

## Utjecaj kombiniranih stresova na biljnu proizvodnju

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

*Biološki stres* je posljedica drastične ili štetne promjene u okolišu (*abiotički, odnosno fizikalni ili kemijski stres*) koja se manifestira smanjenim rastom ili razvitkom biljaka, pri čemu pojam *biološka napetost* označava smanjene ili promijenjene biološke funkcije. *Abiotički stresovi*, poput suše, zaslanjivanja tla i toplinskih valova, glavna su i najrasprostranjenija ekološka ograničenja produktivnosti usjeva i uzrokuju razarajuće ekonomske i sociološke učinke, a posljednjih godina, najvjerojatnije zbog globalnih klimatskih promjena, temperatura zraka u hladu u našem agroekološkom podneblju vrlo često prelazi 35°C. Očito je kako se [klimatske promjene ubrzavaju što se manifestira čestim pojavom ekstremnim temperatura i dugotrajnim toplinskim valovima kao što je ovaj ovogodišnji, češćom zemljišnom i atmosferskom sušom, naročito ljeti, ali i uz veći rizik od poplava.](#) Kroz *filogenezu* (biološka evolucija) biljke su razvile niz različitih fizioloških mehanizama, kako na molekularnoj, staničnoj razini, tako i na razini cijele biljke kroz morfološke promjene, radi bolje aklimatizacije ili tolerancije na utjecaj ekstremnih abiotičkih faktora.

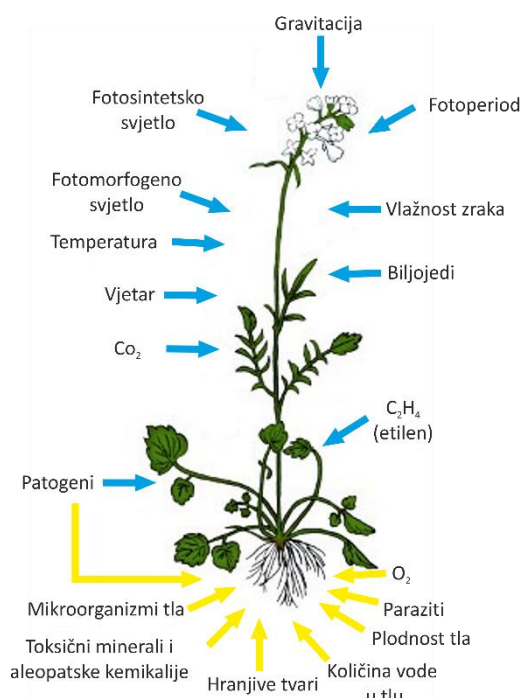
[Tolerantnost biljaka na ekstremne uvjete vanjske sredine podržana je vrlo složenim biokemijsko-fiziološkim mehanizmima koje reguliraju vjerojatno više od nekoliko stotina gena preko odgovarajućih enzimatski upravljanih reakcija.](#) Međutim, koliko god se stresni čimbenici međusobno razlikovali, oni slično utječu na biljke jer najčešće nastaju štete na membranskim sustavima i finoj proteinskoj strukturi protoplazme i njenih organela, što dovodi do ozbiljnih poremećaja metabolizma.

Budući da su stresovi uzrokovani klimatskim promjenama sve češći, poput ekstremnih temperatura, [nedostatka vode u tlu i atmosferi,](#) neravnoteže iona i dr., izuzetno važno znati kako biljke reagiraju na značajne [reakcije ekosustava istražuje fiziologija stresa](#) (Slika 1.).



Slika 2. Izgled kukuruz pod toplinskim stresom na 38°C (u hladu), Čepinski Martinci, Siget, 08.07.2021.

puči, uglavnom zbog atmosferske suše, čak i kad u tlu ima dovoljno vode. Kritičan sadržaj vode odgovara



Slika 1. Faktori odgovorni za reakciju biljaka na stres

oni mogu ugroziti globalnu sigurnost hrane te je otklone od optimalnih uvjeta okoliša, [a takve](#)

[U praksi, pa i znanstvenim krugovima, najčešće se razmatra problem suše i potreba za navodnjavanjem, a pritom se najčešće zanemaruje tzv. atmosferska suša koja je posljedica visoke temperature zraka,](#) njegove niske relativne vlažnosti ( $Rv\% = \frac{pv}{Pv}$ , gdje je  $pv$  stvarni, a  $Pv$  ravnotežni tla vodene pare) i veće brzine vjetra. Biljke nužno moraju uravnotežiti potražnju s ponudom vode, pri čemu se intenzivira *evapotranspiracija* pa biljke zahtijevaju sve više vode kako bi održale otvorene puči, odnosno asimilaciju ugljika. [Istraživanje u SAD je pokazalo da razdoblja visokog deficita tlaka vodene pare \(vapor pressure deficit; VPD >3 KPa\), čak i kraća od 1 sata, mogu izazvati zatvaranje puči i snažno smanjiti fotosintezu, a biljke često zatvaraju](#)

vlažnosti tla ispod koje je *aktualna (stvarna) transpiracija* niža od najviše moguće za date uvjete, [ali kako je najveću moću transpiraciju lako izračunati](#), a stvarnu transpiraciju veoma teško obzirom na potrebu utvrđivanja razlike potencijala vode između lišća i cijele biljke, kao i otpora kretanja vode kroz provodna tkiva različitih biljaka, njihove starosti, intenziteta metabolizma i dr. [Zbog toga se potreba biljaka za vodom, npr. potreba za navodnjavanjem, praktično najčešće utvrđuje temeljem raspoložive vode u tlu i korigira jednim, tzv. koeficijentom usjeva \(Kc\), a rjeđe s više tabličnih koeficijenata](#), npr. za temperaturu, površinu lisnog pokrova i iscrpljenost vode iz tla. Žalosna je činjenica da pored sve većih ulaganja u sustave za navodnjavanje u RH, nikad nisu utvrđeni stvarni Kc, već se koriste FAO vrijednosti, ili oni za područje sjev. Italije.

