

## Okolišno-klimatski i meteorološki preduvjeti biljne proizvodnje

### Elementi poljoprivrednog proizvodnog prostora

Suvremena poljoprivredna proizvodnja pa tako i biljna proizvodnja kao njen primarni proizvodni segment rezultanta je različitih biljno-uzgojnih, okolišnih, tehničko-tehnoloških, sociološko-ekonomskih, zakonodavnih, ali i niza drugih elemenata. Svi navedeni čimbenici mogu se svrstati u dvije osnovne uzročno-posljedično povezane skupine; prirodni (okolišni) i antropogeni (ljudski) čimbenici. Od ukupne kopnene površine Zemlje svega je 11 % obradivo (što je otprilike 15 000 000 km<sup>2</sup>), odnosno iskoristivo za poljoprivrednu proizvodnju i na toj se površini proizvodi čak 95 % od ukupne količine proizvedene hrane. Preostali veći dio od 89 %, nije pogodan za poljoprivrednu proizvodnju, iz čega proizlazi kako je (uz male iznimke i potencijalne mogućnosti proširenja) poljoprivredna proizvodnja prostorno/površinski limitirana. Prostor u kojem se osjeća, a često i dominira utjecaj čovjeka, odnosno prostor koji naseljava čovjek i u kojem se osjeća njegov utjecaj, naziva se *antroposfera*. Ovaj se prostor opet dijeli na *tehnosferu* i *agrosferu*, i iako je taj prostor relativno mali (u usporedbi s cijelom zemljinom površinom) antroposfera je u konkurenciji s prirodnim okolišem, a kao krajnji rezultat uočava se ozbiljno narušavanje ekološke ravnoteže. Unutar antroposfere također postoji ozbiljna konkurencija, pri čemu tehnosfera ozbiljno konkurrira agrosferi, nadmećući se s njom i otimajući joj prirodne / okolišne / proizvodne resurse (prostor, voda, tlo i dr.).

Elementi poljoprivrednog proizvodnog prostora, odnosno agrosfere su:

- poljoprivredno stanište (agrobiotop) ili habitat
- poljoprivredna životna zajednica (agrobiocenoza)
- poljoprivredne fitocenoze (agrofitocenoze)
- poljoprivredni ekološki sustav (agroekološki sustav)

Poljoprivredni proizvodni prostor Republike Hrvatske definiran je regionalizacijom poljoprivrednog proizvodnog prostora, odnosno agroekološkom podjelom proizvodnih područja koja određuju i definiraju vegetacijske proizvodne čimbenike u uzgoju poljoprivrednih biljaka. Svrstavanjem agrobiotopa prema sličnosti u logičke prostorne cjeline, dobivene su poljoprivredne regije Hrvatske. Tako se Hrvatski poljoprivredni proizvodni prostor dijeli na tri regije, a svaka od njih se dodatno dijeli na podregije (Slika 1.).

### Vegetacijski čimbenici biljne proizvodnje

Poljoprivredna biljna proizvodnja definirana je nizom abiotskih (okolišnih) i biotskih (ekološko-bioloških) čimbenika, potpomognutih raznim drugim elementima, kao što su primjerice: agrotehnički, socijalno-ekonomski, tržišno-regulacijski, političko-pravni i dr. Okolišni čimbenici koji na biljnu proizvodnju djeluju izravnim i neizravnim utjecajem, nalaze se u neraskidivom interaktivnom odnosu, a uobičajeno se razvrstavaju u četiri osnovne skupine (Slika 2.).

#### PANONSKA REGIJA

- *Istočno panonska podregija (P-1)*
- *Središnja panonska podregija (P-2)*
- *Zapadno panonska podregija (P-3)*
- *Sjeverozapadna panonska podregija (P-4)*



#### GORSKA REGIJA

- *Predplaninska podregija (G-1)*
- *Planinska podregija (G-2)*



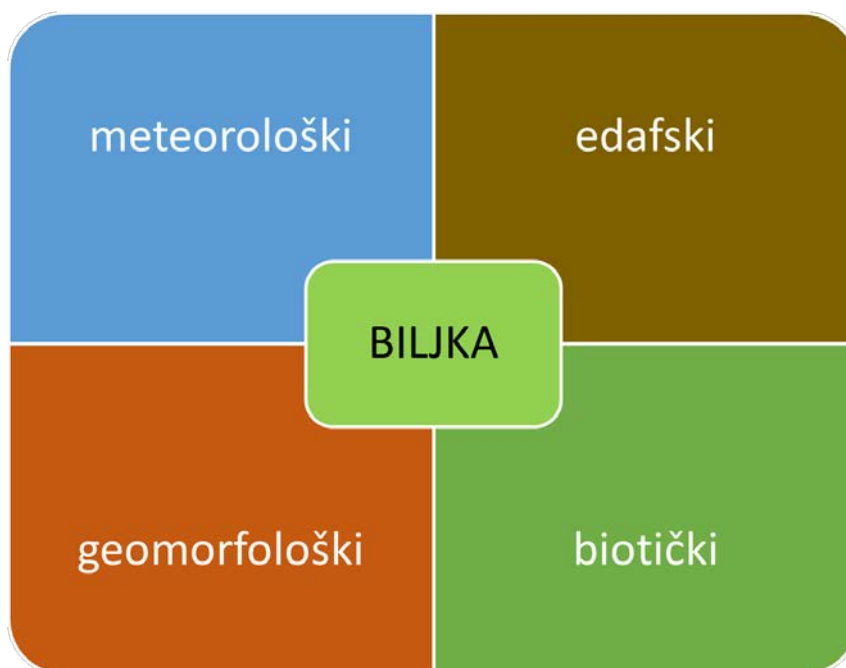
#### JADRANSKA REGIJA

- *Sjeverno jadranska podregija (J-1)*
- *Središnja jadranska podregija (J-2)*
- *Južno jadranska podregija (J-3)*



Slika 1. Regionalizacija hrvatskog poljoprivrednog prostora na poljoprivredne regije

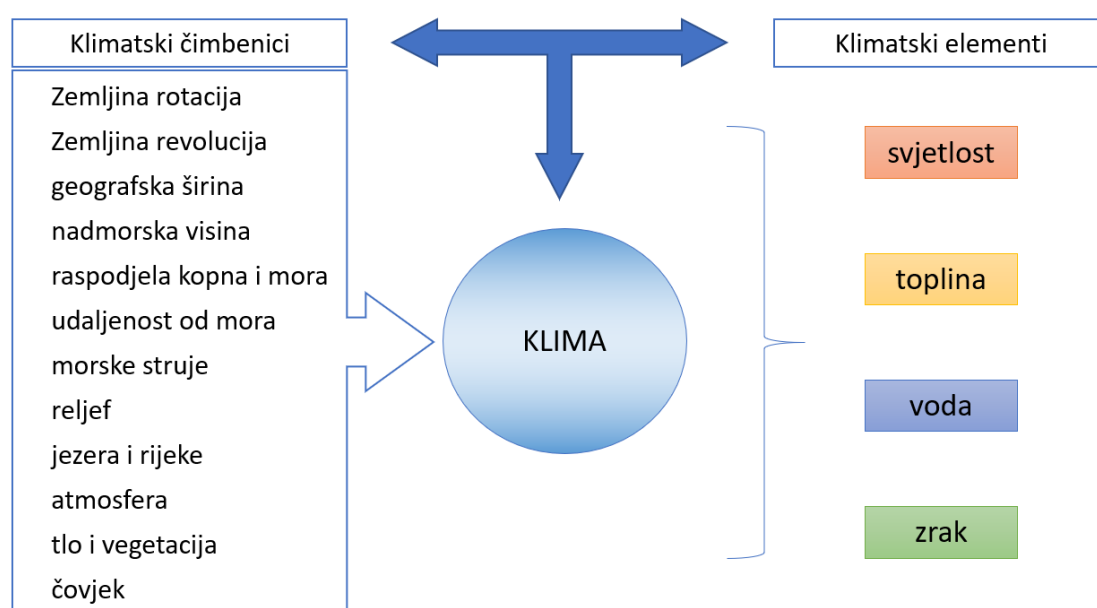
Antropogeni utjecaj na vegetacijske (okolišne) čimbenike je vrlo ograničen i uvjetovan, a to se jasno vidi iz primjera najznačajnijih pojedinačnih čimbenika: svjetlost, toplina, voda, zrak, tlo, biljna hraniva, biotički efekti, i ostalo. Od svih navedenih čimbenika važnih u biljnoj proizvodnji, čovjekov je utjecaj najslabije izražen na meteorološke/klimatološke elemente.



Slika 2. Čimbenici biljne proizvodnje

### Meteorološki i klimatološki elementi poljoprivredne biljne proizvodnje

Od svih abiotskih i biotskih čimbenika, vremenske prilike imaju najveći utjecaj na poljoprivrednu biljnu proizvodnju. Za kvalitetno razumijevanje i ispravno tumačenje određenih pojava i događanja, za početak je najvažnije pravilno definirati osnovne stručne izraze. Tako se *vrijeme* definira kao ukupnost atmosferskih pojava i stanja atmosfere u određenom trenutku nad nekim određenim područjem. *Klima* se definira kao prevladavajuće stanje vremena, kao i pravilnost ili nepravilnost ponavljanja vremenskih tipova (prosječne vrijednosti meteoroloških elemenata u dužem vremenskom periodu) nad nekim određenim područjem. Standardni period vremena za definiranje klime iznosi 30 godina. Postoji više različitih načina i mogućnosti klasifikacije klime i klimatskih područja, a možda ju je najlakše definirati preko klimatskih čimbenika i klimatskih elemenata (Slika 3.).



