

Oprema za reguliranje mikroklima zaštićenih prostora

Sadržaj

Zaštićeni prostori su svi načini zaštite biljaka od nepovoljnih klimatskih uvjeta, čime se omogućava proizvodnja na određenom prostoru i u određenom vremenu dok ista ta proizvodnja nije moguća na otvorenome. Njihova je glavna svrha očuvanje topline koja se akumulira od svjetlosne energije sunca ili uvodi sustavima grijanja. Ovisno o tipu i opremljenosti, u zaštićenim je prostorima moguće do određenog stupnja regulirati pojedine vegetacijske čimbenike (temperaturu, relativnu vlagu zraka, trajanje i intenzitet osvjetljenja, koncentraciju CO₂). Temeljem interakcije vegetacijskih čimbenika biljke je potrebno opskrbiti optimalnim količinama vode i hraniva kako bi se osigurali nesmetani rast i razvoj. U suvremenim zaštićenim prostorima koriste se natrijeve žarulje visokog pritiska ili LED žarulje za dopunsko osvjetljenje. Za održavanje optimalnih temperatura tijekom hladnog dijela godine koriste se sustavi grijanja toplim zrakom i toplom vodom, dok se u toplom dijelu godine koriste različite metode snižavanja temperature (ventilacija, zasjenjivanje, zamagljivanje, adijabatsko hlađenje). Obogaćivanje zraka ugljičnim dioksidom provodi se posebnim uređajima i sustavom distribucije samo tijekom sunčanih (vedrih) i hladnih dana, kad se ventilacija otvara rjeđe, samo za snižavanje relativne vlage zraka.

Glavne riječi: platenici i staklenici, dopunsko osvjetljenje, grijanje i hlađenje zaštićenih prostora, primjena CO₂, sustav za upravljanje

Uvod

Vremenske prilike na nekom području, a također i globalne klimatske promjene sve češće nepovoljno utječu na poljoprivrednu proizvodnju. Ekstremni vremenski uvjeti u obliku intenzivnih oborina, poplava, tuče, toplinskih valova i suše već imaju negativan utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju, a i na proizvodnju voća i povrća. Dodatan pritisak na poljoprivrednu proizvodnju predstavlja globalni rast stanovništva, što zahtijeva znatno povećanje proizvodnje hrane do 2050. Dakle, održiva proizvodnja i sigurnost hrane (prehrane) je veliki globalni problem (FAO, 2018; van Dijk i sur., 2021).

Održiva proizvodnja voća i povrća u zaštićenim prostorima predstavlja način osiguranja sigurne i hrane bogate nutrijentima za rastuću populaciju. Zaštićeni prostori osiguravaju povoljne uvjete uzgoja i zaštitu ekstremnih vremenskih uvjeta i štetnih organizama (Ghoulem i sur., 2019). Nadalje, zaštićeni prostori opremljeni sustavima za grijanje i hlađenje omogućavaju produljenu sezonu uzgoja, kao i proizvodnju određenih vrsta i sorti izvan tipičnog geografskog područja. Uzgoj u zaštićenim prostorima omogućuje proizvodnju usjeva u kon-

¹ Prof. dr. sc. **Božidar Benko**, izv. prof. dr. sc. **Sanja Fabek Uher**, izv. prof. dr. sc. **Sanja Radman**, **Nevena Opačić**, mag. ing. agr., Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska
Autor za korespondenciju: bbenko@agr.hr

troliranim uvjetima, što dovodi do intenzivnijeg rasta i većih prinosa (Rabbi i sur., 2019).

Zbog svega navedenog, bilježi se kontinuirani porast površina pod zaštićenim prostorima u svijetu, koje su u 2019. godini ovisno o izvoru iznosile od 489.214 ha (Cuesta Roble Consulting, 2019) do 1,3 milijuna ha (Tong i sur., 2024). Prema ARKOD pregledniku (2020), Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva navodi kako u Hrvatskoj ima oko 650 ha plastenika za uzgoj na tlu i cca 100 ha plastenika i staklenika za hidroponski uzgoj. Istovremeno, prema podacima Državnog zavoda za statistiku (2023) raspolažemo samo sa 239 ha zaštićenih prostora.