Tablica 1. [Optimalna, maksimalna i letalna temperature pšenice i kukuruza](#)

Fenofaza	Pšenica			Kukuruz		
	optim.	maks.	let.	optim.	maks.	let.
Klijanje	15-25	<35		30	>40	
Rast	20	<37	47	25	>40	52
Neto fotosinteza	15-30	<40		30-40	>40	
Oplodnja	20	<30	30	28	<35	35
Nalijevanje zrna	20	<35		20-35	>40	

Kako je trenutačno Zemlja u fazi globalnog zatopljenja, mogu se očekivati sve veće štete od visokih temperatura, a procjene pada prinosa usjeva s povećanjem temperature za svaki 1°C kreću se do 17 %. Pri visokim temperaturama značajno se smanjuje sposobnost biljaka za isijavanje suvišne topline što je i najčešće uzrok *toplinskom stresu*. Naime, biljke su optimalno prilagođene obavljanju fotosinteze, odnosno apsorpciju Sunčevog zračenja, ali se lišće izloženo direktnom sunčevom zračenju brzo zagrijava te iznad *kardinalne temperature* biljke zaustavljaju pojedine fiziološke procese [zbog denaturacije proteina, gubitka strukture i funkcije bioloških membrana, efekta fotooksidacijskog stresa i dr.](#) Npr., za oplodnju kukuruza potrebna je temperatura zraka niža od 35°C (Tablica 1.), a trenutno je već danima temperatura u hladu viša, na suncu prelazi i 40°C što se manifestira „jadnim“ izgledom kukuruza (Slika 2.). Mnoga istraživanja pokazuju da je optimalna dnevna temperatura za kukuruz između 25 i 32°C, a noćna između 16 do 23°C, premda kukuruz može kratkotrajno izdržati visoku temperaturu, čak do 44°C, ali se već na 37°C zapažaju oštećenja lišća. Slika 2. zorno



Slika 3. [Utjecaj kombinacije abiotičkih stresova na biljke](#) (model biljka *Brachypodium distachion*)

prikazuje kako utječu na kukuruz (kao i druge usjeve) temperature zraka iznad kardinalnih vrijednosti (uvijeno, meko lišće bez turgora, žućenje i odumiranje donjeg lišća, zaustavljen porast, metličenje i oplodnja).

Vlastito egzaktno istraživanje [utjecaja visoke temperature na biljke](#) pokazalo je da visoka temperatura čini veliku štetu na kukuruzu (nizak prinos, slabo oplođeni klipovi i nedovoljno nalijevanje zrna), čak i kad u tlu ima dovoljno vode. Naime, otpornost na visoke temperature specifična je u uvjetima tzv. *vlažne suše*, odnosno situacijama kad u tlu ima dovoljno vode, ali provodni sustav biljaka (zbog velike evapotranspiracije ili blokade fizioloških mehanizama transporta vode u korijenu i izdanku) pri visokim temperaturama ne uspijeva nadoknaditi gubitak vode iz lišća što se manifestira gubitkom turgora i „*uspavanim lišćem*“ za vrijeme vrućih ljetnih dana. [Dva biljna procesa posebno su osjetljiva na toplinski stres, razvoj polena i fotosinteza, a ostali procesi, uključujući i disanje, znatno su otporniji na ekstremne temperature](#). Utjecaj toplinskog stresa na prinos ovisi o vremenskom rasporedu toplinskog stresa. Npr. ako je pojava stresa kod voćaka bila tijekom cvjetanja, doći će do znatnih gubitaka i pada prinosa. S druge strane, svaki toplinski stres u bilo kojem trenutku rasta usjeva može imati primjetne do velike negativne posljedice na prinos usjeva.

[Utjecaj povoljnih, još češće nepovoljnih abiotskih faktora, neprestano je u fokusu velikog broja istraživanja te se o pojedinim stresnim faktorima mnogo zna](#). U prirodnim uvjetima, kao i poljoprivrednoj biljnoj proizvodnji, [biljke su stalno izložene različitim kombinacijama stresnih faktora koji tada u pravilu čine veću štetu prema šteti uzrokovanoj pojedinačnim nepovoljnim utjecajima](#) (Slika 3). Naime, u [poljskim uvjetima izloženost različitim stresovima najčešće se javljaju istovremeno što uzrokuje veća oštećenja, kao i zastoje u tvorbi organske tvari](#).

Dobro su istraženi tzv. uobičajeni geni zaduženi za reakciju biljaka na stres, dok su kombinacije gena koje imaju potencijal poboljšati toleranciju na kombinirani stres, kao i geni s nepoznatim funkcijama još uvijek nedovoljno istraženi. [U istraživanju ekspresija uobičajenih gena stresa pod kombiniranim stresovima \(Slika 3.\) bila je prisutna samo kod 37% gena, što ukazuje na ograničenu konzistentnost ekspresije među djelomično preklapajućim abiotskim stresovima i ograničenu sposobnost predviđanja biljnih reakcija na kombinaciju različitih stresova](#).

U Osijeku, 10. srpnja 2021. god.