Slika 3. Međusobni odnos klimatskih čimbenika i klimatskih elemenata

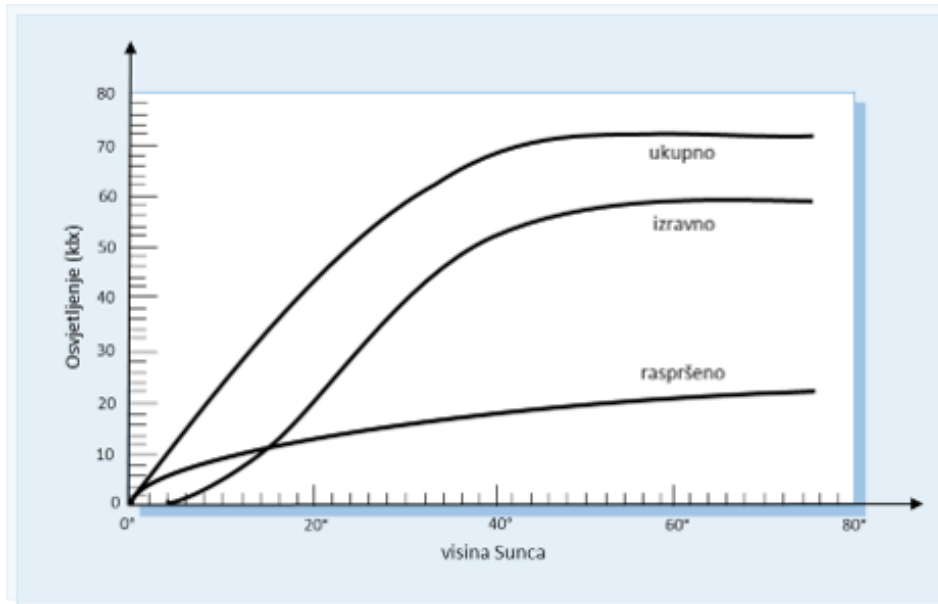
Osnovni, a ujedno i najvažniji klimatski elementi poljoprivredne biljne proizvodnje jesu:

- Svjetlost
- Toplina
- Voda
- Zrak.

#### Svjetlost

Svjetlost se smatra najvažnijim ekološkim čimbenikom biljne proizvodnje jer je izravno zaslužna za primarnu tvorbu organske tvari (fotosinteza). Od ukupnog Sunčevog dozračenja (različiti spektri zračenja), njegov vidljivi dio čini tek manji dio zračenja. Tako se vidljivi dio Sunčevog spektra kreće od 380 – 750 nm, a boje spektra su u granicama od ultraljubičastog do infracrvenog zračenja.

Sunčevo zračenje na Zemljinoj površini može biti izravno (direktno) ili raspršeno (difuzno), a zajedno čine ukupno ili globalno zračenje (Grafikon 1.). Kvaliteta Sunčevog osvjetljenja u smislu zračenja određene valne duljine ovisi o čistoći atmosfere, odnosno njenoj zasićenosti raznim plinovima, aerosolima, naoblaci, duljini dana i dr. Prema ovome se izračunava relativno trajanje osunčavanja, a dobije se kao postotna vrijednost odnosa stvarnog i realno mogućeg trajanja sijanja Sunca. Opisane značajke svjetlosti izravno ili neizravno utječu na klimu nekog podneblja, a samim tim i na poljoprivrednu biljnu proizvodnju.



Grafikon 1. Odnos izravnog, raspršenog i ukupnog zračenja

Sunčevo zračenje bez kojega ne bi niti bilo života na Zemlji, može pored pozitivnih imati i niz negativnih učinaka na sam život našeg planeta. Primjerice, Sunčeve zrake ispod 300 nm štetne su za sve žive organizme, ali zbog ozonskog sloja u stratosferi samo manji dio dolazi na samu površinu Zemlje. Oštećivanjem i stanjivanjem ozonskog sloja (npr., CFC spojevima – freoni), manji se dio ovih zraka apsorbira, a veći dio dolazi na Zemlju uzrokujući razna oštećenja svih živih organizama. Dio spektra od 300 – 400 nm djeluje na nanizam i zadebljanje listova i ostalih tkiva. Dio Sunčevog spektra od 400 – 700 nm važan je za fotosintezu, s tim da je za aktivaciju fotosinteze najznačajniji spektar od 600 – 700 nm. Infracrveni spektar s valnim duljinama većim od 700 nm nevidljiv je i ima toplinska svojstva. Valne duljine od 700 – 800 nm djeluju na produžetak rasta, tj. produžetak vegetacije biljaka i rast u visinu (veći habitus). Stoga se u sjevernijim krajevima gdje prevladava dulji spektar više uzgajaju krmne kulture i općenito one s većim potencijalom za razvoj biomase. Općenito, zrake duljeg vala djeluju na formiranje veće biomase. Valne duljine od 700 – 1000 nm pokreću razvoj generativnih organa, djeluju na boju biljke i izazivaju fotonastiju. Valne duljine veće od 1000 nm su infracrvene toplinske zrake.

Intenzitet svjetla predstavlja količinu svjetla u jedinici vremena na jedinicu površine, a mjeri se luksima (lx). Poljoprivredni usjevi, odnosno pojedine kulture, različito reagiraju na količinu i intenzitet osvjetljenja. Tako se kulture dijele u tri grupe:

- *heliofiti* – kojima je potrebno mnogo svjetla, to su „biljke svjetla”, a zasićenje postižu pri 5000 lx i više (npr., kukuruz, duhan)

- *skiofiti* – koji traže malo svjetla, to su „biljke sjene”, a zasićenje postižu već na 500 lx (npr., sobno cvijeće)
- *semiskiofiti (mezofiti)* – biljke s osrednjom potrebom za svjetlošću (npr., bundeva, grah, djetelina).

Intenzitet svjetla ključan je za odvijanje procesa fotosinteze zbog čega je važna minimalna vrijednost njegovog intenziteta. Za svaku biljnu vrstu te su vrijednosti drukčije. Tako minimalne količine svjetla za optimalnu cvatnju i razvoj ploda graška iznose 850 – 1100 lx, za kukuruz 1400 – 1800 lx, a za ječam i pšenicu 1800 – 2000 lx. Općenito, u širokom prosjeku svjetlosno zasićenje za poljoprivredne kulture iznosi 1000 – 1300 lx, dok je optimum za njihov normalni rast i razvoj 8000 – 20 000 lx. Prejaki intenzitet svjetlosnog zasićenja izaziva razaranje kloroplasta ili tzv. „solarizaciju”, dok preniski intenzitet ne pobuđuje aktivnost kloroplasta ili je fotosinteza vrlo slaba (zbog čega dolazi do etioliranja, odnosno „izbjeljivanja“ listova).

Što je intenzitet svjetla manji to je veća zastupljenost zraka većih valnih duljina. Na intenzitet svjetla utječe više čimbenika:

- *doba dana* – tijekom dana intenzitet svjetla se mijenja; ujutro i navečer je najmanji, a tijekom dana raste, dostiže maksimum u podne i ponovo pada prema zalasku sunca
- *nagib, odnosno visina sunca u godišnjim dobima* (nisko sunce zimi, visoko ljeti). Što je veći kut osvjetljenja jači je intenzitet (mali kut zimi, okomito sunce ljeti)
- *ekspozicija i inklinacija* (položaj/izloženost i nagib terena u odnosu na sunce); južna strana jačeg nagiba prema suncu – veći intenzitet, a na sjevernoj strani suprotno
- *naoblaka* – što je nebo oblačnije, intenzitet svjetla je slabiji
- *onečišćenje atmosfere* – prašina i druge primjese (magla, plinovi, smog) smanjuju intenzitet svjetla
- *geografska širina* – najjači intenzitet osvjetljenja je na ekvatoru, a prema polovima se smanjuje
- *agrotehnika (gustoća sklopa)* – u gušćim sklopovima biljke se međusobno jače zasjenjuju i na taj način smanjuju intenzitet svjetla.

Dužina dana na Zemlji nije jednaka na svim geografskim širinama. Najkraći je dan na ekvatoru (10 – 12 sati) i sve je duži idući prema polovima. Poljoprivredne biljke su se tijekom evolucije prilagodile ovoj pojavi i uskladile procese fotosinteze, rasta i razvoja. To je tzv. „fotoperiodička reakcija” (fotoperiodizam). Za poljoprivredne kulture to je od iznimne važnosti, a posebice s aspekta njezinog vegetativnog i generativnog razvoja, koje je vezano za duljinu dana. Kulture se u pogledu zahtjeva za duljinom dana (kratki dan je 10 – 12 sati, a dugi iznad 13 – 14 sati) dijele u dvije ili tri skupine:

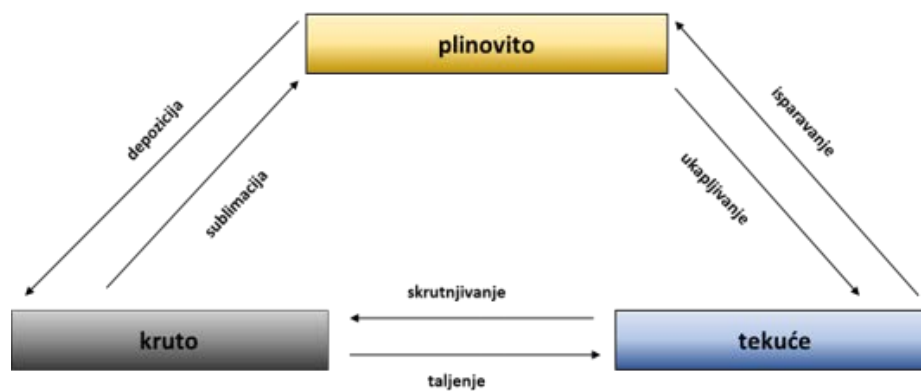
- biljke dugog dana (zob, raž, pšenica, mrkva, repa, crvena djetelina)
- biljke kratkog dana (konoplja, pamuk, soja, kukuruz, duhan)
- neutralne biljke (heljda, suncokret, ječam ozimi, mak).