Mikroklimatski uvjeti u zaštićenim prostorima

Za uzgoj bilja potrebno je osigurati vegetacijske čimbenike: svjetlo, toplinu, zrak, vodu i hranive tvari. Rast i razvoj biljaka ovise o svakom pojedinom čimbeniku, ali i o njihovoj međusobnoj interakciji. Mikroklima zaštićenog prostora određena je interakcijom svjetla, topline, vlage zraka i količine ugljičnog dioksida u zraku. Temeljem njihove interakcije biljke je potrebno opskrbiti optimalnim količinama vode i hraniva kako bi se osigurali nesmetani rast i razvoj. Mogućnosti reguliranja mikroklimatskih uvjeta u zaštićenom prostoru ovisi o tipu zaštićenog prostora (niski tunel, visoki tunel, plastenik, staklenik) i stupnju opremljenosti.

Svjetlo

Svjetlo je vegetacijski čimbenik potreban za temeljni proces u biljkama, odnosno, fotosintezu, pretvorbu sunčeve svjetlosti u kemijsku energiju ugljikohidrata i drugih tvari. Uzgajanim kulturama je za pravilan rast i razvoj neophodan određeni intenzitet svjetlosti, spektralni sastav (valna duljina) i trajanje dnevnog osvjetljenja. Intenzitet i spektralni sastav svjetlosti u zaštićenom prostoru ovisi o geografskom položaju, položaju zaštićenog prostora, dobu godine, dobu dana, propusnosti pokrovnog materijala i nosivoj konstrukciji. Polietilenskim folijama koje se upotrebljavaju za pokrivanje plastenika s vremenom se, zbog pucanja polimernih lanaca pod djelovanjem UV-zraka, smanjuje propusnost za svjetlo. Stoga ih je potrebno zamijeniti svakih 4 do 5 godina.

Toplina

Prirodno zagrijavanje zaštićenih prostora temelji se na pretvorbi svjetlosne energije sunca u toplinsku energiju. Pri okomitom padu sunčevih zraka na površinu objekta oko 90 % svjetla prođe pokrovnim materijalom, dio se odbije u atmosferu, a dio apsorbira pokrovni materijal. To znači da prirodno zagrijavanje zaštićenih prostora ovisi o odnosu transmisije, refleksije i apsorpcije. Zbog "efekta staklenika", transformiranjem kratkovalne energije zračenja (svjetlo) u dugovalnu energiju zračenja (toplina), u zaštićenom su prostoru tijekom proljetno-ljetnog razdoblja previsoke temperature zraka, čak i za termofilne kulture.

Tijekom jesensko-zimskog i rano-proljetnog perioda za ujednačeno održavanje razine topline u zaštićenim prostorima nije dovoljna energija sunca već ih je potrebno zagrijavati. Međutim, zaštićeni su prostori s graditeljskog gledišta slabo izolirani objekti. Zbog značajnih gubitaka topline kroz pokrovni materijal potrebne su velike količine topline za održavanje optimalnih temperatura za rast biljaka. Gubici topline iz zaštićenih prostora ovisi o pokrovnom materijalu, koji se međusobno jako razlikuju po svojoj propusnosti za infracrveno (dugovalno toplinsko) zračenje. Staklo i poliester imaju malu propusnost (manje od 10 %) i veliki faktor refleksije. S druge strane, običan polietilen ima veliki faktor propusnosti za infracrveno zračenje (preko 70 %). To je glavni razlog da se plastenici pokrivaju polietile-

nom (PE) brže ohlade za vrijeme vedrih noći. Zbog toga se polietilenu dodaju IR stabilizatori, čime se gubici topline smanjuju tako da propusnost za infracrveno zračenje iznosi oko 25 %. Temeljem proračuna gubitaka topline iz zaštićenog prostora izračunava se potrebna količina topline i projektira kapacitet sustava za grijanje, a isto tako, planira i potreba goriva za sezonu grijanja.

