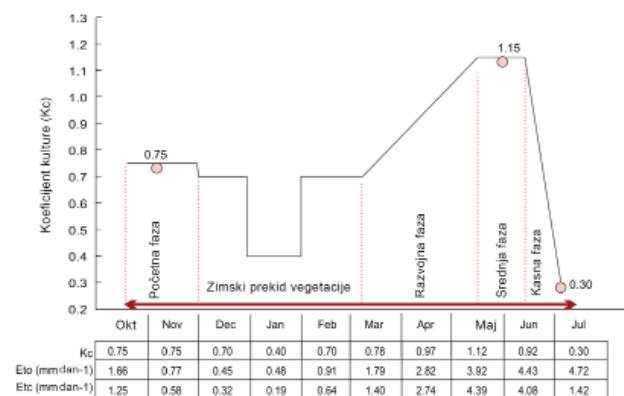
**Relativna vlažnost** je odnos količine vodene pare koja je prisutna u vazduhu (stvarni pritisak pare) i maksimalne količine vodene pare koja može biti u vazduhu (zasićenje pritiska pare) na datoj temperaturi (%). Ona dostiže najviše vrednosti u najhladnijim satima/danima (u zimskim mesecima i noću) pošto hladniji vazduh može da primi manje količine vodene pare (pritisak pare zavisi od temperature).

Padavine su proizvod kondenzacije atmosferske vodene pare koja pada na Zemlju pod uticajem gravitacije. Osnovni oblici padavina uključuju sipljenje, kišu, susnežicu, sneg, krupu i grad. Kada deo atmosfere postane zasićen vodenom parom, voda se kondenzuje i dolazi do padavina. Jedan deo kiše često se filtrira ispod zone korena, a deo otiče po površini, i ovu vodu od padavina biljke ne mogu koristiti. Drugim rečima, deo padavina se smatra padavinama koje nisu efektivne. Preostali deo se skladišti u zoni korena i biljke ga mogu koristiti, i to su tzv. efektivne padavine.

Evapotranspiracija je kombinovani efekat dva različita procesa: **evaporacije**, koja predstavlja konverziju vode iz tečnog stanja u vodenu paru sa vlažnih površina, i **transpiracije**, koja predstavlja

odavanje vodene pare preko listova biljaka u atmosferu. Dakle, **evapotranspiracija** (ET) je suma vode odate sa površine zemljišta u atmosferu evaporacijom i transpiracijom biljaka. Navedena dva procesa obično se posmatraju zajedno, jer je njihovo pojedinačno merenje veoma kompleksno. Evapotranspiracija useva se izračunava tako što se referentna vrednost pomnoži sa specifičnim koeficijentom useva ( $K_c$ ), čije vrednosti zavise od biljne vrste i faze rasta useva (Slika 2.1).

**Slika 2.1.** Variranje koeficijenta useva ( $K_c$ ) tokom vegetacionog perioda



### Referentna ET ( $ET_0$ )

Referentna površina slična kratkoj, zelenoj travi.

$ET_0$  odražava evaporacione zahteve atmosfere.

Samo je funkcija vremenskih prilika

Penman-Monteith-ova jednačina (zračenje, temperatura, vетар, relativna vlažnost).

### Evapotranspiracija useva (ET<sub>c</sub>)

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

$K_c$  integriše sve karakteristike useva.

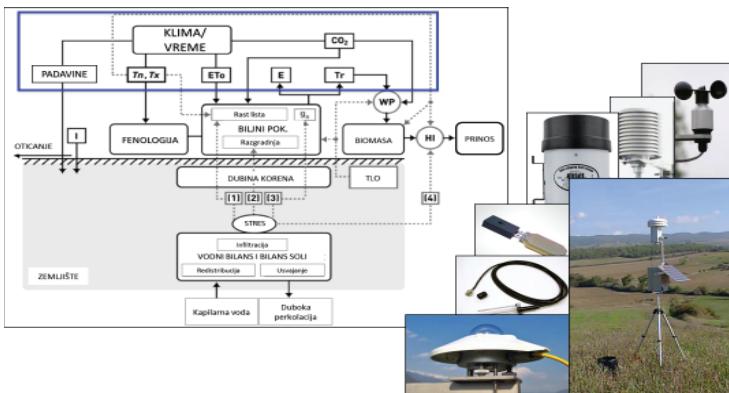
$K_c$  odražava optimalne uslove, tako da  $ET_c$  predstavlja potencijalnu ET:

- za dati usev,
- u određenoj fazi rasta biljaka.

Jedna od važnih upotreba izmerenih ili procenjenih agrometeoroloških parametara je kreiranje agrometeoroloških modela rasta biljaka. Ovi modeli, uz primenu odgovarajućih algoritama i jednačina, mogu simulirati različite procese rasta i razvoja useva dajući značajne operativne rezultate (Slika 2.2).

## 2.1.2. Simulacioni modeli

Model je pojednostavljeno predstavljanje sistema. Sistem je dobro definisani deo stvarnog sveta. U poljoprivredi, sistem može



**Slika 2.2.** Shema simulacionog modela u kojem su agrometeorološke promenljive glavni ulazni podaci

biti, na primer, usev (gajene biljke) sa svim svojim organima (koren, stablo, listovi) i svojim procesima i mehanizmima (rast, razvoj, fotosinteza, transpiracija, itd.) ili razvoj patogena i njegovi negativni uticaji na gajene biljke. Dakle, prvi korak potreban za razvoj ili upotrebu simulacionog modela je identifikacija sistema koji nas zanima.

Konstrukcija modela podrazumeva identifikovanje niza matematičkih jednačina pomoću kojih se, na najverniji mogući način, može reproducovati ponašanje ispitivanog sistema. Osnovna prednost je što se model može primeniti na uslove poljoprivredne proizvodnje, gajenja i upravljanja proizvodnjom, koji se razlikuju od onih u kojima su modeli razvijeni.

Simulacione modele koristi veliki broj naučnika iz oblasti poljoprivrede i postoji iscrpna literatura o različitim modelima biljne proizvodnje, njihovoj strukturi i istraživačkim ili operativnim primenama. Ipak, uvek postoje izvesna neslaganja između eksperimentalista i kreatora modela o tome da li su važnija eksperimentalna ispitivanja, prikupljanje podataka ili sama primena modela.

Eksperimentalna nauka vođena je naučnom metodom koju je uveo još Galileo Galilej. Naučni (eksperimentalni) metod podrazumeva posmatranje, prikupljanje informacija, formulisanje hipoteze o tome zašto su stvari takve kakve jesu, izvođenje predviđanja i sprovođenje eksperimentata na osnovu tih predviđanja. Naučni metod je vrlo rigorozan, što je neophodno da bi se dokazala valjanost istraživanja. Međutim, svaki put kada se vrši merenje, prolazi se kroz niz koraka koji uključuju utvrđivanje dizajna eksperimenta, prikupljanje, čuvanje i analizu uzoraka, obradu podataka i na kraju njihovo tumačenje. Kod svakog od navedenih koraka moguće je napraviti grešku. Pored toga, reč je o dugotrajnom i zahtevnom procesu.

Nasuprot tome, realnost, posebno kada je reč o poljoprivredi, zahteva brze informacije (skoro u realnom vremenu) o tome šta se dešava u dатој situaciji ili šta će se promeniti u sistemu kao rezultat nekog nepredviđenog događaja (analiza scenarija). Takođe, obično

postoje ograničeni resursi za direktna osmatranja (naročito za procene na regionalnom nivou). Iz ovih razloga, sve je teže pronaći (dobre) podatke eksperimentalne poljoprivrede. Čak i ako simulacioni modeli ne mogu zameniti naučni metod, u mnogim situacijama mogu biti veoma koristan alat za naučnike, posebno u sledećim situacijama:

- Stanje sistema nije moguće posmatrati, ili jeste ali uz izuzetne poteškoće;
- Tradicionalni eksperimenti mogu oštetiti sistem;
- Uslovi koji se žele ispitati se ne mogu izvesti u praksi;
- Vreme potrebno za eksperimente može biti veoma dugo, ili eksperimenti mogu biti veoma skupi;
- Broj uslova (parametara) koji se procenjuju može biti veoma visok.

Simulacioni modeli imaju širok spektar primena, uključujući:

- rast i razvoj gajenih biljaka,
- produktivnost gajenih biljaka,
- vodni bilans,
- zaštitu od nepogoda iz životnog okruženja (ekstremne nepogode, suša, itd.),
- zaštitu od bioloških nepogoda (štetočine i bolesti),
- klimatske promene,
- generisanje nedostajućih podataka,
- prostorna i vremenska interpolacija.

Najvažnije koristi od primene simulacionih modela su bolje razumevanje fizičkih i bioloških procesa, organizacija dostupnog znanja i identifikovanje nedostajućih podataka, utvrđivanje budućih ciljeva istraživanja, manipulacije u realnom sistemu za testiranje hipoteza o tome kako sistem funkcioniše, procena mogućih spoljnih intervencija kojim bi se promenilo ponašanje sistema i primena modela kao didaktičkog alata za ilustrovanje strukture i ponašanja sistema.

S druge strane, ukazuje se i na nedostatke modela, koji se odnose na ograničene procedure verifikacije i validacije, manjak pouzdanih ulaznih podataka, te prevelika očekivanja od rezultata modela, posebno kada je reč o primeni bez kontrole stručnjaka na terenu.

Simulacioni modeli mogu se klasifikovati na različite načine (Slika 2.3).

### *Empirijski i mehanicistički modeli*

Empirijski modeli na pojednostavljen način opisuju ponašanje gajenih biljaka (useva). Razvoj empirijskog modela zasniva se, pre svega, na identifikaciji eksperimentalnih podataka i jedne ili više matematičkih jednačina kojima se može predstaviti ispitivani proces. Tipičan primer je kriva akumulacije biomase (suve mase) useva.

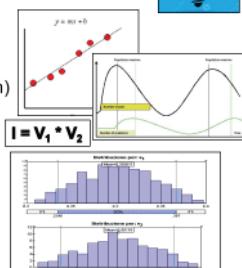
## Klasifikacija modela

Empirijski, deskriptivni (bazirano na sakupljenim podacima)

Mehanistički ili ekspresivni (proizašli iz teorije)



Statički (fiksne relacije) // Dinamički  
(s vremenskom evolucijom)



Deterministički (jedan rezultat: fiksni ulaz)

Stohastički (verovatnoća: promenljivi ulaz)

Slika 2.3. Osnovne klasifikacije modela

Ovakvi modeli su vrlo jednostavni i ne zahtevaju mnogo ulaznih podataka, ali ne objašnjavaju mehanizme simuliranog sistema. Zbog toga se njihova upotreba obično ograničava na uslove u kojima su razvijeni.

Mehanicistički modeli opisuju i objašnjavaju određenu pojavu na osnovu fundamentalnih mehanizama koji regulišu funkcionalisanje sistema. Na primer, povećanje suve mase može se opisati nizom složenijih funkcija, od kojih svaka uzima u obzir manje podprocese, kao što su uticaj ekofizioloških karakteristika vrste na usvajanje svetlosti, proces fotosinteze, sintezu organske materije, a samim tim i na povećanje suve mase. Dobijeni obrazac je prilično kompleksan, ali (teoretski) sposoban da predviđa rast biljke bez obzira na uslove životne sredine.

### Statički i dinamički modeli

Statički modeli predstavljaju odnose između promenljivih koje se ne menjaju s vremenom, tako da su poznate samo konačne vrednosti, ali ne i trendovi tokom vremena (npr. *regresioni modeli*).

Dinamički modeli sadrže vreme kao eksplicitnu varijablu. Oni opisuju način na koji se sistem menja tokom vremena (npr. *modeli simulacije pojava biljnih bolesti*).

### Deterministički i stohastički modeli

Deterministički modeli izvode predviđanja dajući numeričke vrednosti kao izlazne podatke, bez davanja bilo kakve mere njihove distribucije verovatnoće. Ulagane promenljive pretpostavljaju fiksne vrednosti. Modeli ne uzimaju u obzir nepouzdanosti vezane za ulagane promenljive.

Stohastički modeli (stohastički = slučajni, nasumični) uzimaju u obzir varijacije (uzročno-posledične ili ne) ulaznih promenljivih, a zatim daju rezultate u vidu „verovatnoće“ pojave.

Važno je naglasiti da ono što razlikuje determinističke modele od stohastičkih je to što se kod stohastičkih modela u obzir uzima varijabilnost ulaznih podataka.

Simulacioni modeli i eksperimentalni podaci su usko povezani; zapravo, model se ne može razviti i njegove performanse se ne mogu proceniti ukoliko ne postoje dobri eksperimentalni podaci. Naime, pored samog razvoja modela (kojim se ovde nećemo baviti, samo ćemo koristiti gotov AquaCrop model), kalibracija i validacija su dve procedure za koje su potrebni eksperimentalni podaci.

*Kalibracija* je procedura u kojoj se koristi jedna ili više serija eksperimentalnih podataka da bi se formulisao model, uporedili dobijeni eksperimentalni podaci, te da bi se, ukoliko je potrebno, preformulisala struktura modela ili prilagodili neki parametri.

*Validacija* je postupak pomoću kojeg se porede simulirani podaci modela sa eksperimentalnim podacima koji nisu korišćeni u razvoju modela, a da bi se identifikovala (proverila) tačnost i preciznost procena (Slika 2.4).

#### Izvor literature

Deo nastavnog materijala ovog odeljka preuzet je i prilagođen iz različitih predavanja koja je održao prof. Roberto Confalonieri, sa Univerziteta u Milanu, Italija.

#### 2.1.3. AquaCrop model

AquaCrop je model za simulaciju prinosa gajenih biljaka u funkciji obezbeđenosti vodom, koji je razvilo Odeljenje za zemljište i vodu Organizacije za hranu i poljoprivrednu Ujedinjenih nacija (FAO). Model simulira **prinos zeljastih biljaka u zavisnosti od dostupnosti vode**, a posebno je namenjen uslovima u kojima voda predstavlja ograničavajući faktor u biljnoj proizvodnji. Međutim, kako pristupačnost vode postaje ključno pitanje u mnogim regionima (uključujući i Evropu), zbog klimatskih promena i prevelike eksploatacije prirodnih resursa, AquaCrop postaje referentni model

**Slika 2.4.** Procedura kalibracije i validacije. Prvi postupak se koristi da se minimalizuju greške modela, a drugi za merenje valjanosti modela nakon kalibracije.



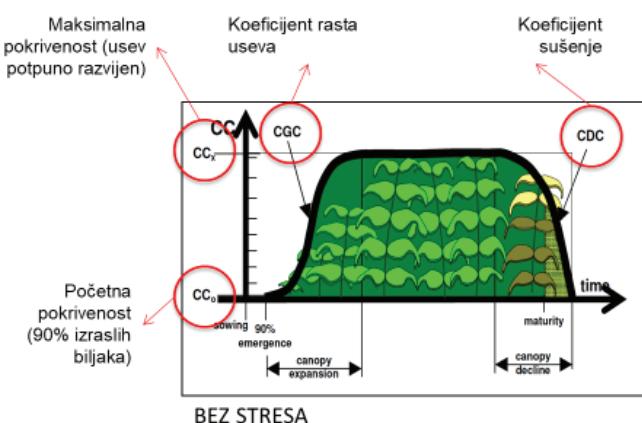
koji se koristi za upravljanje navodnjavanjem u poljoprivredi. Jedna od glavnih prednosti modela AquaCrop je dobra ravnoteža između tačnosti, jednostavnosti i robusnosti. Iako model koristi mali broj parametara i ulaznih varijabli koje se lako mogu odrediti na terenu ili dobiti iz određenih baza podataka, on može precizno simulirati fiziološke procese gajenih biljaka i procese koji čine vodni bilans zemljišta. Pored toga, model se može besplatno preuzeti sa interneta zajedno sa iscrpnom dokumentacijom, programima obuke i uputstvima za rad. Iz ovih razloga, on je posebno pogodan ne samo za istraživačke aktivnosti već i za praktične primene. Između ostalog, AquaCrop se može koristiti za predviđanje biljne proizvodnje u različitim uslovima snabdevanja vodom (uključujući uslove prirodnog vodnog režima, dodatnog, deficitarnog i potpunog navodnjavanja) ili u različitim klimatskim uslovima; za optimizaciju planiranja i upravljanja biljom proizvodnjom i razvijanje strategija navodnjavanja u uslovima vodnog deficita; za optimizaciju produktivnosti vode; za upoređivanje različitih scenarija; za analize u slučaju podbačaja prinosa ili uticaja klimatskih promena.

Generalno gledano, model je pojednostavljeno predstavljanje sistema koji je dobro definisan deo stvarnosti. Sistem koji AquaCrop posmatra je sistem koji služi da se opiše interakcija između gajenih biljaka i zemljišta, sa njihovim gornjim (atmosfera) i donjim (dubina i kvalitet podzemne vode) graničnim uslovima, koji mogu uticati na takve interakcije. U suštini, centralni deo modela AquaCrop je jednačina produktivnosti vode, u koju se ubacuje set dodatnih komponenti: ZEMLJIŠTE, sa svojim vodnim bilansom; GAJENE BILJKE, sa svojim procesima i ATMOSFERA, sa temperaturom, padavinama, evaporativnim zahtevom atmosfere i koncentracijom  $\text{CO}_2$ . Uzimaju se u obzir, takođe, i faktori agrotehničkih mera (navodnjavanje, obrada površina, plodnost zemljišta) jer oni mogu uticati na vodni bilans, razvoj biljaka, a samim tim i na krajnji prinos.

AquaCrop simulira prinos biljaka u četiri koraka: razvoj biljaka, transpiracija, produkcija biomase i formiranje prinosa. AquaCrop koristi zeleni biljni sklop (CC) da bi opisao razvoj listova i predstavlja deo površine zemljišta prekriven biljnim delovima. U optimalnim uslovima, razvoj biljnog sklopa opisan je pomoću nekoliko parametara: znajući trenutak u kojem se dostiže maksimalan biljni pokrivač, model simulira razvoj biljnog sklopa od nicanja biljaka do tog trenutka pomoću logističke jednačine. Zatim, na kraju sezone kada dođe do starenja biljaka, biljni pokrivač se smanjuje. Kao što je pomenuto, na ovaj način opisuje se postupak u uslovima bez ograničavajućih faktora (Slika 2.5).

Međutim, ovakav razvoj može biti ograničen faktorima stresa. AquaCrop posmatra zonu korena kao rezervoar u kojem sadržaj vode varira u zavisnosti od ulaznih parametara (padavina, navodnjavanja, kapilarnog uspona vode) i izlaznog fluksa vode (oticanja, evapotranspiracije, infiltracije u dublje slojeve). Ako voda nije ogra-

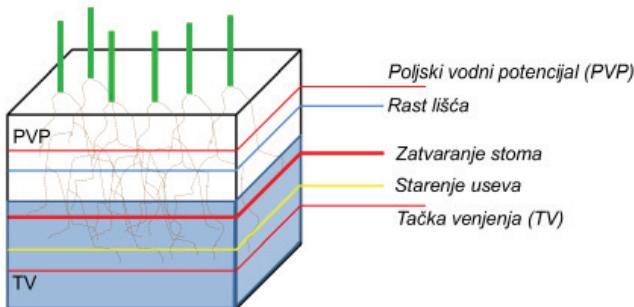
**Slika 2.5.** Razvoj gajenih biljaka u uslovima bez ograničavajućih faktora. Izvor: Referentni priručnik AquaCrop (AquaCrop Reference Manual), [www.fao.org/nr/water/aquacrop.html](http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html)



ničavajući faktor za biljnu proizvodnju, njen sadržaj prevazilazi poljski vodni kapacitet. U slučajevima nedostatka vode, sadržaj vode opada i biljke su pod stresom. Kada se dostigne tačka venjenja, biljke odumiru.

Da bi opisao efekat vodnog stresa, ovaj model uzima u obzir različite granične vrednosti (Slika 2.6). Prva granična vrednost je ekspanzija sklopa listova (plava linija): kada sadržaj vode padne ispod ove vrednosti, biljke su pod vodnim stresom i razvijaju se sporije nego u uslovima bez ograničavajućih faktora. Druga granična vrednost je stareњe biljnog sklopa (žuta linija): blizu tačke venjenja. Ako sadržaj vode u zemljištu padne ispod ove granične vrednosti, biljni sklop počinje da odumire. Zatim, na osnovu dnevног vodnog bilansa, AquaCrop simulira stvarni razvoj biljnog sklopa useva.

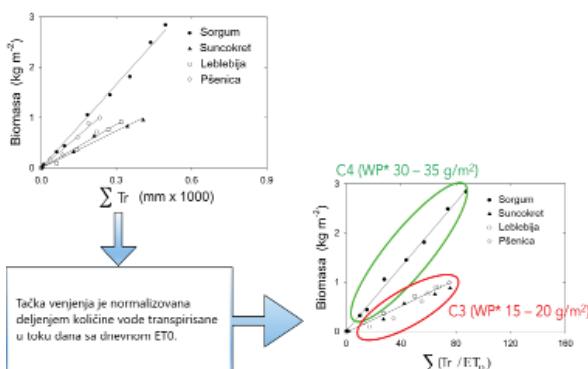
Drugi korak simulacije je transpiracija useva. Za simuliranje transpiracije useva AquaCrop koristi metod  $Kc ET_0$ , koji je određen isključivo vremenskim uslovima.  $ET_0$  je referentna evapotranspiracija i predstavlja evaporativnu snagu atmosfere.  $K_{ctr}$  je koeficijent koji karakteriše usev koji transpiriše i proporcionalan je bilnjom sklopu: ako je biljni sklop mali,  $Kc$  je takođe mali, a transpiracija je ograničena. Faktor proporcije između  $Kc$  i biljnog sklopa zavisi od vrste useva i izražava kako se dati usev koji transpiriše razlikuje od referentne travne površine. Ovako se izračunava transpiracija u uslovima bez ograničavajućih faktora. Dakle, s obzirom na to da je biljni pokrivač poznat u datom trenutku, model simulira transpiraciju useva tako što množi  $ET_0$  sa faktorom  $Kc$  koji je proporcionalan bilnjom pokrivaču. Međutim, ukoliko se javi vodni stres, dolazi do zatvaranja stoma, što se ponovo simulira izračunavanjem vodnog bilansa u zemljištu. Pored već opisane dve granične vrednosti, postoji i dodatna granična vrednost za zatvaranje stoma (Slika 2.6). Kada sadržaj vode padne crvene linije, stome počinju da se zatvaraju i smanjuje se transpiracija. Ova pojava simulira se kroz faktor vodnog stresa,  $K_s$  faktor, koji se kreće između 1 i 0. Kada sa-



**Slika 2.6.** Zona korena sa različitim graničnim vrednostima koje utiču na biljni sklop i transpiraciju. FC: poljski vodni kapacitet (engl. field capacity); WP: tačka venjenja (engl. wilting point). Izvor: Referentni priručnik AquaCrop (AquaCrop Reference Manual), [www.fao.org/nr/water/aquacrop.html](http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html)

držaj vode padne ispod crvene linije,  $K_s$  postaje manji od 1 i smanjuje se transpiracija. Kada se dostigne tačka uvenuća,  $K_s$  postaje 0 i transpiracija se prekida.

Treći korak simulacije je akumulacija biomase. Biljke usvajaju CO<sub>2</sub> kroz stome i CO<sub>2</sub> se fotosintezom pretvara u ugljene hidrate koji su građa za biomasu. Postoji, dakle, direktna veza između transpiracije useva i akumulacije biomase: ako je usev dobro razvijen i vode ima u obilju, mnogo vode će otići kroz stome, a istovremeno se može apsorbovati mnogo CO<sub>2</sub>. Kada je usev mali ili postoji vodni stres, transpiracija se smanjuje, a akumulacija biomase je ograničena. Odnos proizvodnje biomase i transpiracije izražava se produktivnošću vode. Produktivnost vode daje nagib linije koja opisuje odnos transpiracija–biomasa. Kod različitih gajenih biljaka, odnos između sinteze biomase i transpiracije je linearan, ali nagib linije produktivnosti vode se razlikuje. Ovaj nagib zavisi od biljne vrste, ali i od konkretnih klimatskih uslova. Zbog toga je AquaCrop normalizovao produktivnost vode za određenu klimu. Ova normalizacija se vrši deljenjem dnevne količine vode koja transpiriše sa dnevnim ET<sub>0</sub>. Na ovaj način je linearost još uvek prisutna, dok se nagibi linija menjaju u poređenju sa normalnom produktivnošću vode, a gajene biljke su grupisane u C3 (niža produktivnost vode) i C4 (viša produktivnost vode) tipove biljaka (Slika 2.7).



**Slika 2.7.** Odnos između transpiracije i akumulacije biomase. Izvor: Referentni priručnik AquaCrop (AquaCrop Reference Manual), [www.fao.org/nr/water/aquacrop.html](http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html) (modifikovan)

Poslednji korak je simulacija formiranja prinosa. Uz pomoć žetvenog indeksa, koji predstavlja odnos između poljoprivrednog i biološkog prinosa, prinos gajenih biljaka dobijamo računski iz biomase. Tokom sezone, žetveni indeks može da odstupa od svoje referentne vrednosti i ove varijacije zavise od vremena nastanka i stepena vodnog i toplotnog stresa.

Izračunavanjem dnevnog vodnog bilansa u zemljištu i prilagođavanjem sadržaja vode u profilu zemljišta, AquaCrop je u mogućnosti da detektuje stres koji se može razviti u zoni korena. Kada se otkrije vodni stres u zemljištu, to ima uticaja i na ekspanziju lista, transpiraciju i akumulaciju biomase, a samim tim i na prinos suve mase gajenih biljaka, pri čemu uticaj na krajnji rezultat (prinos) zavisi od vremena nastanka i stepena nastalog stresa (Slika 2.8).

U AquaCrop modelu na rast biljaka mogu uticati različiti faktori stresa: voda, temperatura, plodnost i zaslanjenost zemljišta. Efekti ovih stresova iskazani su pomoću koeficijenata stresa  $K_s$ .  $K_s$  je modifikator svog ciljnog parametra i varira između 0 (iznad gornje granice) kada nema stresa, i 1 (ispod donje granice) kada je efekat stresa maksimalan. Veličina efekta stresa na proces rasta gajenih biljaka prikazana je oblikom krive i relativnim stresom.

### Izvor literature

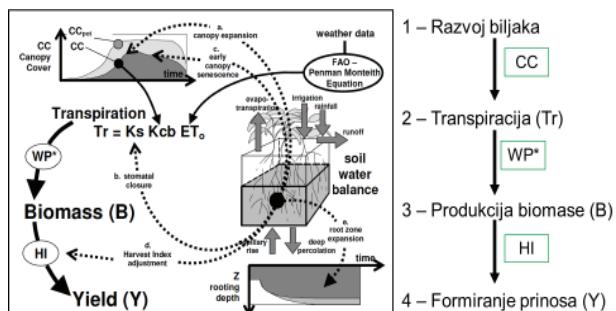
Nastavni materijal u ovom odeljku adaptiran je iz:

- <http://www.fao.org/aquacrop>
- © FAO, 2011. Referentni priručnik za AquaCrop. Poglavlja 1, 2. i 3.
- <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>

Više informacija o modelu AquaCrop, kao i kompletna dokumentacija, obuke i video-uputstva mogu se naći na <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop/en/>

Nova verzija modela AquaCrop (AquaCrop – OS) sa slobodnim pristupom dostupna je za preuzimanje. Za više informacija pogledati: Foster et al. (2017). *AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model*. Agricultural Water Management 181: 18–22.

**Slika 2.8.** Shema izračunavanja prema AquaCrop modelu koja sumira 4 koraka simulacije: CC: biljni sklop (engl. canopy cover); WP\*: normalizovana produktivnost vode (engl. normalized water productivity); HI: žetveni indeks (engl. harvest index). Izvor: Referentni priručnik AquaCrop (AquaCrop Reference Manual), [www.fao.org/nr/water/aquacrop.html](http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html) (modifikovan)



## 2.2. Emisija gasova staklene bašte i amonijaka iz zemljišta

### Uvod

Tokom poslednjih decenija, došlo je do intenzivnog povećanja poljoprivredne proizvodnje usled porasta ljudske populacije u svetu i sve veće potražnje za hranom. S jedne strane, površina pod poljoprivrednim zemljištem povećala se za 27%, dok se s druge strane poljoprivredna proizvodnja povećala za 135% (intenzifikacija) (Burney et al., 2010, Tilman et al., 2011). Ovakva pojava je rezultat povećane upotrebe inputa kao što su mineralna đubriva, mehanizacija, pesticidi i sl. Pored toga, zbog lake dostupnosti fosilnih izvora energije, njihovog visokog energetskog potencijala i relativno niskih cena, tokom prošlog veka došlo je do velikog porasta njihove upotrebe. Naime, poljoprivreda je uglavnom koristila fosilne izvore energije, hemijska sredstva Naime, poljoprivreda je uglavnom koristila fosilne izvore energije, hemijska sredstva (đubriva, pesticide) i mehanička sredstva za proizvodnju (poljoprivrednu mehanizaciju). Međutim, intenzivna upotreba fosilnih izvora energije dovela je do njihovog ubrzanog trošenja, praćenog sve većim negativnim uticajima na životnu sredinu koji se u najvećoj meri odnose na emisije gasova staklene bašte (engl. *greenhouse gases – GHG*). Neposredan uticaj eksponencijalnog povećanja gasova staklene bašte, kao što su emisije ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2$ ), azot-suboksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ ), ogleda se u njihovom uticaju na globalno zagrevanje Zemljine površine. Globalno zagrevanje dovelo je do povećanja globalne temperature površine Zemlje za  $0,85^{\circ}\text{C}$  u poslednjih 130 godina (IPCC, 2014). Potencijal globalnog zagrevanja (engl. *Global Warming Potential – GWP*) je faktor kojim se izražava doprinos svakog od navedenih gasova ukupnoj apsorptivnosti atmosfere, smanjenje intenziteta emisije Zemljinog izračivanja u vasionu i zadržavanje ovog izračivanja u atmosferi. Prva dva faktora su takođe poznata kao „radijaciona efikasnost”, a poslednji kao „životni vek”. Oba navedena faktora doprinose definiciji potencijala globalnog zagrevanja za svaki gas. Potencijal globalnog zagrevanja je uveden da bi se mogli porediti različiti gasovi. Njime se meri količina energije koju apsorbuje 1 tona gasa u određenom periodu (obično 100 godina) u poređenju sa 1 tonom  $\text{CO}_2$ . Što je potencijal globalnog zagrevanja veći, to dati gas više zagreva Zemlju u poređenju sa  $\text{CO}_2$  tokom određenog vremenskog perioda (EPA, 2017). U tom smislu, tokom životnog veka od 100 godina,  $\text{CH}_4$  ima vrednost GWP od 25, dok je za  $\text{N}_2\text{O}$  vrednost GWP veća i iznosi 298 u odnosu na  $\text{CO}_2$ . Danas, u skladu sa direktivama Pariskog sporazuma (2015), koji je usvojilo nekoliko zemalja, smanjenje emisija gasova staklene bašte i ublažavanje globalnog zagrevanja predstavljaju fundamentalna pitanja na globalnom nivou. Poljoprivreda može doprineti smanjenju uticaja

ljudskih aktivnosti na životnu sredinu usvajanjem održivih strategija upravljanja da bi se minimalizovala upotreba poljoprivrednih inputa i očuvala plodnost zemljišta. U tom smislu, potencijal poljoprivrede za ublažavanjem globalnog zagrevanja odnosi se na smanjenje emisija gasova staklene bašte. Sa druge strane, jedan od gasova koje poljoprivreda emituje, čak više od drugih gasova staklene bašte, jeste amonijak ( $\text{NH}_3$ ) – iz poljoprivrede potiče 50% emisije ovog gasa na globalnom nivou i 90% emisije na evropskom nivou (Carozzi et al., 2013) sa indirektnim uticajima na životnu sredinu.  $\text{NH}_3$  je jedan od glavnih odgovornih faktora acidifikacije i eutrofikacije, jer nakupljanje jedinjenja dobijenih od  $\text{NH}_3$  prouzrokuje zakiseljavanje zemljišta (Asman et al., 1998) i prirodnih izvora vode (Sutton and Fowler, 2002). Osim toga,  $\text{NH}_3$  se smatra indirektnim gasom staklene bašte jer je prekursor za stvaranje  $\text{N}_2\text{O}$  (Moiser, 2001), a njegovo prisustvo u atmosferi usko je povezano sa produkcijom finih praškastih materija. Uopšteno gledano, tri osnovna izvora emisija gasova staklene bašte iz poljoprivrede su: zemljište, fermentacija i manipulacija stajnjakom; dok druga dva izvora koja utiču na globalnu emisiju gasova staklene bašte iz poljoprivrede – sagorevanje poljoprivrednih žetvenih ostataka i uzgoj pirinča – imaju samo mali ideo u emisijama na nivou Evrope (Eurostat, 2015). Predloženo je i usvojeno nekoliko strategija za smanjenje ovih uticaja iz poljoprivrede, dok se najviše pažnje posvećuje đubrivima, zbog posledica koje ovaj sektor ima na životnu sredinu.

### 2.2.1. Globalno kruženje ugljenika i emisije ugljenika iz poljoprivrede

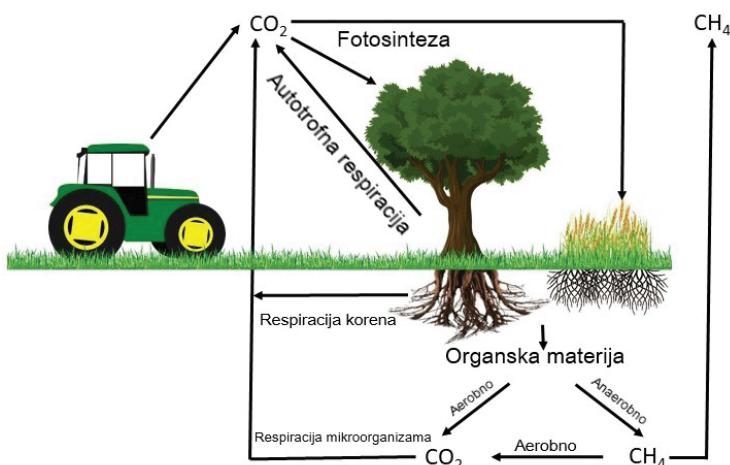
Ugljenik (C) predstavlja osnovu za život na Zemlji i čini primarni element svih živih organizama. Glavna globalna skladišta ugljenika su zemlja, okeani i atmosfera, a razmene ugljenika između ovih „skladišta“ predstavljaju bilans ugljenika. Globalni bilans ugljenika je bilans razmena (ulaznih i izlaznih) između ovih skladišta ili razmena unutar određenog ciklusa. Procena bilansa ugljenika nekog skladišta može pružiti informaciju o tome da li je ono izvor ili potrošač  $\text{CO}_2$ .

Autotrofni organizmi (zelene biljke) su i potrošači i akumulatori ugljenika jer koriste  $\text{CO}_2$  za svoj metabolizam (OTOSINTEZU) i skladište C u svojim tkivima. S druge strane, heterotrofni organizmi dobijaju ugljenik za svoj metabolizam od autotrofnih organizama i zaliha ugljenika u svojim tkivima. Međutim, heterotrofni organizmi predstavljaju izvor  $\text{CO}_2$  koji nastaje kao nusproizvod čelijskog disanja. U zavisnosti od prisustva ili odsustva  $\text{O}_2$ , dolazi do različitih biohemičkih puteva čelijskog disanja: u prisustvu  $\text{O}_2$ , dolazi do aerobnog disanja i  $\text{CO}_2$  se proizvodi kao prvi nusproizvod. S druge strane, kada je veliki deo Zemljinih pora ispunjen vodom i nedostaje  $\text{O}_2$ , javlja se anaerobno disanje i kao nusproizvod ovog procesa

proizvodi se  $\text{CH}_4$ . U svakom slučaju, kada živi organizmi odumru, ugljenikova jedinjenja koja su se nalazila u njihovim tkivima se razgrađuju i ugljenik se premešta u drugo skladište (zemljište i atmosferu). Količina ovog elementa koji se skladišti u zemljištu prolazi kroz nekoliko transformacija, od manje stabilnih do više stabilnih oblika. Jedan od najvažnijih stabilnih oblika ugljenika za autotrofne organizme predstavlja organska materija zemljišta. Međutim, usvajanjem ugljenika od strane gajenih biljaka i agrotehničkim merama poput intenzivne obrade zemljišta, smanjuje se količina ovog elementa u zemljištu. Naime, povećanjem pora u zemljištu i aeracijom nakon obrade zemljišta ubrzava se mineralizacija organskih materija iz zemljišta uz neto oslobađanje  $\text{CO}_2$ . Ipak, dodatni faktor visokostabilnih jedinjenja C u zemljištu predstavlja nafta koja je i dalje osnova globalnog energetskog sektora koji je izvor velike količine  $\text{CO}_2$  i njegove emisije u atmosferu.