Reakcije biljaka na duljinu dana mogu biti i pozitivne i negativne. Ako se primjerice biljke kratkog dana prenesu u područje dugog dana, one produžavaju vegetaciju i nisu u stanju prijeći iz vegetativne u generativnu fazu (formiraju samo vegetativnu masu i ne mogu zatvoriti svoj životni ciklus). Biljke dugog dana prenesene u područje kratkog dana skraćuju vegetaciju, intenziviraju razvoj i inhibiraju rast (smanjenje habitusa). Ako se biljke dugog dana prenesu u područje još dužeg dana, one skraćuju vegetaciju (ranije akumuliraju potrebnu količinu svjetla budući da je duži dan).

Ovako opisane reakcije biljaka samo su općenite, budući da su se suvremenim metodama genetike, oplemenjivanja, odnosno selekcije, zbog različitih kombinacija i unošenja gena u nove kultivare, kulture toliko izmijenile da se spomenute granice sve više brišu i počinju dominirati prijelazni oblici (tzv. neutralne biljke).

## Toplina

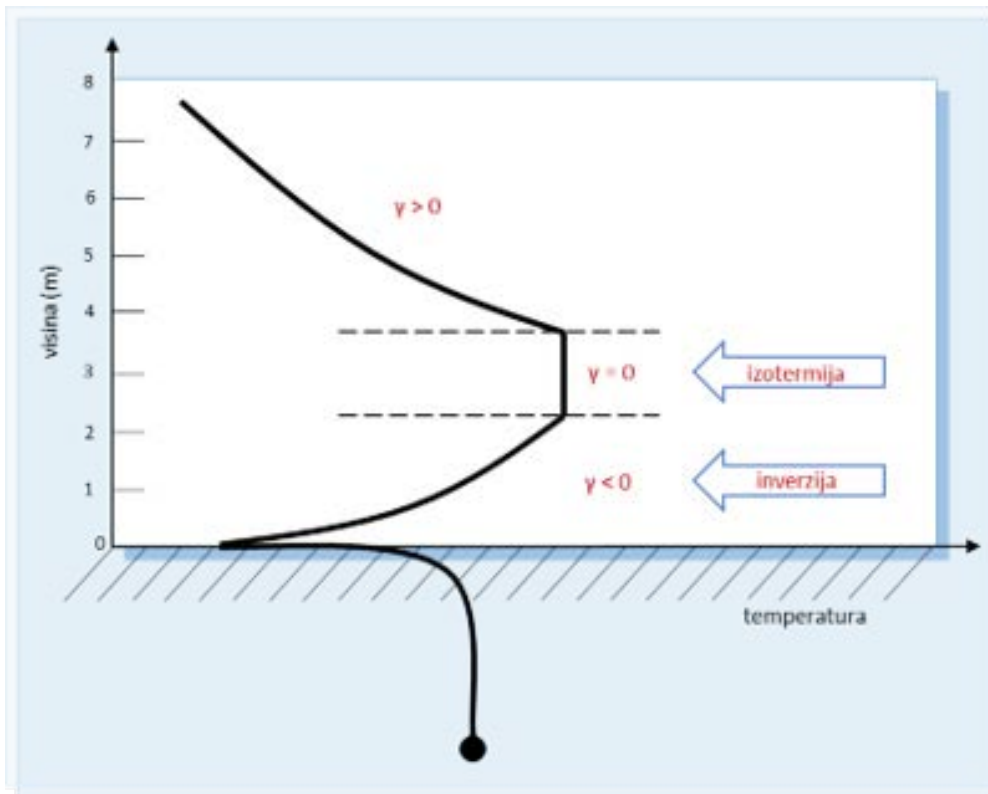
Izvor topline kao i svjetlosti na Zemlji je Sunce. Toplina predstavlja fizikalni oblik energije nekog tijela, odnosno prijelazni oblik energije koji se prenosi između dva tijela kao rezultat razlika njihovih temperatura. Temperatura je indikator toplinskog stanja, odnosno stupanj zagrijanosti nekog tijela, a najčešće se uobičajeno izražava u °C (Celzijev stupanj). Svako tijelo u određenim uvjetima (temperatura, tlak) ima određeno i njemu svojstveno agregatno stanje, koje se mijenja ako se dovoljno razmijeni toplina tijela s okolinom (Shema 1.)



Shema 1. Promjene agregatnih stanja

Sunčevim se izravnim zračenjem atmosfera vrlo malo zagrijava, već je ono najvećim dijelom posredno, odnosno toplinska energija dolazi od neke zagrijane podloge. Iz tog je razloga najniži sloj atmosfere (troposfera) najtopliji pri dnu, a s visinom temperatura opada. S porastom visine temperatura se u slobodnoj troposferi u pravilu smanjuje dinamikom od  $0,6 - 0,7 \text{ }^\circ\text{C } 100 \text{ m}^{-1}$  visine. Promjenu temperature s porastom visine opisuje *vertikalni temperaturni gradijent* ( $\gamma$ ). Ukoliko temperatura s porastom visine raste, pojava se naziva *temperaturna inverzija*, a ako se temperatura s porastom visine ne mijenja, onda je to *temperaturna izotermija* (Grafikon 2.). Svi ove navedene pojave imaju izravan i neizravan utjecaj na biljnu proizvodnju.

Svi dijelovi Zemlje ne zagrijavaju se jednoliko, već je prostorna i vremenska heterogenost ovisna o geografskoj širini, godišnjem dobu, vrsti podloge (kopno ili vodena površina), reljefu, nadmorskoj visini i dr. Dozračena toplinska energija Sunca širi se u svim smjerovima i to uvijek od mjesta s višom temperaturom prema mjestu s nižom temperaturom određenog medija ili tijela. Ovaj se proces naziva toplinski tok, a nastaje kao razlika temperatura između dva medija/tijela. Sama brzina prijenosa topline je veća ili manja, ovisno o mediju (tijelu) i njegovom koeficijentu toplinske vodljivosti, ali i veličini čestica, poroznosti podloge, vlažnosti medija i sl. Toplinska vodljivost tla ovisi o njegovom sastavu, sadržaju zraka, vode ili leda u šuplinama i veličini strukturnih agregata.



Grafikon 2-Opcije promjene temperatura s promjenom visine

Suho usitnjeno tlo – manja toplinska vodljivost – jače zagrijavanje tla

Mokro zbijeno tlo – veća toplinska vodljivost – slabije zagrijavanje tla

Temperature nad različitim podlogama kolebaju u prosjeku 4 – 7 °C. Tako primjerice golo tlo ima veće temperaturne oscilacije nego tlo obraslo vegetacijom, pa tako za stupanj zagrijanosti prema vrsti podloge vrijedi sljedeće: pijesak (> t) obradivo tlo (> t) travnati pokrov.

Raspon temperatura postepeno se smanjuje s povećanjem dubine tla. Tako su najniže temperature površine tla tijekom zime, dok su tijekom ljeta najniže temperature tla na dubinama 8 – 10 m. Godišnji raspon temperatura u našem području prodire u dubinu tla 8 – 15 m, a dnevni raspon do 70 cm.

Snježni pokrivač ima važan utjecaj na temperaturu tla, štiteći ozime usjeve poput toplinskog izolatora od niskih temperatura i izmrzavanja tijekom zime

Vodene površine zagrijavaju/hlade se prijenosom toplinske energije procesima zračenja, vođenja i prenošenja (konvekcije). U usporedbi s kopnom, velike se vodene površine zbog specifičnog toplinskog kapaciteta sporije zagrijavaju, ali i sporije hlade. Budući da vodene površine mogu akumulirati veliku količinu toplinske energije, one značajno utječu na makro i mikroklimatske uvjete okoliša, čime ujedno definiraju i oblik poljoprivredne biljne proizvodnje.

Termička konvekcija je proces prenošenja topline uvjetovan gibanjem vode zbog razlika u njenoj gustoći. Gušća voda je teža zbog čega tone, a rjeđa i lakša voda se uzdiže. Ova pojava utječe i na salinitet, odnosno premještanje slojeva vode. Dinamička konvekcija je proces prenošenja topline uvjetovan gibanjem vode zbog djelovanja vjetrova koji formiraju valove, zatim plime i oseke te morskih struja. Velike vodene mase (oceani, mora, velika jezera) – polako mijenjaju svoju temperaturu (u usporedbi s kopnenim površinama). Promjene temperature morske površine su male (0,5 °C), kao i godišnji rasponi (2,5 – 5 – 8 °C).

### Reakcija biljaka na toplinu

U uzgoju poljoprivrednih biljaka, temperature zraka imaju nešto veći značaj u odnosu na temperature tla. Prema utjecaju na biljke temperature uobičajeno dijelimo na optimalne, kardinalne i kritične. Optimalne su one temperature pri kojima se vitalne funkcije biljaka odvijaju maksimalnom brzinom, dok kardinalne temperature mogu biti minimalne i maksimalne, kao i temperature ispod ili iznad kojih prestaju životne funkcije. U slučaju približavanja temperatura prema optimalnim, biljke izlaze iz zone kardinalnih temperatura. Kritične temperature su one minimalne i maksimalne temperature ispod ili iznad kojih se javljaju nepopravljive štete u funkcijama ili na biljnim organima, nakon kojih biljke umiru. Iste temperature nemaju isti značaj za sve biljne organe iste biljke, već su neki dijelovi biljaka jače ili slabije otporni na takve stresove. Kao primjer se mogu navesti cvjetni pupovi voćaka koji su osjetljiviji od vegetativnih pupova, list i stabljika otporniji su od cvijeta itd.

Uz temperaturne rangove, potrebno je navesti i tzv. „biološki temperaturni minimum” koji predstavlja donju granicu života biljaka, ali samo za slučaj prestanka aktivnog rasta i uz uvjet da je biljka još uvijek živa. Ovaj je pojam poznat i kao „temperaturni prag”, a različit je za pojedine kulture ili skupine kultura. Temperaturni prag definiran je minimalnom temperaturom pri kojoj započinje neki fiziološki proces (npr., klijanje ili nicanje), a može iznositi 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C i 25 °C. Biološki temperaturni minimum u umjerenom klimatu iznosi 5 °C.

Najvažniji procesi u biljkama ovisni o toplini jesu:

- apsorpcija (usvajanje vode)
- usvajanje hraniva i plinova (CO<sub>2</sub>)
- biokemijski procesi (disanje, fotosinteza)
- rast, razvoj i dioba stanica.

Prema zahtjevima za toplinom biljke se mogu podijeliti na tri skupine:

- o Termofilne ili megatermne kulture – biljke koje za svoj rast i razvoj traže visoke temperature, odnosno čija se vegetacija odvija u zoni viših temperatura, a temperaturni prag im je u pravilu iznad 5, 10, 15 i 20 °C. To su ,npr., kukuruz, soja, suncokret i dr. s temperaturnim pragom od 10 °C i neke tropske kulture s pragom od 15 °C itd.
- o Kriofilne ili frigofilne kulture – biljke koje se dobro prilagođavaju niskim temperaturama ili čak za svoj rast i razvoj traže određeno razdoblje niskih temperatura. To su npr., ozime kulture (pšenica, ječam, raž), uljana repica i dr. Naprimjer, ozima pšenica traži poseban režim tzv. „kaljenja” da bi prezimila.
- o Mezofilne kulture – biljke osrednjih zahtjeva prema toplini.



S obzirom na veliku heterogenost, ali i prilagodljivost biljaka, optimalne, minimalne i maksimalne temperature kreću se u širokom prosjeku u rasponu 0 – 45 °C. Između 25 i 30 °C prosječan je optimum za većinu fizioloških procesa, osobito za fotosintezu. Maksimalne temperature za usvajanje vode od strane biljaka kreću se između 35 – 40 °C. Optimalne temperature za respiraciju kreću se između 35 – 40 °C. Pri 45 °C inaktivira se klorofil i prestaje fotosinteza. Na 50 °C prestaje disanje. Optimum za cvatnju i oplodnju je oko 25 °C, a za zriobu su potrebne temperature više od 25°C.

Dnevno-noćna izmjena temperatura odražava se na dinamiku fizioloških procesa i ima značajan utjecaj na produktivnost fotosinteze. Kao dobar primjer može se navesti primjer šećerne repe. Tijekom kolovoza i rujna uobičajene su visoke dnevne, ali i noćne temperature zraka u našim agroekološkim uvjetima. Tijekom noći visoke temperature pospješuju disimilaciju, pa se šećer asimiliran danju u značajnoj mjeri potroši tijekom noći. Iz ovog je razloga digestija (postotak šećera – saharoze) šećerne repe često niska. Istovremeno, u hladnijim agroekološkim uvjetima uzgoja šećerne repe (npr., Austrija) ostvaruju se veće vrijednosti digestije, neovisno o primijenjenoj agrotehnici.

Utjecaj visokih temperatura može imati pozitivan i negativan učinak. Negativan učinak se obično manifestira gubitkom vode, smanjenjem turgora, desikacijom protoplazme, promjenama u strukturi protoplazme i funkciji enzima. Zatim u koagulaciji proteina, sterilnosti polena i njegovom isušivanju, preranom opadanju cvijeta, u disbalansu fotosinteze i respiracije, povećanju transpiracije, prisilnoj zriobi i dr.

Učinak tzv. „toplinskog udara”, odnosno prisilne zriobe naročito je opasan u mliječnoj i voštanoj zriobi žitarica. Prisilna zrioba se događa kada se ispune sljedeći uvjeti: visoke temperature zraka, niska relativna vlažnost zraka i zemljišna suša (manjak vode u tlu). Pri ovim uvjetima, a naročito ako potraju nekoliko dana, biljka nije u stanju nadoknaditi gubitak vode transpiracijom pa nastupa prisilna zrioba. Temperatura biljaka nije jednaka u svim njenim dijelovima, a razlika prvenstveno ovisi o:

- temperaturi okolnog medija (zrak)
- gibanju zraka (brzina, temperatura, vlažnost)
- apsorpciji i emisiji zračenja (odnos dugovalnog i kratkovalnog zračenja)
- njihovoj latentnoj toplini
- uskladištenoj toplini
- otporu prijenosa topline (specifični toplinski koeficijent).

Postoji više načina borbe protiv negativnog utjecaja visokih temperatura na poljoprivredne biljke, a najznačajnije koje se mogu primijeniti u našim agroekološkim uvjetima jesu: pomicanje kritičnog razdoblja vegetacije (raniji kultivari ili promjena roka sjetve), uzgoj otpornih kultivara i zasjenjivanje biljaka.

Pozitivan učinak visokih temperatura prvenstveno je u slučaju potrebe isušivanja mokrog tla, zagrijavanja tla, zriobe i sušenja plodina.

Štetni učinci niskih temperatura prvenstveno se odražavaju na morfologiju biljaka (vanjski izgled), desikaciji protoplazme, koagulaciji koloida, povećava se koncentracija staničnog soka, dolazi do mehaničkih oštećenja tkiva (kristalići leda kidaju membrane i uzrokuju fiziološku smrt stanice). Disanje prestaje pri -10 °C, iako neke kulture podnose i -14 °C, -20 °C (pšenica), -30 °C (raž), -10 °C (crvena djetelina), leća -5 do -6 °C, krumpir -3 do -6 °C, bundeva -1,5 °C, šljiva -32 do -38 °C, a kruška i jabuka -38 do -40 °C (cvjetni pupovi -25 °C).

Treba razlikovati izdržljivost na niske temperature u fazi mirovanja biljaka (npr., faza jarovizacije) od izdržljivosti na niske temperature tijekom vegetacije (npr., mraz). U ovom se slučaju navode četiri temperaturna praga:

- prirodna otpornost na mraz
- nulta vegetacijska točka
- tolerantni maksimum
- apsolutni maksimum.

Između točke prirodne otpornosti prema mrazu i nulte točke, vegetacija miruje, dok se između maksimalne tolerantnosti i apsolutnog maksimuma rast naglo usporava.

Od pozitivnih strana niskih temperatura (mraz i temperature u većim minusima) treba izdvojiti pozitivan efekt izmrzavanja tla tijekom zime (posebice teških glinastih tala) zbog čega je u proljeće olakšana priprema sjetvenog sloja (tzv. „efekt mraza”). Mnoge štetočine (larve, imaga, jajašca), bolesti i korovi stradavaju tijekom zimskog razdoblja. Poznato je kako su štete koje čine u poljoprivrednim usjevima znatno veće iza blagih zima.

Borba protiv negativnog učinka niskih temperatura (prvenstveno mraza) dijeli se na pasivne i aktivne mjere, a najznačajnije su:

- o Sjetva/sadnja usjeva u bezmraznom vegetacijskom razdoblju, uz poštivanje optimalnih rokova sjetve/sadnje. O ovoj mjeri nisu ovisni ozimi usjevi i trajni nasadi (voćnjaci i vinogradi) – pasivne mjere.
- o Izbor položaja (voćka, loza), izbor kultivara, povoljna i prilagođena agrotehnika – pasivne mjere.
- o Aktivne mjere: mogu biti antiradijacijske, dinamičke i termičke:
  - *antiradijacijske*: formiranje neprozirnog sloja za infracrvene zrake, pokrivanje usjeva
  - *dinamičke*: izbjegavanje nastanka hladnih slojeva zraka iznad tla (npr., miješanje zraka upotrebom ventilatora ili helikoptera u voćnjacima, vinogradima)
  - *termičke*: proizvodnja topline pećima, vatrom, generatorima, sprječavanje taloženja hladnog zraka u „mraznim džepovima” pomoću barijera živih ograda. Nadalje, prskanje vodom, otopinom borne kiseline i uree. Prskanje vodom podiže temperaturu ograničeno za samo 1,6 – 2,2 °C s -1 do -2 °C. Dimljenje se može obavljati naftnim plamenikom ili paljenjem mokre slame, lišća, organskog gnojiva (guma i nafta nisu ekološki prihvatljiva rješenja jer značajno onečišćuju zrak).

Zbog zahtjeva biljaka za toplinom najveća su prostranstva poljoprivrednih površina u umjerenom pojasu. Prema ekvatoru ograničenje je najčešće u visokim, a prema polovima niskim temperaturama. Zbog tih se razloga poljoprivredna proizvodnja u tropskim uvjetima može odvijati do 3000 m nadmorske visine, a prema sjevernom polu do 72° s.g.š. (dalje na sjever se protežu tundre). S porastom visine za svakih 100 metara temperatura pada za  $\approx 0,65$  °C, a vegetacija kasni 5 dana. Visinska granica uzgoja usjeva u europskim uvjetima je na 600 m za termofilne kulture (kukuruz, vinova loza, voće), 1000 m za jare usjeve, a 800 m za ozime usjeve. Od 1000 do 2000 m dolaze šume i travnjaci. Postoje bitne razlike u ekspoziciji između sjevernih i južnih položaja.