$\text{CO}_2$  je svakako najznačajniji gas staklene bašte koji nastaje od različitih ljudskih aktivnosti, dok poljoprivreda stvara 60% ukupnog efekta staklene bašte. Od industrijske revolucije do danas, atmosferska koncentracija  $\text{CO}_2$  povećala se od 280 ppm do 390 ppm. Ovakvo povećanje emisije  $\text{CO}_2$  uglavnom se pripisuje promenama u korišćenju zemljišta, deforestaciji, sagorevanju neobnovljivih fosilnih izvora energije, šumskim požarima, itd. Zbog ovakvog porasta emisije  $\text{CO}_2$ , sve više pažnje se posvećuje emisijama gasova staklene bašte i uticaju ljudskih aktivnosti na životnu sredinu. Posebna pažnja posvećuje se i strategijama za postizanje visokog nivoa održivosti životne sredine. Sektor prevoza takođe predstavlja jedan od faktora zagađenja atmosfere, a u današnje vreme se sve više govori o upotrebi obnovljivih izvora energije umesto fosilnih goriva. U poljoprivredi je smanjenje emisije  $\text{CO}_2$  uglavnom posledica usvajanja efikasnih poljoprivrednih praksi kao što su smanjenje upotrebe mineralnih đubriva, pravilna primena plodoreda, smanjenje upotrebe pesticida. U poljoprivredi se  $\text{CO}_2$  uglavnom proizvodi disanjem i procesima sagorevanja. Kao nusproizvod disanja,  $\text{CO}_2$  se uglavnom stvara na poljoprivrednom zemljištu kroz disanje korena, kao i aerobnim i anaerobnim mikrobiološkim disanjem. Disanje korena čini otprilike 50% ukupnog disanja zemljišta (ali može varirati između 10 i 95% u zavisnosti od useva). Pored toga, disanje živih bića u ekosistemu doprinosi dinamici emisije  $\text{CO}_2$  i uključuje i disanje nadzemnih delova biljaka. Razlika između fotosinteze i disanja živih bića u ekosistemu predstavlja neto ekosistemsku razmenu (engl. *Net Ecosystem Exchange – NEE*) i pruža informacije o budućnosti ugljenika u ekosistemu. Pozitivna neto ekosistemска razmena ukazuje na prliv ugljenika, dok negativna razmena predstavlja odliv ugljenika. Osim toga,  $\text{CO}_2$  predstavlja jedan od glavnih nusproizvoda sagorevanja koje u poljoprivredi stvaraju traktori. Na ovaj način, usvajanje efikasnijih poljoprivrednih praksi poput redukovane ili minimalne obrade zemljišta, direktnе setve i plodoreda predstavlja-

**Slika 2.9.** Dinamika emisija ugljenika iz sistema usev-zemljište



ju značajan potencijal smanjenja emisije  $\text{CO}_2$ . U poslednjih nekoliko godina je još jedna poljoprivredna strategija privukla posebnu pažnju zbog velikog potencijala smanjenja inputa u proizvodnji i uticaja poljoprivrede na životnu sredinu. U pitanju je *precizna poljoprivreda*. Osnovni princip precizne poljoprivrede je da obezbedi tačno ono što je potrebno tamo gde je potrebno, optimizirajući povraćaj uloženih sredstava, a istovremeno čuvajući prirodne resurse. Na ovaj način se minimalizuje upotreba traktora i dodatnih sredstava – inputa za proizvodnju uz pozitivan efekat na životnu sredinu.

Međutim, poljoprivredni sistemi su odgovorni, u većoj meri nego za  $\text{CO}_2$ , za emisiju drugog izvora ugljenika: metana ( $\text{CH}_4$ ). On uglavnom nastaje u procesu varenja preživara (čini oko 40% ukupnih emisija gasova staklene bašte iz poljoprivrede) i sa pirinčanih polja (11%). Ipak,  $\text{CH}_4$  nastaje i na svim poljoprivrednim zemljištima kao poslednji korak razgradnje organske materije u anaerobnim uslovima aktivnošću metanogenih mikroorganizama. Nastali  $\text{CH}_4$  odlazi u atmosferu na tri osnovna načina:

- difuzijom, kroz pore zemljišta;
- preko aerenhimskog tkiva specifičnih gajenih biljaka (npr. pirinča). Ovakve biljke su u toku evolucije stekli specifične morfološko-anatomske osobine tako što se u njihovim tkivima stvorio prostor za razmenu gasova (tzv. aerenhim);
- ključanjem, kada je voda u zemljištu zasićena metanom i gas se emituje u obliku mehurića.

Međutim, kada se sadržaj kiseonika ( $\text{O}_2$ ) u zemljištu poveća, stvaranje  $\text{CH}_4$  se smanjuje usled razvitka zajednice aerobnih bakterija (metanotrofnih). Ove vrste bakterija mogu da koriste  $\text{CH}_4$  i  $\text{O}_2$  u svom metabolizmu proizvodeći  $\text{CO}_2$ . Prirodno stvaranje  $\text{CH}_4$  generalno prati sezonske promene u zavisnosti od temperature zemljišta, sadržaja vode u zemljištu i prisustva/odsustva biljnog pokrivača.

Stalna močvarna područja su prirodni izvor  $\text{CH}_4$  tokom cele godine, dok su, s druge strane, suvi ekosistemi prirodni odvod  $\text{CH}_4$ , koji uglavnom koriste aerobne bakterije za svoj metabolizam. Ekosistemi koji se menjaju u vlažnim i suvim periodima čine istovremeno i odvode i izvore  $\text{CH}_4$ . Efikasne metode za smanjenje emisija  $\text{CH}_4$  podrazumevaju i strategije upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom koje obezbeđuju adekvatnu drenažu zemljišta.

## 2.2.2. Kruženje azota i emisije azota iz poljoprivrede

Azot (N) predstavlja jedan od najvažnijih faktora koji utiču na plodnost zemljišta i čini osnovu velikog broja bioloških jedinjenja. Iz tog razloga, azot je najvažniji element za đubrenje useva i njegovo prisustvo, odnosno odsustvo u zemljištu predstavlja jedan od glavnih faktora koji utiču na rast i prinose useva.

Atmosfera predstavlja najveći izvor elementarnog azota, sa koncentracijom od približno 78% od ukupnih gasova atmosfere. Njegov elementarni oblik ( $\text{N}_2$ ) čini veliki deo azota u atmosferi. Međutim,  $\text{N}_2$  nije dostupan za biljke, jer je potrebna njegova hemijska transformacija da bi se pretvorio u biljkama pristupačan oblik u zemljištu. Osnovni proces transformacije gasovitog azota je *fiksacija azota*. Fiksacija azota je reduktivna reakcija koju sprovode određeni sojevi bakterija i zelene alge, pretvarajući  $\text{N}_2$  u amonijum ion ( $\text{NH}_4^+$ ), koji se u biljkama brzo koristi za stvaranje aminokiselina i belančevina. Mikroorganizmi koji fiksiraju azot mogu se svrstati u dve različite kategorije: slobodni (nesimbiotski) i simbiotski. Prvi su odgovorni za fiksiranje manje količine azota u zemljištu (10–20 kg  $\text{ha}^{-1}$  godišnje $^{-1}$ ). Simbiotski azotofiksirajući mikroorganizmi stvaraju specifičan odnos (simbiozu) sa biljkama uz razmenu hranljivih materija. Naime, biljke obezbeđuju uglavnom ugljene hidrate za metabolizam mikroorganizama, dok ovi vrše azotofiksaciju obezbeđujući biljkama jedinjenja sa lako pristupačnim azotom. Simbiotska azotofiksacija je najvažnija u poljoprivredi zbog velike količine azota pretvorenog iz  $\text{N}_2$  u  $\text{NH}_4^+$  (60–250 kg  $\text{ha}^{-1}$  godišnje $^{-1}$ ). Na ovaj način, mahunarke (leguminoze) i bakterije iz roda *Rhizobium* predstavljaju najefikasniji simbiotski odnos između mikroorganizama i biljaka. Proces stvaranja  $\text{NH}_4^+$  naziva se *amonifikacija*, nakon koje sledi proces nitrifikacije u kome se  $\text{NH}_4^+$  pretvara u nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), koji čine još jednu grupu lako dostupnih jedinjenja azota za gajene biljke. Pored fiksacije azota, eksterno snabdevanje azotom predstavlja važan faktor u bilansu azota u ekosistemima. Ono može biti prirodno, razgradnjom organske materije (mrтvih biljaka i životinja) ili ga ljudi dodaju đubrenjem. Međutim, biljke ne mogu da iskoriste sav azot koji dospe u zemljište. Glavni uzroci gubitaka azota odnose se na ispiranje nakon navodnjavanja ili padavina i na isparavanje (volatizaciju). Dok je ispiranje uglavnom vezano za  $\text{NO}_3^-$ , isparavanje je proces koji može uticati na stvaranje većeg broja različitih oblika

azota. Naime, do isparavanja može doći tokom hidrolize jedinjenja baziranih na  $\text{NH}_3$  (urea je prvo đubrivo ove kategorije) uz stvaranje  $\text{NO}_3^-$ . Visoke letnje temperature i prosečna količina vode u zemljištu izuzetno podstiču ovaj proces. Proces hidrolize ima i dodatni uticaj na životnu sredinu zbog stvaranja  $\text{CO}_2$  kao nusproizvoda reakcije. Hidroliza je proces do kojeg dolazi u stajnjaku tokom skladištenja stajnjaka i tečnog stajnjaka kao i tokom njihovog iznošenja na polja. Zbog toga su sistemi stočarske proizvodnje jedan od glavnih faktora koji utiču na emisiju  $\text{NH}_3$  u poljoprivrednoj proizvodnji.

Najvažnija pojava koja utiče na gubitke azota kroz isparavanje iz prirodnih ekosistema jeste denitrifikacija. Denitrifikacija je proces koji vrše određene grupe bakterija u anaerobnim uslovima. Ove bakterije koriste  $\text{NO}_3^-$  kao krajnji akceptor elektrona tokom anaerobnog disanja. Denitrifikacija dovodi do oslobođanja  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4^+$  i nitritni ion ( $\text{NO}_2^-$ ). Međutim, redukcija  $\text{NO}_3^-$  do  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_2^-$  je reverzibilna reakcija. Iz tog razloga, gubici azota pri denitrifikaciji odnose se samo na one reakcije koje stvaraju gubitke atmosferskog azota u elementarnom obliku ( $\text{N}_2$ ) i obliku oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Denitrifikacija predstavlja negativan proces zbog stalnih gubitaka azota iz biogeohemijskog ciklusa u zemljištu, a samim tim i u agroekosistemima. Pošto denitrifikacija zahteva uslove anaerobioze, najosetljivija su ona zemljišta koja odlikuju česte poplave i loša struktura zemljišta. Primenom strategija konvencionalne obrade zemljišta i neadekvatnog upravljanja vodnim resursima ova situacija se može dodatno pogoršati.

### 2.2.3. Činioci koji utiču na emisije gasova staklene bašte i emisiju $\text{NH}_3$

#### Vlažnost

Vlažnost zemljišta je najvažnija osobina zemljišta kada je reč o emisiji gasova iz zemljišta, jer ona kontroliše mikrobiološku aktivnost i sve povezane procese. Dok, s jedne strane, stvaranje  $\text{N}_2\text{O}$  doстиже svoj optimum kada je približno 60% pora u zemljištu popunjeno vodom,  $\text{CH}_4$  zahteva isključivo anaerobne uslove i u pozitivnoj je korelaciji sa vlagom u zemljištu. Distribucija veličine čestica zemljišta (tekstura) utiče na vodni režim zemljišta. Zemljišta sa velikim brojem krupnih pora zadržavaju manje vode i stoga podstiču emisiju gasova koji se oslobođaju u aerobnim uslovima. Zemljišta kod kojih dominiraju sitnije pore podstiču oslobođanje  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$ , koji nastaju u anaerobnim uslovima. Veća emisija  $\text{CO}_2$  primećuje se kod zemljišta sitne teksture, posebno u poređenju sa peskovitim zemljištima tokom toplih sušnih perioda. Stabilni agregati zemljišta (konkrecije, pokorica) utiču na smanjenje emisije gasova iz zemljišta pošto su C i N manje dostupni za mikroorganizme u zemljištu. Padavine nakon dužih sušnih perioda izazivaju „pulsiranje” ili Birčov

efekat – emisija gasova se povećava u roku od nekoliko minuta ili sati nakon početka padavina i vraća se na početni nivo u roku od nekoliko dana. Uzrok ove pojave je obnovljena mineralizacija i dostupnost lako razgradivih materija za metabolizam reaktivirane zajednice bakterija. Međutim, Birčov efekat se smanjuje sa povećanjem učestalosti vlažnih i sušnih ciklusa.

### *Temperatura*

Temperatura zemljišta je važan činilac kolebanja emisije gasova staklene baštice iz zemljišta. Povećanje temperature zemljišta dovodi do većih emisija i većg intenziteta disanja zemljišta kao pozitivne reakcije na povećanje metabolizma mikroorganizama. Emisije  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$  dodatno su podstaknute povećanjem intenziteta disanja zemljišta pri povećanju temperature zemljišta, što dovodi do smanjenja koncentracije  $\text{O}_2$  u zemljištu. Pozitivan efekat temperaturе može se poništiti vodnim stresom u zemljištu, jer je voda potrebna kao transportni medijum za hranljive materije potrebne mikroorganizmima. Generalno, usled viših temperatura i povećanog sadržaja vode u zemljištu, u kontinentalnim područjima najveći intenziteti emisije gasove uočeni su između proleća i leta. Najniže emisije iz zemljišta javljaju se tokom suvog leta ili hladnih zima, usled smanjene aktivnosti mikroorganizama u zemljištu.

### *Izloženost lokaliteta i pritisak vazduha*

Izloženost lokaliteta (nadmorska visina, morfološka pozicija, biljni pokrivač) utiče na temperaturu i vlažnost zemljišta. Na primer, emisije  $\text{N}_2\text{O}$  su veće u depresijama nego na padinama i planinskim grebenima zbog povećane vlažnosti zemljišta. Niži vazdušni pritisak podržava veće emisije iz zemljišta zbog smanjenog kontrapritisaka na zemljište.

### *Požari*

Požari u ekosistemima (i agroekosistemima) mogu uticati na bilans gasova staklene baštice u zemljištu, u zavisnosti od temperaturu i dužine trajanja požara. Spaljene oblasti pokazuju manje flukseve  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$  nego nespaljene referentne lokacije oko mesec dana nakon požara. Uzrok tome je smanjeno disanje korena u odsustvu biljnog pokrivača i promena pH vrednosti zemljišta. Takođe, nakon požara se smanjuje emisija  $\text{N}_2\text{O}$ , što je uglavnom izazvano stvaranjem aktivnog uglja. Nakon gorenja, temperature zemljišta se povećavaju jer nema biljnog sklopa, dok se vlaga u zemljištu ne menja, pošto smanjena transpiracija biljaka kompenzuje nepostojeći ili smanjeni biljni sklop. Požari nemaju uticaja samo na mali broj promena vezanih za stvaranje  $\text{CH}_4$  u zemljištu.

## *pH zemljišta*

pH vrednost zemljišta je činilac koji ima veliki uticaj na mikrobiološku zajednicu u zemljištu, a time i degradaciju i emisije organskih materija. Naime, kiseli uslovi zemljišta su presudni za mikrobiološku zajednicu, a emisije gasova su u takvim uslovima niže. Izuzev  $\text{CH}_4$ , koji uglavnom nastaje između pH vrednosti 4 i 7, optimalni nivo za emisije gasova staklene bašte je oko pH 7.

## *Hranljive materije*

Dostupnost hranljivih materija je osnova za mikrobiološke procese i proceze disanja biljaka. Zbog toga važnu ulogu imaju prirodni sadržaji azota i ugljenika u zemljištu, kao i atmosferski depozit, korišćenje stajnjaka ili mineralnih đubriva. U zavisnosti od odnosa C/N, emisije gasova staklene bašte imaju različite trendove:  $\text{CO}_2$  i  $\text{CH}_4$  pokazuju pozitivnu korelaciju sa razmerom C/N. S druge strane, povećanjem odnosa C/N, emisije  $\text{N}_2\text{O}$  se smanjuju. Ovakva pojava je logična zbog smanjene degradacije organske materije i dostupnosti azota.

Povećanje sadržaja azota u zemljištu uopšteno dovodi do povećanog disanja zemljišta i do veće neto ekosistemske razmene, ukoliko ugljenik nije ograničen. Sa ograničenom dostupnošću ugljenika, korišćenje azotnog đubriva ima ograničen uticaj na disanje zemljišta. Kao rezultat đubrenja azotom disanje zemljišta je osetljivije na vlažnost zemljišta, a manje na temperaturu zemljišta.

Da bi se emisija  $\text{N}_2\text{O}$  sa poljoprivrednih zemljišta svela na minimum, intenzitet đubrenja mora biti prilagođen potrebama gajenih biljaka pošto one ne mogu da koriste sve oblike azota. Količine azota koje nisu pristupačne gajenim biljkama vode ka povećanju emisija  $\text{N}_2\text{O}$ . Međuusevi povećavaju fluks  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$  nakon što se inkorporiraju i imaju pozitivan uticaj na disanje zemljišta u odnosu na zemljiše koje je bez vegetacije. Smanjenje emisije  $\text{N}_2\text{O}$  nakon đubrenja može se postići korišćenjem đubriva sa kontrolisanim oslobođanjem azota (sporodelujuća đubriva) ili upotreborom inhibitora denitrifikacije. Međutim, ovaj efekat može biti ometen obilnim padavinama. Primena i dejstvo mineralnih đubriva uslovljeno je sadržajem vode u zemljištu i sistemom obrade zemljišta. Na primer, đubrenje ureom povećava emisiju  $\text{N}_2\text{O}$  pri direktnoj setvi i konzervacijskoj obradi zemljišta nego inkorporiranje đubriva. Emisija  $\text{NH}_3$  je neizostavna pri korišćenju đubriva na bazi amonijaka, što je i logično. Međutim, primećeno je da inkorporiranje đubriva nakon primene izuzetno smanjuje emisiju  $\text{NH}_3$  i gubitke azota.

## *Vegetacija*

Prisustvo vegetacije utiče na dinamiku disanja zemljišta i emisiju  $\text{CO}_2$ . Ovo je posledica kombinovanog efekta disanja korena i

mikrobiološkog disanja. Mlade šume imaju najveću emisiju CO<sub>2</sub> zbog velike količine tankog mladog korenja i obilja organske materije, što izuzetno podstiče proliferaciju mikroorganizama u zemljištu. U starim šumama smanjena aktivnost disanja korena delimično je nadoknadena visokom stopom mikrobiološkog disanja usled velike dostupnosti razgradivog organskog materijala. Na pašnjacima, dobro balansiran odnos mahunarki i C3 i C4 biljaka kao posledicu ima povećan potencijal za sekvestraciju C. Na poljoprivrednom zemljištu, emisija N<sub>2</sub>O sa zemljišta pod mahunarkama značajno je niža nego emisija N<sub>2</sub>O sa zemljišta na kojima su primenjivana azotna đubriva. Takođe, prisustvo vegetacije zadržava vodu u zemljištu više nego golo zemljište, te kada dođe do jakih kiša, mogu se stvoriti uslovi za denitrifikaciju (emisiju N<sub>2</sub>O) i emisiju CH<sub>4</sub>. Međutim, u normalnim uslovima vegetacija može povećati koncentraciju O<sub>2</sub> u zemljištu zbog povećane poroznosti usled razvoja korena.

Temperature zemljišta se smanjuju zbog veće površine listova, čime se i povećava zasenčivanje zemljišta (površina koja je u hladu).

### *Promene korišćenja zemljišta*

Promena namene zemljišta je veoma važna za emisiju gasova staklene bašte iz zemljišta, posebno kada se šume, travnjaci i treštišta pretvaraju u poljoprivredna zemljišta. Tokom prvih godina nakon pretvaranja šume u poljoprivredno zemljište, izgubi se od 30 do 35% ugljenika koji se čuva u gornjim slojevima zemljišta (5-10 cm).

### *Sistemi za praćenje emisija gasova staklene bašte i NH<sub>3</sub>*

Praćenje emisije gasova staklene bašte i NH<sub>3</sub> je od suštinskog značaja za procenu održivosti i strategije upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom. Naime, ispitivanjem ciklusa ugljenika i azota, dobijaju se najvažnije informacije o efikasnosti iskorišćavanja hranljivih sastojaka i efikasnosti agroekosistema.

Emisije gasova iz zemljišta se najčešće mere direktno pomoću tehnika koje koriste specijalne komore i mikrometeorološke metode, kojima se vrše merenja iz svemira i iz vazduha, a dobijeni podaci se koriste u proračunima pomoću empirijskih i procesno-orientisanih modela.

### *Sistemi sa upotrebom komora*

Komore se uglavnom koriste za monitoring gasova kao što su CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O (i NO). Kutija, ili češće cilindar (komora), postavlja se na površinu zemljišta, tako da je deo njene osnove otvoren prema zemlji, a emitovani gasovi se akumuliraju u prostoru komore. Komore moraju biti izrađene od nereaktivnih materijala (čelik, PVC, itd.) tako da se tokom merenja ne javljaju nikakve smetnje. Za

analizu emisije gasova mogu se koristiti različite tehnike, najčešće gasna hromatografija, infracrvena spektrometrija (IR), nedisperzivni infracrveni senzori (NDIR), ionizacioni detektor dima (FID), hemiluminiscencija, itd. Osnovne razlike između komora različitih konstrukcija su u metodama sakupljanja i analize uzorka. Najsavremeniji i najtačniji senzori koriste sistem pumpi koji prikuplja uzorce iz komora i analizira ih direktno na terenu. Ovim senzorima je potrebno kratko vreme (10 sekundi do minute) da analiziraju uzorce bez upotrebe reagenasa. Zapremina komore igra ključnu ulogu u tačnosti merenja. Što je zapremina manja, to je tačnost veća. Međutim, za merenja emisija gasova na zemljištu pod gajenim biljkama (ili prirodnom vegetacijom) potrebne su komore koje mogu da obuhvate biljke. U arborikulturi, na primer u zasadu vinove loze, koriste se komore visoke 2 do 3 metra da bi se odredili svi fluksevi gasova u sistemu zemljište-biljka. Komorni sistemi mogu imati zatvorene i otvorene komore, pri čemu se zatvorene komore mogu da budu zatvorene statičke komore i zatvorene dinamičke komore. Osnovne razlike između otvorenih i zatvorenih komora odnose se na rukovanje, jer se zatvorene komore nakon merenja moraju ukloniti da bi se izbeglo zasićenje prostora komore. Izuzetak predstavljaju automatske zatvorene komore koje zatvorenu/otvorenu fazu izvode automatski. Međutim, s obzirom na to da se radi o sofisticiranim tehnološkim sistemima koji iziskuju visoke treškove, i dalje se najčešće koriste jeftinije zatvorene komore. Glavna prednost otvorenih komora je to što nije potrebno vreme za akumulaciju, jer se fluks analizira kontinualno. Međutim, i zatvoreni i otvoreni sistemi treba da budu opremljeni pomoćnim senzorom za procenu onih faktora koji mogu uticati na trendove emisije gasova iz zemljišta: temperature vazduha, vazdušnog pritiska, relativne vlažnosti vazduha, solarnog zračenja, temperature zemljišta i sadržaja vode u zemljištu. Povećanje temperature i povećanje količine vode generalno podstiču dinamiku emisije gasova usled proliferacije zajednice bakterija. Analize hranljivih materija, organskih materija i teksture zemljišta pružaju dodatne informacije za bolje razumevanje aktivnosti bakterija u zemljištu.

Komore moraju biti instalirane sa ovojnicom od nereaktivnih materijala kako bi se sprečilo curenje gasa iz komore u atmosferu. Da bi se smanjio uticaj ovojnica na strukturu zemljišta i koren biljaka, prsten na koji naleže komora treba ukopati do dubine od nekoliko centimetara i, ako je to moguće, između redova useva. Međutim, neki sistemi komora mogu da se instaliraju direktno na površinu zemljišta, ali se to ne preporučuje na šumskim zemljištima. Zatvorenoj komori potrebno je vreme za akumulaciju gasova pre nego što se izvrši merenje. U zavisnosti od toga koji gas se posmatra, vreme akumulacije može gasova može da varira, no prosečno vreme akumulacije od 60 minuta omogućuje prikupljanje pouzdanih podataka za sve gasove staklene bašte.

Bez obzira na metod koji se primenjuje, potrebna je specifična analiza podataka prikupljenih iz komore kako bi se dobile pouzdane informacije o fluksu svakog analiziranog gasa. U tom smislu, linearna regresija predstavlja najbolji metod za procenu flukseva u nekom posmatranom periodu. Sakupljeni podaci iz svih komorskih sistema odnose se na različitu površinu ( $\text{cm}^2$ ). Stoga je potrebno izvršiti preračunavanje  $\text{cm}^2$  u hektare (uobičajenu jedinicu za izražavanje površine zemljišta u poljoprivredi) da bi se dobili pouzdani podaci za upoređivanje datog eksperimenta sa drugim podacima ili se pružile smernice za poljoprivredne proizvođače, druge učesnike u poljoprivrednoj proizvodnji i predložile političke mere.

### *Mikrometeorološka merenja*

Metoda *turbulentnih vrtloga* je direktni mikrometeorološki pristup. Ovaj metod koristi vertikalne turbulencije da analizira turbulentne razmene topote i gase između površine zemljišta i atmosfere. Za ovaj metod potreban je 3-D ultrazvučni anemometarski sistem i analizator gasea, koji su spojeni u kulu visine najmanje 2 metra. Merenja se mogu vršiti kontinuirano i obuhvatati površine do nekoliko kvadratnih kilometara. Ovom metodom u potpunosti se pokriva zemljište tako da merenja emisije gasova u potpunosti pokrivaju zemljište, biosferu i atmosferu. Slabost ovog sistema je loše procenjivanje flukseva kada su prisutne turbulencije na nivou tla. Primjeniv je na šumskom zemljištu i preporučuje se za merenje na ravnom terenu, iznad nivoa vegetacije ili u nivou vegetacije male gustine. Međutim, kasnija obrada podataka, nakon prikupljanja podataka na terenu, je veoma složena.

### *Merenja iz svemira*

Ovom metodom podaci o fluksevima gasova prikupljaju se sa satelita koji pružaju informacije o koncentraciji gasova na osnovu merenja intenziteta reflektovane sunčeve svetlosti kratkih talasnih dužina u vidljivim i infracrvenim delovima spektra. Međutim, i dalje postoji značajna neizvesnost u prostornom slaganju površina i raspodela tipova zemljišnog pokrivača (npr. travnjaka, šuma, gole zemlje, poljoprivrednog zemljišta, itd.). Ove neizvesnosti pripisuju se ili različitim ograničenjima senzora (vezanim za tehničke specifikacije poput talasne dužine, spektralne i pretežno prostorne rezolucije) ili postojećim podacima (npr. mape zemljišnog pokrivača). Razlike između mapa zemljišnog pokrivača imaju važne implikacije na modeliranje globalnih emisija. Zbog toga izbor mape može uneti značajne sistemske greške u regionalnim i globalnim modelima bilaša ugljenika.

## *Merenja iz vazduha*

Metode merenja iz vazduha podrazumevaju direktnе pristupe uzimanju uzoraka gasova, npr. iznad različitih vrsta podlogе i sa prostora blizu površine pa sve do viših troposferskih visina. Postoje različite metode prikupljanja uzoraka iz vazduha: uzlazna i silazna putanja leta aviona gde se uzorci stavlaju u bočice i analiziraju gasnom hromatografijom u laboratoriji. Do pre nekoliko godina, uzimanje uzoraka iz vazduha vršeno je pomoću balona na različitim visinama. Prikupljenim uzorcima je i dalje potrebna dodatna faza laboratorijskih analiza što podrazumeva povećanje troškova i dodatno vreme.

### **2.2.4. Modeliranje emisija gasova staklene bašte**

Pošto merenja pružaju samo podatke sa određene tačke, modeliranje emisija gasova staklene bašte iz zemljišta je važno za regionalizaciju ovih merenja i za izračunavanje globalnog bilansa ovih gasova. Najkorišćeniji modeli mogu da simuliraju nekoliko faktora kao što su dnevna dekompozicija, nitrifikacija, isparavanje amonijaka, stvaranje  $\text{CO}_2$  (mikrobiološko disanje i disanje korena u zemljištu), usvajanje azota od strane biljaka i rast biljaka. Ovi modeli se takođe koriste za izračunavanje emisija gasova staklene bašte iz zemljišta, posebno sa poljoprivrednih zemljišta. Kao važni ulazni podaci koriste se meteorološki parametri i parametri koji opisuju zemljište (npr. tekstura zemljišta, pH, specifična gustina zemljišta, sadržaj organskog ugljenika, itd.), kao i vrsta vegetacije i primenjena poljoprivredna praksa (obrada, upotreba đubriva, prinos zrna, itd.). S obzirom na to da modeli koriste izmerene ulazne faktore da bi se predvideo određeni fenomen, što su podaci brojniji i tačniji, to je model pouzdaniјi.

## 2.3. Austrijski sistem za praćenje suše u poljoprivredi (AgroDroughtAustria – ADA)

### 2.3.1. Uvod

Imajući u vidu da su projekcije uticaja klime na poljoprivredu na lokalnom i regionalnom nivou u značajnoj meri nepouzdane, nužno je napraviti pouzdan sistem pružanja ranih upozorenja, koji je naučno zasnovan i koji poljoprivrednim proizvođačima pruža pravovremene i razumljive informacije. Zbog toga je projektom AgroDroughtAustria razvijen specifičan sistem za praćenje pojave suše u Austriji, koji ima operativnu primenu sa sledećim ciljevima:

- 1) Određivanje skupa kalibracionih indikatora i metoda za utvrđivanje osetljivosti pojedinih gajenih biljaka na sušu i toplotu i uticaja suše i toplice na gajene biljke na osnovu podataka dobijenih osmatranjem i primenom modela koji opisuju rast i razviće biljaka
- 2) Procenjivanje stresa izazvanog sušom i toplotnog stresa kod gajenih biljaka u visokoj prostornoj rezoluciji korišćenjem ulaznih podataka koji se odnose na vremenske prilike, a koji imaju poboljšane prostorno umrežene vremenske parametre (INCA podaci);
- 3) Uspostavljanje metoda kratkoročne vremenske prognoze (do 10 dana) za pojavu suše;
- 4) Adaptacija i validacija metoda za otkrivanje stresa izazvanog sušom, toplotnog stresa i njihovog uticaja na prinose, primenjenih u operativnom sistemu za praćenje zasnovanog na GIS-tehnologiji, sa visokom prostornom rezolucijom (500 x 500 m) za osnovne osetljive ratarske kulture u Austriji.

Sistem za praćenje pojave suše **ADA** dizajniran je tako da se može proširivati, kako bi se u obzir mogli uzeti i drugi dodatni rizići po gajenje biljke vezani za vremenske prilike. Taj sistem nazvan je **ARIS** (Sistem informacija o rizicima u poljoprivredi). Aktuelnoj verziji sistema za operativno praćenje može se pristupiti na internet adresi:

<https://varndienst.lko.at/vinterveizen+2500+++6578?tip=RSSC>

### 2.3.2. Opis sistema za praćenje suše AgroDroughtAustria (ADA)

*Ulagani podaci za vreme i vremenske prognoze predstavljeni na mreži za sistem ADA (ARIS)*

Centralni institut za meteorologiju i geodinamiku u Austriji (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG) koristi sopstvene operativne modele za kratkoročne prognoze (engl.

*nowcasting*) i predviđanje vremenskih prilika koji imaju za cilj da korisnicima obezbede vremenske analize i prognoze do 3 dana unapred. Pored toga, ZAMG ima pristup i prognoznim podacima Evropskog centra za srednjoročne prognoze vremena (ECMWF), koji koristi globalne modelе u cilju davanja prognoza u rasponu od srednjoročnih do predviđanja za nekoliko meseci. U nastavku teksta ukratko su predstavljeni alati i analize koje koristi ZAMG, kao i dostupni modeli numeričke prognoze vremena.

Integrисane kratkoročне analize (INCA) i alati za kratkoročnu prognozu

Analize i sistem za kratkoročnu prognozu (INCA) (Haiden et al., 2011) algoritmički kombinuje osmatranja sa meteorološkim stanicama, rezultate modela numeričke prognoze vremena i podatke dajinske detekcije (engl. remote sensing) (radari, sateliti) u cilju obezbeđivanja meteoroloških analiza i kratkoročnih prognoza (*nowcasting*) velike vremenske (5 min) i prostorne (1 km) rezolucije. INCA se koristi za analize i prognoze različitih parametara. Analize i sistem za kratkoročnu prognozu INCA razvijene su prvenstveno da bi se obezbedile napredne numeričke prognoze u kratkoročnom (do +4 sata) i kratkom vremenskom rasponu (do oko +12 sati), a doprinosi i numeričkim prognozama do +48 sati skaliranjem na manji prostorni razmer i korekcijom sistemskih greški.

### *Baze podataka*

#### *Podaci numeričke prognoze vremena*

Za trodimenzionalne analize temperature, vlažnosti i vetra primenom INCA analiza, oblasti numeričke prognoze vremena najpre pružaju preliminarnu postavku o tome na kojim korekcijama su zasnovane opservacije. Počev od 1. marta 2011. godine, nova operativna konfiguracija ALADIN-a pod nazivom ALARO puštena je u rad u ZAMG institutu, zamenujući staru 9,6 km verziju ALADIN-AUSTRIA. Nova 4,8 km verzija spojena je sa modelom Integriranog sistema prognoziranja (IFS) i koristi ALARO fizički paket. Međutim, metode INCA analize i kratkoročne prognoze ne zavise suštinski od horizontalne rezolucije oblasti numeričke prognoze i mogu takođe biti zasnovane na drugim modelima numeričke prognoze.

#### *Osmatranja meteoroloških stanica*

Ključni izvor podataka za INCA sistem su podaci dobijeni sa meteoroloških stanica. ZAMG operiše mrežom od oko 260 automatizovanih stanica (TAWES) širom zemlje, koje pružaju podatke u visokoj vremenskoj rezoluciji. Pored toga, koristi i veliki broj podataka od drugih službi, kao što su hidrološke stanice, službe za upozoravanje na lavine, itd.

## *Radarski podaci*

Austrijsku radarsku mrežu vodi Uprava civilnog vazduhoplovstva (Austrokontrol). Sastoje se od pet radarskih stanica, a ZAMG operativno dobija 2-d radarske podatke sintetizovane sa ovih pet lokacija. Ovi podaci sadrže maksimalne vrednosti kolona u 14 kategorija intenziteta, za vremensku rezoluciju od 5 minuta. Radarski odraz je uklonjen iz podataka.

## *Satelitski podaci*

Produkti Meteosat druge generacije satelita koje koristi INCA su tipovi oblaka (*Cloud Type*), koji se sastoje od 17 kategorija i vidljive slike (VIS). *Cloud Type* razlikuje tri nivoa oblaka (niske, srednje, visoke), kao i različite stepene neprozirnosti. Dijagnostikuje se, takođe, da li su oblaci više konvektivnog ili stratiformnog karaktera. Infracrvena vidljiva slika (VIS) se koristi da bi se skalirali infracrveni snimci (koji su grublje rezolucije) tipova oblaka tokom dana na manji prostorni razmer.

## *Podaci o visini*

Topografija od 1 km koju koristi INCA dobijena je putem bilinearne interpolacije iz globalnih 30" mapa koje daje Američki geološki zavod (US Geological Survey). Rezolucija od 30" od originalnog skupa podataka odgovara ~930 m širine i ~630 m (na 48° N) dužine.