## Voda

Voda je esencijalna tvar života na Zemlji i jedna od glavnih sastavnica njenog klimatskog sustava. Voda se pojavljuje u sva tri agregatna stanja: krutom (led, snijeg), tekućem (voda, kiša, rosa) i plinovitom (vodena para). Prijelaz iz jednog agregatnog stanja u drugo odvija se neprekidno, stoga je voda najnestabilniji klimatski element.

Gustoća vode iznosi  $1 \text{ kg dm}^{-3}$  zbog čega se količina vode može osim obujmom, također prikazati i masom. Obično se količina vode prikazuje visinom vodenog sloja na ravnoj podlozi. Tako je debljina vodenog sloja od  $1 \text{ mm}$  na ravnoj podlozi od  $1 \text{ m}^2$  jednaka  $1 \text{ dm}^{-3}$  (odnosno  $1 \text{ litra}$ )

Na kompleksnost procesa kruženja vode u prirodi, a time i u ekosustavima (pa i agroekosustavima) značajno utječu evaporacija i transpiracija, kao njegove neizostavne komponente. Evaporacija je spontano odlaženje molekula vodene pare iz vode ili leda s bilo koje površine (vodene ili kopnene). Isparavanje se povećava ako se povise temperature podloge i zraka, ako se pojača vjetar i ako je zrak suh. Za isparavanje  $1 \text{ g}$  vode iz tekućeg agregatnog stanja potrebno je utrošiti oko  $2514 \text{ J}$  topline. Transpiracija je proces isparavanja vode kroz biljku preko lista, stabljike i drugih njezinih dijelova. Oko  $70$  do  $100 \%$  ukupne količine isparene vode otpada na aktivnu transpiraciju kroz puči (stome), a ostatak na pasivnu, koja teče preko biljne opne, kutikule (Slika 4.). Ovaj je fiziološki proces prirodan i nužan za normalno funkcioniranje biljke, a njime se voda iz tla preko korijena i nadzemnih organa biljke ispušta u atmosferu.



*Slika 4. Guttacija - proces gubitka vode iz listova biljaka putem kapljica*

Za poljoprivrednu je proizvodnju vrlo važan pokazatelj *transpiracijski koeficijent* (TK) kojim se označava količina vode koja je potrebna biljkama za tvorbu njene suhe tvari. TK se uobičajeno izražava u g ili kg za tvorbu jednog g ili kg suhe organske tvari. TK nije fiksna veličina, već je ovisna o nizu agroekoloških uvjeta uzgoja, kao i nizu biljno-fizioloških svojstava biljaka u uzgoju. U Tablici 1. navedeni su primjeri i orijentacijske veličine TK za neke poljoprivredne kulture.

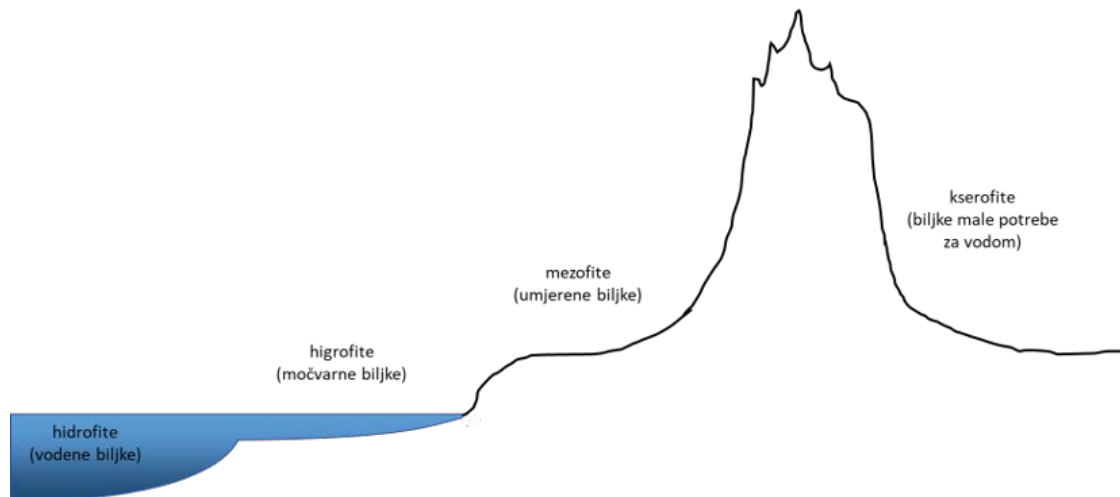
Kultura	Transpiracijski koeficijent (TK)
Pšenica	450 – 600
Kukuruz	250 – 300
Riža	500 – 800
Pamuk	300 – 600
Konoplja	600 – 800
Trave	500 – 700
Povrće	500 – 800

Tablica 1. Transpiracijski koeficijenti nekih poljoprivrednih kultura

Evapotranspiracija (ETc) je zajednički naziv za evaporaciju i transpiraciju i označava ukupnu količinu vode koja se vraća u atmosferu. Razlikuje se potencijalna i stvarna evapotranspiraciju. Potencijalna nije ograničena nedostatnom količinom vode, odnosno to je maksimalno moguća evapotranspiracija u okolnostima određenim neto iznosom zračenja, odnosno temperaturom, vlagom zraka i brzinom vjetra. Stvarna evapotranspiracija je ona transpiracija koja se realno događa, a ograničena je nizom elemenata, prvenstveno potencijalnom evapotranspiracijom.

Količina pristupačne vode (oborine), aridnost i humidnost, značajno utječu na razdiobu kulturnih biljaka na Zemlji. Kulturne se biljke prema potrebama za vodom dijele na četiri osnovne skupine (Shema 2.):

- hidrofite ili akvatične biljke – imaju veliku potrebu za vodom (riža) i djelomično ili u potpunosti žive u vodi
- kserofite – imaju skromniji utrošak vode, dobro podnose sušu i povremene deficite vode (kukuruz, suncokret, šećerna repa, sirak, proso, lubenica). Kserofite se još mogu podijeliti na:
  - eukserofite – dobro podnose fiziološku sušu (maslina)
  - parakserofite – dobro podnose atmosfersku sušu i sušu površinskih slojeva tla zahvaljujući snažnom korijenovom sustavu (luk)
  - hemikserofite – dobro podnose sušu zbog akumuliranja vode u neke organe (sukulentne biljke)
- mezofite – umjerenih su potreba za vodom (pšenica, ječam)
- higrofite – imaju velike potrebe za vodom (crvena djetelina, soja, zob, lupina, konoplja, trave).



Shema 2. Prostorni raspored skupina biljaka različitih potreba za vodom

Suša može biti „fiziološka“ (uzrokuje sušenje stanica, tkiva, organa, a zaštitni mehanizmi čuvaju biljku od koagulacije plazme) i „ekološka“ (uslijed manjka vode u okolišu ili njezine nedovoljne pristupačnosti). Reakcije biljaka na stres uslijed suše (Slika 5.) mogu se iskazati na razne načine:

- prirodna/genetska tolerantnost uz smanjenje prinosa
- akumulacija vode u organima (kaktus)
- uvijanje lišća (kukuruz, sirak) smanjuje transpiraciju
- dormantnost (privremena uspavanost u nepovoljnim uvjetima)
- ubrzavanje i skraćivanje vegetacije.



Slika 5. Utjecaj suše na ozimu pšenicu



Reakcije biljaka na stres uslijed prevelike vlažnosti obično idu u smjeru smanjenja prinosa zbog:

- slabe aeracije, manjka kisika (uvjeti anoksije i hipoksije), (Slika 6.)
- smanjenog rasta i funkcije korijena (usporena ili onemogućena apsorpcija)
- otežane cvatnje, niske kvalitete sjemena
- otežane zriobe (produžetak vegetacije u jesen – kukuruz).



*Slika 6. Reakcija usjeva kukuruza na dugotrajno ležanje vode na tlu*

1 mm oborine (kiše) je ekvivalent 1 l vode na kvadratni metar površine, dokaz:

$$100^2 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l}$$

Različiti oblici oborina mogu imati pozitivan i negativan utjecaj na rast i razvoj biljaka. Vrsta, oblik, intenzitet i ukupna količina oborine presudni su elementi ovog utjecaja. U interakciji s mehaničkim sastavom tla i njegovom stratigrafijom bitno određuju režim vlage tla. U poljoprivrednoj proizvodnji najveći značaj imaju kiše umjerenog, slabog intenziteta. Jake kiše, pljuskovi, torencijalne kiše izazivaju eroziju, brzo otjecanje i gubitak vode i degradaciju površinskog sloja tla. Tuča je uvijek štetna, a pogotovo tijekom vegetacije.

Pozitivni učinci snijega jesu u tome što je on izvor vode (posebno značajno u aridnim krajevima), a u zimskim uvjetima služi kao termoizolator ozimim usjevima. Snijeg također ima i negativne učinke:

- kidanje grana zbog njegove težine – vočke
- zbog dužeg zadržavanja može izazvati pojavu gljivičnih bolesti, smanjenje sadržaja kisika (intoksikacija akumulacijom  $\text{CO}_2$  dovodi do „gušenja usjeva“)
- otežava zagrijavanje tla u proljeće, reflektira 80 – 90 % sunčeve svjetlosti
- sprječava izmrzavanje tla
- usporava proljetne radove
- kasni snijeg može uništiti posijane jarine ili izazvati polijeganje ozimina
- opasnost od pojave ledene kore (nastaje izmjeničnim topljenjem i smrzavanjem snijega ili smrzavanjem kiše koja je pala na snijeg – može dovesti do „gušenja biljaka“).

Rosa nije obilan izvor vode za biljke (godišnje svega nekoliko mm), ali ih može osvježavati tijekom velikih ljetnih vrućina. Negativan učinak rose je što može pogodovati jačem razvoju gljivičnih bolesti jer mijenja fitoklimat (u sklopu biljaka) povećavajući relativnu vlažnost zraka.

## Zrak

Zrak kao jedan od najvažnijih klimatskih elemenata očituje se kroz različite oblike, primjerice: sastav zraka, gibanje zraka (vjetar), tlak zraka, kao i različite ekspresije ovih pojava.

Kemijski sastav današnje atmosfere u suštini je vrlo jednostavan jer se 99 % suhog zraka sastoji od samo dva elementa: dušika (N) 78,08 % i kisika (O<sub>2</sub>) 20,95 %. Ostatak od nepunih 1 % čine ostali plinovi atmosfere: plemeniti plinovi, staklenički plinovi i vodena para.

*Dušik (N)* se ubraja u stalnu sastavnicu atmosfere i u njoj se nalazi u elementarnom obliku (N<sub>2</sub>). Postojan je, inertan, slabo apsorbira Sunčevu svjetlost i slabo ulazi u kemijske reakcije. Ujedačenog je sadržaja u tlu i zraku. Od iznimnog je značaja kao element biljne ishrane.

*Kisik (O<sub>2</sub>)* se kao dušik ubraja u stalnu sastavnicu atmosfere. Osnova je organskog života na Zemlji, a nastaje kao produkt fotosinteze. Postotni udio kisika u atmosferi varira s promjenom godišnjih doba, ali je ta promjena mala i unutar 0,1 %. Njegov sadržaj u zraku tla značajno je različit i manji od sadržaja u atmosferi. Manji udio kisika u tlu ponajviše je ovisan o biološkoj aktivnosti tla, većem sadržaju vode, jačoj zbijenosti tla i slabijoj aeraciji.

*Ugljikov(IV) oksid (CO<sub>2</sub>)* ubraja se u skupinu stakleničkih plinova promjenjivog sastava. U atmosferi se nalazi u vrlo malom postotku (0,042 %), dok se u tlu nalazi u deset puta većoj koncentraciji. Njegov je značaj kao sastavnice atmosfere vrlo velik jer ulazi u niz bioloških procesa i kemijskih reakcija. Iz atmosfere izlazi trošenjem u procesu fotosinteze i kemijskim reakcijama nastajanja karbonata, dok u atmosferu ulazi prirodnim putem (vulkani, šumski požari, mineralizacija organske tvari, disanje i dr.) i antropogenim putem (industrija, promet, nafta i dr.). Ima veliki utjecaj na pojačavanje učinka staklenika, a služi i kao ekvivalent za ostale plinove s učinkom staklenika. Ovo svojstvo ugljičnog dioksida proizlazi iz njegove sposobnosti apsorbiranja dugovalnog reflektiranog toplinskog zračenja Zemlje. Pri ovome dolazi do negativne bilance toplinskog zračenja, što znači da se veći dio tog zračenja zadržava na Zemlji, a manji dio reflektira se natrag u svemir. Njegova koncentracija u atmosferi je ispod optimalne za odvijanje fotosinteze. Računa se da je učinkovitost usvajanja CO<sub>2</sub> vrlo niska, tek oko 10%. U usjevu mu se koncentracija tijekom dana mijenja; tijekom dana je manja, a noću je veća. Vjetar značajno utječe na njegovu koncentraciju u usjevu. Ako udio CO<sub>2</sub> u tlu pređe 1 %, postaje štetan. Kada se njegov udio u atmosferi ne bi redovito nadoknađivao i obnavljao, sve bi se njegove rezerve potrošile za fotosintezu za 35 – 40 godina.

*Vodena para (H<sub>2</sub>O)* ubraja se u skupinu stakleničkih plinova promjenjivog sastava kao i ugljični dioksid. Njen sadržaj u atmosferi vrlo je varijabilan i kreće se od 0 % u polarnim krajevima do 4 % u tropskim krajevima. U atmosferi srednjih geografskih širina, s umjerenim klimatom, prosječni udio vodene pare kreće se oko 1 %. Osim na horizontalnoj ravnini sadržaj vodene pare varira i po vertikalnoj osi, smanjujući se s porastom visine. Vodena para je staklenički plin najsnažnijeg pojedinačnog učinka jer ima sposobnost apsorbirati veliku količinu toplinske radijacije Zemlje. Njen je učinak na razini 60 – 70% učinka svih stakleničkih plinova. Za usporedbu, staklenički učinak ugljičnog dioksida na razini je 25 %. S meteorološkog aspekta vodena para najvažniji je sastojak atmosfere jer njenim promjenama nastaju

oborine, a također sudjeluje u energetskej bilanci cijelog sustava zbog izmjena njenih agregatnih stanja i potrošnje ili oslobađanja njene latentne topline.

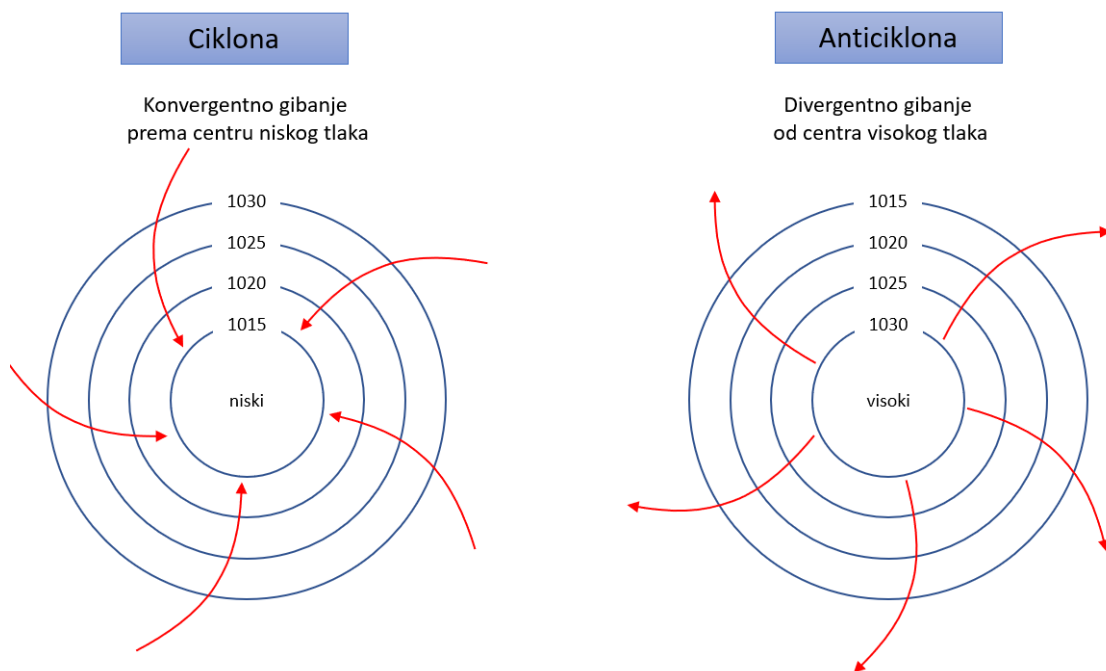
Od svih meteoroloških elemenata tlak zraka ima najmanji izravni utjecaj na biljni svijet, a njegovo je posredno djelovanje preko strujanja i ostalih vremenskih zbivanja vrlo veliko. Poznavanje tlaka zraka ima presudno značenje za analizu i prognozu vremena. Instrument za mjerenje tlaka zove se barometar, a barograf je instrument za automatsko registriranje tlaka. Izobare su linije koje pokazuju oblik baričkog polja (polje tlakova).

Iznad nehomogene podloge zrak se ne zagrijava jednoliko. Zato ni izobarne plohe nisu paralelne s tlom. Zbog razlike tlakova javlja se gradijentska sila koja nastoji izjednačiti horizontalne razlike. Vjetar ili advekcija (i strujanje općenito) posljedica je djelovanja gradijentske sile zbog nejednakog tlaka u približno horizontalnoj ravnini. Iz ovoga proizlazi kako je primarni uzrok nejednakih tlakova različita brzina zagrijavanja ili hlađenja zraka nad nehomogenom podlogom. Vertikalno gibanje zraka naziva se konvekcija, a nastaje kao posljedica termički nestabilne atmosfere.

Ciklona je polje niskog tlaka i donosi oblačno vrijeme i oborine. Zrak se u ciklonalnom polju giba od rubova prema centru, odnosno prema mjestu najnižih tlakova. Ovakvo se gibanje zraka naziva konvergentno. Na sjevernoj hemisferi u cikloni strujanje zraka teče suprotno od smjera kazaljke na satu (Shema 3.).

Anticiklona je polje visokog tlaka i ljeti je u anticikloni vedro. Vjetar je u pravilu slabiji nego u cikloni. Zrak se u anticiklonalnom polju giba od centra prema rubovima, odnosno od mjesta najviših tlakova. Ovakvo se gibanje zraka naziva divergentno. Na sjevernoj hemisferi u anticikloni strujanje zraka teče u smjeru kazaljke na satu.

Topla fronta je kad toplija zračna masa zauzima područje gdje se nalazi hladniji zrak. To se događa kad je brzina vjetera u toplom zraku veća nego u hladnom. Kod hladne fronte dolazi do prodora hladne zračne mase, a topla se povlači. Hladni zrak prodire pod topli i gura ga u visinu.