Oblasti rezultata INCA analize i numeričke prognoze vremena koje koristi ADA (ARIS)

Projektni partneri sistema ADA dobijaju INCA analize i numeričke prognoze vremena za aplikacije za praćenje suše (Tabela 2.2).

Parametar	Od godine	Prognoza (d)	Rezolucija	Tabela 2.2. Prikaz oblasti INCA analize
Minimalna temperatura (24 h) [°C d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Maksimalna temperatura (24 h) [°C d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Srednja temperatura (24 h) [°C d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Srednja dnevna temperatura (12 h) [°C d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Globalno zračenje [MJ m-2 d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Relativna vlažnost [% d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Vetar [m s-1 d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	
Padavine [mm d-1]	2003	3 odnosno 10	1 km	

## *Podaci o zemljištu i drugi ulazni prostorni podaci*

Osnovni podaci o zemljištu, a posebno kapacitet zemljišta za skladištenje vode pristupačne biljkama na dubini zemljišta do 1m, potiču iz austrijske elektronske baze podataka o zemljištu (<https://bfv.ac.at/rz/bfvcms2.veb?dok=7066>) za mrežu veličine 500 x 500 m, a izvedeni su od informacija o teksturi zemljišta korišćenjem funkcija prenosa. Kapacitet zemljišta za skladištenje vode pristupačne biljkama i poljski vodni kapacitet relevantnih slojeva zemljišta (0-40 cm i 40-100 cm) presudni su za izračunavanje trenutnog sadržaja vode u zemljištu, sadržaja vode pristupačne biljkama i sa njima povezanog stresa biljaka izazvanog sušom, a u skladu sa primenjenim algoritmima (videti Allen et al., 1998).

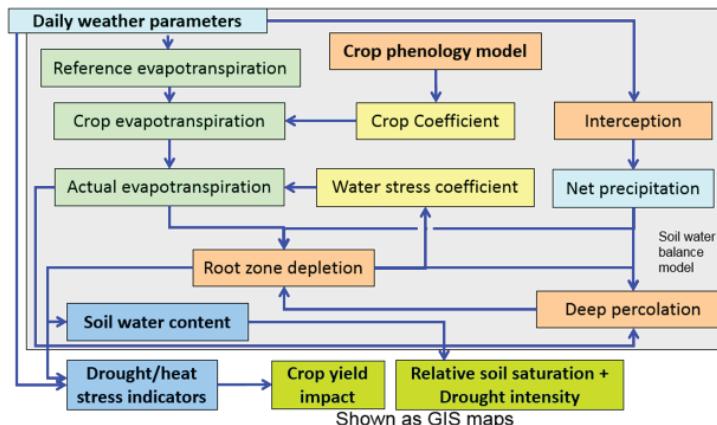
Prikaz svih prostornih baza podataka koje se koriste kao ulazni podaci u sistemu za praćenje:

- Digitalni model za nadmorsku visinu [m]: 1 sloj
- Poljski vodni kapacitet [Vol%]: 1 gornji sloj (0,4 m), 1 donji sloj (0,6 m)
- Biljkama pristupačni sadržaj vode [Vol%]: 1 gornji sloj (0,4 m), 1 donji sloj (0,6 m)
- Načini korišćenja poljoprivrednog zemljišta (CORINE 2012):
- Pašnjaci, obradivo zemljište (za površine pod ozimom pšenicom, jarim ječmom, kukuruzom, šećernom repom), površine pod vinovom lozom
- Dnevni meteorološki podaci (INCA): Relativna vlažnost [%], Vetar [m s<sup>-1</sup>], Temperatura [°C], Padavine [mm], Radijacija [MJ m<sup>-2</sup> dnevno<sup>-1</sup>]

## *Vodni bilans useva i fenološki model useva*

Da bi se odredilo korišćenje vode i nedostatak vode u zemljištu za pojedine useve, fenološki model, koji izračunava parametar Kc koji se odnosi na korišćenje vode u zavisnosti od fenologije gajenih biljaka, kalibriran je i implementiran u okviru FAO modela vodnog bilansa u zemljištu (Allen et al., 1998). Kc je koeficijent definisan za konkretni usev i određenu fazu rasta za izračunavanje stvarne (realne) evapotranspiracije biljaka (= korišćenje vode) iz referentne evapotranspiracije i obično se određuje eksperimentalno (Slika 2.10). Svaka biljna vrsta ima skup specifičnih koeficijenata koji se mogu koristiti da bi se predvidelo korišćenje vode u različitim fazama rasta.

Soil water balance model SOILCLIM (colored area) based on ALLEN et al. (1998):  
Crop evapotranspiration, FAO paper No 56

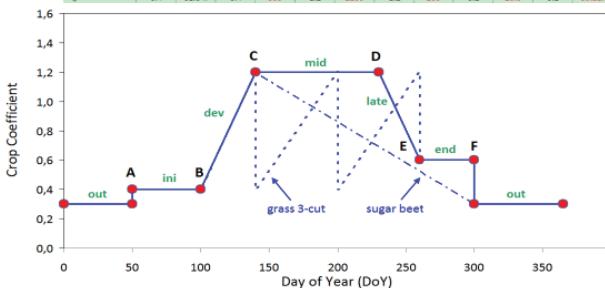


**Slika 2.10.** Shema za izračunavanje vodnog bilansa u sistemu biljka–zemljište u okviru sistema za praćenje ADA

Mogu se definisati četiri osnovne faze rasta useva: inicijalna faza, faza razvoja, srednja i kasna faza (Slika 2.11). Za Austriju su ove četiri faze rasta useva i Kc koeficijenti definisani za pašnjake, ozimu pšenicu, jari ječam, kukuruz i šećernu repu. Kako eksperimentalni podaci nisu bili dostupni, korišćeni su kalibrirani modeli rasta biljaka da bi se odredile za usev specifične sume temperatura potrebnih za dostizanje osnovnih razvojnih faza i odgovarajućih Kc koeficijenata. Model DSSAT v4.0.2.0 primjenjen je za kukuruz, ozimu pšenicu i jari ječam. Simulacije su rađene od 1992. do 2012. godine, meteoroška stanica bila je Groß-Enzersdorf, zemljište tipa černozem, uz prirodni vodni režim (bez navodnjavanja) i đubrenje prema ÖPUL smernicama. Prva faza A počela je 1. marta za ozimu pšenicu i jari ječam, a 1. aprila za kukuruz (Slika 2.11). Kc koeficijenti i sume temperatura za šećernu repu simulirani su modelom rasta biljaka Daisy.

Slika 2.11. Faze rasta biljaka i Kc koeficijenti za pašnjake, ozimu pšenicu, jari ječam, kukuruz i šećernu repu kalibrirani za austrijske uslove

Crop Coefficient Model for ADA (Kc Factor)												
Reference Evapotranspiration (ETO) for December, January and February is a constant value of 0.2 mm.												
Start of Growing Season (SGS): First day of 5 consecutive days with daily mean temperatures above 5°C												
Start of Growing Season for Maize (SGS-M): First day of 5 consecutive days with daily mean temperatures above 10°C												
Base temperature for calculation of degree day temperature sum (BT): 5 °C												
Base temperature for calculation of degree day temperature sum for Maize (BT-M): 8 °C												
Culture	Initial (Evaporation)		Crop Development		Mid-Season		Late Season		End of Growing			
	Entry of A	Entry of B	Entry of C	Entry of D	Entry of E	Entry of F	Kc	Time	Kc	Time		
	Kc	Time	Kc	Time	Kc	Time	[GDD]	Kc	Time	Kc	Time	
Grassland (3-cut)	Will be done by LFZ Raumberg-Gumpenstein (according to Schuhmberger, 2013)											
Winter Wheat	0.4	01.03.	0.4	SGS	1.2	592	1.2	953	0.5	+14 days	0.5	30.11.
Spring Barley	0.4	01.03.	0.4	SGS	1.2	816	1.2	767	0.5	+14 days	0.5	30.11.
Spring Maize	0.4	01.04.	0.4	SGS-M	1.2	572	1.2	2063	0.5	+14 days	0.5	30.11.
Sugar Beet	0.4	01.04.	0.4	300	1.2	2100	1.2	100	0.2	20.0	0.2	30.11.



Indikatori suše, modeli za procenu suše i toplotnog stresa biljaka i uticaja na prinose

U ADA sistemu izračunavaju se i prikazuju kvalitativne i kvantitativne mere pojave suše kod useva. Ove mere mogu se sumirati na sledeći način:

#### A. Mere rizika za useve

- Opšti indikator suše (odstupanje sadržaja vode u zemljištu u odnosu na sezonsku normalu)
- Faktor vodnog stresa za određeni usev (smanjenje sadržaja pristupačne vode u zemlji – stres linearno raste kada smanjenje sadržaja biljkama pristupačne vode prelazi 30%)
- Faktor toplotnog stresa (trenutnog i akumuliranog)
  - broj dana iznad granice maksimalne temperature
  - trajanje perioda iznad granice kritične temperature
- Kombinovani faktor toplotnog stresa i stresa izazvanog sušom za određeni usev (kombinacija 1+2)

#### B. Mere osetljivosti useva

- Reakcija biljaka na toplotni i stres izazvan sušom u različitim fenološkim fazama ispoljava se smanjenim prinosom u odnosu na normalan (prosečni) prinos.

Kalibracija i primena kvantitativnih parametara vezanih za sušu i toplotni stres useva

Na osnovu postojeće baze podataka o prinosima najvažnijih useva u Austriji, kao što su jari ječam, kukuruz, ozima pšenica i šećerna repa, analiza uticaja suše i toplotnog stresa izvedena je kori-

#### Phenological model

(to be used for evapotranspiration calculation and stress indicators)

Tabela 2.3. Kalibrisane i statistički značajne funkcije uticaja na prinos biljaka primenjene u GIS modelu

<u>Crop</u>	<u>Daily heat indicator</u>	<u>Daily drought indicator</u>	<u>Daily drought/Heat indicator</u>	<u>Actually implemented yield depression functions</u>		
Grassland 2nd cut		WSI = DR * 100.0 / TAW		YD = 87.53 + (-.0055 *Σ WSI)	Σ 1.5. – cut date	R <sup>2</sup> =0.23
Winter Wheat	Σ HDH > 27	WSI = DR * 100.0 / TAW	TM > 26: CSI = WSI * (TM - 25.0) TM < 26: CSI=WSI	YD = 6.64 + (-.000084 *Σ CSI)	Σ 1.3. – harvest	R <sup>2</sup> =0.27
Spring barley	Σ HDH > 27	WSI = DR * 100.0 / TAW	WSI > 33 & TM>30: CSI= ((TM-29)*WSI)-33	YD = 5.11 + (-.0002 *Σ CSI)	Σ 1.3. – harvest	R <sup>2</sup> =0.20
Maize		WSI = DR * 100.0 / TAW	WSI > 33 & TM>30: CSI= ((TM-29)*WSI)-33	YD = 10.99 + (-.0005 *Σ CSI)	Σ 1.5. – harvest	R <sup>2</sup> =0.20
Sugar beet		WSI = DR * 100.0 / TAW	TM > 26: CSI = WSI * (TM - 25.0) TM < 26: CSI=WSI	YD = 89.22 + (-.0008 *Σ CSI)	Σ 1.5. – harvest	R <sup>2</sup> =0.41

WSI = water stress indicator [%]  
DR = root zone depletion [mm]  
TAW = available soil water content at available field capacity [mm]  
CSI = combined water and heat stress indicator [-]  
TM = maximum daily temperature [°C]  
YD = Yield depression relative to not stressed conditions [%]  
HDH: Heat Degree Hours [°C]

šćenjem unapred definisanih indikatora, kao što je prikazano u Tabeli 2.3.

Prikazani su najznačajniji indikatori primjenjeni u ADA GIS sistemu za izračunavanje smanjenja prinosa useva usled suše i toplotnog stresa.

### Softver ARIS operativnog sistema monitoringa

Generisanje sistema ARIS (Informacionog sistema za rizike u poljoprivredi) zahtevalo je nekoliko različitih radnih operacija, uključujući i programiranje. Razvoj je praćen dodatnim zadacima kao što su priprema meteoroloških podataka, podataka o nadmorskoj visini terena, zemljištu i načinu korišćenja zemljišta, razvoj alata za preuzimanje preko FTP-a, kao i razvoj prototipa internetstrанице за vizuelno predstavljanje rezultata.

Prvi veliki korak u radu na ARIS programiranju bio je razvoj odgovarajućeg I/O interfejsa da bi se omogućile visoke performanse za pristup i izlaz podataka. Zahvaljujući odličnim performansama i relativno malim veličinama netCDF fajlova podataka, netCDF format fajlova izabran je kao glavni format za kreiranje, pristup i razmenu podataka.

Kako su već postojali razvijeni submodeli (SpatialGRAM i SOILCLIM) i njihove programske implementacije, značajno vreme bilo je posvećeno drugom velikom koraku, tj. analizi metodologije ova dva modela i odabiru odgovarajućih algoritama za novi softver. Odgovarajući algoritmi su uglavnom preneti nepromjenjeni ili manjim delom prilagođeni specifikacijama projekta. Razvijene su i implementirane i nove metodologije i algoritmi za ovaj projekat.

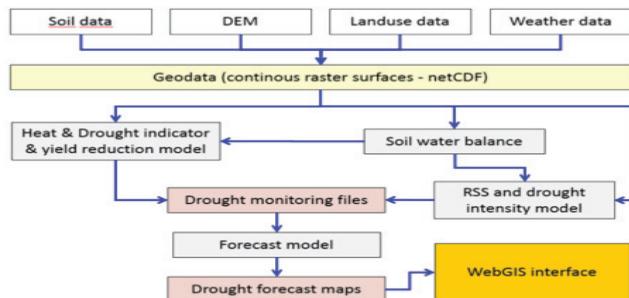
U narednom koraku, napravljena je nova proširena programska logika, koja je uključila već postojeće, ali i novorazvijene algoritme. Sve funkcije programa su implementirane kao statičke ili kon-

kretne klase u skladu sa objektno-orientisanom programskom paradigmom. Sve klase sa svojim metodama i brojem i tipovima promenljivih (varijabli) klasa, kao i samom programskom strukturu, optimizovane su u pogledu uravnoteženog odnosa potrošnje računarske memorije i brzine obrade podataka. Nekoliko klasa testiranja je uključeno da bi se proverila funkcionalnost i tačnost programa. Pored toga, implementirane su različite metode za izvoz međurezultata i krajnjih rezultata ključnih koraka kalkulacija u ASCII tekstualnom formatu za procenu i grafičko vizuelno predstavljanje.

Pored sistema ARIS, napravljena je i posebna aplikacija koja omogućava preuzimanje svih neophodnih fajlova za meteorološka praćenja i prognoze (INCA podaci za mreže od 1 km) sa servera austrijskog Centralnog instituta za meteorologiju i geodinamiku (ZAMG). Meteorološki fajlovi koriste netCDF format, kreiraju se svakodnevno i mogu se preuzeti u bilo kom trenutku. I na kraju, veoma važno je napomenuti da je prototip internet-stranice napisan tako da se mogu prikazati ilustracije rezultata izračunavanja. Internet-stranica bazirana je na platformi MapServer otvorenog pristupa (Univerzitet u Minesoti, SAD), koja omogućava izgradnju prostorno podržanih internet-aplikacija.

Sve komponente sistema ARIS nalaze se na *Windows* serveru. ARIS i alat za preuzimanje preko FTP-a aktivira i kontroliše *Windows task scheduler*. Internet-architektura prikazana je na Slici 2.12.

**Slika 2.12.** Arhitektura sistema ADA i ARIS



#### Pregled važnih karakteristika sistema:

- Svi ulazni/izlazni podaci koriste netCDF format fajlova:
  - Format podataka za čitanje/pisanje velikih fajlova podataka za naučne svrhe razvila je američka kompanija Unidata;
  - Samoopisujući (smanjena mogućnost grešaka);
  - Format podataka visokih performansi;
  - Pojedinačne i višedimenzionalne mreže (kontinualne površine).

## Prostorna rezolucija:

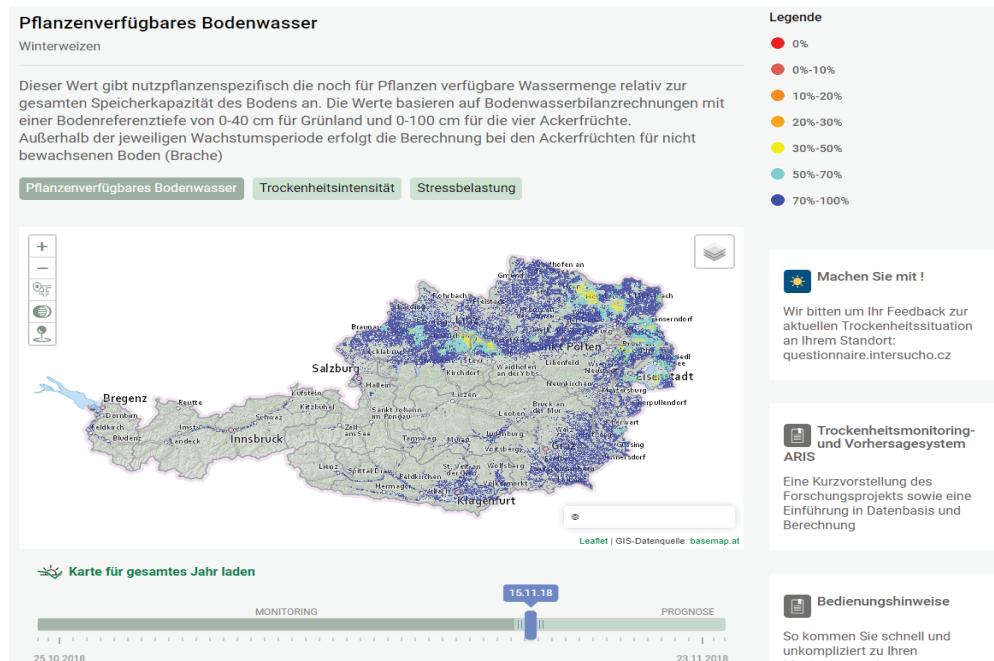
- Digitalni model visine terena (DEM), Meteorološki ulazni podaci: 1000 m;
- Ulagani podaci o korišćenju i tipu zemljišta: 500 m;
- Izlagani podaci (ET0: 1000 m, svi ostali podaci: 500 m);
- Rezolucija je povećana korišćenjem jednostavnog podeljene (split) algoritma.

*Teritorija koju fajlovi obuhvataju: čitava teritorija Austrije*

## Internet-portal sistema za praćenje pojave suše

Rezultati sistema za praćenje suša i prognoziranje AgroDroughtAustria – ADA (i ARIS) su mape koje prikazuju relativnu zasićenost zemljišta, intenzitet suše i smanjenje prinosa useva na teritoriji Austrije u rezoluciji mreže od 500 metara, za slojeve dubine korena od 0–40 cm (pašnjaci), odnosno 0–100 cm (ozima pšenica, jari ječam, kukuruz i šećerna repa). Mape su vizuelno predstavljene na internet-stranici (Slika 2.13).

**Slika 2.13.** Sadržaj pristupačne vode u zemljištu pod ozimom pšenicom prikazan u operativnom sistemu za praćenje pojave suše (<https://warndienst.lko.at/winterweizen+2500+++6578?typ=RSSC>)



## 2.4. Tolerantnost prema suši – primer šećerne repe

### 2.4.1. Poreklo i rasprostranjenost šećerne repe

Prve informacije o gajenju korenske repe datiraju još iz davnih vremena. U Vizantiji, repa je u osmom veku naše ere smatrana "trgovackim artiklom", što upućuje na pretpostavku da repa potiče sa Bliskog Istoka. Severno od Crnog mora, gajenje repe bilo je zastupljeno još u 10. veku, dok je u zapadnoj Evropi gajenje ove kulture poznato tek nakon završetka krstaških ratova (XII i XIII vek), prvo na području severne Italije i u dolini reke Rajne. Heinisch se bavio prikupljanjem podataka o istoriji šećerne repe kao gajene kulture, i na osnovu detaljnih proučavanja velikog broja istraživanja, zaključio je da prvi tragovi gajenja repe potiču čak 1.000 godina pre naše ere. Dokazano je da su bela i crvena repa u to vreme gajene na Siciliji. Prema istom autoru, repa se pominjala i u srednjem veku – prvi put 812. godine u uredbi Karla Velikog. Repa kao korenska biljka sa zadebljalim korenom, poznata je sa sigurnošću tek u XV veku.

Šećerna repa, kao izvor šećera, prvi put je registrovana 1750. godine. Od 1880. godine šećerna repa je zamjenila šećernu trsku, koja je bila osnovni izvor šećera u kontinentalnoj Evropi. Trenutni trend proizvodnje šećera je ponovo u korist šećerne trske. Šećerna repa je devedesetih godina prošlog veka učestvovala sa 30 do 40% u ukupnoj proizvodnji šećera u svetu. U prvim godinama ovog veka taj procenat je bio 16, sa oko 234 miliona tona na oko 5,9 miliona hektara. Oko 85% ukupne svetske proizvodnje šećerne repe proizvodi se u Evropi. Pored Evropske unije, najveći proizvođači u svetu su Brazil i Indija.

U Srbiji se početak gajenja šećerne repe vezuje za kraj XIX veka. Danas je šećerna repa rasprostranjena na oko 52.000 ha, sa prosečnim prinosom od oko  $34 \text{ t ha}^{-1}$ , čime se proizvodi 1,7 miliona tona. Od ukupne proizvodnje šećerne repe u Srbiji, 95% se proizvodi u Vojvodini.

Suša je veliki problem u mnogim zemljama – Australiji, Sjedinjenim Američkim Državama, Kini, mediteranskim zemljama. Rešava se primenom novih metoda navodnjavanja, tzv. metodom deficitna navodnjavanja, kada se biljke navodnjavaju manjom količinom vode. U ove metode spadaju regulisani deficit irigacije (RDI) i delimično sušenje korena (DSK). RDI je tehnika navodnjavanja u kojoj se korenski sistem biljaka navodnjava manjom količinom vode, u odnosu na moguću evapotranspiraciju. Na taj način biljke se izlažu umerenom stresu, ali tako da ne dođe do značajnog smanjenja prinosova. DSK je tehnika navodnjavanja koja se razvila nakon RDI i podrazumeva navodnjavanje samo jednog dela korenovog sistema, dok se drugi deo suši do unapred predviđenog nivoa. Zatim se vrši inverzija, navodnjavana polovina se suši, a sušena polovina se navodnjava. Primena ove tehnike je jednostavna. Teorijska osnova

opisanih metoda bazira se na indukciji adaptivnih reakcija biljaka na sušu.

Istraživanja na nacionalnom nivou suše u Srbiji, kao i u mnogim zemljama, postala su sve aktuelnija u poslednjim decenijama. Klimatske prognoze ukazuju da će se ovaj negativni trend suše nastaviti. Koncept ekonomičnog korišćenja postojećih vodnih resursa za poljoprivrednu proizvodnju podrazumeva i potrebe za povećanjem efikasnosti korišćenja vode od strane useva. To se može postići samo ako se poznaju potrebe gajenih biljaka za vodom i njihova otpornost na sušu. U naučnim projektima u Srbiji nedovoljno se proučavaju mehanizmi koji utiču na efikasnost iskorišćavanja vode koji su važni za tolerantnost biljaka prema suši, iako bi to moglo da pomogne pri odabiru otpornijih genotipova biljaka u područjima zahvaćenim sušom. Selekcija na sušu zbog kompleksnosti u reakcijama otpornosti biljaka nije dovoljno zastupljena, a naročito je aktuelna kod jarih kultura (kukuruz, soja, šećerna repa i suncokret). Instituti iz Velike Britanije, Danske i Portugalije su prvi započeli praktičnu primenu znanja iz oblasti fiziologije stresa za prevazilaženje ili umanjenje efekata suše i početak selekcije tolerantnih genotipova.

Pregled svetskih istraživanja ukazuje na složen problem suše i potrebu da se ovom problemu pristupi multidisciplinarno. Suša je abiotički činilac koji u velikoj meri ugrožava prinos šećerne repe i u našim agroekološkim uslovima. Fiziološki, biohemski i molekularni mehanizmi koji se aktiviraju u biljkama u uslovima nedostatka vode su stoga predmet brojnih istraživanja. Definisanje najrelevantnijih kriterijuma za ocenu tolerantnosti prema nedostatku vode je veoma važno za oplemenjivanje, kako bi stvorili genotipove koji bolje podnose ovaj abiotički stres. Smatra se da primena molekularnih metoda, zajedno sa klasičnim fiziološkim i anatomskim istraživanjima, može dati najbolje rezultate. Od molekularnih metoda, na postojećem nivou saznanja o funkcionalanju genoma šećerne repe, najdirektniji pristup je testiranje upotrebljivosti određenih objavljenih sekvenči povezanih sa reakcijom biljaka na osmotski stres (kandidat gena) u cilju oplemenjivanja.

#### 2.4.2. Količina i raspored vode neophodne za uspešan razvoj šećerne repe

Optimalna količina taloga za uspešnu proizvodnju šećerne repe iznosi 600 mm godišnje. Tokom zimskog perioda, potrebno je oko 230 mm taloga, a u toku vegetacije, od aprila do oktobra, oko 370 mm. Međutim, na osnovu višegodišnjih prosečnih prinosa, ustanovljeno je da proizvodnja šećerne repe može biti uspešna čak i ako postoji niža (500 mm godišnje) ili viša (1.000 mm godišnje) količina taloga. Potreba biljke za vlagom u toku vegetacije zavisi i od toplote koja je na raspolaganju biljci. Gubitak vode zbog isparavanja

je najintenzivniji od juna do avgusta kada su temperature često vrlo visoke, a vlažnost vazduha niska. Prosečni potencijal evapotranspiracija (ET) u trajanju od trideset godina u slučaju šećerne repe iznosi 576 mm, ali može varirati između 528 i 625 mm zbog vremenskih uslova. Približno 10–20 % ukupnih potreba šećerne repe za vlagom dolazi iz rezervi vode u zemljištu, a ostatak se obezbeđuje padavinama i navodnjavanjem. Količina vode koja se izgubi transpiracijom je prosečno 392 mm i varira od 198 mm tokom suvih godina do 542 mm tokom kišnih godina. Prosečna količina padavina tokom vegetacije, od aprila do septembra, iznosi 359 mm i varira od 138 mm do 521 mm u pojedinim godinama.

Poseban problem za Srbiju je to što se nedostatak vode u zemljištu, koji je posebno izražen u letnjim mesecima, javlja ne samo u suvim, već i u umereno vlažnim godinama. Deficit vlage u zemljištu iznosi 100–200 mm, retko preko 300 mm godišnje. Trenutno stanje navodnjavanja u Srbiji pokazuje da se intenzivno navodnjava manje od 1% poljoprivrednih površina pogodnih za navodnjavanje.

Klima Srbije je kontinentalna ili umereno-kontinentalna. Najznačajnija oblast proizvodnje šećerne repe je Vojvodina. Klima Vojvodine je umereno kontinentalna, uslovljena prisustvom Alpa na zapadnoj granici Panonskog basena, Karpata, Dinarida i balkanskih planina. Režim padavina je kontinentalni, tipičan za Dunavski region, sa maksimalnom količinom padavina leti (jun) i minimalnom tokom zime. Prema klasifikaciji Kopena, za period 1961–1990. dominantni klimatski tip u Vojvodini je Cfvbk “[C = blago umerena klima; f = značajne padavine tokom svih godišnjih doba; w = suve zime; b = najtoplijи mesec u proseku ispod 22 °C (ali sa najmanje 4 meseca u proseku iznad 10 °C) i x = drugi maksimum padavina se javlja u jesen].

Kratka analiza sadašnje i očekivane raspodele padavina tokom zime, proleća i vegetativne sezone šećerne repe u Vojvodini urađena je pomoću podataka sa dve meteorološke stанице locirane na jugu i severozapadu Vojvodine, Novom Sadu (Rimski Šančevi) i Somboru. Klimatološki podaci za referentne klimatske periode od 1971. do 2000. godine uzeti su iz baze podataka Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RH MSS). Budući klimatski scenario dobijen je iz modela Eta Beogradskog univerziteta (EBU) – Princeton Ocean Model (POM) za scenario A1B za period 2001–2030. i A2 za 2071–2100. Dobijeni rezultati ukazuju na očekivane klimatske promene Cfvbk “u Cfvak” u većem delu zemlje, što upućuje da će temperature najtoplijeg meseca biti iznad 22°C (slovo a u Kopenovoj formuli).

Pregled prosečnih padavina za odabrani klimatski period, pokazuje da je tokom zimskog perioda od 1971. do 2000. godine količina padavina bila dvostruko manja od optimalne, a period rasta količine padavina je nešto ispod optimalnih vrednosti.

Prema simulacijama klimatskih modela za period 2001–2030, očekivane prosečne godišnje padavine tokom prvih dekada XXI veka, na odabranim lokacijama, neće se značajno menjati u odnosu na period 1971–2000. (Tabela 2.4). Analizom količine padavina za period 2001–2014. (Tabela 2.5) potvrđena su očekivanja, u odnosu na predviđen prospekt za 2001–2030. sa 699,8 mm u Novom Sadu i 668,0 mm u Somboru (Tabela 2.4). Međutim, važno je primetiti značajnu varijabilnost padavina u ovom periodu, što je u skladu sa klimatskim simulacijama za period 2001–2030.

Period	Godišnje		Zima (DJF)		Proleće (MAM)		Vegetativna sezona
	Padavine (mm)	Pada-vine (mm)	Koefi-cijent varijaci-je (%)	Pada-vine (mm)	Koefi-cijent varijaci-je (%)	Pada-vine (mm)	Koefi-cijent vari-jacije (%)
1971-2000	604.1	108.1	46.2	146.6	33.3	359.2	28.8
2001-2030	641.8	131.3	56.1	159.7	34.7	369.2	26.1
2071-2100	560.5	131.0	54.5	147.4	37.0	282.2	32.0
Sombor							
1971-2000	580.3	107.6	41.9	133.3	29.6	339.4	22.7
2001-2030	629.4	127.3	56.7	144.6	37.2	356.5	29.0
2071-2100	565.8	127.2	53.6	148.1	41.3	277.8	31.9

Tabela 2.4. Podaci o prethodnim i predviđenim količinama padavina za lokacije Novi Sad i Sombor

Godina	Novi Sad (Rimski Šančevi)		Sombor
	2000	2001	
2000	252	231	
2001	929	749	
2002	412	448	
2003	491	434	
2004	797	816	
2005	726	753	
2006	640	585	
2007	754	683	
2008	539	598	
2009	617	615	
2010	1035	994	
2011	382	401	
2012	480	446	
2013	723	692	
2014	989	932	
Average	679.8	653.3	

Tabela 2.5. Godišnja količina padavina za period 2001–2014. u Novom Sadu (Rimski Šančevi) i Somboru

Što se tiče zimskih i prolećnih padavina, za sve integrisane periode, klimatski model simulira nešto veće prosečne količine padavina u odnosu na referentnu klimatologiju. Manje optimistično je očekivanje da će se rast količine padavina smanjivati krajem veka, sa naročito problematičnim letnjim periodom i povećanom varijabilnošću rasporeda tih padavina.

#### 2.4.3. Uticaj suše na proizvodnju šećerne repe

Nedostatak vode tokom vegetacije je čest i značajan problem u poljoprivrednoj proizvodnji (Slika 1.). Moguće rešenje ovog problema je izbor genotipova kod kojih se u uslovima nedostatka vode ne smanjuje prinos ispod ekonomski prihvatljivog nivoa. Veliki izazov u procesu selekcije je odabir genotipova pogodnih za sadašnje agroklimatske uslove. Nedostatak vode ima kompleksan uticaj na fiziološke procese biljaka. Nedostatak vode dovodi do gubitka turgora i zatvaranja stoma. Fotosinteza je takođe veoma zavisna od snabdevenosti biljaka vodom. Mnoga istraživanja ukazuju da poremećaj vodnog režima uzrokuje smanjenje sadržaja vode u asimilacionom tkivu, što dovodi do depresije fotosinteze. Na osnovu ovoga, vlažnost zemljišta, kao i relativna vlažnost vazduha, određuju intenzitet fotosinteze. Pad broja hloroplasta, povećanje gustine stoma i poremećaj u strukturi tilakoidne membrane, dokazano su posledice deficit-a vode. Uz smanjenje sadržaja vode u tkivima, nedostatak vode može prouzrokovati i sintezu specifičnih jedinjenja u korenju, tokom ranih faza rasta. Prema tome, koren je veoma značajan senzor promena u zemljištu (ne samo u pogledu vode, već i promene teksture), koji upozorava nadzemna tkiva "hemijskim signalima suše" koji se transportuju do lišća. Ti signali se uglavnom odnose na biljne hormone kao što je abscisinska kiselina (ABA).

Slika 2.14. Šećerna repa u uslovima nedostatka vode

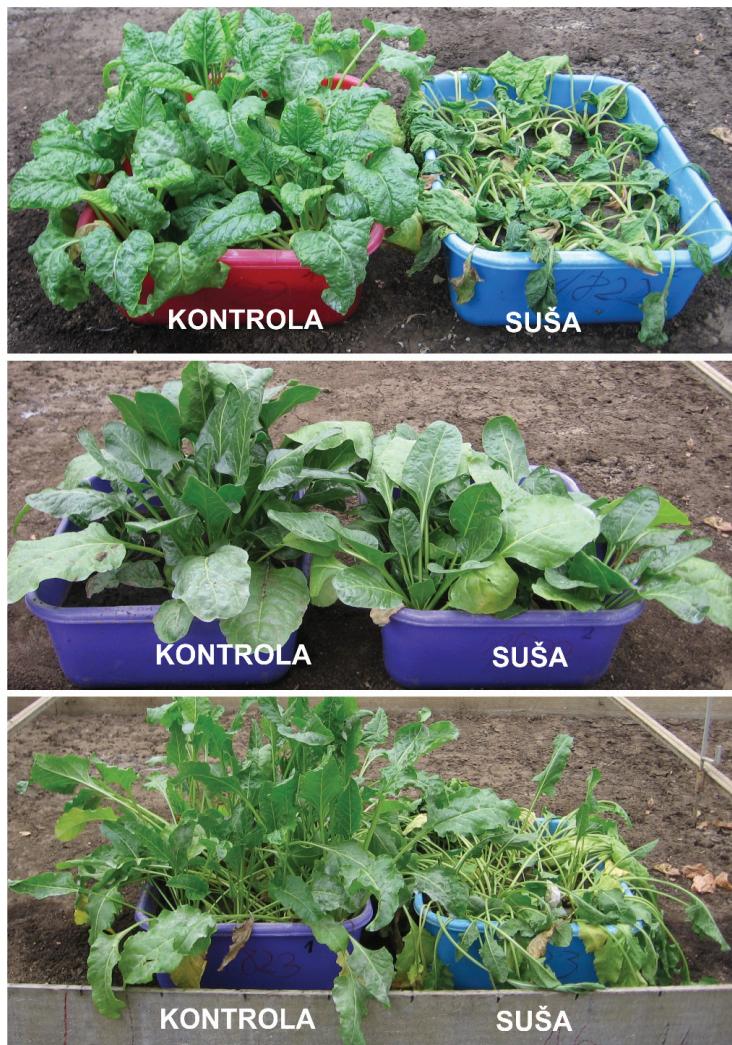


#### 2.4.4. Tolerantnost šećerne repe prema nedostatku vode

Metabolizam biljaka može se prilagoditi uslovima stresa, zavisni od biljne vrste i predmet je brojnih istraživanja (Slika 2.15). Otpornije biljke na sušu, po pravilu imaju duži korenov sistem sa većom apsorpcionom površinom, jače razvijeno palisadno tkivo, deblju kutikulu, manji broj i ukupnu površinu stominih otvora, gušću mrežu provodnih sudova, elastičniju protoplazmu, veći sadržaj vezane vode, više osmotski aktivnih materija, povećanu akumulaciju abscisinske kiseline, prolina i alanina. Fenotipska otpornost šećerne repe prema nedostatku vode ogleda se u listovima veće sjajnosti, većoj turgescencnosti lisnih drški i listova, lakše lomljivim i osetljivijim listovima na istezanje. Iako postoji genotipska varijabilnost u pogledu odgovora na sušu kod šećerne repe, strukturni i morfološki adaptivni odgovori šećerne repe prema nedostatku vode još nisu u potpunosti razjašnjeni.

Nedostatak vode zapravo može da uspori ili čak potpuno prekine usvajanje jona putem korenovog sistema, dovodeći time i do poremećaja odnosa sadržaja pojedinih elemenata u biljnim tkivima, pa eventualno i do ispoljavanja simptoma nedostatka. Negativan efekat kasnije nastalog vodnog stresa je manje izražen zato što su biljke već razvile korenov sistem i lisnu masu koja potpuno pokriva zemljište. Dobro razvijeni korenov sistem povećava efikasnost usvajanja i iskorišćavanja vode, a time i sposobnost boljeg podnošenja nedostatka vode. Razlike u odgovoru na vodni stres primećene kod komercijalnih genotipova mogu biti rezultat razlika u razvijenosti korenovog sistema u dubljim slojevima zemljišta. Ipak, prvi efekti vodnog stresa ispoljavaju se na listovima. Mali pad vodnog potencijala u listu je dovoljan da se značajno smanji razviće ukupne lisne površine. Nizak vodni potencijal pospešuje obrazovanje novih listova i istovremeno ubrzava starenje starijih listova. Stres uzrokovan sušom izaziva zatvaranje stoma, ograničava transpiraciju, i kao posledica se javlja povećavanje temperature lista. I zatvaranje stoma i toplotni stres smanjuju fotosintetski prinos. Utvrđeno je da je gustina stoma u rasponu od 70 do 150 stoma po  $\text{mm}^2$  i da sorte sposobnije da tolerišu nedostatak vode imaju manju gustinu stoma. Međutim, kako je gustina stoma u pozitivnoj korelaciji sa prinosom šećera pokušaj da se poveća tolerantnost biljaka putem selekcije na manji broj stoma mogla bi dovesti do smanjenja procenta šećera. Značajnija razlika između genotipova utvrđena je u procentu debljine adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i u procentu debljine palisadnog tkiva.

Biljke se odlikuju sposobnošću da se prilagođavaju na uslove suše i pomoću osmoregulacije. Vodni stres kod šećerne repe izaziva nakupljanje osmoregulatornih supstanci kao što su betain, prolin i fruktani. Producija osmolita, te promena osmotskog pritiska pokazala se delotvornom u smislu tolerancije šećerne repe na abiotički



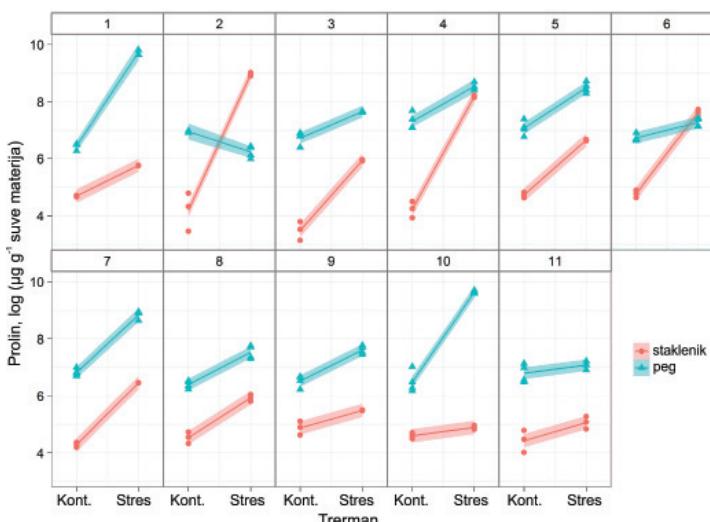
**Slika 2.15.** Tolerantnost različitih genotipova šećerne repe izloženih istom periodu nedostatka vode

stres. Ove materije se često akumuliraju kao kompatibilni rastvor u biljkama (molekuli koji ne učestvuju u hemijskim reakcijama nego utiču na vodni potencijal ćelija) i nivo genske ekspresije nekih od relevantnih enzima takođe se povećava u skladu sa tim. Ovi molekuli igraju ulogu u održavanju turgora i osmotskog balansa, ali su takođe i uključeni u zaštitu ćelijske strukture od stresa. Prolin i glicin betain mogu da omoguće zaštitu na više nivoa u ćelijama i iz tog razloga su veoma aktuelni u genetskom inženjeringu s ciljem povećanja tolerancije na stres kod različitih biljnih vrsta. Nije, međutim, sasvim jasno da li biljke koje u uslovima nedostatka vode nakupljaju ovakve supstance bolje tolerišu nedostatak vode ili ne.

Slobodni prolin je važan metabolit koji se akumulira u šećernoj repi izloženoj suši (Slika 2.16). Promene u koncentraciji

slobodnog proлина u biljnim tkivima su indikatori za stres izazvan zagađenjem životne sredine, temperaturom ili neuravnoteženom ishranom. Isti faktori mogu uticati i na akumulaciju glukoze i primos. U nekim slučajevima stresni uslovi mogu uticati na povećanje kvaliteta korena šećerne repe i na potencijal oporavka ukoliko biljka nije bila značajno oštećena nedostatkom vode.

Povećana upotreba azotnih dubriva takođe dovodi do povećanja nivoa proлина, delimično povećava indeks lisne površine (LAI) i pogoršava stres izazvan sušom. Pozitivna i značajna korelacija između sadržaja proлина i glukoze u korenju šećerne repe, ukazuje na odnos između odgovora na stres, katabolizma ugljenih hidrata, i akumulacije proлина i glukoze. Ovo je podržano efektom tretmana sa di-1-p-mentene (anti-transpirant) i sa DMDP (2,5-dihidroksimetil-3, 4-dihidroksipirolidin, inhibitora glikozidaze), što dovodi do smanjenog nivoa proлина u nenavodnjavanom korenju šećerne repe. Prisustvo jedinjenja kao što su prolin i glukoza negativno utiče na kristalizaciju šećera i dovodi do stvaranja obojenih komponenti, čime se smanjuje industrijski kvalitet korena repe.



**Slika 2.16.** Akumulacija slobodnog proolina kod 11 genotipova šećerne repe izloženih nedostatku vode u različitim uslovima gajenja (eksperiment u stakleniku (greenhouse) i kulturi tkiva (peg))

Slobodni prolin, akumuliran u korenju šećerne repe, kao jedinjenje azota, smanjuje kvalitet korena. Oba stresna uslova i višak azota dovode do mobilizacije nakupljenih ugljenih-hidrata radi snabdevanja ćelija dodatnom energijom i ugljenikom za sintezu molekula čija je uloga u adaptaciji na uslove stresa i supstanci koje sadrže azot, smanjujući pritom primos saharoze i kvalitet korena. Značaj akumulacije proлина u osmotskom prilagođavanju je još uvek diskutabilan i varira od vrste do vrste. Maksimalna akumulacija proлина utvrđena je na kraju perioda rasta korena repe. Povezanost suše i sadržaja proлина sugerise, međutim, da je promena koncentra-

cije prolina koristan pokazatelj stresa kod šećerne repe. Prolin može da deluje kao signalni molekul, da modifikuje funkcije mitohondrija, utiče na deobu ćelija i pokreće ekspresiju specifičnih gena, što može da bude od suštinskog značaja za oporavak biljaka nakon stresa.

#### 2.4.5. Biotehnološke mogućnosti za povećanje tolerantnosti biljaka prema nedostatku vode

Tehnološki napredak i imperativ da se osigura održiva proizvodnja hrane usmerili su istraživačke programe na poboljšanje genetski uslovljenih osobina gajenih biljaka uprkos veličini i složenosti genoma. Biljna biotehnologija je proces u kojem upotreba molekularnih i citoloških tehnika pomaže povećanju produktivnosti biljaka, poboljšanju kvaliteta biljnih proizvoda, kako bi se sprečila šteta prouzrokovana uticajem različitih biotičkih i abiotičkih stresova. Oplemenjivanje uz pomoć molekularnih markera (MAS - selekcija pomoću markera) predstavlja jednu od obećavajućih tehnika za napredak u oplemenjivanju. Preduslov za uspeh MAS-a je definisanje gena koji regulišu osobine od interesa i testiranje odnosa između potencijalnih markera i tih osobina. Samo kada je ova veza definisana, tj. kada se marker fizički nalazi u blizini ili čak unutar gena koji je od interesa, moguće ga je efikasno koristiti u oplemenjivanju. Razvoj oplemenjivanja s ciljem povećanja tolerantnosti prema suši kod šećerne repe dodatno komplikuje činjenica da se u periodu rasta često javlja nekoliko vrsta abiotičkih stresova. Ovakav složeni problem bi se mogao rešiti pristupom koji uključuje manipulaciju grupe gena za toleranciju na sušu.

U eri brzog napretka u identifikaciji i karakterizaciji kompletnih segmenata biljnog genoma, proteina, transkripata, metabolita, kao i njihovih interakcija u biološkom sistemu, nova otkrića će dovesti do boljeg razumevanja i eventualno manipulacije fiziološkim odgovorima na deficit vode. Merenje relativnog doprinosa gena koji prenose netolerantnost na dehidrataciju i eliminaciju onih koji ne utiču na tolerantnost prema stresu je veliki izazov.

Iako je prinos osnovni cilj selepcionera, veoma je teško precizno predvideti mogućnost iskorišćavanja vode i identifikovati kandidat gene za dalje kloniranje. Nekoliko istraživanja je identifikovalo QTL (Quantitative trait locus) povezane sa specifičnim komponentama odgovora na sušu. Iako bi razvoj molekularnih markera i sekvenciranje genoma trebalo da ubrza poziciono kloniranje, oblasti genoma povezane sa individualnim QTL-ima su još uvek veoma velike i obično nepogodne za skrining u selepcionom programu.

Sa brzim razvojem genomske tehnologije i odgovarajućim statističkim metodama postoji povećan interes za korišćenje strategije mapiranja za identifikaciju gena koji kodiraju kvantitativne osobine koje imaju poljoprivredni ili evolucijski značaj. Još jedan veliki iza-

zov je način primene znanja kako bi se poboljšala tolerantnost useva na stresne uslove. Postoji problem između visokog prinosa i tolerantnosti na stres, jer vrlo često genotipovi sa većom tolerantnošću na stres imaju niži prinos pod optimalnim uslovima.

Adaptacija biljaka na sušu je složen proces, koji uključuje mnogo promena, ne samo smanjenje rasta. Na ćelijskom nivou to podrazumeva, regulaciju početka sinteze proteina (npr. H<sup>+</sup> pumpi i Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>antiportera), povećanje nivoa antioksidanata, prolazno povećanje koncentracije ABA, redukciju puteva energetske potrošnje, kao i akumulaciju odgovarajućih rastvora i zaštitnih proteina. Sve ove promene na ćelijskom nivou su od velike važnosti za očuvanje homeostaze jona nakon neravnoteže izazvane abiotičkim stresom. Nedostatak vode uzrokuje sintezu i akumulaciju ABA u biljnim ćelijama, a definisani su geni koji su za to odgovorni. Većina ovih gena sadrži cis-aktivacione elemente u promotorima nazvane Abre (ABA-responsive element). Veliki napredak u razjašnjavanju odgovora biljaka na abiotički stres ustanovljen je u poslednjoj deceniji.

Da bi se postigla kombinacija visokog prinosa i tolerantnosti prema stresu u jednoj sorti, neophodno je uspostaviti vezu razvoja pojedinačnih osobina i zajedničkih reakcija koje se mogu postići samo kroz interdisciplinarnu saradnju između molekularnih biologa, fiziologa biljaka i uzgajivača. Potrebno je proceniti odnos između različitih morfoloških, anatomske, fiziološke i biohemijske osobine tkiva šećerne repe u različitim fazama njihovog rasta i razvoja tokom različitih perioda deficit-a vode, kako bi se kategorizovali genotipovi u pogledu njihove tolerantnosti prema suši koja je bila u fokusu naših prošlih i sadašnjih istraživanja.

## 2.5. Uticaj sonog i osmotskog stresa na gajene biljke i mehanizmi njihovog prilagođavanja

### 2.5.1. Sažetak

U nekim tipovima zemljišta sadržaj soli može biti značajno povećan. Zemljišta u kojima je koncentracija soli između 0,001 i 0,01% smatraju se pogodnim za biljnu proizvodnju. Zemljišta sa koncentracijom soli iznad 0,01% su nepovoljne za većinu gajenih biljaka. Biljke koje su prilagođene višoj koncentraciji soli nazivaju se halofitama, a one koje su osjetljive na soli nazivaju se glikofite. Među gajenim biljkama nema pravih halofita, ali ipak, gajene biljke mogu znatno da se razlikuju u odnosu na njihovu osjetljivost na višak soli. Od gajenih biljaka, najotpornije su: šećerna i stočna repa i pamuk. Tolerantnost pojedinih biljaka prema NaCl zasniva se na različitim mehanizmima, pri čemu se mogu razlikovati tri osnovna načina prilagođavanja.

1. Kod nekih biljaka (poput ječma)  $\text{Na}^+$  se pasivno usvaja i aktivno transportuje iz ćelija. U ćelijama takvih biljaka koncentracija  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  je niska.
2. Neke biljke razblažuju koncentraciju soli u svojim ćelijama. One su slične kserofitama, tj. imaju izrazito sočne listove. Sukulentne karakteristike halofita su rezultat fiziološkog uticaja soli. Prototip ove grupe je *Sueda maritima*.
3. Grupu biljaka tolerantnih na soli karakteriše aktivno izlučivanje soli specifičnim sonim žlezdama (npr. *Atriplex* i drugi).

Tolerantnost biljaka prema visokim koncentracijama soli može da se zasniva i na kompartmentaciji usvojenih jona u ćeliji, na primer, nakupljanju u vakuoli ili na postojanju barijere pri usvajanju od strane korena ili transporta u izdanak. Halofite mogu biti obligatne i fakultativne. Karakteristična osobina halofita je veliki sadržaj mineralnih materija. Kod nekih halofita sadržaj mineralnih materija u suvoj masi može da iznosi i do 50%. Halofite se odlikuju veoma visokim osmotskim pritiskom. Zahvaljujući njemu one su sposobne da usvajaju vodu iz zemljišta čiji rastvor sadrži veliku koncentraciju soli. Pri suvišku soli, produktivnost biljaka se u velikoj meri smanjuje, posebno u vrstama koje su osetljive na soli, čak i u slučaju da se intenzitet fotosinteze u većoj meri ne menja, pošto povećanje koncentracije soli izaziva značajno smanjenje lisne površine. U usloviма visoke koncentracije soli dolazi do poremećaja u metabolizmu azotnih jedinjenja. Utvrđeno je da nakupljanje slobodnih aminokiselina, amida i diamina (putrescina i kadaverina), naročito u korenju.

Pored koncentracije, značajan je i jonski sastav soli, pošto je dejstvo pojedinih jona na fiziološke procese biljaka specifično. Otpornost biljaka prema solima ima izvanrednu praktičnu važnost pošto je u mnogim regionima sveta proizvodnja ograničena visokom koncentracijom soli u zemljišnom rastvoru. Smatra se da je više od 25% zemljišta i 95% voda na Zemlji slano. Do bržeg ili sporijeg zaslanjivanja zemljišta ili hranljivog supstrata u staklarama može da dovede nestručno navodnjavanje, preterana upotreba mineralnih đubriva i dr. Naročito treba voditi računa o kvalitetu vode pri navodnjavanju na zemljištima na kojima je koncentracija soli već povećana. U novije vreme se čine napori da se selekcijom stvore genotipovi otporni na veće koncentracije soli koji bi se mogli gajiti i na zaslanjenim zemljištima, ili koji bi podnosili navodnjavanje zaslanjenom vodom.

## 2.5.2. Uticaj povećane koncentracije soli u zemljišnom rastvoru

Stres izazvan povećanim koncentracijama soli deluje na metabolizam biljaka i konačan ishod biljne proizvodnje na mnogo načina. Svišak soli ima osmotski efekat, što znači da smanjuje količinu za biljke pristupačne vode. Pojedini joni mogu da budu toksični za neke procese u biljkama. Povećane koncentracije soli mogu da doveđu do poremećaja u mineralnoj ishrani biljaka, do debalansa biljnih hormona, i do stvaranja reaktivnih jedinjenja kao što su različite vrste kiseoničnih, ali i drugih slobodnih radikala koji oštećuju ćelijске membrane. Biljne ćelije, tkiva, organi, individue, ali i čitavi ekosistemi mogu da imaju ili da razviju mehanizme kojima se štite od nepovoljnog delovanja povišenih koncentracija soli (Tabela 2.6).

U poljoprivrednoj praksi nije uvek moguće obezbediti dovoljne količine vode dobrog kvaliteta za navodnjavanje. Često se koriste jače mineralizovane vode, kao i prerađene otpadne komunalne vode. Tako, navodnjavanjem u zemljište mogu da se unesu korisne ili štetne soli, ali i različita druga jedinjenja, što zavisi od kvaliteta vode. Veoma često je u vodi za navodnjavanje prisutna previsoka koncentracija jona koji je čine zaslanjenom.

Tip vode	Ukupne rastvorene soli (ppm)	EC* (dS m <sup>-1</sup> )	Biljna vrsta	Prag EC (dS m <sup>-1</sup> )	Stepen tolerantnosti**
Slatka voda	< 500	< 0.6	all		
Malo bočata voda	500 – 1000	0.6 – 1.5	Pasulj Mrkva Luk Jagode Plavi pathidžan Dinja Rotkvica Salata Paprika	1.0 1.0 1.0 1.0 1.1 1.2 1.2 1.3 1.5	O O O O UO UO UO UO UO
Bočata voda	1000 – 2000	1.5 – 3.0	Kukuruz Krompir Lucerka Beli luk Kupus Celer Spanać Tikve Paradajz Pirinac	1.7 1.7 1.7 1.7 1.8 1.8 2.0 2.5 2.5 3.0	UO UO UO UO UO UO UO UO UO UO
Umereno zaslanjena	2000 - 5000	3.0 – 8.0	Beli luk Kupus Celer Spanać Tikve Paradajz Pirinac	3.4 4.0 5.0 6.0 6.8 7.0 7.7	UO UT UT UT UT T T
Zaslanjena	5000 - 10000	8.0 – 15.0			

Tabela 2.6. Klasifikacija voda u odnosu na ukupnu koncentraciju soli i tolerantnost prema solima nekih zeljastih gajenih biljaka (Hillel, 2000 i Maas, 1990).

Tip vode	Ukupne rast-vorene soli (ppm)	EC* (dS m <sup>-1</sup> )	Biljna vrsta	Prag EC (dS m <sup>-1</sup> )	Stepen tolerantnosti**
Veoma zaslanjena	10000 - 35000	15.0 – 45.0			

\* EC – elektroprovodljivost zemljišnog rastvora;

\*\*Oznake za stepen tolerantnosti: osetljiva (O), umereno osetljiva (UO), umereno tolerantna (UT), tolerantna (T)

Zaslanjenost obradivih zemljišta je problem koji postaje sve veći (i značajniji) u mnogim krajevima u kojima je navodnjavanje redovna agrotehnička mera, kao i u aridnim i semiaridnim regionima u svetu gde atmosferske padavine nisu dovoljne da isperu soli iz zone korenovog sistema. Kada je voda za navodnjavanje neodgovarajućeg kvaliteta, na biljkama se obično zapaža pojava hloroze između lisnih nerava, nekroze tkiva lista, kao i izostajanje cvetanja. Veoma veliki značaj ima i vreme tokom kog su biljke bile izložene delovanju različitih koncentracija soli (Tabela 2.7). Tip soli koje učestvuju u zaslanjivanju zemljišnog rastvora je takođe veoma bitan.

Prema FAO (1997), zaslanjena zemljišta su ona čija elektroprovodljivost zemljišnog rastvora (ECe) iznosi 4 dS m<sup>-1</sup> i više, dok se zemljišta čija ECe premašuje 15 dS m<sup>-1</sup> smatraju jako zaslanjenim. Katjoni koji su najčešće povezani sa zaslanjenim zemljištima su Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup>, dok su prateći anjoni Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> i HCO<sup>3-</sup>. Ipak, najznačajnijim se smatraju joni Na<sup>+</sup> i Cl<sup>-</sup> pošto su oba toksična za biljke. Sulfati koji inače učestvuju u metaboličkim procesima biljaka kao integralni deo proteina i enzima takođe mogu da poremete metabolizam biljaka. Oni su obično toksičniji od hlorida. Ipak, za neke drvenaste vrste voća, kao što su vinova loza i citrusi, ali i mnoge vrste drveća, Cl<sup>-</sup> je toksičniji nego SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> i prouzrokuje karakteristična oštećenja (ožegotine) na listovima.

Tabela 2.7. Odgovor biljaka na povećanu koncentraciju soli u funkciji vremena. Efekti koje povećane koncentracije soli imaju na tolerantne vrste/genotipove su u osnovi identični onima koje prouzrokuje nedostatak vode (prema Munns, 2002).

Vreme	Efekat stresa izazvanog nedostatkom vode	Efekat specifičan za prisustvo soli
Sati	(Efekat na rast biljke tolerantne prema suvišku soli)	(Dodatni efekti na rast biljke osetljive prema solima)
Dani	Brzo usporavanje izduživanja listova i korena, a zatim brz oporavak	-
Nedelje	Kontinuirano ali usporeno izduživanje listova i korena	-
Meseci	Rast listova je smanjen više od rasta korena; Usporeno pojavljivanja novih listova	Oštećenja vidljiva na najstarijim listovima
	Smanjena konačna veličina listova i/ili broj bočnih izdanaka	Odumiranje starijih listova

	<b>Efekat stresa izazvanog nedostatkom vode</b>	<b>Efekat specifičan za prisustvo soli</b>
<b>Vreme</b>	(Efekat na rast biljke tolerantne prema suvišku soli)	(Dodatni efekti na rast biljke osetljive prema solima)
Months	Promenjeno vreme cvetanja, smanjena količina stvorenog semena	Mlađi listovi odumiru, biljka može da ugne pre nego što se seme dozri

### 2.5.3. Uticaj zaslanjenosti na rast biljaka

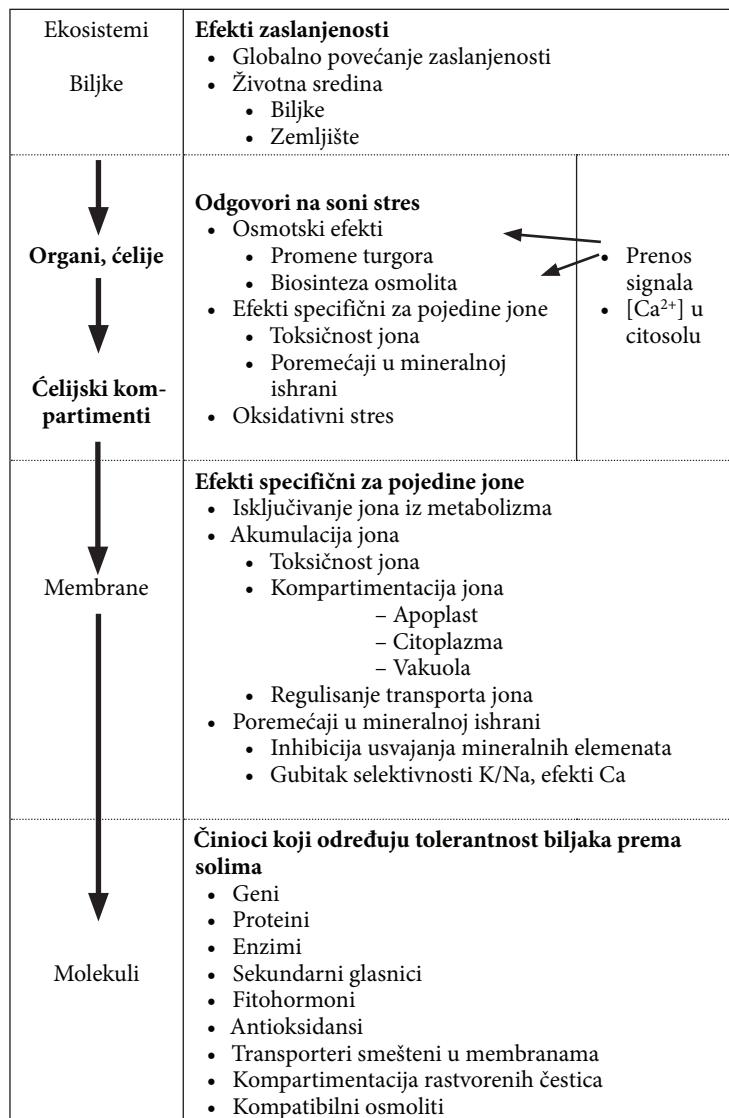
Odgovor biljaka na prisustvo povećanih količina soli je pre svega zaostajanje u porastu. Značajan uticaj na konačan efekat zaslanjenosti imaju naravno i drugi ekološki činioci kao što su relativna vlažnost, temperatura, svetlost i zagađenje vazduha. Akumulacija soli u listovima prouzrokuje prerano starenje, čime se smanjuje snabdevanje asimilatima biljnih delova koji najbrže rastu, a time i rast čitave biljke. Kod osetljivijih genotipova soli se akumuliraju brže i pošto ćelije nisu u stanju da nakupljaju jone soli u vakuoli u istoj meri u kojoj to mogu tolerantniji genotipovi, listovi osetljivijih genotipova obično odumiru brže. Smatra se da inhibicija rasta lista usled previsoke koncentracije soli smanjuje zapreminu novog lisnog tkiva u kom suvišak soli može da se akumulira i zato, u kombinaciji sa kontinuiranim nakupljanjem soli, to može da dovede do povećanja koncentracije soli u tkivu. Na Slici 2.17 prikazani su mehanizmi tolerantnosti prema povećanoj zaslanjenosti koji kod biljaka mogu da se razviju, kao i pregled toksičnih efekata do kojih mogu da dovedu povišene koncentracije soli u zemljишnom rastvoru.

Salinitet prouzrokuje anatomske promene u listovima mnogih biljnih vrsta. Na primer, epidermis i mezofil listova pasulja, pamuka i *Attriplex* postaju deblji, dužina palisadnih ćelija i prečnik sunđerastih ćelija rastu, a debljina i palisadnog i sunđerastog sloja se povećavaju. Kod drugih biljnih vrsta zabeležene su suprotne pojave. Tako se, nakon tretmana sa NaCl, kod listova vrste *Brugueira parviflora* smanjuje debljina epidermisa, mezofila i međućelijskih prostora. U listovima spanaća prisustvo soli smanjuje međućelijske prostore, a kod paradajza gustinu stoma. Ekspanzija listova vinove loze, izražena preko promena indeksa lisne površine u vremenu, kao i provodljivost stoma bili su osetljiviji na zaslanjenost nego što su to bili transpiracija i fotosinteza.

Iako je često veoma teško ustanoviti koliki je relativan uticaj osmotskog efekta a koliki specifične toksičnosti pojedinih jona na prinosa, gubici prinosa usled osmotskog stresa mogu da budu veoma značajni čak i onda kada simptomi toksičnosti na listovima nisu primetni. Sprovedena su i sprovode se mnoga istraživanja kako bi se pronašli izvori tolerancije na povećanu koncentraciju soli u kultivi-

ranim biljkama, u našim agroekološkim uslovima, posebno na pšenici. Postoje prepoznatljive razlike u toleranciji soli između biljnih vrsta i genotipova, kao i između izmerenih parametara za procenu stepena tolerancije prema suvišnim solima. Isto se odnosi i na sposobnost tolerisanja nedostatka vode.

**Slika 2.17.** Mehanizmi tolerantnosti biljaka prema povećanoj koncentraciji soli i toksični efekti soli na biljke (prema Pitman i Läuchli, 2002).



Prisustvo povećanih koncentracija soli u zemljištu obično više smanjuje porast nadzemnog dela nego korena, posebno pri visokim koncentracijama NaCl, što ukazuje na to da korenov sistem ima bolju sposobnost osmotskog prilagođavanja u odnosu na nadzemne organe. Do koje mere će  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  uticati na rast biljaka zavisi značaj-

no od biljne vrste i u manjoj meri od genotipa. Salinitet prouzrokuje anatomske promene u listovima mnogih biljnih vrsta.

#### 2.5.4. Uticaj zaslanjenosti na vodni režim biljaka

Glavni uzrok smanjenog rasta biljaka u prisustvu većih koncentracija soli može biti rezultat uticaja soli na vodni režim biljaka. Povećanjem koncentracije soli u zemljištu povećava se osmotski pritisak zemljišnog rastvora, odnosno snižava se vodni potencijal, tako da biljke ne mogu da usvajaju vodu lako kao kada je reč o relativno nezaslanjenim zemljištima. Rastvorljive soli snižavaju vodni potencijal ispod matriks potencijala koji u zemljištu već postoji i zavisi od njegovih osobina i rastvorenih materija. Zato, kako se koncentracija soli, tj. EC zemljišta povećava, voda postaje sve manje pristupačna za biljke, čak i ako zemljište sadrži značajne količine vode i izgleda vlažno. Osmotski pritisak, odnosno vodni, ili osmotski potencijal, zavise od broja čestica koje se nalaze u rastvoru, kao i od temperature. Osmotski pritisak (OP) ekstrahovanog zemljiišnog rastvora može da se izrazi preko empirijski dobijenog obrasca koji glasi:  $OP = 0,36 \times EC (dS/m)$ . Pri pritisku od oko 1,44 bara, koji odgovara EC od 4 dS/m, biljke počinju da pokazuju znake vodnog stresa izazvanog fiziološkim nedostatkom vode. Zato u zaslanjenim zemljištima, uprkos tome što voda može da bude fizički prisutna, ona postaje za biljke nepristupačna i taj fenomen je nazvan fiziološkom sušom.

Prvi efekti zaslanjenosti, posebno kada se radi o nižim i umerenim koncentracijama soli, mogu da se pripišu povećanju osmotske vrednosti zemljišnog rastvora (Munns i Termaat, 1986). Sa povećanjem zaslanjenosti zemljišnog rastvora usvajanje vode putem korenovog sistema postaje otežano i dolazi do smanjenja evapotranspiracije i prinosa biljaka. Postoji više razloga zbog kojih se evapotranspiracija smanjuje sa povećanjem zaslanjenosti zemljišta. Usled povećanja osmotske vrednosti zemljišnog rastvora smanjuje se pristupačnost vode za korenov sistem. Smanjen porast korena dovodi do smanjenja ukupne apsorpcione površine kojom se usvaja voda. Uporedo je smanjena i lisna, tj. transpiraciona površina biljaka. Kako je jedan od mehanizama pomoću kojih biljke štite svoje ćelije od nepovoljnog delovanja visoke koncentracije soli razblaživanje, raste zadržavanje vode u tkivima biljke što dodatno smanjuje transpiraciju. Ovi činioci smanjuju efikasnost iskorišćavanja vode od strane biljaka i u krajnjem ishodu rezultat je smanjenje porasta biljaka i prinosa. Vegetacija se skraćuje, remeti se vodni režim biljaka, usvajanje i distribucija neophodnih elemenata u poljskim i u polukontrolisanim uslovima.

Pri veoma niskom vodnom potencijalu zemljišta, usvajanje vode i održavanje turgorovog pritiska u tkivima postaje veoma otežano. Zbog toga osmotski stres kod velikog broja biljnih vrsta veoma

liči na stres izazvan nedostatkom vode. Vodni potencijal listova biljaka dobro snabdevenih vodom se kreće od -0,2 do oko -0,6 MPa, ali listovi biljaka u aridnim predelima mogu da imaju i znatno niže vrednosti, od -0,2 pa čak do -5 MPa u ekstremnim uslovima (Taiz i Zeiger, 2006). Pošto je usvajanje vode spontan proces, vodni potencijal ćelija korena mora da bude negativniji od vodnog potencijala zemljišta da bi koren mogao da usvaja vodu. Ukoliko je, usled povećane koncentracije soli, mala razlika između vodnog potencijala zemljišnog rastvora i ćelija korena, biljke mogu osmotski da se prilagode tako što u svojim ćelijama nakupljaju tzv. osmolite. Time biljke vodni potencijal svojih ćelija održavaju negativnjim u odnosu na vodni potencijal zemljišnog rastvora i održavaju neprekidnim usvajanje vode i njeno kretanje kroz biljna tkiva.

Povećanje koncentracije soli u medijumu u kom se nalazi koren vodi i do smanjenja osmotskog potencijala listova. Smanjen osmotski potencijal listova se odražava na mnoge procese u biljkama. Više autora je ustanovilo da vodni i osmotski potencijal biljaka postaje negativniji sa povećanjem zaslanjenosti, dok se turgorov pritisak povećava.

#### 2.5.5. Nakupljanje kompatibilnih osmolita u funkciji povećanja tolerantnosti prema osmotskom stresu

Jedan od načina na koji biljke mogu osmotski da se prilagode uslovima stresa jeste i nakupljanje jona soli, ukoliko su te soli izolovane u pojedinim ćelijskim kompartimentima i time onemogućeno njihovo uključivanje u metabolizam. Sposobnost da regulišu koncentraciju soli putem kompartimentacije je veoma bitan aspekt tolerancije prema povećanim koncentracijama soli. U prisustvu soli u podlozi biljke često nakupljaju supstance male molekulske mase koje se nazivaju kompatibilnim osmolitima. Ove supstance ne ometaju uobičajene biohemijske reakcije u ćelijama. Kompatibilni osmoliti su uglavnom molekule iminokiseline proline i glicin betaina. Smatra se da u uslovima stresa prolin ima ulogu u osmotskom prilagođavanju ćelija, zaštiti enzima i membrana, ali služi i kao izvor azota za momenat kada uslovi stresa prođu. Uloga glicin betaina je još i u održavanju pH vrednosti ćelijskog sadržaja, detoksifikaciji ćelija i vezivanju slobodnih radikala. U uslovima sonog stresa dolazi i do nakupljanja drugih azotnih jedinjenja kao što su aminokiseline, amidi, proteini i poliamini. Njihovo nakupljanje je često u korrelaciji sa tolerantnošću prema solima. Drugi kompatibilni osmoliti koji se nakupljaju su jedinjenja iz grupe ugljenih hidrata, i to uglavnom prosti šećeri (glukoza, fruktoza, saharoza, fruktani). Njihove najvažnije uloge su u osmotskom prilagođavanju, zatim služe kao rezerva ugljenika i neutrališu slobodne radikale. Slična uloga pripisuje se i poliolima koji se nakupljaju u uslovima stresa.

Jonski status biljaka je u visokoj korelaciji sa tolerantnošću prema solima tako da može da posluži i kao selekcioni kriterijum u procesu oplemenjivanja, a u cilju stvaranja genotipova tolerantnijih prema solima.

## 2.5.6. Uticaj soli na mineralnu ishranu biljaka

Povećane koncentracije soli u blizini korenovog sistema mogu da poremete mineralnu ishranu biljaka i ograniče prinos. Zaslanjenost utiče na pristupačnost hraniva za biljke na više načina. Modificuje vezivanje, zadržavanje i transformacije hraniva u zemljištu, utiče na usvajanje i ili apsorpciju hraniva korenovim sistemom usled antagonizma jona i smanjenog rasta korena i remeti metabolizam hraniva u biljci, prevashodno putem vodnog stresa, smanjujući na taj način i efikasnost iskorisćavanja hraniva. U prisustvu povećane koncentracije soli mogu da se javе neki specifični simptomi na biljkama, kao što su nekroza i ožegotine vršnog dela liske usled nakupljanja jona  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  (Wahome et al., 2001). Visoka koncentracija jona može da poremeti strukturu i funkciju ćelijskih membrana. Promene u membranama dovode do poremećaja u hemijskom sastavu ćelija i usvajaju hraniva, pa mogu da se pojave simptomi nedostatka pojedinih neophodnih elemenata slično kao što se dešava i u odsustvu soli (Grattan i Grieve, 1999). Mineralna ishrana biljaka zavisi od aktivnosti prenosilaca koji se nalaze u membranama i koji učestvuju u prenosu jona iz zemljišta u biljku i regulišu njihovu raspodelu unutar i između ćelija. Na primer,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPaze ( $\text{Ca}^{2+}$ -pumpe) imaju ulogu da regulišu nisku koncentraciju  $\text{Ca}^{2+}$  u citoplazmi. Slično tome, regulisanje usvajanja i distribucije  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  u biljnim tkivima kontrolisano je  $\text{K}^+$  kanalima koji su visoko selektivni za  $\text{K}^+$ , i  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporterima koji transportuju  $\text{Na}^+$  nasuprot gradijentu koncentracije. Jedan od  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiportera, AtNHX1, koji ima nizak afinitet, odstranjuje  $\text{Na}^+$  iz citoplazme tako što ga transportuje u vakuolu. Vlada mišljenje da do smanjenja usvajanja pojedinih hraniva u prisustvu povećane koncentracije soli u zemljišnom rastvoru možda dolazi zato što  $\text{Na}^+$  blokira ili smanjuje aktivnost ovih transporterata.