Shema 3-Smjer prizemnog vjetera u ciklonalnom i anticiklonalnom polju



Vjetar je gibanje zračnih masa paralelno sa Zemljinom površinom. Određen je svojim smjerom i brzinom. Brzina vjetra izražava se u metrima u sekundi ( $m s^{-1}$ ) ili čvorovima. Čvor je naziv za brzinu od jedne morske milje na sat. Morska ili nautička milja iznosi 1 852 m, dakle čvor  $\approx 0,515 m s^{-1}$ . Brzina vjetra ovisi o polju tlaka. Tamo gdje su razlike tlaka na maloj udaljenosti velike, odnosno pri većem horizontalnom gradijentu tlaka, pušu jaki vjetrovi. Jednako tako, mirno vrijeme sa slabim vjetrom je u uvjetima vrlo malog gradijenta tlaka. Smjer vjetra označuje se onom stranom svijeta odakle vjetar puše. Brzina vjetra mjeri se pomoću anemometra (ručni, s mehaničkim prijenosom i s električnim prijenosom), a kontinuirane zapise smjera vjetra daje anemograf.

### Djelovanje vjetra na biljnu proizvodnju

Djelovanje vjetra na biljke može biti pozitivno i negativno ovisno o njegovom smjeru, jačini i učestalosti, ali i o sustavu biljne proizvodnje i stadiju razvoja usjeva.

Negativno djelovanje vjetra očituje se u sljedećem:

- savija, deformira i lomi grane, ruši stabla i biljke
- izaziva polijeganje usjeva (žitarica, kukuruza, suncokreta)
- kida plodove (voće) i uništava cvjetove
- smeta kukcima u oplodnji biljaka
- širi korove (anemohorija)
- pojačava negativno djelovanje niskih temperatura
- formira nanose snijega na usjevima
- donosi morsku sol (u primorskim krajevima)
- povećava transpiraciju (posebice ako je suh i vruć)
- pojačava fiziološku sušu u proljeće
- izaziva abrazije ako nosi pijesak
- izaziva eolsku eroziju.

Pozitivno djelovanje vjetra očituje se u sljedećem:

- suši mokro tlo (ubrzava proljetne radove)
- suši krmu i plodine (npr., u jesen)
- donosi svjež zrak ( $CO_2$ ) i vlagu
- na sjevernim padinama brže topi snijeg
- vrlo je važan za oplodnju stranooplodnih biljaka (voćke, kukuruz, suncokret, heljda, lucerna)
- često snižava temperaturu u usjevu (hladi biljke).

Kad vjetrovi suviše ugrožavaju agrikulturu na bilo koji način, nužna je zaštita većih razmjera. Jedna od vrlo starih i efikasnih mjera zasađivanje je prirodnih prepreka vjetru, odnosno vjetrobrana ili vjetрозаštitnih pojaseva. Najčešće se izrađuju od drveća, gustog raslinja itd., kojima se smanjuje brzina vjetra. Mogu štiti biljke pojedinačno ili obavljati zaštitnu ulogu širokih razmjera (na velikim područjima), služeći kao korektivni mikroklimatski čimbenik. Vjetrobrani mogu biti mrtvi i živi, odnosno barijere ili palisade. Mrtve palisade su tzv. suhozidi ili su načinjene od pletera, a žive su od trava, grmlja, drveća. Smanjuju brzinu ili usmjerenje vjetra na udaljenosti 3 – 5 puta od svoje visine, u širokom prosjeku. U našem se priobalnom području kao mrtve prepreke koriste suhozidi od kamenja (ograđene

površine vinograda, maslinika, smokvika), a žive od čempresa, bora, cedra, tuje ili grmlja lovora, planike, tamarisa itd. U kontinentalnim se područjima obično koriste brijest, joha, topola, platana i dr.

## Klimatske Promjene i poljoprivreda

Klimatske promjene nisu novina već su se one događale i u ranijim periodima tijekom duge povijesti Zemlje. Specifičnost u odnosu na prethodna razdoblja je u činjenici kako je glavni krivac za ove klimatske promjene čovjek. Antropogeni utjecaj toliko je jak i obuhvatan da se mnogi znanstvenici zalažu za uvođenje novog naziva za geološku eru u kojoj se nalazimo – antropocen. Od posljednjeg ledenog doba (koje je završilo prije otprilike 10 000 – 13 000 godina), sve su se civilizacije razvijale u holocenu, odnosno vremenskom razdoblju u kojem su se ljudska društva razvijala i napredovala „otkrićem“ poljoprivrede i proizvodnje hrane, gradnjom naselja i korištenjem okolišnih resursa općenito.

Kako bi se izbjegli nesporazumi oko razumijevanja i definiranja pojedinih klimatskih stanja i procesa (što nije rijetkost), ovdje se u skraćenoj formi donose uobičajene definicije nekih terminoloških izričaja (i njihov prijevod na engleski jezik) vezanih uz klimatske promjene (Slika 7.).

Vrijeme ( <i>Weather</i> ) – trenutno stanje atmosfere (vremenske prilike u kratkom periodu vremena)
Klima ( <i>Climate</i> ) – prosječno stanje atmosfere (prosječne vrijednosti meteoroloških elemenata u dužem periodu vremena – standardni period vremena = 30 godina)
Učinak (efekt) staklenika ( <i>Green house effect</i> ) – proces pri kojem se toplinsko zračenje (infracrveno zračenje) s površine Zemlje adsorbira u atmosferi, a adsorbiraju ga staklenički plinovi te dolazi do ponovnog zračenja u svim smjerovima. Dio tog zračenja dolazi natrag u niže slojeve atmosfere i na Zemljinu površinu što dovodi do povećanja prosječne temperature zraka
Klimatske varijacije ( <i>Climate variability</i> ) – Značajne promjene klimatskih (okolišnih) veličina za određeni prostor i vrijeme, a može trajati od nekoliko tjedana do nekoliko desetljeća [ <i>kratkoročne promjene = short-term effect</i> ]
Klimatske promjene ( <i>Climate change</i> ) – Statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima, stoljećima i duže – [ <i>dugotrajne promjene = long-term effect</i> ]
Globalno zatopljenje ( <i>Global warming</i> ) – iznad prosječno i statistički značajno povećanje temperature zraka na globalnoj razini, nastalo kao posljedica prirodnih i antropogenih utjecaja (u periodima vremena od nekoliko desetljeća ili duže) – često sinonim za klimatske promjene
Globalno zahlađenje ( <i>Global cooling</i> ) – proces snižavanja prosječne temperature Zemlje na statistički značajnoj razini, nastao kao indirektna posljedica globalnog zagrijavanja (poremećaj u cirkulaciji atmosfere i oceana)

Slika 7. Hijerarhija definiranja terminoloških izričaja klime

Poljoprivreda se ubraja u jedan od najranjivijih sektora na klimatske promjene. Očekivane posljedice klimatskih promjena (na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini), prema FAO ugrubo se mogu podijeliti na biofizičke i socioekonomske, a koje su vezane uz sljedeće pokazatelje:

- povećana potrošnja vode
- povećan rizik od poplava
- povećan rizik od erozije i pad kvalitete tla
- povećan rizik gubitka vodenih staništa
- izmijenjeni prirodni ekosustavi, gubitak staništa i potencijalni gubitak vrsta
- umanjena produktivnost komercijalnih šuma i povećan rizik od požara otvorenog prostora

- negativne posljedice na poljoprivredu uslijed nestašice vode
- izmijenjen potencijal ribarstva
- povećana materijalna šteta uslijed učestalih ekstremnih vremenskih prilika
- izmijenjeni turistički potencijali
- posljedice po ljudsko zdravlje
- migracije stanovništva.

Granicu između biofizičkoga i socioekonomskoga utjecaja klimatskih promjena nije moguće jasno uočiti, što ukazuje na visoku razinu njihove integracije i višestruke lančane uzročno-posljedične povezanosti.

Poljoprivredna je biljna proizvodnja izravno i neizravno definirana, a time i ovisna o elementima klimatskog sustava. Istovremeno, po principu povratne sprege, poljoprivredna proizvodnja izravno i neizravno utječe na izmjene klimatskog sustava. Poljoprivreda svojom primarnom aktivnošću utječe na onečišćenje tla, vode i zraka, a njen negativan utjecaj proizlazi iz deforestacije, dezertifikacije, gubitka bioraznolikosti, erozije tla, gubitka organske tvari tla, salinizacije, acidifikacije tla i oceana i dr.

Poljoprivreda sudjeluje s preko 20 % emisije stakleničkih plinova iz antropogenih izvora u ukupnoj emisiji, a najznačajniji od njih su:

- o CO<sub>2</sub> (21 % – 25 % od ukupne CO<sub>2</sub> emisije) iz fosilnih goriva s farmi, paljenja biomase, ali većinom zbog deforestacije i prenamjene tla
- o CH<sub>4</sub> (55 % – 60 % od ukupne CH<sub>4</sub> emisije) iz uzgoja riže, prenamjene tla, paljenja biomase, fermentacije preživača, životinjskih ekskremenata
- o N<sub>2</sub>O (65 % – 80 % od ukupne N<sub>2</sub>O emisije) uglavnom iz dušičnih gnojiva s obradivih površina i životinjskih ekskremenata.

Prema načelu kauzalnosti, klimatske promjene utječu na poljoprivrednu proizvodnju na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini na izravan (fizikalna, kemijska i biološka degradacija) i neizravan način (ekonomski, gospodarski, sociološki, tehnički, tehnološki, politički i dr.). Na globalnoj se razini, kako navodi FAO, mogu očekivati sljedeće posljedice u poljoprivredi:

- smanjenje prinosa i razine proizvodnje
- smanjenje udjela poljoprivrede u BDP-u
- fluktuacije cijena na svjetskom tržištu
- povećanje broja gladnih
- migracije i socijalni nemiri.