Visoke koncentracije NaCl deluju antagonistički na usvajanje drugih hraniva, kao što je K, Ca, N, P. Tako, na primer, u zaslanjenim zemljištima u kojima dominiraju hloridi i sulfati natrijuma, kalcijuma i magnezijuma jećam usvaja povećane količine  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  i  $\text{Zn}^{2+}$ , a usvaja manje količine jona P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{2+}$ . Povećane koncentracije NaCl povećavaju koncentraciju  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , a smanjuju  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Mg}^{2+}$  kod brojnih vrsta biljaka. Slično uticaju na makroelemente, sponi stres može da ispolji i stimulatorni i inhibitorni uticaj na usvajanje nekih mikroelemenata.

Često se smatra da upotreba mineralnih đubriva može da oteža probleme koji već postoje usled prisustva prekomerne količine soli.

Međutim, nedostatak neophodnih elemenata u pristupačnim oblicima je veoma često razlog slabe produktivnosti zaslanjenih zemljišta. Kada se zaslanjena zemljišta radi popravke ispiraju velikim količinama vode, neki neophodni elementi mogu i da se isperu. To zahteva primenu đubriva u odgovarajućim dozama kako bi prinosi bili što viši.

#### 2.5.7. Jonski stres

Prema biohemijskoj ulozi u biljci hranljivi elementi se mogu podeliti u četiri grupe: 1) elementi koji izgrađuju organska jedinjenja, 2) elementi koji učestvuju u prometu energije i očuvanju strukturne celovitosti, 3) elementi koji uglavnom ostaju u jonskom obliku i 4) elementi koji učestvuju u oksidoredukcionim reakcijama.

Za svaki element koji je neophodan (ili koristan) za biljke važe, u zavisnosti od osobina genotipa i faze ontogeneze, rasponi koncentracija u tkivu biljke koji se kreću od akutnog nedostatka do toksičnog efekta. Poznavanje ovih graničnih vrednosti je veoma važno kako bi se izbegao stres izazvan neadekvatnom mineralnom ishranom.

Pristupačnost elemenata za biljke u velikoj meri zavisi od pH vrednosti zemljišnog rastvora koja utiče na pristupačnost jona za biljke, tj. njihovu rastvorljivost u zemljišnom rastvoru koja je, za sve jone zajedno, najbolja pri slabo kiseloj pH vrednosti.

Genetska specifičnost ishrane biljaka je veoma izražena osobina biljaka koju određuju mnogi činioci. Osobine genotipova biljaka koje utiču na usvajanje jona mogu da se grupišu na sledeći način:

1. Morfološke osobine korena: tip korena (primarni, sekundarni), njegova masa, ukupna dužina, razgranatost, apsorpciona površina, debljina kore korena.
2. Morfološke osobine listova: ukupna lisna površina, oblik listova, njihova debljina, položaj na biljci na kom se nalaze.
3. Morfološke osobine stabla: prečnik, dužina, broj provodnih elemenata i njihove osobine.
4. Odnos mase nadzemnog dela i korena.
5. Fiziološki procesi: fotosinteza, transpiracija, disanje, distribucija neorganskih i organskih materija između različitih delova biljke.
6. Biohemski procesi: enzimska aktivnost, sinteza organskih jedinjenja (šećera, proteina, masti), koncentracija fitohormona, aminokiselina i organskih kiselina.
7. Nivo ploidnosti.

Jonski stres može da se javi ukoliko su neizbalansirane koncentracije različitih jona u zemljišnom rastvoru. Tada može da dođe do pojave antagonizma jona, što znači da jedan jon ometa usvajanje drugog. Ova pojava je karakteristična za hemijski slične jone, zato

što oni konkurišu za vezivanje sa istim prenosiocima jona (smeštenim u ćelijskim membranama). Zato može da se dogodi da, iako nekog jona u zemljišnom rastvoru ima dovoljno, na biljci zapažamo simptome njegovog nedostatka zato što je drugi sličan jon prisutan u suvišku. Postoji i suprotna pojava – sinergizam jona, koja označava pospešivanje usvajanja jednog jona u prisustvu drugog i karakteristična je za hemijski različite jone. Zato je važno da koncentracije svih jona u zemljišnom rastvoru budu dobro izbalansirane. Neki od primera za jone antagoniste su  $K^+$  i  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  i  $Mg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  i  $Mo^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  i  $Mg^{2+}$ , dok su primeri za sinergističke jonske odnose:  $K^{2+}$  i  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  i  $Mg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  i  $Ca^{2+}$ ,  $HBO_3^{2-}$  i  $Cu^{2+}$ , itd (Tabela 2.8).

Element u suvišku	Pozitivan (povećanje sadržaja za 15% i više)	Tip uticaja	Negativan (smanjenje sadržaja za 15% i više)
N	-		$Mg$ , $Co$ , $Mo$ , $B$
P	-		$N$ , $Ca$ , $Mg$ , $Co$ , $B$
K	$Mo$		$N$ , $P$ , $Ca$ , $Mg$ , $Cu$ , $Zn$ , $Mn$ , $Co$
Mg	-		$P$ , $K$ , $Ca$ , $Mn$ , $Co$ , $B$
Cu	$Mg$ , $Co$ , $Mn$		$Mo$
Zn	$Ca$ , $Mg$ , $Co$		-
Mn	$K$ , $Zn$ , $Co$		$Mg$ , $Mo$
B	$Cu$		-

Tabela 2.8. Antagonizam i sinergizam jona i osmotski stres – specifični efekti jednih neophodnih elemenata na koncentraciju drugih jona

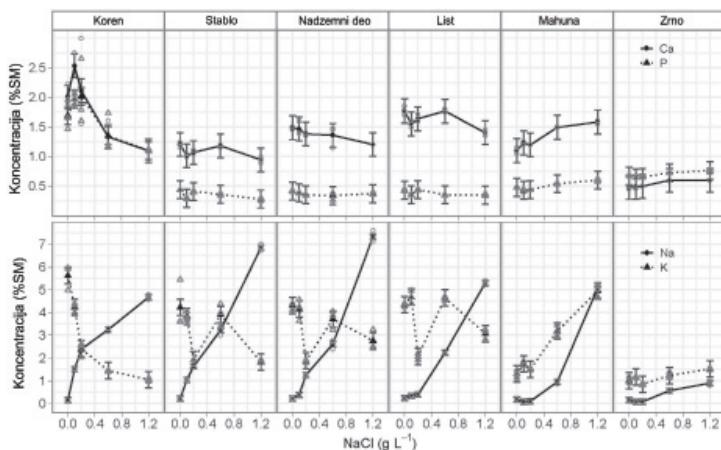
U uslovima neadekvatne mineralne ishrane (stresa jona) kod biljaka dolazi do pojave manje ili više specifičnih simptoma nedostatka, odnosno suviška pojedinih elemenata. Uopšteno, ovi simptomi se manifestuju kao zaostajanje u porastu, venjenje, hloroza, nekroza, pojava pega, prevremeno starenje, nemogućnost da se završi reproduktivni ciklus i sl. Osim od vrste elementa, veliki značaj za mesto početka pojave simptoma (mladi ili stariji listovi) ima pokretljivost elementa u biljci i mogućnost njegove reutilizacije u biljnom organizmu.

Iako koncentracija soli u zemljišnom rastvoru nije toliko visoka da izazove pojavu vidljivih simptoma na biljkama, njihov prinos može biti smanjen i njihov hemijski sastav može da bude izmenjen. Takav primer može da se vidi na Slici 2.18 na kojoj je prikazan sadržaj pojedinih elemenata u grašku gajenom u prisustvu različitih koncentracija NaCl.

## 2.5.8. Stres soli (osmotski stres) – zaključak

Zaslanjivanje zemljišta je važan problem u poljoprivrednoj proizvodnji.

Slika 2.18. Koncentracija  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  u različitim organima graška u prisustvu 0, 0,1, 0,2, 0,6 ili 1,2 g  $\text{NaCl L}^{-1}$  (% u suvoj materiji, SM) (prema Maksimović et al., 2010).



Štetni efekti soli su vidljivi na čitavoj biljci. Čak i kada nisu očigledni mogu da dovedu do smanjenja prinosa i pogoršanja kvaliteta.

Biljne vrste i genotipovi se razlikuju u odnosu na njihovu tolerantnost prema povećanim koncentracijama soli.

Razumevanje odgovora ćelija biljaka i biljke u celini na soni i osmotski stres je ključno za stimulisanje mehanizama koji dovode do adaptacija biljaka.

Selekcija i oplemenjivanje, klasičnim i molekularnim tehnikama, doprineće boljem prilagođavanju biljaka i njihovo većoj tolerantnosti prema suvišku soli.

## 2.6. Stres teških metala i fitoremedijacija

Raznovrsnost i količine hemijskih supstanci koje dospevaju u poljoprivredno zemljište su sa razvojem industrije značajno porasli. U nizu zagađivača koji se mogu naći na površini i u tkivima biljaka su i teški metali. Gajene biljke, osim esencijalnih, mogu da sadrže i toksične elemente, i to u veoma širokom opsegu koncentracija. Nakupljanje metala u tkivima biljaka može ozbiljno da ugrozi njihovu biohemiju i upotrebljivost, čak i da predstavlja direktnu pretnju za zdravlje potrošača. Proizvođači su toga veoma svesni.

Teški metali su elementi čija je gustina atoma veća od  $5 \text{ g cm}^{-3}$ . Među njima se nalaze i neophodni ili korisni elementi za biljke kao bakar ( $\text{Cu}$ ), cink ( $\text{Zn}$ ), mangan ( $\text{Mn}$ ), gvožđe ( $\text{Fe}$ ), kobalt ( $\text{Co}$ ) i molibden ( $\text{Mo}$ ), koji učestvuju kao kofaktori ili prostetične grupe enzima u brojnim značajnim metaboličkim procesima biljaka. Međutim, u većim koncentracijama svi teški metali, bez obzira na njihovu fiziološku ulogu, deluju veoma toksično, a pogotovo kadmiјum ( $\text{Cd}$ ), olovo ( $\text{Pb}$ ), nikal ( $\text{Ni}$ ), hrom ( $\text{Cr}$ ) i dr. Deca, pogotovo mala, potenci-

jalno su izložena većem riziku od starije dece i odraslih, pošto konzumiraju više hrane po jedinici telesne mase od odraslih.

Teški metal	Najveća dozvoljena koncentracija teških metala		
	Povrće (mg kg <sup>-1</sup> )	Zemljište (mg kg <sup>-1</sup> , ukupan sadržaj)	Voda za navodnjavanje (µg L <sup>-1</sup> )
Cd	0.05-0.20**	3.0	10.0
Co	50.0	50.0	50.0
Cr	2.3	100.0	550.0
Cu	73.0	100.0	17.0
Fe	425.0	50,000.0	500.0
Mn	500.0	2,000.0	200.0
Ni	67.0	50.0	1,400.0
Pb	0.1-0.3**	100.0	65.0
Zn	100.0	300.0	200.0

Tabela 2.9. Najveće dozvoljene koncentracije teških metala u povrću, zemljištu i vodi za navodnjavanje\*

\*Preuzeto iz sledećih literaturnih izvora: 1)FAO/WHO (2001), Joint Codex Alimentarius Commission; 2) Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO). Food additives and contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Program 2001; ALINORM 01/12A:1-289.; 3) CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION: CX/FAC 95/19. Nov. 1994. Position Paper on Cadmium. 27. March 1995.; 4) Ewers, U. (1991) Standards, guidelines and legislative regulations concerning metals and their compounds. In: Merian E, ed. Metals and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance. Weinheim: VCH, pp: 458-468.; 5) Pendias, A.K., Pendias, H. (1992) Elements of Group VIII. In: Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton: CRC Press, pp: 271-276.

\*\*Razlikuju se granične vrednosti za različite vrste povrća.

## 2.6.1. Izvori zagađenja teškim metalima

Skoro 50% količine olova, kadmijuma i žive, koja dospe u žive organizme unese se putem hrane biljnog porekla (povrća, voća i žitarica). Pošto teški metali najčešćim delom upravo preko biljaka ulaze u lanac ishrane, biljke imaju važnu ulogu u kruženju teških metala u prirodi. Poznavanje ekologije i mehanizma nakupljanja, raspodele i metabolizma teških metala u biljkama je zato od velikog ekološkog, naučnog i praktičnog značaja. Iako u većini poljoprivrednih zemljišta nivo teških metala nije tako visok da prouzrokuje akutne probleme toksičnosti, povećane koncentracije teških metala u hrani mogu značajno da utiču na zdravlje ljudi. Posebno mogu da budu značajni metali koji se preko hrane akumuliraju u organizmu čoveka, kao što je slučaj sa Cd i Pb. Saznanja da živa (Hg), Cd i Pb izazivaju brojne bolesti, pa čak i smrt ljudi, dovela su do opsežnijih istraživanja hemijskog ponašanja teških metala u zemljištu i njihovog usvajanja povrtarskim vrstama.

Nakupljanje neophodnih teških metala, kao i onih sa pretežno toksičnim dejstvom u zemljištu, može da bude posledica prirodnih procesa raspadanja minerala i stena u toku nastanka zemljišta. Zato se suvišak teških metala prvenstveno javlja u zemljištima nastalim

od minerala bogatih teškim metalima. Zemljišta formirana na sulfatnim, bakarnim, silikatnim mineralima, ili na serpentinskim stenama odlikuju se visokim sadržajem nikla i hroma. Do suviška Fe, Mn i Mo najčešće dolazi na loše dreniranim i plavljenim zemljištima. Visoke koncentracije teških metala uočavaju se na zemljištima koja imaju nisku pH vrednost. U zemljištima bogatim organskom materijom nakupljanje Fe, Mn i Mo je intezivnije, a u siromašnim značajno se povećava sadržaj Pb, Cd, Cu i Zn.

Ljudske aktivnosti koje u najvećoj meri doprinose zagađenju zemljišta teškim metalima su saobraćajna sredstva, rudnici, topionice metala, metalska industrija, gradski čvrsti i tečni otpad i dr. Najzagađenija zemljišta i biljke nalaze se u blizini auto-puteva, gde dolazi do većeg nakupljanja olova, posebno u pojasu do 10 m udaljenom od ivice puta. Nakupljanje Pb u biljkama zavisi od brojnih činilaca: udaljenosti biljaka od glavne saobraćajnice, pokrovnosti zemljišta biljnim pokrivačem, dužine perioda vegetacije i pravca i intenziteta vetra. Lisanato povrće se zbog toga nikako ne bi smelo gajiti na takvim lokalitetima. Upotreboom isključivo bezolovnog pogonskog goriva ovaj problem je moguće prevazići u budućnosti. Oštećenja biljaka može da izazove i prah, bogat teškim metalima, koji se u nekim industrijskim regionima ispušta u atmosferu, ili dim koji potiče iz izduvnih gasova motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Zemljišta i biljke koje se nalaze u okolini rudnika i topionica rude Zn, Cu i Pb odlikuju se visokim sadržajem Cd i Pb. Veće količine Cd se nalaze i u industrijskom otpadu. Kadmijum može dospeti u povećanoj količini u zemljišni rastvor unošenjem fosfornih đubriva u kojima se može naći kao primesa, zbog načina proizvodnje. Za razliku od fosfornih, azotna i kalijumova đubriva ne sadrže Cd i praktično nisu toksična. Pepeo, koji je izuzetno dobar izvor mineralnih materija za biljke, može sadržati u određenom procentu i toksične metale, pa to treba imati u vidu prilikom njegove upotrebe kao sredstva za ishranu biljaka. Neki ranije korišćeni pesticidi su sadržali kao aktivnu komponentu ili primesu npr. živu i arsen. Upotreba takvih preparata više nije dozvoljena, ali je moguće da su se zagađivači koji od njih potiču ponegde zadržali. Poznato je da se kao dodatak u ishrani svinja koriste preparati koji sadrže Cu, što treba znati ako se za đubrenje koriste stajnjak i osoka iz takvih štala. Redovna upotreba bordovske čorbe u vinogradima može da dovede do nakupljanja Cu u zemljištu. Takođe, vode koje se izlivaju prilikom poplava u oblastima gde postoji industrija mogu da dovedu do raznovrsnog zagađenja, pa i zagađenja teškim metalima. Istraživanja su pokazala da se najmanje 20 miliona hektara u svetu navodnjava otpadnim vodama i to uglavnom u proizvodnji lisnatog, ali i drugog povrća. Kao posledica, dolazi do nakupljanja teških metala i u zemljištu i u biljkama. Metali kao što su Pb, Cd, Cu i Hg su kumulativni otrovi i predstavljaju opasnost za životnu sredinu zbog svoje izuzetne toksičnosti.

## 2.6.2. Usvajanje teških metala i njihov uticaj na biljke

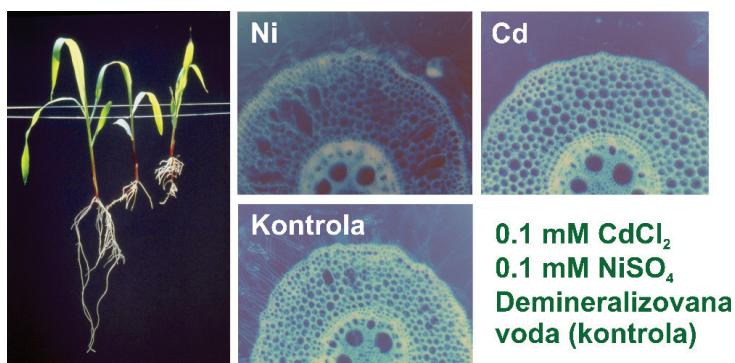
Biljke usvajaju metale pretežno apsorpcijom iz zemljišnog rastvora, a ponekad i preko nadzemnih organa. Prisustvo veće koncentracije teških metala u zemljištu deluje veoma štetno na biljke. Oni mogu da dovedu do morfoloških i anatomske promena, ali i da značajno utiču na fiziološke procese. Kao rezultat toga smanjuje se stvaranje organske materije i menja se hemijski sastav biljaka. Osnovni efekti toksičnih koncentracija pojedinih teških metala, kao na primer Cd, Cu, Pb i Zn su više ili manje specifični, zavisno od fizičkih i hemijskih osobina njihovih jona i organskih kompleksa. Najčešće su to promene u aktivnosti enzima, oštećenja ćeljskih membrana i smanjen rast korena. Zbog toga dolazi do poremećaja u vodnom režimu, aktivnosti fitohormona i usvajanju jona. Ometena je fotosinteza, transport organske materije na mesta potrošnje ili nakupljanja, a takođe i proces disanja. Gajene biljke ponekad mogu da nakupljaju značajne količine teških metala, a da se pri tome ne pojavljuju vidljivi simptomi njihovog oštećenja. Često ne dolazi ni do većeg smanjenja prinosa, odnosno smanjenja produkcije organske materije. Tek kada njihova koncentracija pređe određenu granicu dolazi do poremećaja u svim životnim funkcijama biljke, odnosno smanjenja stvaranja organske mase. Do smanjenja kvaliteta proizvoda i njihove biološke vrednosti dolazi mnogo ranije. U određenim uslovima i kod nekih vrsta biljaka manje količine nesećijalnih teških metala mogu stimulativno da deluju na rast biljaka.

Intenzitet usvajanja i nakupljanja teških metala u biljkama zavisi od brojnih činilaca i nije još uvek potpuno razjašnjen. Uopšteno se može reći da se usvajanje teških metala povećava sa smanjenjem pH vrednosti zemljišta, smanjenjem sadržaja organskih materija u njemu i porastom za biljke pristupačnih koncentracija teških metala (biostupnosti). Metali kao što su Fe i Cu su u principu najbolje rastvorljivi u slabo kiseloj sredini ( $\text{pH} < 7$ ), i njihova rastvorljivost se povećava sa opadanjem pH vrednosti. Drugi metali, kao što su Al i Zn, su bolje rastvorljivi u baznoj sredini, posebno kada je pH iznad 10. U slabo kiseloj sredini ( $\text{pH } 4,5\text{--}6,5$ ) Fe i Cu imaju malu rastvorljivost u ekstremno anaerobnim i aerobnim uslovima. Razlog za to je formiranje sulfida koji imaju nisku rastvorljivost u jako anaerobnim uslovima, kao i formiranje slabo rastvorljivih hidroksida i oksida metala u jako aerobnim uslovima. Na usvajanje teških metala značajno utiču procesi u rizosferi i sadržaj organske materije, fosfata, kreča, zatim temperatura zemljišta, intenzitet svetlosti i genotip.

Biljke mogu različitim intenzitetom da usvajaju i nakupljaju teške metale. Biljne vrste koje mogu bez vidljivih simptoma da usvajaju i akumuliraju velike količine teških metala se u literaturi često nazivaju „metalofite”, „hiperakumulatori” ili flora teških metala. Pojam flora teških metala „heavy metal flora” prepostavlja biljne

vrste koje se normalno razvijaju i rastu na zemljišta prirodnim ili antropogenim putem obogaćenim teškim metalima. Među njima nema gajenih vrsta biljaka, koje su uglavnom osetljive na prisustvo veće koncentracije teških metala u zemljištu.

Do smanjenja produkcije organske materije biljaka u prisustvu većih koncentracija teških metala dolazi usled njihovog nepovoljnog dejstva na fotosintezu, ali i na celokupan promet materija i energije u biljci. Istovremeno, usled pojave nekroze i odumiranja pojedinih organa biljaka, dolazi do gubitka već stvorene organske materije. Teški metali, posebno neesencijalni, nakupljaju se mnogo intenzivnije u korenju nego u nadzemnim organima. Pojedini elementi kao Cd i Ni se nakon usvajanja vema brzo transportuju u nadzemne delove biljaka. Nakupljanje teških metala u pojedinim organima i tkivima prvenstveno je uslovljeno mehanizmima tolerancije biljaka prema teškim metalima i njihovim neposrednim ili posrednim uključivanjem u određene fiziološko-biohemijske procese. Pojedine biljne vrste zavisno od starosti, vrednosti pH sredine, vrste supstrata i dr. nejednakost reaguju na prisustvo veće koncentracije teških metala. Utvrđeno je da značajne razlike postoje i u reakcijama različitih genotipova iste vrste na prisustvo teških metala. Tako je, na primer, ustanovljeno da je koren mrkve jednog genotipa sadržao dva puta više Pb od drugog, kada su gajeni na istom zemljištu, zagađenom ovim metalom. Za razliku od sadržaja Pb, sadržaj Cd je mnogo manje varirao u korenju različitih sorti mrkve. Brojni istraživači su potvrdili da visoke koncentracije teških metala različito deluju na biljne vrste u pojedinim fazama razvića i da mogu različito da deluju na hemijski sastav i prinos semena. Dejstvo teških metala na prinos biljaka mogu da menjaju brojni spoljašnji činioci. Utvrđeno je da magnezijum i sumpor mogu da ublaže nepovoljno dejstvo visokih koncentracija Cd. Utvrđeno je, takođe, i kumulativno dejstvo većeg broja teških metala, na primer Cd, Cu i Ni. Oni obično u većoj meri smanjuju prinos zajedno nego ako pri istoj koncentraciji deluju pojedinačno. Efekat teških metala zavisi takođe i od tipa zemljišta, najviše od njegove pH vrednosti i sadržaja organske materije. Teški metali mogu da utiču i na anatomske osobine korena (Slika 2.19).



**Slika 2.19.** Uticaj kontinuiranog prisustva Cd i Ni na anatomiju korena mladih biljaka kukuruza (I. Maksimović, orig.)

U Vojvodini se dugi niz godina prati sadržaj pojedinih metala u zemljištima i gajenim biljkama. Kartiranje zemljišta pokazalo je da su naša obradiva zemljišta zdrava – nezagadena teškim metalima, a prirodno izuzetno dobrog kvaliteta. Zagadenje naših zemljišta teškim metalima se sreće lokalno, što treba pratiti i eventualno sprovesti mere „čišćenja“ takvih zemljišta.

U novije vreme se velika pažnja pridaje proučavanju uticaja većih koncentracija teških metala na metabolizam biljaka u cilju stvaranja genotipova tolerantnih prema njihovom suvišku, koji bi se odlikovali i manjim nakupljanjem teških metala. Istovremeno se čine napori u cilju otkrivanja vrsta i genotipova, hiperakumulatora, koji bi se koristili za dekontaminaciju zemljišta zagađenih teškim metalima.

Publicitet koji u poslednje vreme ima visok nivo teških metala u životnoj sredini uopšte, pa i u hrani, može ponekad da izazove zabrinutost, pa i strah kod stanovništva. Potrošači su svesni da hrana koju svakodnevno troše, posebno povrće i voće, možda sadrži koncentracije teških metala koje su iznad dozvoljenih. Zato je veoma bitno da se takvi proizvodi, koji se konzumiraju u svežem stanju, redovno analiziraju kako bismo bili sigurni da koncentracija nepoželjnih teških metala nije viša od međunarodno prihvaćenih standarda. Kadmijum i olovo se ubrajaju u najrasprostranjenije teške metale i oni su izuzetno toksični. Visoka koncentracija ovih metala u hrani povezuje se sa razvojem brojnih bolesti, posebno kardiovaskularnog sistema, bubrega, nervnog i koštanog tkiva. Dokazano je da su ovi teški metali kancerogeni, mutageni i teratogeni. Drugi teški metali, kao što su Cu i Zn, neophodni su za biohemiske i fiziološke procese u organizmu i neophodni su za održavanje zdravlja tokom čitavog života.

Mehanizmi koji omogućavaju biljkama da podnesu povećane koncentracije teških metala (TM) mogu da se podele na egzogene (apoplastične), endogene (simplastične) i ostale:

### **Egzogeni (apoplastični)**

- Mobilizacija TM u čelijskom zidu
- Izlučivanje helata
- Uspostavljanje pH barijere
- Ektotrofna mikoriza

### **Endogeni (simplastični)**

- Stvaranje helata i polipeptida – fitohelatina u citoplazmi
- Kompartimentacija i stvaranje kompleksa TM sa organskim i neorganskim kiselinama u vakuoli
- Vezivanje TM sa fitinskom kiselinom
- Sinteza proteina toplotnog šoka (“Heat shock proteins”)

### **Drugi zaštitni mehanizmi**

- Smanjenje permeabilnosti plazma membrane za TM
- Smanjeno usvajanje TM
- Vezivanje TM u korenu
- Prisustvo drugih jona u zemljištu (Si, Ca-Mn; P-Pb; S-Cd )

## **2.6.3. Mogućnosti za smanjenje kontaminacije biljnih tkiva teškim metalima**

Postupci kojima može da se smanji koncentracija teških metala u tkivima biljaka su modifikacija pH vrednosti zemljišta, briga o sadržaju organske materije u zemljištu, odgovorna i racionalna upotreba mineralnih đubriva, kao i gajenje pogodnih vrsta za data svojstva zemljišta i mikroklimu. Interakcije između zemljišta i biljke, kao i između korenovog sistema i zemljišne mikroflore, su takođe veoma važne pošto utiču na kretanje jona teških metala iz zemljišta u jestive delove povrtarskih kultura. Poljoprivredna praksa koja uključuje istovremeno razmatranje načina đubrenja, primenu vode za navodnjavanje odgovarajućeg kvaliteta i rotaciju useva može da utiče na pristupačnost teških metala za biljke i njihovu konačnu količinu u biljnim delovima. Organska materija vezuje velikim delom teške metale i time smanjuje njihovu pristupačnost za biljke. Međutim, u dužem vremenskom periodu, oni će opet preći u zemljišni rastvor. Kompost bogat fosforom i fosforna đubriva mogu da smanje usvajanje olova putem korenovog sistema, pri čemu bi kiselost zemljišta (pH) trebalo da bude oko 6,5-7,5. Korišćenje tehnike malča, osim drugih prednosti koje ova metoda pruža (npr. očuvanje zemljišne vlage), može da smanji podizanje prašine (sitnih čestica zemljišta) koje nekad mogu da dovedu do udisanja olova koje se nalazi inače u zemljištu, posebno ako se ono nalazi u blizini puteva veoma opterećenih saobraćajem.

## 2.6.4. Fitoremedijacija

Fitoremedijacija (*Phyton* – biljka i *Remediare* – ostaviti) je tehnologija prečišćavanja zagađenih zemljišta i voda putem gajenja biljaka koje mogu da degradiraju, ekstrahuju, zadrže (vežu) ili imobilisu zagađujuće materije koje se nalaze u zemljištu i vodi (Tabela 2.10).

Proces	Uticaj na zagađivača	Zagađivač*
Fitostabilizacija	Inaktivacija	TM, MO, HA, RA, OR
Fitoimobilizacija	“	TM, MO, HA
**Fitoekstrakcija	Odstranjivanje	TM, MO, HA, RA, OR
Fitovolatizacija	“	TM, MO, HA, OR
Fitodegradacija	“	OR

\*TM – teški metali, MO – metaloidi, HA – halidi, RA – radionuklidi, OR – organski zagađivači;

\*\*Fitoekstrakcija uključuje "rudarenje" pomoću biljaka.

Iako se radi o relativno novoj tehnologiji, sam koncept korišćenja biljaka u remedijaciji zagađenih staništa datira od pre 300 godina. Međutim, dugo je bio zaboravljen usled nerazumevanja transporta jona u biljci i mehanizama tolerantnosti biljaka. Interes za fitoremedijaciju je ponovo porastao nakon pronalaska biljnih vrsta koje su hiperakumulatori metala. Hiperakumulatori su biljke koje imaju sposobnost da akumuliraju i zadržavaju velike količine metala, odnosno imaju visok koeficijent bioakumulacije. Prve biljke za koje je otkriveno da akumuliraju visoke koncentracije metala u listovima su *Thlaspi caerulescens* i *Viola calaminaria*.

### Prednosti i nedostaci fitoremedijacije

Primena fitoremedijacije zemljišta zagađenih teškim metalima ima niz prednosti. Pored toga što ova tehnologija spada u jednu od najčistijih i najjeftinijih, izbegava se sekundarno zagađivanje sredine, može da se primeni kod svih teških metala, a metalom bogati biljni ostaci mogu da se recikliraju. Osim toga, primena fitoremedijacije ima veoma značajne propratne pojave, biljni pokrivač može da smanji ili spreči eroziju zemljišta, sadnjom drvenastih biljaka stvaraju se vetrozaštitni pojasevi koji mogu da smanje, osim uticaja vetrara, i buku u regionu, a stvaraju se i nova staništa za razvoj faune, itd.

Ipak, u primeni ove tehnologije postoje izvesna ograničenja. Primarno ograničenje za primenu fitoremedijacije predstavlja korenov sistem biljaka. Naime, za fitoremedijaciju je neophodno da zagađujuće materije budu u kontaktu sa zonom korena, pa se zato realno može očekivati smanjenje koncentracije zagađivača u zoni do oko 1 m udaljenoj od korena. Osim toga, pokretljivost i pristupač-

nost teških metala biljkama zavisi od mnogih činilaca, kao što su pH vrednost zemljišta, sadržaj organske materije i gline u zemljištu. Niska pH vrednost, niži sadržaj gline i humusa pospešuju usvajanje teških metala. Poznavanje ovih faktora i njihova kontrola su neophodni za uspešnu fitoremedijaciju zemljišta zagađenih teškim metalima. Često su neophodne dodatne popravke zemljišta, odnosno primena sredstava koja olakšavaju biljkama usvajanje teških metala kidanjem veza koje metale vezuju za čestice zemljišta. Brzina rasta biljaka takođe predstavlja značajno ograničenje, sa čime je povezan i dug period sanacije zemljišta ovom tehnologijom. Fitoremedijacija je pogodna za primenu u područjima sa niskim do umerenim nivoom zagađenja zemljišta. Visoke koncentracije teških metala mogu da inhibiraju rast biljaka, a time i da ograniče primenu ove tehnologije. Postoji velika opasnost od ulaska teških metala u lanac ishrane kontaminiranim biljkama, zbog čega u okviru ove tehnologije moraju da se predvide odgovarajuće mere kontrole. Odabir vrste koja će se primeniti u fitoremedijaciji je kritičan korak koji određuje uspešnost fitoremedijacije. Stoga je poznavanje usvajanja, nakupljanja teških metala u biljkama, kao i anatomije, morfologije i fiziologije biljaka od izuzetnog značaja za primenu ovih procedura za poboljšanje kvaliteta zemljišta i voda.

Odlike genotipa pogodnog za fitoekstrakciju su:

- 1) Tolerantnost prema visokim koncentracijama TM,
- 2) Intenzivno nakupljanje jednog ili istovremeno više TM,
- 3) Posedovanje visokog koeficijenta bioakumulacije (transfer factor),
- 4) Intenzivan transport TM u nadzemne organe (transfer faktor),
- 5) Visoka produkcija biomase ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ godina}^{-1}$ ),
- 6) Prilagođenost datim edafskim i klimatskim uslovima i
- 7) Odsustvo zahteva za posebnom tehnologijom gajenja.

#### *Fitoremedijacija – zaključak*

- Mnoge laboratorijske studije i studije u poljskim uslovima pokazale su da je moguća praktična primena gajenja biljaka za prečišćavanje zemljišta od teških metala.
- Uspeh fitoremedijacije zavisi na prvom mestu od izbora biljne vrste, njenog kapaciteta za nakupljanje teških metala i sposobnosti da ih premešta u nadzemne organe, njihove ukupne stvorene biomase i mera koje se koriste kako bi se pospešilo nakupljanje teških metala u biljkama.
- Rezultati su pokazali da gajene biljke mogu uspešno da se koriste u postupcima remedijacije zemljišta zagađenih teškim metalima.

## **Deo 3 – Agrotehničke mere u uslovima izmenjene klime (primer za krmno bilje).**

- 3.1. Uloga međuuseva u povećanju održivosti poljoprivrednih sistema
- 3.2. Združena setva zasnovana na korišćenju leguminoza

### **3.1. Uloga međuuseva u povećanju održivosti poljoprivrednih sistema**

Intenziviranje poljoprivredne proizvodnje tokom druge polovine 20. veka, većom primenom đubriva, pesticida i navodnjavanja, omogućilo je značajno poboljšanje prinosa gajenih vrsta. Međutim, istovremeno su ovakav način proizvodnje, kao i brojne druge ljudske aktivnosti, doprinele mnogim negativnim uticajima po životnu sredinu, poput emisije gasova staklene baštne, potrošnje fosilne energije, velike upotrebe pesticida i povećane upotrebe vode za navodnjavanje i smanjenje podzemnih voda. Poljoprivredna proizvodnja i gajeni usevi odgovorni su za polovinu emisije N<sub>2</sub>O u svetu. Tako je veća upotreba mineralnih azotnih đubriva, iako neophodna za biljnu proizvodnju, većinski izvor emisije N<sub>2</sub>O (70 do 90%). Pored toga, veća upotreba pesticida uzrokuje zagađenje vode, vazduha i zemljišta sa rizikom od toksičnih efekata.

Korišćenje međuuseva je mera koja je uvedena u poljoprivredni proizvodnju kako bi se povećala zaštita životne sredine i podstaklo održivo korišćenje prirodnih resursa. Farmeri i istraživači koriste međuuseve kako bi formirali novu strategiju proizvodnje koja će očuvati prirodne resurse farme, a da pri tome ona ostane profitabilna. Ključ ovog pristupa je posmatranje jedinstvenosti farme i agroekosistema i uspostavljanje poljoprivredne proizvodnje na ekološkim, ekonomski izvodljivim i društveno prihvatljivim principima.

Međuusevi su usevi koji se gaje između dva glavna useva. Međuusevi se mogu zasnavati kao čisti usevi ili kao smeša useva. U umerenom području postoje povoljni uslovi za gajenje ozimih međuuseva nakon skidanja glavnih useva u kasno leto, odnosno jesen, kao i pre setve glavnog useva narednog proleća. Vrste iz familija leguminoza (Fabaceae), trava (Poaceae) i kupusnjača (Brassicaceae) najčešće se gaje kao ozimi međuusevi i kao predusevi za glavne gajene kulture, poput kukuruza i industrijskih biljaka. Dominantni međuusevi u umerenom pojusu su stočni grašak, grahorice, strna žita i smeše navedenih vrsta.

Postoje brojne prednosti kojima međuusevi dopinose održivoj poljoprivrednoj proizvodnji, a glavne prednosti uključuju:

- smanjenje troškova đubrenja (izostavljanje upotrebe đubriva),

- smanjenje efekta staklene bašte,
- smanjena upotreba pesticida,
- povećanje prinosa poboljšanjem stanja zemljišta,
- sprečavanje erozije zemljišta,
- očuvanje zemljišne vlage i sprečavanje ispiranja hranljivih materija,
- očuvanje kvaliteta vode.

Prednosti variraju između lokaliteta i godišnjeg doba i veoma su povezane sa vremenskim uslovima, ali se najmanje dve ili tri prednosti ispolje sa bilo kojim međuusevom. Pored toga, glavne prednosti međuuseva mogu se postići samo uz pažljiv izbor odgovarajućih vrsta. Zbog ekoloških razloga, leguminoze dobijaju sve veći značaj, s obzirom na to da upotreba azota na obradivom zemljištu uzrokuje nekoliko velikih ekoloških problema i s obzirom na to je dodatni izvor azota potreban svim oraničnim kulturama osim leguminozama. Primena mineralnih azotnih đubriva za vrste koje nemaju simbiotsku azotofiksaciju, uzrokuju dva do tri puta veću emisiju gasova staklene bašte nego što je to slučaj kod leguminoza. Pored toga što leguminoze ne zahtevaju primenu azotnih đubriva, one obezbeđuju i značajnu količinu azota za naredni usev zahvaljujući efikasnoj mineralizaciji azota, što dovodi do smanjene potrošnje fosilnih goriva i emisiju gasova staklene bašte. Na primer, u regionu Barrois u Francuskoj ili Saxe-Anhalt u Nemačkoj pokazano je smanjenje potrošnje energije za 50% u usevu graška u poređenju sa uljanom repicom, pšenicom ili ječmom. To dovodi do prosečnog smanjenja od 13% potrošene energije u plodoredu koji uključuje 20% leguminoza i 50% smanjenja emisije gasova korišćenjem graška u poređenju sa drugim usevima. Stoga, korišćenje leguminoza u rotaciji useva može imati značajnu ulogu u zaštiti životne sredine.

U jednogodišnjim sistemima gajenja, međuusevi su uglavnom uključeni da bi se maksimalno iskoristile njihove prednosti, poput povećanja proizvodnje biomase i azota. Međuusevi mogu povećati prinos, ali istovremeno mogu smanjiti troškove, povećati profit i čak stvoriti nove izvore prihoda. U nekim regionima praksa korišćenja međuuseva dobila je na značaju usled smanjenja stočarske proizvodnje i dostupnosti organskih đubriva. Pored prirodnog sadržaja hranljivih elemenata u datom zemljištu, biljke mogu biti obezbeđene neophodnim hranivima primenom mineralnih đubriva, unošenjem organskih đubriva, gajenjem međuuseva itd. U Pokrajini Vojvodina, Srbija, plodna zemljišta kao što je černozem pretrpela su značajno smanjenje sadržaja organske materije, u nekim slučajevima i do 50%, što opravdava uvođenje međuuseva u poljoprivrednu proizvodnju. Prema rezultatima kompleksnih istraživanja sprovedenih 1993. godine i njihovim upoređenjem sa rezultatima analize zemljišta sprovedenih 2000. godine, u Vojvodini je u proseku sadžaj or-

ganske materije opao za 0,38%, a oko 2,7% zemljišta ima veoma nizak sadržaj organske materije, dok je 26% uzoraka imalo 1,5-3% organske materije.

Jedan od najvećih izazova u gajenju međuuseva je prilagoditi ih trenutnom plodoredu ili formirati novi koji će u potpunosti iskoristiti njihove prednosti. Izbor međuuseva je lakši kada su plodored i glavni usevi određeni. Žitarice, leguminoze i kupusnjače često se koriste kao međuusevi, i to kao čisti usevi ili kao smeša useva. Leguminoze imaju brojne prednosti, pomažu u kontroli korova, svojim korenom poboljšavaju strukturu zemljišta, snabdevaju zemljište azotom, te su stoga pogodne u rotaciji useva. Leguminoze kao međuusevi mogu se lako uključiti u plodore i zajedno sa ugarom, gustinom setve, vremenom setve, navodnjavanjem itd., predstavljaju agrotehničke mere za ublažavanje rastućih temperatura i učestalih suša izazvanih klimatskim promenama. Leguminoze doprinose dodatnom azotu u ciklusu hranljivih materija zahvaljujući simbiozi sa bakterijama iz roda *Rhizobium*. Zaoravanjem 30-40 t ha<sup>-1</sup> biomase međuuseva u zemljište se unosi 100-200 kg ha<sup>-1</sup> azota. Veći deo azota dobijenog kao rezultat simbioze koriste leguminoze za svoj rast i time je taj azot ugrađen u organsku materiju. Deo ovog azota može kasnije biti iskorišćen kao stočna hrana u vidu proteina u krmi, dok ostatak akumuliranog azota mogu usvojiti naredni usevi i to nakon zaoravanja i mineralizacije organske materije. Važno je naglasiti da je u povoljnim uslovima (pH zemljišta, temperatura, vлага), aktivnost *Rhizobium*-a veća, a time i količina biološki fiksiranog azota.

Smeše leguminoza i žitarica imaju visok potencijal i širok spektar mogućnosti. Gajenjem ovih vrsta u smeši može se povećati pri-nos nadzemne i podzemne biomase, kao i sadržaj ugljenika i azota, čime se poboljšava kvalitet zemljišta i produktivnost gajenih biljaka u smeši u poređenju sa čistim usevom. Međuusevi mogu da stimulišu razvoj korena narednog useva zahvaljujući biljnim ostacima koji su vraćeni u zemljište, čime se povećava nivo organske materije, smanjuje zapreminska specifična masa zemljišta, utiče na temperatuру zemljišta itd. Na rast korena biljaka mogu međusobno da utiču i obrada, međuusevi i primena mineralnih azotnih đubriva. Redukovanom obradom zajedno sa unošenjem ugljenika putem biljnih ostataka, povećava se sadržaj organskog ugljenika u zemljištu. Trave doprinose većoj količini ugljenika nego leguminoze usled šireg C:N odnosa. Njihovi ostaci se sporo razlažu, a raspoloživost azota može se značajno smanjiti nakon njihovog zaoravanja. Gajenjem biljaka i formiranjem biljnog pokrivača na parceli, teži se da se održi nivo organskog ugljenika u zemljištu, što nije slučaj sa zemljištem bez biljnog pokrivača koji ima tendenciju da ga smanji. Žitarice kao međuusevi formiraju veliku količinu biomase i trebalo bi ih uzeti u obzir kada je cilj brza izgradnja organske materije. Većina neleguminoznih međuuseva ne fiksiraju azot, ali mogu da utiču na raspo-

loživost azota u zemljištu. Strna žita mogu da usvoje veliku količinu zemljишnog azota, čime se smanjuje potencijalno ispiranje nitrata. Nekoliko vrsta iz familije Brassicaceae, takođe, veoma brzo usvajaju azot. Međutim, zbog užeg C:N odnosa, ove vrste se brže razlažu u odnosu na trave i brže oslobađaju azot u zemljište.

Za pravilno zasnavanje i korišćenje međuuseva, neophodno je utvrditi cilj proizvodnje, vreme i mesto, kao i željene karakteristike međuuseva. Nepravilna primena međuuseva može dovesti do značajnog gubitka prinosa međuuseva, kao i prinosa narednog, odnosno glavnog useva. Imajući u vidu da međuusevi mogu da imaju različitu funkciju, veoma je važno odrediti šta se od njih očekuje. Prema tome, mora se uzeti u obzir prilagođavanje međuuseva u deo plodoreda, te su stoga poželjni brzorastući, kao i međuusevi tolerantni na sušu koji zahtevaju minimum agrotehnike. Često se biraju međuusevi koji brzo klijaju i imaju dobar vigor klijanaca usled njihove sposobnosti da se takmiče sa korovima. Takođe, trebalo bi odabrati vrste koje imaju potencijal da smanje brojnost insekata, dok sa druge strane trebalo bi izbeći one koje su domaćini i koje prenose bolesti i štetočine škodljive za glavne useve. Brzorastući međuusevi, kao što su trave/žitarice i kupusnjače drže zemljište, smanjuju formiranje pokorice i štite ga od erozije izazvane vetrom ili kišom. One se mogu gajiti kad god je zemljište ostalo golo u toku sezone. Na primer, nakon žetve glavnog useva, može se posejati više međuuseva i obezbediti pokrivač zemljišta u toku zime. U tom smislu, zasnovana obična grahorica predstavlja odličan živi pokrov zemljišta i debeli sloj malča nakon odumiranja biljaka. Ozima maljava grahorica ili njena smeša sa raži ili nekim drugim strnim žitom može da smanji eroziju, poveća sadržaj azota i organske materije u proizvodnom sistemu. Raž obezbeđuje zaštitu zemljišta na nagnutim terenima i zadržava zemljište do određenog tolerantnog nivoa, dok jari ječam dobro drži zemljište u uslovima suše.

Zbijenost zemljišta je veliki problem za farmere koji se bave intenzivnom proizvodnjom. Ovakav sistem gajenja često uzrokuje hitnost izvođenja brojnih operacija koje su praćene nepredvidivim padavinama, što dovodi do kretanja teške mehanizacije po vlažnom zemljištu. Ustanovljeno je da ograničena penetracija korena soje na zbijenom zemljištu pojačava efekat suše i utiče na smanjenje prinosa. Sa zbijenošću se povećava i čvrstoća zemljišta, naročito u toku leta kada zbijeni slojevi postanu suvi i tvrdi i na taj način je onemoćeno da korenov sistem prodre u dublje slojeve radi usvajanje vode i hranljivih materija. Međuusevi mogu pozitivno da utiču i na razvoj korena narednog useva na taj način što ostavljaju veliku količinu žetvenih ostataka. Putem žetvenih ostataka međuusevi povećavaju sadržaj organske materije, smanjuju zapreminsку specifičnu masu zemljišta, povećavaju temperaturu zemljišta i povećavaju gustinu biopora u profilu u kojem koren narednog useva može da se razvija, ali i u sloju u kojem je rast bio ograničavajući. U pojedinim

istraživanjima ustanovljeno je povećanje rasta korena soje u zemljišnim kanalima zbijenog zemljišta i to nakon razgradnje korena međuuseva, što je dovelo do povećanja prinosa soje čak i sušnim uslovima. Međuusevi koji formiraju dubok korenov sistem mogu se primeniti kao jedno od rešenja za smanjenje zbijenosti i to naročito u sistemima bez obrade zemljišta. Međuusevi, ovde mogu da ublaže problem zbijenosti zemljišta formiranjem korenskih kanala koji povećavaju infiltraciju i utiču na korenov sistem i prinos glavnih useva. Tako na primer, duboko razvijen korenov sistem luterke može da poveća brzinu infiltracije na zbijenim zemljištima u sistemu bez obrade, dok korenski kanali nakon luterke povoljno utiču na korenov sistem kukuruza kao narednog useva.

Zamenom ugara međuusevima može se povećati stabilnost zemljišnih agregata i kapacitet držanja vode, koji ustvari predstavljaju dve važne karakteristike navodnjavanog zemljišta. Međutim, uprkos ovome, međuusevi povećavaju evapotranspiraciju i smanjuju procediranje vode izvan zone korenovog sistema između dve vegetacione sezone, i time mogu dovesti do nakupljanja soli u gornjim slojevima zemljišta. Stoga je neophodno dugoročno praćenje sadržaja soli u profilu zemljišta, kako bi se osiguralo da se potencijalni nedostaci izazavani nakupljanjem soli nadoknade prednostima međuuseva. Na primer, ukoliko se ugar zameni međuusevom, ispiranje soli u navodnjavanom usevu kukuruza smanjuje se ispod 1,2 m dubine. Razlog je u tome što je zemljište pod ugarom sklonije da nakuplja soli u periodu između setve dva glavna useva i da se ovaj efekat može pripisati povećanom rastvaranju soli na ovakov zemljištu usled većeg sadržaja vode. Ovaj pozitivan i korištan uticaj međuuseva na salinitet zemljišta može biti veoma bitan u proizvodnim sistemima u kojima postoji problem akumulacije soli, pošto su naredni glavni usevi osetljiviji na povećani salinitet u početnim fazama razvoja.

Međuusevi su usevi koji drastično smanjuju oticanje površinskih voda i povećavaju zadržavanje vlage u zemljištu. Na golom zemljištu kiša ne prodire u dubinu, a kišne kapi nakon udara spajaju čestice zemljišta na površini. Na ovaj način formira se pokorica koja onemogućava prodor kiše u zemljište i, umesto toga, ona otiče. Međuusevi omogućavaju usvajanje padavina i snežnog taloga, kao i duže držanje vode koja je dostupna biljkama, odnosno oni deluju kao sunđerasti rezervoar u poroznoj korenovoj zoni. Ovi usevi formiraju povoljnu strukturu zemljišta, sa dobrim odnosom mikro i makro pora koje usvajaju i oslobođaju vodu i vazduh u zavisnosti od potreba biljaka.

Međuusevi se u plodoredu mogu gajiti nakon žetve glavnog useva ili istovremeno sa delom ili celim vegetacionim periodom glavnog useva. Primarna zainteresovanost i motivacija za korišćenjem međuuseva je proizvodnja koja je bazirana na ekološkim principima. Odabir međuuseva je uglavnom u skladu sa njihovom spo-

sobnošću da se takmiče sa korovima i potencijalno suzbiju bolesti i štetočine. Klijanje semena korova zavisi od vlažnosti zemljišta, optimalne temperature i svetlosti. Ostaci međuuseva na površini zemljišta mogu fizički da promene uslove za klijanje i nicanje otežavanjem prodora svetlosti i padavina, odnosno toploće i vode između zemljišta i atmosfere. Istraživanja su pokazala da promene u spektru svetlosti koji dolaze do semena ispod biljnih ostataka mogu uticati na kvalitet svetlosti, čime se sprečava klijanje i rast fotodormantnih vrsta. Biljni ostaci na površini zemljišta mogu zadržati određenu količinu kiše i na taj način ograničiti količinu vode za klijanje. Pored toga, ovi ostaci mogu sniziti temperaturu na površini zemljišta, tako što deluju kao izolator od sunčevog zračenja i otežavaju njegovo zagrevanje. Ostaci međuuseva mogu da ometaju i razvoj klijanaca korova, koji propadaju kada potroše rezerve iz semena i nemaju više energije za rast. U kojoj meri će ovi ostaci uticati na kontrolu korova zavisi od vrste korova i faze razvoja, debljine pokrivača zemljišta i tipa zemljišta.

Međuusevi imaju značajnu ulogu u integralnim sistemima zaštite od štetočina. Ključ za postizanje ove vrste kontrole štetočina je u očuvanju i podsticanju brojnosti korisnih organizama. Međuusevi poboljšavaju stanje zemljišta, što dovodi do veće biološke aktivnosti, smanjene upotrebe pesticide i troškova proizvodnje, kao i zaštitu agroekosistema i povećanje poverenja potrošača.

Međuusevi imaju brojne ekonomske i ekološke prednosti, ali pored toga važno je poznavati i njihove potencijalne negativne efekte na prinos i kvalitet useva kroz promenu vlažnosti zemljišta. Iako međuusevi mogu da povećaju infiltraciju i kapacitet držanja vode u zemljištu, oni, takođe, koriste vodu za sopstvene potrebe i mogu potencijalno da smanje prinos narednog useva. Do ovoga posebno dolazi u suvom ratarenju u aridnim regionima, jer je usled korišćenja vode od strane međuuseva smanjena vlažnost zemljišta u periodu setve glavnog useva. Ovaj problem je neznatan u humidnim oblastima, kao i u proizvodnji u kojoj se primenjuje navodnjavanje, čime se nadoknađuje vodni deficit u periodu setve. Nedostatak vode u proleće izazavan međuusevima ima manji uticaj na prinos glavnog useva u odnosu na konzervaciju vode u toku leta ostacima međuuseva i to jedino ukoliko početni vodni deficit ne utiče na sporije i otežano zasnivanje useva. Kao jedna od mera za poboljšanjem vodnog režima zemljišta može se primeniti ranije uništavanje međuuseva, pri čemu je istovremeno opasnost od ispiranja azota svedena na minimum.

Međuusevi različito utiču na balans između zemljišta i vode, ali zajedničko je za sve međuuseve da oni više isušuju zemljište u odnosu na parcele bez vegetacije. U određenim situacijama međuusevi mogu da smanje vlažnost zemljišta znatno ispod željenog nivoa. Međutim, iako je smanjenje vlažnosti ponekad potrebno, ono generalno može štetno da utiče na prinos glavnog useva ili može da po-

veća stres biljaka što će dovesti do smanjenog prinosa. U ekstremno sušnim godinama ili periodima vegetacije sa specifičnim rasporedom padavina, uticaj međuuseva na naredni usev može biti veoma negativan. Stoga, odluka o korišćenju međuuseva mora da obuhvati i potrebe za vodom kako međuuseva, tako i glavnog useva.

Pokrovni, odnosno međuusevi mogu se gajiti za krmu, zrno ili kao zelenišno đubrivo, u zavisnosti od potreba i organizacije farme. Uključivanje međuuseva u proizvodnju dobro funkcioniše na gazdinstvima koji gaje više biljnih vrsta i koje imaju i stočarsku proizvodnju. Kao što je spomenuto, međuusevi se mogu gajiti i za zelenišno đubrivo u cilju povećanja sadržaja hranljivih elemenata u zemljištu i da bi se poboljšala svojstva zemljišta. Pri odabiru međuuseva, farmeri se često opredeljuju za jednu vrstu usled jednostavnije setve, ujednačenjeg razvoja i predvidivog momenta košenja ili žetve. Međutim, ukoliko se gaje međuusevi, bolje je primeniti smešu, jer smeše pokazuju potencijal i brojne prednosti u različitim agroekološkim uslovima. U smešama se povećava produktivnost, stabilnost, otpornost i efikasnost korišćenja resursa. Kao što je spomenuto, međuusevi se mogu koristiti kao živi malč između redova glavnog useva radi suzbijanja korova, smanjenja erozije zemljišta i očuvanja vlažnosti zemljišta usled smanjene evaporacije. Pored toga, oni se isto tako mogu koristiti i kao tzv. "prihvatni" usevi jer "hvataju" (usvajaju) višak hraniva koji bi u suprotnom bili isprani u dublje slojeve.

### 3.1.1. Uticaj međuuseva na naredni (glavni) usev

Primena međuuseva ima koristi i za zemljište i za naredni usev. Ovaj efekat se, pre svega, ogleda kroz činjenicu da nakon zaoravanja međuuseva i njihove mineralizacije, akumulirani azot postaje dostupan narednom usevu u plodoredu. Međutim, kada se u zemljište unese leguminoza gajena kao međuusev, značajna količina azota se obično mineralizuje u toku nekoliko nedelja, a ostatak se oslobođa postepenom razgradnjom organske materije. U poslednje vreme, pažnja je usmerena na usvajanje oslobođenog azota, koji bi u suprotnom bio ispran u  $\text{NO}_3^-$  obliku u dublje slojeve zemljišta i podzemne vode ili bio izgubljen u procesu nitrifikacije u vidu  $\text{NO}$  i  $\text{N}_2\text{O}$  ili u procesu denitrifikacije kao  $\text{N}_2$ . Ovo je izuzetno važno, imajući u vidu da ozimi leguminozni međuusevi putem simbiotske azotofiksacije mogu uneti više od  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ , što pozitivno utiče na naredni usev u plodoredu.

U dvogodišnjem istraživanju u Vojvodini, ispitivan je uticaj međuuseva za zelenišno đubrivo, pre i posle zaoravanja, na dinamiku  $\text{NO}_3^-$ -N u zemljištu. Cilj istraživanja bio je i da se utvrди uticaj međuuseva na prinos i kvalitet sudanske trave. U ispitivanju su primenjeni sledeći tretmani: međuusevi u čistoj setvi - pšenica, stočni grašak i uljana repica, zatim smeša stočnog graška i pšenice,

tretmani sa primenom mineralnih đubriva, odnosno sa  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $N_1$ ) i  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $N_2$ ), kao i kontrolna varijanta bez đubrenja i međuuseva. Utvrđeno je da međuusevi i tretmani sa đubrenjem značajno utiču na sadržaj mineralnog azota u zemljištu. U prva dva merenja, odnosno pre setve međuuseva u jesen i na početku vegetacije međuuseva u proleće, sadržaj mineralnog azota bio je veći na tretmanima bez međuuseva. Ovo se može objasniti činjenicom da su ovi tretmani u vreme uzorkovanja bili bez biljaka, koje su mogле da usvoje azot iz zemljišta. Najmanji sadržaj mineralnog azota zabeležen je u usevu pšenice i smeše pšenice sa stočnim graškom, kao rezultat intenzivnog usvajanja azota. Nakon prvog i drugog otkosa sudanske trave, rezultati analize zemljišta pokazali su da je najveći sadržaj mineralnog azota bio na tretmanu sa stočnim graškom. Ovo je posledica intenzivne mineralizacije leguminoza nakon njihovog zaoravanja, kao i značajnog iznošenja azota prinosom sudanske trave na drugim tretmanima. Nakon otkosa, najmanji sadržaj azota bio je na tretmanu sa pšenicom, smešom useva i uljanom repicom, na kojima je, takođe, utvrđen i najmanji prinos sudanske trave. Prinos sudanske trave bio je najveći na tretmanima sa primenom azotnih đubriva i stočnim graškom, dok je na istom nivou bio na kontroli i na tretmanima sa uljanom repicom i smešom. Na tretmanu sa pšenicom kao međuusevom, sudanska trava imala je najmanji prinos, usled nedostatka azota nakon zaoravanja. Na tretmanu sa primjenom većom dozom mineralnog đubriva ( $N_2$ ) zabeležen je najveći sadržaj sirovih protein u prvom otkosu, dok je u drugom otkosu upravo na ovom tretmanu zabeležen najmanji sadržaj. Neleguminozni međuusevi, koji inače imaju niži sadržaj azota, pokazuju malo ili nimalo korisnih efekata na naredni usev, dok u pojedinim slučajevima mogu imati i negativan uticaj. Razlog za ovaj potencijalni negativan uticaj leži u smanjenju vlažnosti zemljišta u proleće ili usled alelopatije. U aridnim rejonima, na prinos glavnog useva veoma nepovoljno može da utiče potrošnja vode od strane međuuseva. Međutim, i pored zabrinutosti u pogledu potrošnje vode, mnogi farmeri su zainteresovani za korišćenje međuuseva zbog poboljšanog kruženja hraniva i usled biološke azotofiksacije. Agrotehničke mere koje uključuju međuuseve, kao što su izbor vrste, đubrenje, vreme košenja/žetve i način obrade značajno deluju na prinos narednog useva. U spomenutom istraživanju, tretman sa stočnim graškom kao međuusevom imao je najveći prinos suve materije i prinos azota. Imajući u vidu da žitarice proizvode veliku količinu biomase, trebalo bi ih uzeti u obzir kada je cilj gajenja brza "izgradnja" organske materije u zemljištu. Međutim, za povećanje prinosa glavnog useva leguminoze kao međuusevi su znatno pouzdanije u poređenju sa ugarom ili nekim drugim međuusevom. Svakako, izbor i primena međuuseva treba da budu zasnovani na ravnoteži između profitabilnosti farme i održivosti životne sredine. U rejonima sa razvijenom stočarskom proizvodnjom, međuusevi mogu biti va-

žan izvor kvalitetne krme ili se mogu upotrebiti kao malč. U tom slučaju i u plodoredu sa sudanskom travom, međuusevi mogu da ispunе sledeće zahteve: niski troškovi proizvodnje, prinos i kvalitet, usvajanje azota tokom perioda kritičnog za ispiranje i bez negativnog uticaja na naredne useve.

Pored navedenog istraživanja, sprovedeno je još jedno u cilju utvrđivanja uticaja međuuseva na glavni usev. Cilj ovog ogleda bio je da se analizira efekat različitih ozimih međuuseva pre i posle zaoravanja na dinamiku mineralnog azota u zemljištu, kao i na prinos i komponente prinosa silažnog kukuruza. Eksperiment je sproveden od 2011. do 2013. godine i uključio je čiste useve grahorice i tritikalea, njihovu smešu, zatim tretmane sa primenom mineralnog đubriva ( $40 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $N_1$ ) i  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $N_2$ )), kao i kontrolni tretman bez đubrenja i međuuseva (Slika 3.1). Ista metodologija primenjena je na tri lokaliteta na severu Srbije, odnosno u Somboru, Senti i Novom Sadu. Pre košenja i zaoravanja međuuseva (Slika 3.2), izvršena je analiza zemljišta koja je pokazala da je sadržaj mineralnog azota bio veći na tretmanima bez međuuseva, tj. na kontrolnoj varijanti i tretmanima sa đubrenjem. Ovo je svakako rezultat nepostojanja biljnog pokrivača koji bi usvojio azot i vodu iz zemljišta. Ukoliko se posmatraju tretmani sa međuusevima, uočava se da je najmanji sadržaj azota bio na tretmanu sa tritikaleom, s obzirom na to da je na ostala dva postojala leguminoza koja obezbeđuje azot putem simbioze sa bakterijama iz roda *Rhizobium*.

U ovom ispitivanju, na rast i prinos silažnog kukuruza izrazito su uticali niska količina padavina i visoke temperature vazduha u kasno proleće i tokom leta, kao i niža vlažnost zemljišta na tretmanima sa međuusevima. Pre setve silažnog kukuruza, vlažnost zemljišta bila je i do 6% niža u odnosu na tretmane bez međuuseva (Slika 3.3).



**Slika 3.1.** Različiti ozimi međuusevi (Vujić S., 2013)

**Slika 3.2.** Malčiranje i zaoravanje međuuseva  
(Ćupina B., 2012)



Osim smanjene vlažnosti, na ovim tretmanima registrovano je i znatno smanjenje prinosa kukuruza i usvajanja azota (Slika 3.4). Nakon košenja kukuruza u septembru zabeleženo je povećanje sadržaja azota na svim tretmanima, s tim što je ono bilo izraženije na parcelama gde je biljna masa zaorana. Ovo je rezultat izvesne količine vode koja je bila uneta biljnim materijalom i koja je ipak uslovila veću mikrobiološku aktivnost i razgradnju žetvenih ostataka.

Međutim, zbog nedostatka padavina, biljke kukuruza nisu bile u mogućnosti da usvoje azot, niti je postojala mogućnost da on bude ispran u dublje slojeve. Tretman sa smešom grahorice i tritikalea imao je najveće povećanje sadržaja azota (preko 70 kg ha<sup>-1</sup>) usled boljeg C:N odnosa u zaoranoj biomasi. Kao i u prethodnom istraži-



**Slika 3.3.** Uticaj međuuseva nakon zaoravanja na sadržaj vlage u zemljištu (parcele na kojima su bili međuusevi su svetlo braon) (Ćupina B., 2012)

vanju, najniži sadržaj mineralnog azota bio je na tretmanu sa žitarićom koja je intenzivnije usvajala azot. Na tom tretmanu prinos kukuruza bio je najniži. Na osnovu iznetih primera može se zaključiti, da međuusevi imaju pozitivan uticaj na naredni (glavni) usev. Međutim, u aridnim i umerenim oblastima bez navodnjavanja, sa suvim i toplim letom i hladnom zimom, korišćenje međuuseva može da ograniči prinos glavnog useva.

### 3.1.2. Međuusevi u zasnivanju višegodišnjih leguminoza

Višegodišnje leguminoze, poput lucerke i crvene deteline, predstavljaju jedan od najvažnijih izvora krme. Ove vrste mogu biti zasnovane ili u kasno leto, odnosno jesen ili u proleće. U umerenom regionu, kasno letnja ili rano jesenja setva su često praćene visokim temperaturama i nedostatkom vlage koji dovode do problema u za-



**Slika 3.4.** Štetan uticaj međuuseva (uzrokovani smanjenjem vlažnosti zemljišta) na glavni usev (silažni kukuruz) (Ćupina B., 2012)

snivanju. S druge strane, usev zasnovan u proleće često ostvaruje nizak prinos u godini zasnivanja, što se delimično može tumačiti uticajem korova koji u ovom periodu predstavljaju ozbiljan problem. Poteškoće u postizanju ekonomski opravdanog prinosa u godini zasnivanja, naterao je farmere da zasnivaju ove useve sa međuusevom – pokrovnim usevom. U ovom slučaju međuusevi služe da pokriju zemljište između redova višegodišnjih leguminoza i time onemoguće da se korovi razviju, ali i da povećaju prinos prvog otkosa. Zasnivanje višegodišnjih leguminoza sa pokrovnim usevom izvršeno je korišćenjem združene setve kao tehnike gajenja. Združena setva je istovremeno gajenje dve ili više vrsta na jednom polju, pri čemu usevi teže da koriste resurse na mnogo komplementarniji način i efikasnije u odnosu na čiste useve. Mechanizam smanjenja korova zasniva se na tome da jedan usev u smeši stvara uslove kojima se redukuje biomasa korova, što će omogućiti drugoj komponenti da se normalno razvija. Upravo se ovaj mehanizam često primenjuje u zasnivanju višegodišnjih leguminoza. Svakako, mora se naglasiti da pokrovni usev ne sme biti konkurentan podusevu kako time ne bi oštetio podusev.

U zemljama Zapadnog Balkana, pa i šire, najčešće se u združenoj setvi gaje višegodišnje leguminoze sa strnim žitama, primarno ovsem i ječmom. Ova kombinacija se primenjuje i pored toga što strna žita imaju brz početni porast i time su veoma konkurentne u odnosu na leguminoze. Ovakvi pokrovni usevi takmiče se sa krovima, ali i sa podusevom smanjujući njegov prinos, dok u pojedinim slučajevima redukuju postojanost useva. Kako bi se omogućili adekvatni konkurentski odnosi između gajenih vrsta, preporučuje se da se umanji setvena norma pokrovnog useva. Jednogodišnje leguminoze, kao što su stočni grašak i grahorice su pogodni usevi za združenu setvu sa višegodišnjim leguminozama, s obzirom na to da se kosidba može obaviti brzo i sam usev nije toliko gust da bi izazavao zasenčenost poduseva. Zbog svoje kratke vegetacije jednogodišnje leguminoze se mogu kositi u vreme prvog otkosa poduseva. Sorte stočnog graška sa redukovanim liskama i skraćenog staba su prilagodljivije združenoj setvi, imajući u vidu da je prodor sunčeve svetlosti znatno intenzivniji, pružajući time bolje uslove za podusev. Pored toga, uključivanjem graška i grahorice u smešu obezbeđuje se povećanje kvaliteta i svarljivosti krme, odnosno utiče se na povećanje sadržaja sirovih protein i smanjenje neutralnih (NDF) i kiselih (ADF) deterdžentskih vlakana.

### 3.1.3. Zaključak

Međuusevi mogu uticati na različite načine na prinos narednog (glavnog) useva, kao i na sadržaj azota koji ostaje u zemljištu. U aridnim oblastima u godinama sa ekstremno malom količinom padavina, uključivanje međuuseva u sistem proizvodnje prouzroko-

valo je smanjenje raspoloživosti vode za naredni usev i smanjen prinos glavnog useva, sa istovremeno nedovoljnim oslobađanjem azota u toku vegetacionog perioda. U prosečnoj godini, međuusevi mogu da imaju uticaj i na naredni usev i na očuvanje azota. Da bi se osigurala proizvodnja u ovakvim sistemima, preporučuje se prima-na navodnjavanja u proizvodnji silažnog kukuruza. U suprotnom, velika variranja u vremenskim uslovima sa nepovoljnim rasporedom i količinom padavina u kratkom periodu vegetacije mogu učiniti da proizvodnja sa međuusevima bude veoma rizična. Međutim, iako uključivanje ozimih međuuseva zavisi od agroekoloških uslova, ona predstavlja korisnu praksu u plodoredu. Pojedine prednosti međuuseva imaju značaj u dužem vremenskom periodu, imajući u vidu da poboljšanje kvaliteta zemljišta, npr. povećanje sadržaja organske materije, zahteva određeno vreme. Primena smeša, naročito leguminoza i žitarica je veoma efikasan način korišćenja ozimih međuuseva, s obzirom na to da se veoma dobro nadopunjaju - žitarice imaju dobar porast u hladnjem periodu, a leguminoze dobijaju na značaju u proleće kada azot postaje ograničavajući faktor.

Kao opšti zaključak treba navesti da je u umerenom pojasu važno uneti promene u sistem proizvodnje, kako bi se ispunili svi zahtevi za očuvanjem životne sredine za dugotrajniji razvoj proizvodnje.

### 3.2. Združena setva zasnovana na korišćenju leguminoza

Združena setva predstavlja istovremeno gajenje dve ili više vrsta na jednom polju, koje se ne moraju sejati i kositи istovremeno. Ovaj način proizvodnje može se smatrati kao praktična primena ekoloških principa baziranih na biodiverzitetu, interakciji između biljaka i drugim prirodnim mehanizmima. Komponente združene setve teže da koriste prirodne resurse na komplementarniji način i mnogo efikasnije u odnosu na čiste useve. Međutim, da bi se ovo postiglo mora se ispuniti važan koncept združene setve. Ovaj koncept podrazumeva da kada se dve ili više vrsta gaje u združenoj setvi, svaka komponenta mora imati dovoljno prostora da se razvija, ali uz postojanje minimalne konkurenkcije između njih. Ovo uključuje pravilno prostorno uređenje, gustinu useva, odabir vrsta odgovarajuće morfologije i vremena sazrevanja.

Sama združena setva može se primeniti na nekoliko načina - smeša, setva u redove, u trake i setva u postojeći usev. Smeša useva predstavlja istovremeno gajenje dva ili više useva bez jasnog rasporeda redova, dok je pri setvi u redove jedno ili više vrsta posejano u svakom redu. Setva u trake predstavlja setvu vrsta u naizmenične trake koje su dovoljno široke da omoguće nezavisno kultivisanje, ali i dovoljno uzane da se ostvari interakcija između gajenih biljaka. Poslednji način je setva u postojeći usev, koji podrazumeva gajenje

dve ili više vrsta istovremeno tokom dela vegetacije svake komponente. Naime, kada već posejani usev dostigne reproduktivnu fazu usejava se drugi i na taj način deluju jedan na drugi na istoj parceli.

Osim prostornog rasporeda, prednosti združene setve zavise i od izbora vrste. Stoga, sistemi gajenja bazirani na pažljivom odabiru vrsta koje će se gajiti u smeši obezbeđuju brojne prednosti, kao što su povećanje prinosa, kontrola korova, smanjena erozija zemljišta, smanjena brojnost štetočina i bolesti u različitim uslovima uspevanja. Ovaj sistem je, takođe, veoma efikasan način suzbijanja korova i to uglavnom kroz konkurenčiju za uslove gajenja, ali isto tako i ekološki i ekonomski način, jer se smanjuje upotreba pesticida i njihov negativan uticaj na životnu sredinu.

Jedan od najčešće korišćenih alata za procenu prednosti združene setve je i parameter koji se naziva efikasnost korišćenja zemljišta (Land Equivalent Ratio - LER). Ovaj parameter omogućava utvrđivanje prednosti ostvarenog prinosa gajenih vrsta ili sorti u združenoj setvi u odnosu na ostvareni prinos u čistoj setvi. Kada je LER veći od 1 to ukazuje da je prinos useva ostavljen u združenoj setvi veći u odnosu na onaj koji ostvaruje u čistoj setvi. S druge strane, kada je LER manji od 1 to znači da su čisti usevi produktivniji u odnosu na združenu setvu. Na taj način, pri pažljivom odabiru i dizajnu združene setve mogu se ostvariti brojne prednosti u različitim uslovima uspevanja, u odnosu na intenzivne sisteme koji su bazirani na setvi čistih useva.