Biljna proizvodnja, kao primarni producent u lancu proizvodnje hrane, pod izravnim je utjecajem klimatskih promjena, a ujedno je i najosjetljiviji segment poljoprivredne proizvodnje. Najznačajniji segmenti i refleksije biljne proizvodnje pod utjecajem klimatskih promjena jesu:

- dugotrajna promjena prosječnih temperatura zraka i količine oborina
- povećani razvoj bolesti, korova i štetnika
- degradacija tla (erozija, ispiranje hraniva, smanjena infiltracija)
- produžetak vegetacije (pozitivan utjecaj)
- skraćenje vegetacije (kasno-proljetni i rano-jesenski mraz).

Intenzitet, oblik, razina i trajnost navedenih promjena u najvećoj mjeri su ovisne o stabilnosti agroekološkog uzgojnog područja, ali i njegovoj sposobnosti prilagodbe na izmijenjene uvjete uzgoja koji se očekuju uslijed promjene klime.

Realno je postaviti pitanje: „Može li se, i ako da, u kojoj mjeri poljoprivredna biljna proizvodnja prilagoditi klimatskim promjenama?” Većina znanstvenika je stava kako će doći (ili je već došlo) do velikih promjena u biljnoj proizvodnji. Ovaj je stav lako razumjeti, a posebice ako se zna kako je:

- abiotski i biotski uvjetovan stres uzrokovan klimatskim promjenama najznačajniji čimbenik ograničenja proizvodnje hrane
- prilagodba biljaka i životinja na različite uvjete životne sredine trajala  $\approx$  400 milijuna godina (a klimatske se promjene događaju vrlo brzo)
- tolerantnost na ekstremne uvjete uvjetovana složenim biokemijsko-fiziološkim mehanizmima
- prilagodba biljaka i životinja na klimatske promjene spora i evolucijski uvjetovana
- rezultat duže izloženosti biljaka i životinja stresu uvijek i redovno smanjenje prinosa.

Uslijed klimatskih promjena dolazi do promjene raznih meteoroloških parametara, a predviđanje (prognoze) njihove pojavnosti iznimno je zahtjevno i složeno. Tako, npr., valja napomenuti kako između temperature i oborina postoji vrlo složena interakcija. Intenzivnije i izraženije epizode oborina, vjetrova, poplave, suše, ekstremnih temperatura i dr., mogu rezultirati uništavanjem usjeva, smanjenjem infiltracije, pojačanim površinskim otjecanjem, intenziviranjem erozije, gubitkom hraniva, onečišćenjem vodotokova i ostalo. Povećanje prosječne minimalne temperature zraka, kao i povećanje prosječnih noćnih temperatura, kod nekih biljaka može izazvati stres. Kao posljedica može se očekivati smanjenje i usporavanje rasta i razvoja, ranije sazrijevanje, poremećaji u reprodukciji (polinaciji), intenziviranje pojavnosti bolesti, korova i štetočina (povećana upotreba pesticida) te, u konačnici, smanjenje kvalitete i kvantitete uroda. Povećanje razine atmosferskog CO<sub>2</sub> može uzrokovati promjene u normalnom funkcioniranju biljaka (npr., veći prinos, a manja kvaliteta).

Jedna od najznačajnijih negativnosti klimatskih promjena je smanjenje i gubitak (agro) bioraznolikosti. U posljednjih nekoliko stotina godina antropogeni učinak na povećanje stope izumiranja biljnih i životinjskih vrsta je za više od 1000 puta veći u odnosu na prirodni ciklus izumiranja vrsta tijekom cijele povijesti Zemlje. Kreiranjem poljoprivrednih ekosustava (agroekosustava) izravno se utjecalo na degradaciju prirodnih ekosustava, a time i na smanjenje bioraznolikosti. Gubitkom bioraznolikosti, a posebice agrobioraznolikosti, otvara se prostor za širenje drugih, a najčešće invazivnih vrsta.

### **Mjere prilagodbe poljoprivredne proizvodnje na klimatske promjene**

Klimatske promjene su iznimno kompleksan fenomen s puno nepoznanica i varijabli i kao takvom mu treba i pristupiti. Scenariji ili projekcije klimatskih promjena u budućnosti i njihov daljnji utjecaj na naš planet uglavnom ukazuju na povećanje prosječne temperature zraka i intenzivniju degradaciju okoliša. Strategije djelovanja potrebno je prilagoditi i usmjeriti prema različitim scenarijima klimatskih promjena koje se trebaju odvijati i provoditi istovremeno na tri osnovne razine: *stagnacija* daljnje degradacije okoliša (prvenstveno atmosfere), *ublažavanje* uzroka klimatskih promjena i *prilagodba* na klimatske promjene.

Primjenom različitih strategija omogućuje se sustavima proizvodnje hrane stabilnost (sigurnost), efikasnost (u smislu korištenja resursa) i prilagodljivost (pravovremeni i odgovarajući odgovor na

iznenadne promjene sustava). Postoji više različitih strategija prilagodbe poljoprivredne biljne proizvodnje na klimatske promjene, a kao najznačajnije valja istaknuti sljedeće koncepte:

- Klimatski pametna poljoprivreda
- Održivo gospodarenje zemljištem
- Konzervacijska poljoprivreda.

Klimatski pametna poljoprivreda (Climate Smart Agriculture - CSA) temelji se na tri osnovne postavke, odnosno integrira tri dimenzije održivog razvoja (ekonomski, socijalni i okolišni):

- održiva intenzifikacija poljoprivredne proizvodnje i dobiti
- prilagodba i jačanje otpornosti agroekosustava na klimatske promjene
- smanjenje i/ili uklanjanje plinova staklenika.

Održivo gospodarenje zemljištem (Sustainable Land Management - SLM) temelji se na ispunjavanju sljedećih uvjeta:

- proizvodnost
- sigurnost
- zaštita
- ekonomičnost
- socijalna prihvatljivost
- trajnost.

Konzervacijska poljoprivreda (Conservation Agriculture - CA) se temelji na tri osnovna postulata kreirana prema principima održivosti:

- trajna pokrivenost tla
- minimalno narušavanje tla obradom
- rotacija usjeva (plodored).

Za ove je koncepte značajna njihova prostorna, vremenska i tehnološka neovisnost, ali istovremeno u nekim slučajevima mogu biti međusobno visoko komplementarni. To znači da su uz određene nužne prilagodbe na specifičnosti agroekološkog uzgojnog područja, primjenjivi na globalnoj, regionalnoj i lokalnoj razini.

Uzimajući u obzir temeljne postavke poljoprivrede (npr., proizvodnost, održivost, dostatnost), zatim njene posebnosti (agroekološke i agrotehničke) u okviru prilagodbe na klimatske promjene, kao i mogućnosti odabira i primjenjivosti različitih strategija, postoji više različitih mjera i postupaka kojima se može doprinijeti ublažavanju i prilagođavanju klimatskim promjenama. Dvije su osnovne grupe izravnih i neizravnih mjera i postupaka koje se primjenjuju u prilagodbi poljoprivrede na klimatske promjene (Shema 4.).



Shema 4-Osnovne grupe pristupa prilagodbe sustava uzgoja

Prva grupa mjera prilagodbe temelji se na genetskoj i oplemenjivačkoj osnovi, a uključuje:

- razvoj genetskog potencijala
- introdukcija stranih kultivara
- kreiranje kultivara otpornijih na razne stresore.

Najznačajniji izvori stresa vezani uz klimatske promjene jesu visoka temperatura i suša, a oni služe kao prekursori za biotske i abiotske stresore za koje je potrebno razviti genetsku otpornost. Glavni biotski izvori stresa su: bolesti, štetočine, korovi, kukci, nematode, gljive, bakterije, virusi, a glavni abiotski: visoka i niska temperatura, višak ili manjak vode, insolacija, vjetar.

Druga grupa mjera prilagodbe biljne proizvodnje na klimatski uvjetovane promjene temelji se na provedbi redovitih agrotehničkih mjera i postupaka u biljnoj proizvodnji na održiv način. Neki od najznačajnijih su:

- konzervacijska obrada tla
- održavanje poticanja biogenosti tla i (agro) bioraznolikosti
- agrošumarstvo
- smanjenje erozije (vodom, vjetrom, obradom tla)
- plodoredi, združeni usjevi (konsocijacija), međusjevi
- pravilno gospodarenje vodom (navodnjavanje i protupoplavne mjere)
- pravilno gospodarenje humusom (i organskom tvari tla)
- sekvestracija ugljika (podizanje razine organske tvari)
- smanjenje emisije CO<sub>2</sub> (manipulacija biljnim ostacima)
- praćenje vremenskih i klimatskih prognostičkih modela
- prognoziranje uroda
- uzgoj otpornijih usjeva
- introdukcija stranih kultivara
- razvoj i primjena održivih tehnologija.

Prethodno navedene mjere i postupci u obje grupe mjera prilagodbe predstavljaju okvir prema kojemu bi se trebalo postupati s ciljem ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama. Sustav mjera uspješno će funkcionirati samo uz uvjet značajne i istinske preorijentacije poljoprivredne proizvodnje od razine kreiranja legislative, preko proizvodnih i preradbenih ciklusa, do krajnje potrošnje.

*Napomena: dijelovi ovog članka preuzeti su iz Sveučilišnog udžbenika: "Osnove tloznanstva i biljne proizvodnje", autora Irena Jug, Danijel Jug, Bojana Brozović, Vesna Vukadinović, Boris Đurđević. Izdavač: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek (FAZOS), godina izdanja 2022, str. 527.*

Prof. dr. sc. Irena Jug

Prof. dr. sc. Danijel Jug