Uprkos brojnim prednostima koje pokazuje združena setva, ona je u poslednjih pedeset godina skoro potpuno iščezla iz mnogih gazdinstava usled intenzifikacije poljoprivrede (razvoja oplemenjivanja biljaka, primene mehanizacije, đubriva i pesticida). Na pašnjacima u zemljama Evropske Unije još uvek se koristi smeša deteline i trave, ali na oraničnim površinama namenjenim za proizvodnju hrane za ishranu ljudi i stoke združena setva nije uobičajena praksa. Ponovno uvođenje združene setve u većoj meri u evropsku poljoprivredu ne bi trebalo shvatiti kao vraćanje na staru metodologiju, već treba uzeti u obzir korisnost ove stare i održive prakse koja se može primeniti u novoj i tehnološki orijentisanoj poljoprivredi.

U Pokrajini Vojvodini postoje inicijative za većim uključivanjem sistema združene setve zasnovanim na korišćenju leguminoza. Leguminoze (Fabaceae Lindl., syn. Leguminosae Juss.) predstavljaju jednu od najvećih biljnih familija u svetu, koje uključuju jednogodišnje i višegodišnje zeljaste biljke, grmlje i drveće, odnosno brojne vrste prvenstveno iz umerenog i tropskog pojasa. Simbioza koju ove vrste ostvaruju sa bakterijama iz roda *Rhizobium* je izuzetno važna i sa ekološkog i agronomskog aspekta, imajući u vidu da fiksiraju veliku količinu atmosferskog azota. Na taj način, biološka fiksacija azota predstavlja značajan izvor azota na poljoprivrednim zemljištima na kojima leguminoze obnavljaju i održavaju plodnost zemljišta. Pored toga, zahvaljujući biološkoj azotofiksaciji, leguminoze su

značajne i u remedijaciji deponija, degradiranih agroekosistema i svakako u proizvodnji koja zahteva primenu azotnih mineralnih đubriva.

Doprinos leguminoza u sistemima združene setve je potvrđen i prihvaćen. Tako, na primer, združena setva leguminoze i strnine se smatra bitnim u proizvodnji sa malim unosom azota ili u organskoj proizvodnji u kojoj je azot često ograničavajući izvor za rast biljaka. Pored navedenog, pokazano je da združena setva poboljšava konzervaciju zemljišta, efikasan je način u kontroli korova, smanjuje brojnost štetočina i bolesti i pruža bolju stabilnost useva. Kada su leguminoze u pitanju, postoji niz prednosti u sistemu gajenja: smanjenje efekta staklene baštne i degradacije životne sredine, poboljšanje fizičkih osobina zemljišta i vodnog bilansa, efikanost korišćenja plodoreda i povećanje biodiverziteta, povećanje sadržaja ugljenika u zemljištu, manja potrošnja energije itd.

### 3.2.1. Zasnivanje višegodišnjih leguminoza u združenoj setvi

U nekoliko istraživanja sprovedenih u Srbiji, združena setva primenjena je u zasnivanju višegodišnjih leguminoza. Višegodišnje krmne leguminoze mogu se zasnavati ili u leto/jesen ili u proleće. S obzirom na to da imaju sitno seme, ove vrste se seju veoma plitko i posebno su osjetljive na sušu. Usev posejan u proleće često ima niži prinos u godini zasnivanja u odnosu na usev posejan u jesen, što je dobrom delom rezultat uticaja korova koji su dominantniji u proleće. Navedene poteškoće u ostvarivanju ekonomski opravdanog prinosa u godini zasnivanja višegodišnjih krmnih leguminoza navelo je farmere da ih zasnuju sa još nekim usevom. Združena setva višegodišnje leguminoze i odgovarajućeg useva je efikasna metoda u poljoprivrednoj proizvodnji, a posebno u proizvodnji krme, jer pruža mogućnost ostvarivanja stabilnih i visokih prinsosa, veću konkureniju prema korovima, veći sadržaj proteina i bolju iskorišćenost zemljišta.

Višegodišnje leguminoze su tradicionalno zasnavane u združenoj setvi sa strninama, prvenstveno ovsem i jećmom, iako su strnine brzorastuće vrste i samim tim veoma konkurentne u odnosu na leguminoze. U ovakvoj združenoj setvi nadusevi konkurišu sa podusevom za prirodnim resursima i time smanjuju prinos leguminoze, a u pojedinim slučajevima i njihovu postojanost. Novija istraživanja pokazuju da jednogodišnje leguminoze, poput graška i grahorice, su pogodne za zasnivanjem sa višegodišnjim krmnim leguminozama, zato što se mogu lako kosit i zato što njihov usev nije toliko gust da izaziva zasjenjenost poduseva. Grašak i grahorice imaju i kratak period vegetacije, pa se mogu kosit zajedno sa prvim otkosom višegodišnje leguminoze u godini zasnivanja i pri tome značajno povećavajući prinos sirovih proteina. U ovim istraživanjima korišćene su sorte graška različite morfologije, prvenstveno u pogledu dužine

stable i tipa lista. Sorte normalnog tipa lista sa redukovanim liskama omogućavaju bolji prodor svetlosti u usev u odnosu na sorte normalnog tipa lista sa krupnim liskama. Pored ovih sorti, postoji značajno inetresovanje za sortama afila tipa lista kod kojih su liske preobražene u vitice. Sorte afila tipa lista sa skraćenim stablom bi mogле biti bolje prilagođene združenoj setvi sa višegodišnjim leguminozama, s obzirom na to da je prodor svetlosti intenzivniji, stvarajući bolje uslove za početni razvoj leguminoze. Pored toga, uključivanjem graška u združenu setvu povećava se kvalitet i svarljivost krme, odnosno povećava se sadržaj sirovih proteina, a smanjuje sadržaj i neutralnih (NDF) i kiselih (ADF) deterdžentskih vlakana.

Na eksperimentalnom polju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, sprovedeno je nekoliko istraživanja sa zasnivanjem lucerke i crvene deteline sa različitim sortama stočnog graška. Generalno je ustanovljeno da sorte graška pozitivno utiču na zasnivanje višegodišnjih leguminoza. Prateći uspeh ostvaren u zasnivanju navedenih leguminoza, postavljena je serija ogleda sa zasnivanjem esparzete sa dve sorte graška, i to sa normalnim i afila tipom lista (Slika 3,5), koje su posejane u tri gustine - 30, 60 i 90 biljaka  $m^{-2}$ . Pored toga, u ogledu je korišćen i čist usev esparzete, kao i združena setva esparzete i ovsu koji predstavlja tradicionalan način združivanja useva (Slika 3,6). Na osnovu petogodišnjih rezultata pokazano je da je najmanji prosečan prinos suve materije u prvom otkosu u godini zasnivanja imao čist usev esparzete ( $2,1 \text{ t ha}^{-1}$ ), a da je značajno veći prinos ostvaren u kombinaciji sa ovsem ( $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ ). U pogledu korišćenih sorti, veći prosečan prinos suve materije ostvaren je sa sortom afila tipa lista ( $5,2 \text{ t ha}^{-1}$ ), u poređenju sa sortom normalnog tipa ( $4,9 \text{ t ha}^{-1}$ ), što je pre svega rezultat gubitka donjih listova kod ove sorte. Kada se posmatraju gustine i sorte graška u usevu esparzete, uočava se da je najveći prosečan prinos suve materije u toku petogodišnjeg istraživanja imala združena setva esparzete i 90 biljaka  $m^{-2}$  graška afila tipa lista ( $5,9 \text{ t ha}^{-1}$ ). Međutim, i pored ovakvih rezultata, preporuka je da se napravi kompromis između većih setvenih normi graška kojima se ostvaruje visok prinos, ali tada grašak deluje suviše agresivno na višegodišnju leguminozu, i nižih setvenih normi, pri kojima se ostvaruje znatno manji prinos i mogućnost suzbijanja korova. Imajući u vidu navedeno, preporučuje se da se setvena norma naduseva umanji za polovicu i da se košenje graška za krmu obavi ranije, kako bi se na taj način izbegla prevelika konkurencija naduseva i višegodišnje leguminoze. Da je dobar odnos naduseva i leguminoze veoma važan pokazuje i podatak da je prinos esparzete u prvom otkosu varirao od  $0,5 \text{ t ha}^{-1}$  sa 90 biljaka graška  $m^{-2}$  afila tipa lista, do  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$  sa 30 biljaka graška  $m^{-2}$  normalnog tipa lista.



**Slika 3.5.** Združena setva esparzete i graška normalnog tipa lista (levo) i združena setva esparzete i graška afila tipa lista (desno) (Vujić S., 2013)

U spomenutom istraživanju najveći prinos suve materije uglavnom je ostvaren sa ovsem. Međutim, ostvareni prinos nije jedini kriterijum u odlučivanju o podobnosti graška za gajenje u združenoj setvi, jer je u ishrani preživara neophodno uzeti u obzir i parametre svarljivosti krme. Naime, utvrđeno je da su koeficijenti svarljivosti crvene deteline, graška i ovsa u vreme košenja iznosili 71%, 79% i 54%. Pored toga, grašak ima više povoljnijih morfoloških i bioloških karakteristika, kojima mogu da se nadomeste izvesni negativni uticaji naduseva u godini zasnivanja i u prvoj godini punog iskorišćavanja. U istraživanjima, najveći udeo korova zabeležen je u čistom usevu, dok je postojala razlika u brojnosti korova između primenjenih sorti graška. Udeo korova i višegodišnje leguminoze opadaju na isti način kako se povećava broj biljaka graška u smeši. Do smanjenja udela korova može doći i primenom ovsa i to do 50% u poređenju sa čistim usevom višegodišnjih leguminoza.



**Slika 3.6.** Kontrolni tretmani - čist usev esparzete (levo) i združena setva esparzete i ovsa (desno)

Petogodišnji rezultati LER vrednosti suve materije bili su značajno veći u združenoj setvi sa graškom (1,03), nego u združenoj setvi sa ovsem (0,80) i na taj način pokazali da je ovaj sistem ekonomski opravдан. S druge strane, prosečne LER vrednosti suve materije za sve tri gustine ispitivanih sorti pokazale su da je LER vrednost združene setve esparzete i graška afila tipa lista (1,13) bila značajno veća u odnosu na setvu sa graškom normalnog tipa lista (0,92). Ovi rezultati pokazali su da je sorta graška afila tipa lista

pogodnija za proizvodnju krme u združenoj setvi sa višegodišnjim leguminozama, u poređenju sa sortom normalnog tipa lista.

### 3.2.2. Združena setva jednogodišnjih leguminoza sa drugim jednogodišnjim vrstama

U oblastima umerenog i vlažnog klimata jednogodišnje leguminoze se mogu gajiti u združenoj setvi sa kupusnjačama (*Brassicaceae* Juss.). Kupusnjače, poput uljane repice su znatno bolje da se seju u združenoj setvi sa graškom u odnosu na npr. ječam, jer je efikasnost azotofiksacije leguminoze bolja. U smeši leguminoza i kupusnjača, kao što je smeša boba i uljane repice i obične grahorice i stočnog kelja korenov sistem ovih komponenti je komplementaran čime se smanjuje konkurentnost između njih. Ova komplementarnost korenovih sistema je važnija za ispoljavanje prednosti združene setve, u odnosu na transfer azota između leguminoze i kupusnjača. Uključivanjem kupusnjača, združena setva postaje kompleksnija, gde pored ove grupe biljaka ona može da bude sastavljena i od jednogodišnjih leguminoza i žitarica, kao što su uljana repica, grašak i pšenica. Ovakve smeše su mnogo efikasnije u suzbijanju korova, a pri tome ostvaruju veće prinose i krme i zrna, što je potvrđeno LER vrednostima većim od 1,2. Združena setva ozimih i jarih jednogodišnjih leguminoza, kao što su grašak, grahorice, sastrica sa kupusnjačama, poput uljane repice, stočnog kelja, bele slaćice, pokazuju LER vrednosti veće od 1 i u prinosu suve materije i sirovih proteina. Izvesne jednogodišnje leguminoze iz tropskog rejona sa krupnim listovima kao što je lablab, ostvaruju značajno povećanje prinos-a i povoljne LER vrednosti kada se gaje u združenoj setvi sa lisnatim povrćem kao što je zelena salata. Istraživanja sprovedena na jugu Francuske sa združenom setvom soje i suncokreta potvrđuju da je ta kombinacija povoljna u sistemima sa minimalnim unosom azota.

### 3.2.3. Združena setva jednogodišnjih leguminoza

U dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da je združivanje dve jednogodišnje leguminoze korisno, makar za jednu komponentu u smeši. Tako na primer, bela lupina može da koristi fosfor u obliku koji soja ne može. Slično tome, ako se združena setva soje i kajanusa kombinuje sa podrivanjem, uticaj suše se može ublažiti u određenom procentu. Većina leguminoza oslobađa ugljenu kiseline koje oslobođaju fosfatne jone iz kalcijum ili gvožđe fosfata, koji bi u suprotnom ostale nedostupne biljkama i nepokretne u zemljištu. Ovaj proces je u određenoj meri samoregulativan, odnosno što je manja koncentracija fosfora u zemljištu, više kiseline se oslobođi. Ovaj princip se može primeniti i u smeši dve leguminoze, u kojoj je jedna komponenta efikasnija u pogledu oslobođanja fosfora od dru-

ge. S druge strane, u smeši soje i kajanusa može postojati konkuren-cija za raspoloživim azotom koji dovodi do depresije u porastu soje.

U toku poslednjih deset godina Institut za ratarstvo i povrтар-stvo, Novi Sad i Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu, izveli su nekoliko istraživanja sa ciljem da utvrde mogućnost zdru-žene setve dve jednogodišnje leguminoze za proizvodnju krme i zrna. Primarni cilj ovih kompleksnih istraživanja bio je da se utvrdi da li i koja kombinacija ostvaruje povećanje prinosa krme i zrna, dok je sledeći cilj bio usmeren ka analizi poboljšanja kvaliteta krme i zrna, toleranciji na abiotički i biotički stres, kao i druge agronom-ske i fiziološke aspekte. LER je određen za svaku kombinaciju kao pokazatelj pouzdanosti i profitabilnosti. Jedan od glavnih zaključa-ka preliminarnih istraživanja brojnih populacija i sorti su: vrste sa dugim i polegljivim stablom (npr. grahorice) lako kontrolišu korove u čistoj setvi, ali pate od gubitka krme; usevi čvrstog i uspravnog stabla (npr. bob) imaju izraziti problem razvoja korova u čistoj setvi i zahtevaju hemijsku zaštitu; združena setva jednogodišnjih legumi-noza obezbeđuje značajne prednosti za jednu ili obe komponente u smeši.

Rezultati ovih ispitivanja doveli su do uspostavljanja četiri os-novna principa od suštinskog značaja za uspešnu združenu setvu dve jednogodišnje krmne leguminoze:

- isto vreme setve;
- sličan način porasta;
- približno vreme sazrevanja za košenje (za proizvodnju krme) ili žetvu (za proizvodnju zrna); i
- jedna komponenta ima uspravno stablo (noseći usev), a druga je sklona poleganju (nošeni usev).

Prateći ove glavne principe, daljom analizom dobijene su tri glavne grupe jednogodišnjih leguminoza:

- ozime i jare "visoke" jednogodišnje leguminoze hladnog podneblja;
- ozime i jare "niske" jednogodišnje leguminoze hladnog podneblja; i
- rano i kasnóstasavajuće jednogodišnje leguminoze toplog podneblja.

"Visoke" jednogodišnje leguminoze karakterišu se dugim sta-blom. U okviru i ozime i jare grupe biljaka, bob i bela lupina pre-stavljaju noseće useve, dok su nošeni usevi grašak, obična grahorica, panonska, maljava grahorica i sastrica. Jednogodišnje leguminoze uspravnog stabla, bob ili bela lupina, uglavnom se seju širokoredo i time pružaju povoljne uslove za razvoj korova. U suprotnom, gra-šak, većina grahorica, sastrica, suzbijaju korove, ali izuzetno su sklone poleganju, čak i u povoljnim fazama za košenje sa ozbiljnim gubicima donjih listova i sa smanjenim i manje kvalitetnim prin-

som krme i zrna. Združena setva ovih "visokih" leguminoza hladnog podneblja može biti korisna za obe vrste u smeši.

Jednogodišnje "niske" krmne leguminoze imaju kratko stablo i često su ograničenog porasta. Ozimoj grupi pripada grašak afila tipa lista kao noseći usev, dok grašak normalnog tipa lista, urov i sočivo predstavljaju nošene useve. Kao jare vrste izdvajaju se grašak afila tipa lista i piskavica kao noseći usevi, dok grašak normalnog tipa lista, sočivo, naut i buretasta lucerka (*Medicago truncatula* Gaertn) imaju ulogu nošenih useva. Osnovni principi primenjuju se i u ovoj združenoj setvi. Međutim, od spomenutih vrsta, čist usev piskavice može u određenoj meri da bude oštećen od strane veće invazije korova, bez obzira na to što deluje kao biofumigant prema većini korovskih vrsta hladnog područja. Piskavica može da bude potporni usev za npr. sočivo, odnosno vrstu koja ima kraće i poleglijivo stablo i kod koje dolazi do gubitka donjih listova. Ovakva kombinacija u kojoj je uključena jednogodišnja vrsta sa bioherbicidnim dejstvom ima prvenstveno za cilj da se bori protiv korova zajedno sa drugim jednogodišnjim usevom u združenoj setvi, ali i da se očuva njegova fotosintetička aktivnost i ostvari odgovarajući prinos.

Kada se grašak afila i normalnog tipa lista gaje u združenoj setvi oni mogu imati koristi jedan od drugog: afila tip graška pruža bolju stabilnost usevu, dok grašak normalnog tipa ispunjava prostor u usevu i doprinosi boljem iskorišćavanju svetlosti i, istovremeno, redukuje rast korova. Združena setva ove dve vrste je izuzetno povoljna, imajući u vidu da grašak afila tipa lista ima izrazito poboljšanu stabilnost useva i omogućava bolji prodror svetlosti kroz ceo usev, ali isto tako omogućava i povoljne uslove za razvoj korova, dok sa druge strane grašak normalnog tipa lista znatno bolje suzbija korove, ali je sklon poleganju u ranim fazama razvoja te postoji opasnost od gubitka donjih listova i razvoja bolesti.

U ogledima sa jednogodišnjim krmnim leguminozama toplog podneblja primenjena je samo jara setva. Kombinacije koje su analizirane uključile su sorte soje 00 grupe zrenja kao noseće useve, dok je nekoliko vrsta iz roda *Vigna* kao što su zelena vigna, azuki pasulj i crna vigna bile nošeni usevi. Sledeću kombinaciju činile su sorte soje kasne grupe zrenja (I grupa zrenja) i golubijeg graška (kajanusa) kao nosećih useva i crnookica i lablab kao nošeni usevi. Utvrđeno je da usev soje bez obzira na grupu zrenja obezbeđuje povoljne uslove za brz razvoj korova i da zahteva intenzivnu mehaničku ili hemijsku zaštitu od korova. S druge strane, vrste roda *Vigna* (prvenstveno crnookica i lablab) su veoma sklone poleganju formirajući gust pokrivač od stabla i listova i na taj način skoro eliminišu korovske vrste, ali istovremeno mogu da izgube donje listove i izazovu ozbiljne probleme pri košenju. Međutim, u združenoj setvi biljke soje mogu da nose stabla crnookice ili lablaba i tako očuvaju njihove listove, a da pri tome imaju koristi u značajnom smanjenju korova.

Treba naglasiti da je za uspeh združene setve najpovoljnije umanjiti setvenu normu obe komponente za polovinu (50:50%) i ova mera se obično primenjuje kako bi se izbegli nepotrebni i neopravdani troškovi proizvodnje.

## Združena setva "visokih" jednogodišnjih leguminoza hladnog podneblja

U cilju ispitivanja združene setve u okviru ove grupe biljaka, postavljena je serija ogleda od jeseni 2008. do proleća 2013. godine na zemljištu tipa beskarbonatni černozem. Istraživanja su uključila ozime vrste - bob, belu lupinu, grašak, običnu, maljavu i panonsku grahoricu, sastricu i jare vrste - bob, belu lupinu, grašak, običnu i narbonsku grahoricu, sastricu i crvenu sastricu (*Lathyrus cicera L.*). Ove smeše pokazale su visok potencijal za proizvodnju krme i zrna, koje su bile ekonomski opravdane.

Od svih ispitivanih ozimih vrsta iz ove grupe leguminoza najveći prinos suve materije imali su čisti usevi maljave grahorice i graška ( $11,3 \text{ t ha}^{-1}$  i  $10,8 \text{ t ha}^{-1}$ ). Jari grašak, takođe, je pokazao visok potencijal za proizvodnju krme sa prinosom suve materije od  $10,4 \text{ t ha}^{-1}$ . S druge strane, najmanji prinos iz grupe ozimih vrsta imao je čist usev panonske grahorice ( $7,3 \text{ t ha}^{-1}$ ), a iz grupe jarih vrsta čist usev narbonske grahorice ( $7,7 \text{ t ha}^{-1}$ ). Združena setva boba sa graškom i boba sa običnom grahoricom ostvarila je najveći prinos suve materije u oba roka setve, koji se kretao od  $11,2 \text{ t ha}^{-1}$  do  $12,5 \text{ t ha}^{-1}$ . U združenoj setvi boba i bele lupine sa maljavom grahoricom ili sastricom noseći usevi imali su mali udeo u prinosu suve materije zbog veoma bujne nadzemne mase nosećih useva. Na osnovu LER vrednosti, ekonomска opravdanost zabeležena je u smeši ozimih i jarih formi boba i bele lupine sa graškom i grahoricama, odnosno u smešama panonske grahorice i bele lupine i narbonske grahorice sa bobom i belom lupinom (Slika 3.7).

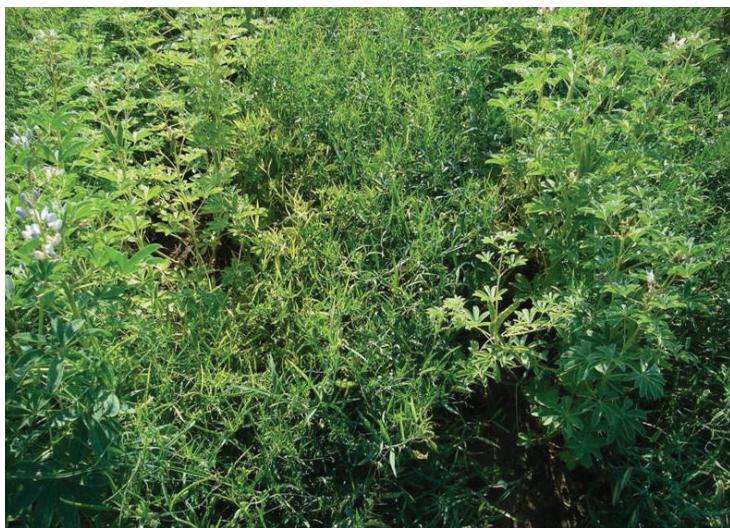
Najveći prinos zrna jarih "visokih" jednogodišnjih leguminoza sejanih u čistoj setvi imale su bela lupina, bob, sastrica i grašak ( $4,6 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $4,2 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ , i  $3,9 \text{ t ha}^{-1}$ ). Vrste poput narbonske grahorice i crvene sastrice uglavnom imaju mnogo manji prinos zrna i to u velikoj meri zbog nedovoljnog rada na oplemenjivanju i stvaranju sorti posebno namenjenih za proizvodnju zrna. Prosečan petogodišnji prinos zrna kretao se od  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  u združenoj setvi bele lupine sa običnom grahoricom do  $5,2 \text{ t ha}^{-1}$  u združenoj setvi bele lupine i sastrice. U združenoj setvi sa narbonskom grahoricom, bob i bela lupina bile su dominantne i najproduktivnije. Posmatrajući nošene useve, sastrica je imala najveći udeo u prinosu zrna u smeši ( $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ ), dok je najmanji ostvarila narbonska grahorica ( $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ). Ovo je prvenstveno posledica toga što sastrica formira bujnu nadzemnu masu, veliki broj mahuna i zrna po biljci. U pogledu LER indeksa, najveću ekonomsku opravdanost pokazala je združena setva boba sa

**Slika 3.7.** Združena setva ozimog boba i panonske grahorice



običnom i narbonskom grahoricom (obe 1,22), odnosno bele lupine sa sastricom (1,23) (Slika 3.8).

**Slika 3.8.** Združena setva jare bele lupine i jare sastrice



## Združena setva "niskih" jednogodišnjih leguminoza hladnog podneblja

U ogledima postavljenim na eksperimentalnom polju Instituta za ratarstvo i povrтарstvo, Rimski Šančevi, od jeseni 2008. do proleća 2013. godine ispitivane su brojne kombinacije združene setve različitih vrsta i sorti "niskih" jednogodišnjih leguminoza hladnog područja – grašak afila tipa lista, urov, sočivo, buretasta lucerka, grašak normalnog tipa lista i piskavica.

U ogledima sa sortama graška afila i normalnog tipa lista, prosečan prinos suve materije u čistim usevima se značajno razlikovao. Prinos se kretao od  $5,5 \text{ t ha}^{-1}$  kod jarog graška afila tipa lista u 2008-2009. godini, do  $8,0 \text{ t ha}^{-1}$  kod ozimog graška normalnog tipa lista u 2009-2010. godini. U 2008-2009. godini istraživanja prinos suve materije u ozimoj združenoj setvi ( $7,7 \text{ t ha}^{-1}$ ) bio je značajno veći u odnosu na jaru setvu ( $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ ). U narednoj 2009-2010. godini, takođe je ozima združena setva ( $8,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) bila znatno produktivnija u poređenju sa jarom ( $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ ). LER vrednosti pokazale su ekonomsku opravdanost i u kombinacijama ozime i jare setve, iako je ozima setva bila značajno produktivnija (1,13) u odnosu na jaru setvu (1,03).

U datom istraživanju, sorte afila tipa lista ostvarile su veći prinos u odnosu na sorte normalnog tipa lista. U svim kombinacijama združene setve, grašak afila tipa lista imao je značajno veći udeo u ukupnom prinosu zrna u poređenju sa graškom normalnog tipa lista. Udeo se kretao od  $3,2 \text{ t ha}^{-1}$  do  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$  u kombinaciji 75:25% i od  $2,3 \text{ t ha}^{-1}$  do  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  u kombinaciji 50:50%. Najveća ekomska opravdanost zabeležena je u kombinacijama sa 75% graška afila tipa lista i 25% graška normalnog tipa lista, sa LER vrednostima od 1,17, 1,27 i 1,14.

Petogodišnji prinos zrna ozimog graška afila tipa lista iznosio je  $5,2 \text{ t ha}^{-1}$  i time je potvrđen njegov produktivni potencijal. S druge strane, piskavica i buretasta lucerka imale su najniži prinos zrna od  $0,98 \text{ t ha}^{-1}$ , odnosno  $0,87 \text{ t ha}^{-1}$ . Kada je u pitanju združena setva, najniži prinos zrna ostvaren je u smeši jare piskavice i buretaste lucerke ( $0,9 \text{ t ha}^{-1}$ ), a najviši u smeši ozimog graška afila tipa lista i urova ( $4,9 \text{ t ha}^{-1}$ ). Međutim, značajne razlike su zabeležene u udelu komponenti u smeši. Najveći udeo u prinosu zrna u smešama je imao grašak afila tipa lista ( $2,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) sa urovom, dok je najmanji udeo imala buretasta lucerka ( $0,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) sa piskavicom. Sočivo sejano u jaroj setvi ostvarilo je dvostruko manji prinos zrna sa piskavicom, u odnosu na ozimo sočivo sejano u združenoj setvi sa graškom afila tipa lista, verovatno zbog alelopatskog dejstva piskavice. Najveća ekomska opravdanost sa LER vrednostima od 1,15 zabeležena je u smeši graška afila tipa lista sa urovom i piskavice i graška normalnog tipa lista.

## Združena setva jednogodišnjih leguminoza toplog podneblja

Čisti usevi i združena setva soje, golubijeg graška, zelene vigne i lablaba ispitivani su iz grupe toplojubivih jednogodišnjih leguminoza na prinos krme i zrna.

Prosečan prinos zelene krme u čistoj setvi kretao se između 14,5 t ha<sup>-1</sup> kod golubijeg graška i 42,0 t ha<sup>-1</sup> u usevu soje 00 grupe zrenja i 42,8 t ha<sup>-1</sup> u usevu soje I grupe zrenja. U smešama prinos zelene krme kretao se od 26,8 t ha<sup>-1</sup> u smeši lablaba i golubijeg graška do 37,9 t ha<sup>-1</sup> i 38,3 t ha<sup>-1</sup> u smeši zelene vigne i soje 00 grupe i lablaba i soje I grupe trenja. Prosečan prinos suve materije u čistoj setvi bio je od 4,4 t ha<sup>-1</sup> u usevu golubijeg graška do 12,2 t ha<sup>-1</sup> u usevu soje I grupe zrenja. U združenoj setvi prinos suve materije kretao se od 7,7 t ha<sup>-1</sup> u smeši lablaba i golubijeg graška do 10,9 t ha<sup>-1</sup> u smeši lablaba i soje I grupe zrenja. U istraživanjima je potvrđen potencijal zelene vigne za proizvodnju krme u umerenom klimatu Evrope. LER vrednosti za prinos zelene krme varirao je od 1,01 u smeši zelene vigne i soje 00 grupe do 1,12 u smeši lablaba i golubijeg graška. Najviša LER vrednost prinosa suve materije bila je 1,10 u smeši lablaba i golubijeg graška, a najniža u smeši soje 00 grupe i zelene vigne (0,99). Poslednja istraživanja sprovedena u umerenom klimatu poput Srbije, imala su za cilj gajenje toplojubivih jednogodišnjih leguminoza u združenoj setvi za proizvodnju zrna. Ova istraživanja pokazala su da su LER vrednosti bile iznad 1 i time ukazale na veliki potencijal za dalje analize.

### 3.2.4. Zaključci

Združena setva je obećavajuća i značajna proizvodna praksa posebno u održivoj i organskoj poljoprivredi. Za sada su obavljene prve procene potencijala u zasnivanju višegodišnjih sa jednogodišnjim leguminozama za proizvodnju krme i suzbijanje korova, kao i u primeni združene setve dve jednogodišnje leguminoze za proizvodnju krme i zrna. Pokazano je da višegodišnje leguminoze, kao što su lucerka, crvena detelina i esparzeta, ukoliko se zasnuju sa jednogodišnjom leguminozom kao što je grašak afila tipa lista, mogu ostvariti brojne prednosti – jednogodišnja leguminoza ima sposobnost da suzbija korove u mladom usevu višegodišnje leguminoze, a zajedno doprinose povećanju prinosa u prvom otkosu.

Utvrđeno je, takođe, da združena setva dve jednogodišnje leguminoze ostvaruje visoke i ekonomski opravdane prinose krme i zrna. Na kraju, dati su prvi nagoveštaji o mogućnostima rada na oplemenjivanju i stvaranju sorti jednogodišnjih leguminoza specijalno namenjenih za zasnivanje sa višegodišnjim leguminozama ili sa drugim jednogodišnjim leguminozama za proizvodnju krme i zrna. Dalja istraživanja trebalo bi da budu usmerena ka ispitivanju

različitih kombinacija za utvrđivanje parametara kvaliteta, sa akcentom na sadržaj sirovih proteina i pokazatelja svarljivosti.

Narodni naziv	Latinski naziv	Narodni naziv	Latinski naziv
Grašak	<i>Pisum sativum L.</i>	Bob	<i>Vicia faba L.</i>
Ovas	<i>Avena sativa L.</i>	Obična grahorica	<i>Vicia sativa L.</i>
Ječam	<i>Hordeum vulgare L.</i>	Panonska grahorica	<i>Vicia pannonica Crantz.</i>
Lucerka	<i>Medicago sativa L.</i>	Maljava grahorica	<i>Vicia villosa Roth</i>
Crvena detelina	<i>Trifolium pratense L.</i>	Urov	<i>Vicia ervilia (L.) Willd.</i>
Esparzeta	<i>Onobrychis viciifolia Scop.</i>	Sočivo	<i>Lens culinaris Medik.</i>
Uljana repica	<i>Brassica napus L.</i>	Piskavica	<i>Trigonella foenum-graecum L.</i>
Sastrica	<i>Lathyrus sativus L.</i>	Naut	<i>Cicer arietinum L.</i>
Stočni kelj	<i>Brassica oleracea L. var. viridis L.</i>	Buretasta lucerka	<i>Medicago truncatula Gaertn.</i>
Bela slačica	<i>Sinapis alba L.</i>	Zelena vigna	<i>Vigna radiata (L.) R. Wilczek</i>
Lablab	<i>Lablab purpureus (L.) Sweet</i>	Azuki pasulj	<i>Vigna angularis (Willd.) Ohwi &amp; H. Ohashi</i>
Zelena salata	<i>Lactuca sativa L.</i>	Crna vigna	<i>Vigna mungo (L.) Hepper</i>
Soja	<i>Glycine max (L.) Merr.</i>	Crnookica	<i>Vigna unguiculata (L.) Walp.</i>
Suncokret	<i>Helianthus annuus L.</i>	Narbonска grahorica	<i>Vicia narbonensis L.</i>
Bela lupina	<i>Lupinus albus L.</i>	Crvena sastrica	<i>Lathyrus cicera L.</i>
Golubiji grašak (kajanus)	<i>Cajanus cajan (L.) Millsp.</i>		

Tabela 3.1. Spisak vrsta i njihovi latinski nazivi po rasporedu navođenja u tekstu

## **deo 4 – Dodatak**

- 4.1. FAO – soils
- 4.2. EURISCO – Finding seeds for the future
- 4.3. CLIMWAT
- 4.4. CARPATCLIM – Climate of the Carpathian Region
- 4.5. Phenological databases

### **4. Pregled baza podataka korisnih za poljoprivrednu proizvodnju**

#### **4.1. FAO – soils**

FAO - Food and agriculture data  
<http://www.fao.org/faostat/en/#home>

FAOSTAT provides free access to food and agriculture data for over 245 countries and territories and covers all FAO regional groupings. Within a wide range of top topics like Production (crops, crops processed, live animals, etc.), Food Balance etc. the most relevant top topic is Agri-Environmental Indicators including- Soil-Water- Land Use- Land Cover

FAO SOILS PORTAL  
<http://www.fao.org/soils-portal/en/>  
Description of content

The FAO SOILS PORTAL is designed as a source of soil information and knowledge on the different components and aspects of soils and the value and importance of this vital and finite resource for policy makers, development planners, soil science experts, agricultural extension workers, academic/institutions and other practitioners.

**“Soil-Survey” is an excellent starting point for targeted recherche.**

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/en/>

Example – how to find soil information from AUSTRIA  
The following example shows the way from this portal to comprehensive soil information of Austria. The detailed steps are:

- Soil properties
- Soil classification
- Sampling and laboratory techniques
- **FOLLOW Soil Maps and Databases**

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/en/>

Legacy maps and databases refer to data and maps compiled using field surveys backed up by remote sensing and other environmental data, expert opinion and laboratory analysis. The bulk of soil information was collected in this way. The technological advances in remote sensing, computers, terrain analysis, geostatistics, GIS data integration, and instrumentation has made it possible to achieve unprecedented reliability and utility in digital soil maps. There is an increasing amount of digital data available on the Internet or as large datasets on CD-ROM, from straight digital conversions of paper maps and databases to direct-to-digital products. Unfortunately, there is also a lot of digital data that is not easily or freely available.

- FAO/UNESCO Soil Map of the World
- Harmonized world soil database v1.2
- Other Global Soil Maps and Databases
- **FOLLOW Regional and National Soil Maps and Databases**
- Soil Profile Databases
- FAO Soil Legacy Maps
- Soil Legacy Reports

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/regional-and-national-soil-maps-and-databases/en/>

Within the continental menu:

- Africa
- Asia
- Australia, New-Zealand and Pacific Isles
- **FOLLOW Europe**
- North America
- South, Central America and Caribbean
- Pluri-continental Coverage

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/regional-and-national-soil-maps-and-databases/en/>

Within the EUROPE menu:

Europe

- Contact National Soil Information Centers

Regional Soil Maps and Databases

- Soil Atlas of Europe
- The European Soil Database (ESDB)
- SOVEUR at ISRIC\_World Soil Centre

**National Soil Maps**

- European Digital Archive on Soil Maps of the World
- **FOLLOW Austria**
- France
- Germany
- Israel

- Lithuania
- Russia
- Switzerland
- United Kingdom

LANDED!

## Bodeninformationssystem BORIS! AUSTRIAN SOIL INFORMATION SYSTEM

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/boden/boris>  
BORIS description

The content on this site is only in GERMAN language; however there follows a translation into ENGLISH about the skills and retrieval methods of the system.

Soil information in Austria - centrally managed and available online. The data portal gives access to the BORIS data, data retrieval and data presentation tools. BORIS data is harmonized according to the data key "Bodenkunde" and compliant in accordance with the specifications of the INSPIRE guideline.

BORIS informs about the condition of Austrian soils. The Federal Environment Agency provides soil data of the federal states and the federal government in a comparable and quality-tested form online.

The data in BORIS are prepared using a code key specially developed by Boden experts ("Bodenkunde data key"). This allows testing for methodological differences in e.g. Survey and measurement methods and the assignment of data according to clearly defined schemes.

BORIS currently contains more than 1.5 million data records from more than 10,000 locations in Austria.

The data provide information about

- Locations and their characteristics (e.g. soil type, geology, water balance, vegetation, use ...)
- Soil characteristics (soil horizon characteristics, sampling ...)
- chemical, physical and microbiological analyzes:
  - Pollutants such as heavy metals (eg mercury, Hg [mg/kg]) or organic pollutants (PAHs, PCBs, pesticides ...)
  - e.g. Soil type, contents of clay silt, sand, soil carbon ...

Overall, a spectrum of almost 600 pedological parameters is available - with varying availability depending on the examination.

BORIS data offer quality by

- the existence in comparable form (Austria-wide)
- consistency and plausibility check of the data

- simultaneous availability of data from different studies in a consistent format. This facilitates the further processing with statistics or geographical information systems (GIS)

The BORIS Data Portal offers:

- individual data selection and data representation via WebGIS as well as various map layers and base maps
- individual data selection according to examinations and soil information
- Data output in EXCEL and reports
- Creation of data overviews and data availability
- Digital data key Soil science
- online data ordering („Datastore“)
- Data provision according to the specifications of the INSPIRE Directive

The following datasets are integrated in BORIS:

- the area-wide soil condition inventories of the federal states
- the comprehensive Austrian Forest Soil State Inventory, Repeat sampling of the Level II areas as part of BioSoil
- the Austria-wide Radio Cesium survey
- Data from more than 30 other local investigations on specific issues, such as Industrial sites or metropolitan areas

The information system is constantly being expanded with the latest ground data and developed technically.

#### Data query

The BORIS data portal makes Austria-wide soil data accessible across federal states in a Web-GIS application (Disy Cadenza). Location and horizon / sample properties and measured values (availability \*) of the sampling points can be easily selected according to soil analyzes and soil parameters, displayed in tables or geographically and output as Excel spreadsheets or reports.

Various maps, such as the ÖK, the soil groups in Austria, forest growth areas or the monitoring network of the aquifers can be selected as background layer. This allows individual data selection and adaptation of the presentation depending on the problem.

Access is via a standard web browser, no further additional installations are required. <https://wasser.umweltbundesamt.at/cadenza/pages/map/default/index.xhtml>

## 4.2. EURISCO – Finding seeds for the future

<https://eurisco.ipk-gatersleben.de>

EURISCO is a web-based catalogue that provides information about ex situ plant collections maintained in Europe. EURISCO is based on a European network of ex situ National Inventories (NIs) that makes the European plant genetic resources data available everywhere in the world. The EURISCO Web Catalogue automatically receives data from the NIs through country National Focal Points (NFPs).

The EURISCO Catalogue contains passport data about 1.8 million samples of crop diversity representing more than 6,200 genera and more than 41,600 species (genus-species combinations including synonyms and spelling variants) from 43 countries (updated January 2016).

These samples of crop diversity represent more than half of the ex situ accessions maintained in Europe and roughly 16% of total worldwide holdings. EURISCO is a one-stop shop window using international standards for information on ex situ plant collections that enables users to search and access information on food crops, forages, wild-and-weedy species, including cultivars, landraces, farmers' varieties, breeding lines, genetic stocks and research material.

Following the mandate and guidance given by the ECPGR (European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources) Steering Committee, EURISCO is hosted at and maintained by IPK (Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research) Gatersleben on behalf of Bioversity International, which acts as the legal entity of the Secretariat of the European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources (ECPGR), in collaboration with and on behalf of the National Focal Points for the National Inventories.

EURISCO is working with NFPs to improve the search mechanisms, data and metadata standards, web services and other necessary components of an Internet-based information infrastructure for ex situ plant genetic resources. EURISCO makes data from the NIs available to users around the world. These data are made available according to the existing data policy - legal notice and terms of use.

Here are some examples of the National Focal Points:

Austria

Mr Paul Freudenthaler, AGES Austrian Agency for Health and Food Safety, Department for Plant Genetic Resources  
Wieningerstrasse 8, 4020, Linz, Austria  
<http://www.genbank.at>

Bosnia and Herzegovina

Ms Marina Antić, Genetic Resources Institute, University of Banjaluka

Univerzitetski grad, Bulevar vojvode Petra Bojovića 1A, 78000, Banjaluka, Bosnia and Herzegovina

Croatia

Ms Mirta Culek,

Croatian Centre for Agriculture, Food and Rural Affairs,  
Institute for Seed and Seedlings

Usorska 19, Brijest, 31000, Osijek, Croatia

<http://www.zsr.hr>

Italy

Ms Maria Antonietta Palombi, CRA -FRU Fruit Tree Research  
Centre

Via Fioranello, 52, 00134, Roma, Italy

Serbia

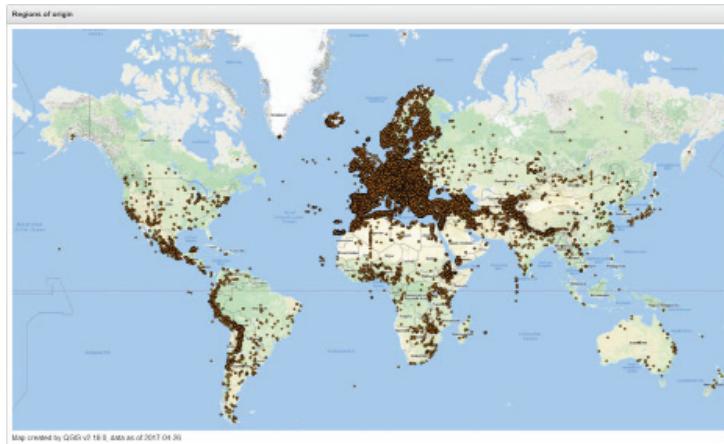
Ms Milena Savić Ivanov, Ministry of Agriculture and Environmental Protection,

Direktorate for National Reference Laboratories, Gene Bank Department

Batajniki drun part 7, No 10, 11080, Belgrade - Zemun, Serbia

<http://www.minpolj.gov.rs>

Next Figure shows the remarkable EURISCO map “regions of origins”.



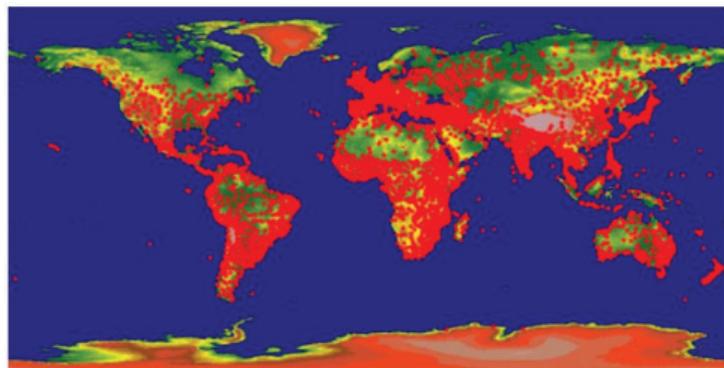
#### 4.3. CLIMWAT

<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>

CLIMWAT is a climatic database to be used in combination with the computer program CROPWAT and allows the calculation of crop water requirements, irrigation supply and irrigation scheduling for various crops for a range of climatological stations worldwide.

CLIMWAT 2.0 for CROPWAT is a joint publication of the Water Development and Management Unit and the Climate Change and Bioenergy Unit of FAO. CLIMWAT 2.0 offers observed agroclimatic data of over 5000 stations worldwide.

Next Figure shows the global distribution of available weather stations.



*Location of stations included in CLIMWAT 2.0*

CLIMWAT provides long-term monthly mean values of seven climatic parameters, namely:

- Mean daily maximum temperature in °C
- Mean daily minimum temperature in °C
- Mean relative humidity in %
- Mean wind speed in km/day
- Mean sunshine hours per day
- Mean solar radiation in MJ/m<sup>2</sup>/day
- Monthly rainfall in mm/month
- Monthly effective rainfall in mm/month
- Reference evapotranspiration calculated with the Penman-Monteith method in mm/day.

The data can be extracted for a single or multiple stations in the format suitable for their use in CROPWAT. Two files are created for each selected station. The first file contains long-term monthly ra-

infall data [mm/month]. Additionally, effective rainfall is also included calculated and included in the same file. The second file consists of long-term monthly averages for the seven climatic parameters, mentioned above. This file also contains the coordinates and altitude of the location.

All station information is drawn from the database of The Agromet Group of FAO.

All variables, except potential evapotranspiration, are direct observations or conversions of observations. Original data coming from a large number of meteorological stations as included in CLIMWAT, could not be uniform. For example, humidity and radiation can be expressed through different variables. With respect to humidity, data can be provided as relative humidity, dew point temperature or water vapour pressure. These three variables can be uniquely converted into each other if the mean temperature is known. However, if humidity is measured and provided in more than one of these variables, the actual numbers would not necessarily be in line. In this case it is necessary to decide which variable to use. When compiling CLIMWAT, it was decided to use water vapour pressure as a core variable and only where it is not available, use dew point temperature and relative humidity. However, there is a risk that the provided value of vapour pressure is higher than the one that is possible to obtain, given the mean temperature. The original databases were crosschecked for this possible inconsistency and one of the other variables was used in the few cases where it occurred.

The same problem arises with radiation. Instead of the solar energy flux at the surface often only sunshine hours or sunshine fraction are recorded, both of which though can be converted to radiation. In order to calculate evapotranspiration using the Penman-Monteith method, both radiation and sunshine fraction are necessary. To keep both these values in agreement the observed radiation was used as base variable and the sunshine fraction was estimated from it. When only the sunshine fraction (or hours) has been observed it was used to estimate radiation. If both (fraction and radiation) are observed radiation was preferred.

As a result, the provided relative humidity and sunshine hours are often deduced from observations of vapour pressure and radiation, even if the former are observed. The procedure, however, ensures that the different expressions are coherent.

In compiling the data, an effort was made to cover the period 1971 - 2000, but when data for this period were not available, any recent series that ends after 1975 and that has at least 15 years of data have been included. Some of the series are „broken“, but they nevertheless have at least 15 years of data (e.g. 1961-70 and 1992-2000).

We prepared the dataset and the extraction software with great care and made every effort to provide reliable data. However, we cannot guarantee that all the observations that went into the procedure are free of errors.

All station information is drawn from the database of The Agromet Group of FAO.

#### 4.4. CARPATCLIM – Climate of the Carpathian Region

<http://www.carpatclim-eu.org/pages/home/>

The CARPATCLIM project was designed to improve the basis of climate data in the Carpathian Region for applied regional climatological studies such as a Climate Atlas and/or drought monitoring, to investigate the fine temporal and spatial structure of the climate in the Carpathian Mountains and the Carpathian basin with unified methods. Therefore, a freely available, high resolution gridded database has been produced for the Larger Carpathian Region (LCR).

Homogenized, quality proofed data is available with:

Timeframe:

- 1961-2010

Spatial range:

- Climatological grids cover the area between latitudes 44°N and 50°N, and longitudes 17°E and 27°E

Temporal resolution:

- 1 day

Spatial resolution:

- 0.1° x 0.1°

The data can be accessed via the web. The digital Atlas provides a database of gridded maps (meteorological variables and derived indicators) of the whole Carpathian Region with the purpose of view and download. Visualisation and download can be limited to selectable specific years, months or days of the year, and selected spatial regions/countries.

Meteorological variables:

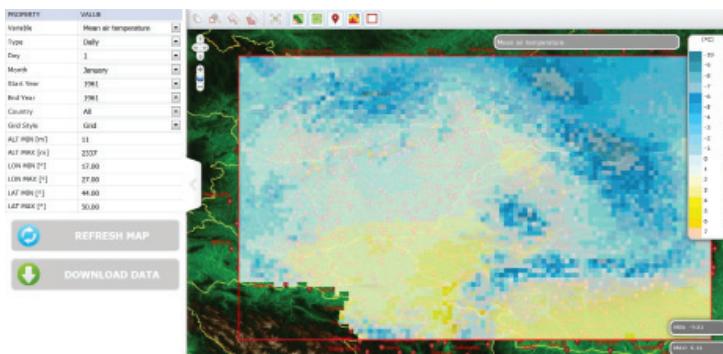
- Mean/Max/Min Air Temperature
- Precipitation
- Sunshine Duration
- Relative humidity
- Surface air pressure
- Surface vapour pressure
- Cloud cover
- Sunshine duration
- Global radiation
- Wind speed (mean, 2m and 10m)
- Wind direction

- Maximum wind speed (10m)
- Snow depth (cm)
- Snow water equivalent (mm)

More than 30 climate indicators and indices such as:

- Number of severe cold days
- Number of frost days
- Number of hot days
- Growing season length
- Potential evapotranspiration
- SPI 3/6/12
- Aridity index
- Moisture index
- and more ...

The following Figure shows a screenshot of the web map



The following organizations participated in the project:

- Hungarian Meteorological Service (leading organisation)
- Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Austria
- Meteorological and Hydrological Service of Croatia
- Czech Hydrometeorological Institute
- Institute of Meteorology and Water Management
- National Research Institute, Poland
- National Institute for Research and Development in Environmental Protection of Romania
- Republic Hydrometeorological Service of Serbia
- Slovak Hydrometeorological Institute
- Ukrainian Research Hydrometeorological Institute
- Szent Istvan University, Hungary

#### 4.5. Phenological databases

After a certain decline in 1980s and 1990s phenology have undergone a renaissance in recent decades. For example, phenological

observations are going on in almost all European countries (Nekovar et al., 2008). Phenological activities, previously organized exclusively at national level, have entered into wide international cooperation in Europe through a program COST725 in 2004 which succeeded to establish, in practical terms, a European phenological database. International Society of Biometeorology established the Commission for Phenology in order to harmonize the methods of observation. Further databases are organized either on wider regional (Germany) or national levels (the USA, Australia). These databases are freely accessible and support and promote the research in climatology and environmental sciences. The example of such databases come from Europe and the USA.

#### 4.5.1. Pan European Phenological database (PEP725)

<http://www.pep725.eu/>

The Pan European Phenology (PEP) project is a European infrastructure to promote and facilitate phenological research, education, and environmental monitoring. The main objective is to maintain and develop a Pan European Phenological database (PEP725) with an open, unrestricted data access for science and education. PEP725 is the successor of the database developed through the COST action 725 “Establishing a European phenological data platform for climatological applications”. So far, 32 European meteorological services and project partners from across Europe have joined and supplied data collected by volunteers from 1868 to the present for the PEP725 database. The database presently holds almost 12 million records, about 46 growing stages and 265 plant species (including cultivars).

Next Figure shows the PEP725 project members, for links to members use the link above.

## PEP725 Project Members

	ZAMG, Austria		Met.no, Norway
	RMI, Belgium		IMGW, Poland
	DHMZ, Croatia		NMRA, Romania
	CHMI, Czech Republic		RHMSZ, Serbia
	Natural Resources Institute, Finland		SHMÚ, Slovak Republic
	DWD, Germany		EARS, Slovenia
	OMSZ, Hungary		AEMet, Spain
	Met Eireann, Ireland		SMHI, Sweden
	National Hydrometeorological Service, Macedonia		MeteoSwiss, Switzerland
	Institute of Hydro meteorology and Seismology, Montenegro		Trinity College Dublin, Ireland

Further partners see next Figure:

## Partners

	meteo.cat, Catalonia, Spain		Swedish National Phenology Network, Sweden
	GDR, France		CRA-CMA, Italy
	IASMA, Italy		METEOBIH, Bosnia and Herzegovina

To submit actual/ historical phenological observations to the Pan European Phenology Database is welcome. Providing this information is necessary in the desired and in detail described file format.

In 2017, the database structure was completely renewed.

Metadata station information includes:

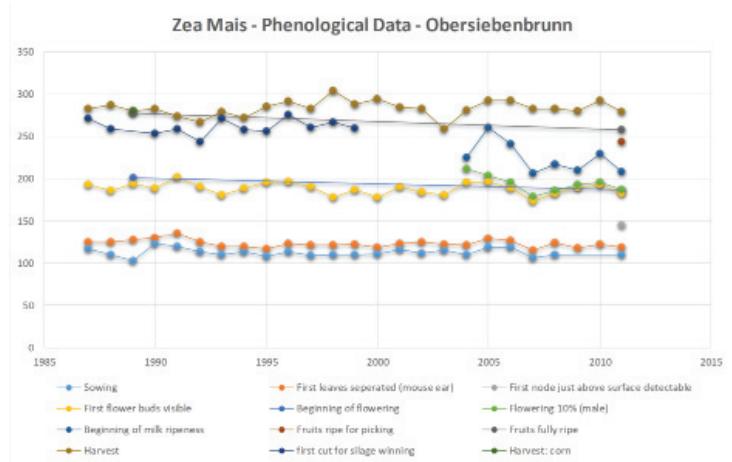
header	description
s_id	PEP725 station id, will be assigned at the first submission
nat_id	national station number
lon	longitude in decimal degrees [WGS84]
lat	latitude in decimal degrees [WGS84]
alt	altitude in [m] asl
name	name of station

Contact information:

header	description
--------	-------------

provider_org	provider organization, for example ZAMG
provider_name	provider- contact person name
provider_email	actual contact address (e-mail) of provider
provider_web	link to the national phenological web site [if existing]

The following diagram shows an example of plotting PEP725 data for Zea Mais, station Obersiebenbrunn in Austria.



#### 4.5.2. The plant phenological online database (PPODB)

[www.ppodb.de](http://www.ppodb.de)

PPODB is an online database that provides unrestricted and free access to over 16 million plant phenological observations from over 8,000 stations in Central Europe between the years 1880 and 2009.

Unique features are:

- (1) a flexible and unrestricted access to a full-fledged database, allowing for a wide range of individual queries and data retrieval,
- (2) historical data for Germany before 1951 ranging back to 1880, and
- (3) more than 480 curated long-term time series covering more than 100 years for individual phenological phases and plants combined over Natural Regions in Germany.

Time series for single stations or Natural Regions can be accessed through a user-friendly graphical geo-referenced interface.

#### Data Sources

The PPODB comprises three main data sources:

- **DWD** phenological observations collected by the Deutscher Wetterdienst (German meteorological service, DWD) from 1951 to 2009. This data is referred to as '**DWD**'-data and tables containing this data are named with the prefix '**DWD**'.

- **HPDP** the historical phenological database (**HPDB**) provided by the DWD, which is a collection of phenological observations from Central Europe, mainly Germany, covering the years 1880 until 1941 compiled from various sources. This data is referred to as '**HPDB**'-data and tables containing this data are named with the prefix '**HPDB**'.

- **HIS** To supplement the data for the time before 1951 and to fill the gap between 1941 and 1951 we digitalized phenological data that were available only in printed form. These data were collected by the volunteer network of the precursor of the DWD, the Deutscher Reichswetterdienst, and were published after world war II (Schnelle and Witterstein, 1952; Schnelle and Witterstein, 1964). These observations cover the years 1922 until 1944. Additionally, we digitalized phenological data that were published between 1951 and 1961 in the meteorological yearbooks of the DWD (DWD, 1951; DWD, 1953; DWD, 1960; DWD, 1961). All these historical data were stored in yet another historical phenological database (**HIS**), which for the first time is made publicly available. Only the meteorological yearbooks of the former US-Zone in Germany covered the whole time span from 1945 until 1951, whereas the meteorological yearbooks of the other occupied zones started publishing later, e.g. the British-Zone started 1949. Thus, continuous time series for the whole period from 1880 until 1999 could only be found for southern Germany. This data is referred to as '**HIS**'-data and tables containing this data are named with the prefix '**HIS**'.

Plants and phases available on PPODB:

- Agricultural plants and phases
- Fruit trees and bushes (orchard) and phases
- Wild growing plants, forest and ornamental woody plants and phases
- Vines

#### PPODB Data policy

The data stored in the DWD and HPDB database generally underly the data policy of the DWD. Access to the phenological data from the DWD is unrestricted and free of charge according to the conditions of data usage and policies of the DWD.

The data stored the HIS database as well as derived tables for the combined time series are made available under the Open Database License. Any rights in individual contents of the database are licensed under the Database Contents License. Basically you are free to use, share, modify the data, as long as you keep the resulting data

equally open and redistribute under the same license. For more details see here.

#### 4.5.3. USA National Phenology Network (USANPN)

[www.usanpn.org](http://www.usanpn.org)

Phenology Observation Portal related to USNPN contains customized datasets of observational data from the National Phenology Database, which includes phenology data collected via the Nature's Notebook phenology program (2009-present for the United States), and additional integrated datasets, such as historical lilac and honeysuckle data (1955-present). Filters are available to specify dates, regions, species and phenophases of interest.

## LITERATURA

- Allen G.R., Pereira S.L., Raes D., Smith M. (1998) Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5.
- Ashraf M., Foolad M.R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206–216.
- Asman W.A.H., Sutton M.A., Schjørring J.K. (1998) Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytologist* 139, 27–48.
- Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., Hamilton K., Haynes P.H., Randel W.J., Holton J.R., Alexander M.J., Hirota I., Horinouchi T., Jones D.B.A., Kinnersley J.S., Marquardt C., Sato K., Takahashi M. (2001) The quasi-biennial oscillation. *Reviews of Geophysics*, 39(2), 179–229.
- Blum A. (2011) Plant Breeding for Water-Limited Environments. ©Springer Science+Business Media, LLC; New York.
- Boogaard H.L., Van Diepen C.A., Rötter R.P., Cabrera J.M.C.A., Van Laar H.H. (1998) WOFOST 7.1; User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Wageningen (Netherlands), DLO Winand Staring Centre. Technical Document, pp 52.
- Brooks R.J., Semenov M.A., Jamieson P.D. (2001) Simplifying Sirius: sensitivity analysis and development of a meta-model for yield prediction. *European Journal of Agronomy* 14, 43–60.
- Burney J.A., Davis S.J., Lobell D.B. (2010) Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 12052–12057.
- Carozzi M., Ferrara R.M., Rana G., Acutis M. (2013) Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilization on arable lands. *Science of the Total Environment* 449, 126–133.
- Clark J.A. (2007) Managing Cover Crops Profitably, 3rd edition. Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD.
- Ćupina B., Manojlović M., Krstić Dj., Čabilovski R., Mikić A., Ignjatović-Ćupina A., Erić P. (2011) Effect of winter cover crops on the dynamics of soil mineral nitrogen and yield and quality of Sudan grass (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Australian Journal of Crop Science* 5(7), 839–845.
- Ćupina B., Mikić A., Stoddard F.L., Krstić Đ., Justes E., Bedoussac L., Fustec J., Pejić B. (2011) Mutual legume intercropping for forage production in temperate regions. In: Lichtfouse, E. (Ed.),

- Sustainable Agriculture Reviews 7: Genetics, Biofuels and Local Farming Systems. Springer, Dordrecht, 347–365.
- Ćupina B., Vujić S., Krstić D., Radanović Z., Čabilovski R., Manojlović M. Latković D. (2017) Winter cover crops as green manure in a temperate region: the effect on nitrogen budget and yield of silage maize. *Crop and Pasture Science*, 68(10-11), 1060-1069.
- Dourado-Neto D., Teruel D.A., Reichardt K., Nielsen D.R., Frizzzone J.A., Bacchi O.O.S. (1998) Principles of crop modelling and simulation II. The implications of the objective in model development. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 55 (Número Especial), 51–57.
- Dourado-Neto, D., Teruel, D.A. Raiz (1996) Programa computacional para simulação de crescimento e estrutura de sistemas radiculares. /Apresentado no I (v.1.00). Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, EMBRAPACNPDI.
- Du J., Chen X., Li W., Gao Q. (2004) Osmoregulation mechanism of drought stress and genetic engineering strategies for improving drought resistance in plants. *Forestry Studies in China* 6 (2), 56-62.
- Engelsen O., Kylling A. (2005) Fast simulation tool for ultraviolet radiation at the Earth's surface. *Optical Engineering*, 44 (4), 041012.
- ESA (2007) GMES Sentinel-2 mission requirements document, issue 2 revision 0-30/01/2007. European Space Agency (ESA), Paris EOP-SM/1163 MR-ar. 31 pp. Available from [www.esa.int/ecal.P/](http://www.esa.int/ecal.P/)
- Firanj Sremac A., Lalic B., Jankovic D. (2016) The WRF-ARW application in predicting meteorological conditions for Downy mildew (*Plasmopara viticola*) appearance of wine grape. Abstract from 16th European Meteorological Society Annual Meeting (EMS), Trieste, Italy, 12-16 September 2016.
- Hunt R. (1978) Plant Growth Analysis. London: Edward Arnold, 1978. (Studies in Biology 96).
- Hunt R. (1981) The fitted curve in plant growth studies. In: Rose D.A., Charles-Edwards D.A. (Eds.). Mathematics and plant physiology. London: Academic Press.
- IPCC (2014) Climate Change (2014) Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151.
- Jacquemoud S., Baret F. (1990) PROSPECT: a model of leaf optical properties spectra, *Remote Sensing of Environment*, 34(2), 75-91.

- Jamieson P.D., Semenov M.A., Brooking I.R., Francis G.S. (1998) Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *European Journal of Agronomy*, 8, 161–179.
- Jones J.W., Boote K.J., Jagtap S.S., Hoogenboom G., Wilkerson G.G. (1988) SOYGRO v.5.41: soybean crop growth simulation model. Gainesville: University of Florida. Agricultural Engineering Department and Agronomy Department, 1988. 53 p. (Florida Agricultural Experiment Station Journal, 8304).
- Jones J.W., Tsuji G.Y., Hoogenboom G., Hunt L.A., Thornton P.K., Wilkens P.W., Imamura D.T., Bowen W.T., Singh U. (1998) Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In: G.Y. Tsuji et al. (Eds.): *Understanding options for Agricultural production*, p. 157–177. Kluwer Academic Publishers.
- Kakani V.G., Reddy K.R., Zhao D., Sailaja K. (2003) Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120, 191–218.
- Kastori R., Petrović N. (1992) Rastenje i razviće šećerne repe: 173–189. U: Spasić, P. et al.: Šećerna repa, Jugosćer DD, Beograd, pp 751.
- Kerestes Z. (2016) Lokalklimatische Untersuchungen in Wien. Diplomarbeit / Masterarbeit - Institut für Meteorologie (BOKU-Met), BOKU-Universität für Bodenkultur, pp 123.
- Kruijt B., Witte J.-P.M., Jacobs C.M.J., Kroon T. (2008) Effects of rising atmospheric CO<sub>2</sub> on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands. *Journal of Hydrology* 349, 257–267.
- Lalic B., Eitzinger J., Mihailovic D.T., Thaler S., Jancic M. (2012) Climate change impacts on winter wheat yield change – which climatic parameters are crucial in Pannonian lowland? *The Journal of Agricultural Science*, 151, 06, 757–774.
- Lalić B., Firanj Sremac A., Dekić Lj., Eitzinger J., Perišić D. (2017) Seasonal forecasting of green water components and crop yields of winter wheat in Serbia and Austria. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 156(5), 645–657.
- Lalić B., Firanj Sremac A., Eitzinger J., Stričević R., Thaler S., Maksimović I., Daničić M., Perišić D., Dekić Lj. (2018) Seasonal forecasting of green water components and crop yield of summer crops in Serbia and Austria. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 156(5), 658–672.
- Lalic B., Francia M., Eitzinger J., Podrašcanin Z., Arsenić I. (2016) Effectiveness of short-term numerical weather prediction in predicting growing degree days and meteorological conditions for apple scab appearance. *Meteorological Applications*, 23, 50–56.
- Lalic B., Jankovic D., Dekic Lj., Eitzinger J., Firanj Sremac A. (2017) Testing efficacy of monthly forecast application in agrometeorology: Winter wheat phenology dynamic. IOP Conference

- Series: Earth and Environmental Science, Volume 57, conference 1, 57 012002.
- Lawless C., Semenov M.A., Jamieson P.D. (2005) A wheat canopy model linking leaf area and phenology. European Journal of Agronomy, 22, 19–32.
- Luković J., Maksimović I., Zorić L., Nagl N., Perčić M., Polić D., Putnik-Delić M. (2009) Histological characteristics of sugar beet leaves potentially linked to drought tolerance, Industrial Crops and Products 30, 281-286.
- Maggio A., De Pascale S., Fagnano M., Barbieri G. (2011) Saline agriculture in Mediterranean environments. Italian Journal of Agronomy, 6, 36-43.
- Maksimović I., Putnik-Delić M., Gani I., Marić J., Ilin Ž. (2010) Growth, ion composition, and stomatal conductance of peas exposed to salinity. Central European Journal of Biology, 5, 682-691.
- Marshall, A.G. Scaife, A.A. (2010) Improved predictability of stratospheric sudden warming events in an atmospheric general circulation model with enhanced stratospheric resolution. Journal of Geophysical Research, 115, D16114.
- Mayer B., Kylling A. (2005) Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use, Atmospheric Chemistry and Physics, 5, 1855–1877.
- Mihailovic D.T., Koci I., Lalic B., Arsenic I., Radlovic D., Balaz J. (2001) The main features of BAHUS — biometeorological system for messages on the occurrence of diseases in fruits and vines. Environmental Modelling & Software, 16, 691–696.
- Mijatović Z., Podraščanin Z., Firanj A., Kobilarov R. (2014) Ozone layer thickness and Solar UV radiation over the region of Novi Sad, Serbia. Second international conference on Radiation and dosimetry in various fields of research RAD2014 and dosimetry in various fields of research RAD2014, 171-174.
- Mijatović Z., Čonkić Lj., Miljković S. (2002) UV zračenje, izvori, osobine, efekti i zaštita. Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Mikić A., Ćupina B., Mihailović V., Krstić Đ., Đorđević V., Perić V., Srebrić M., Antanasović S., Marjanović-Jeromela A., Kobiljski B. (2012) Forage legume intercropping in temperate regions: models and ideotypes. In: Lichtfouse, E. (Ed.), Sustainable Agriculture Reviews 11. Springer Science + Business Media, Dordrecht, 161–182.
- Mikić A., Ćupina B., Rubiales D., Mihailović V., Šarūnaitė L., Fustec J., Antanasović S., Krstić Đ., Bedoussac L., Zorić L., Đorđević V. (2015) Models, developments, and perspectives of mutual legume intercropping. Advances in Agronomy 130, 337–419.

- Moiser A.R. (2001) Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. *Plant and Soil* 228, 17–27.
- Munns R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25, 239–250 ISSN 0140 7791.
- Nekovar, J (ed) (2008) COST Action 725, The history and current status of plant phenology in Europe. ISBN 978-951-40-2091-9, COST Office, 2008.
- Nemecek T., von Richthofen J.S., Dubois G., Casta P., Charles R., Pahl H. (2008) Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 380–393.
- Neumann P.M. (2008) Coping Mechanisms for Crop Plants in Drought-prone Environments. *Annals of Botany* 101, 901-907.
- Ober E.S., Luterbacher M.C. (2002) Genotypic variation for drought tolerance in *Beta vulgaris*. *Annals of Botany* 89, 917-924.
- Paris Agreement (2015) The Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). United Nations.
- Prasad P.W., Kakani V.G., Reddy K.R. (2003) Plants and the environment: ozone depletion. In: Encyclopedia of applied plant sciences, pp 749-756.
- Putnik-Delić M., Maksimović I., Venezia A., Nagl N. (2013) Free proline accumulation in young sugar beet plants and in tissue culture explants under water deficiency as tools for assessment of drought tolerance. *Romanian Agricultural Research*, 30, 141-148.
- Qin F., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. (2011) Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. *Plant and Cell Physiology*, 52, 1569-1582.
- Richter K., Atzberger, C., Vuolo, F. Weihs, P., D'Urso, G. (2009) Experimental assessment of the Sentinel-2 band setting for RTM-based LAI retrieval of sugar beet and maize, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 35(3), 230-247.
- Ritchie J.T, Otter S. (1985) Description and performance of CERES-Wheat: A user-oriented wheat yield model. In: ARS Wheat Yield Project. ARS-38. National Technology Information Service, Springfield, VA, pp. 159–175.
- Stikić R, Jovanović Z. (2012) Fiziologija stresa biljaka. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Stöckle C.O., Nelson R (2005) Cropping Systems Simulation Model User's Manual Washington State University, Biological Systems Engineering Department, Technical Document, p. 235.
- Stričević R., Srđević Z., Vujadinović-Mandić M., Srđević B (2017) Održivo upravljanje vodnim resursima i Water Footprint concept. *Vodoprivreda*, 49(288-290), 183-190.

- Sutton M.A., Fowler D. (2002) Introduction: fluxes and impacts of atmospheric ammonia on national, landscape and farm scales. *Environmental Pollution* 119, 7–8.
- Taiz L., Zeiger E., Møller I.M., Murphy A. (2014) *Plant Physiology and Development*, Sixth Edition, ISBN: 9781605352558, Sinauer Associates.
- Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. (2011) Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108:50, 20260–20264.
- Trnka M., Eitzinger J., Dubrovský M., Semerádová D., Štěpánek P., Hlavinka P., Balek J., Skalak P., Farda A., Formayer H., Žalud Z. (2010a) Is the rainfed crop production in central Europe at risk? – using a regional climate model to produce high resolution agroclimatic information for decision makers. *Journal of Agriculture Science*, 148, 639–656.
- Trnka M., Kocmánková J., Balek J., Eitzinger J., Ruget F., Formayer H., Hlavinka P., Schaumberger A., Horáková V., Možný M., Žalud Z. (2010b) Simple snow cover model for agrometeorological applications. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 1115–1127.
- Trnka, M., Eivind Olesen, J., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias Picazo, A., Orlandini, S. Dubrovský, M. Hlavinka, P. Balek, J. Eckersten, H. Cloppet, E. Calanca, P. Gobin, A., Vučetić, C., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, Vassil N., Semerádová, D., Zalud, Z. (2011) Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17, 2298–2318.
- Wu, R., Kirtman, B.P., van den Dool, H. (2009) An Analysis of ENSO Prediction Skill in the CFS Retrospective Forecasts. *Journal of Climatology* 22, 1801–1818.
- Zarco-Tejada P.J., Miller J.R., Pedro R., Verhoef W., Berger M. (2006) FluorMODgui V3.0: A graphic user interface for the spectral simulation of leaf and canopy chlorophyll fluorescence. *Computers & Geosciences* 32, 577–591.

#### **Electronic references (accessed between 1<sup>st</sup> June and 30<sup>th</sup> September 2018)**

- ADA operational webpage: <https://warndienst.lko.at/winterweizen+2500+++6578?typ=RSSC>
- AgroDroughtAustria (ADA) web page: <https://ada.boku.ac.at/>
- Eurostat (2015) Agriculture - greenhouse gas emission statistics. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agriculture\\_-\\_greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agriculture_-_greenhouse_gas_emission_statistics)

FAO SOILS PORTAL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/>

Final ADA project report: [https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met\\_Report\\_25\\_online.pdf](https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met_Report_25_online.pdf)

<http://www.wmo.int>

<https://www.ecmwf.int>

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2017) Understanding Global Warming Potential. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.