Relativna vlažnost zraka

Relativna vlažnost zraka u zaštićenom prostoru utječe na intenzitet transpiracije, fotosinteze, cvatnje i oplodnje cvjetova te pojavu bolesti. Optimalna relativna vlaga zraka za većinu uzgajanih kultura iznosi između 40 i 70 %, a ovisi o apsolutnoj vlažnosti i temperaturi zraka. Visoka relativna vlaga zraka (> 80 %) pogoduje pojavi i širenju bolesti, dok niska (< 30 %) negativno djeluje na cvatnju i zemetanje plodova. Ako uvjeti niske vlage zraka, uz visoke temperature i manjak vode u tlu duže potraju može doći do opadanje cvjetova i već zemetnutih plodova. Relativna vlaga zraka je u korelaciji s temperaturom zraka na način da ako se temperatura povisi za 10 °C, vlaga se upola smanji, odnosno, ako se temperatura snizi za 10 °C, vlaga se poveća skoro dvostruko. To zapravo znači da se manjak vlage u zraku zaštićenog prostora javlja u proljetno-ljetnom dijelu godine, a posebno u najtoplijem dijelu dana. Visoka vlaga zraka se može javiti tijekom noći, a redovito se javlja tijekom dana u jesensko-zimskom i rano-proljetnom periodu.

Ugljični dioksid

Poudel i Dunn (2023) navode kako koncentracija ugljičnog dioksida (CO₂) u zraku iznosi oko 400 ppm (0,04 %). Za vrijeme hladnih, sunčanih dana, kada se ventilacija ne otvara, koncentracija u zaštićenom prostoru se može zbog potrošnje u procesu fotosinteze smanjiti na polovicu vanjske koncentracije, čime ugljični dioksid postaje ograničavajući čimbenik fotosinteze. Kako bi se spriječilo usporavanje procesa fotosinteze, odnosno, rasta i razvoja biljaka, u takvim se uvjetima primjenjuje obogaćivanje zraka zaštićenog prostora ugljičnim dioksidom. Koncentracija se povećava oko 3 do 4 puta (na oko 0,1 %). Ako biljka nije optimalno opskrbljena hranivima ili ako nema dovoljno topline ili svjetla, pri većim su koncentracijama moguća oštećenja biljaka, a postoji i mogućnost štetnog djelovanja na radnike u zaštićenom prostoru. Na efikasnost obogaćivanja, odnosno, usvajanje CO₂ osim radijacije, temperature i ishrane utječu starost listova i razvijenost biljne mase. Naime, oko 2/3 ugljičnog dioksida usvajaju listovi na gornjoj trećini stabljike.

Voda i hraniva u zaštićenom prostoru

Za uzgoj povrća u zaštićenom prostoru biljci je potrebno stalno osigurati dovoljno vode u sloju tla u kojem se razvija glavovina korijena. Vlažnost tla treba održavati na 70 do 80 % PVK. Računa se da je godišnje potrebno 1,5 do 2 m³·m⁻² površine. Optimalna količina dodane vode pri navodnjavanju iznosi 15 mm (L·m⁻²) za laka tla, a 15 do 25 mm za teža tla. Za vlaženje površinskog sloja tla dovoljno je 2 do 3 mm. Za vlaženje suhih tala radi lakše površinske obrade ili bolje djelovanje herbicida preporuča se navodnjavanje s 5 mm u obliku kišenja. Za sjetvu ili sadnju je potrebno 10 do 15 mm.

Fertirigacija predstavlja prihranu vodotopivim kompleksnim gnojivima tijekom vegetacije, putem sustava za navodnjavanje kapanjem, a provodi se jednom do dva puta tjedno. Time se voda i hraniva dodaju u zonu ukorjenjivanja biljaka, čime se ostvaruju znatne uštede s ekonomskog i ekološkog gledišta. Kalcijeva gnojiva neophodna u uzgoju plodovitog povrća

potrebno je otopiti posebno kako bi se spriječilo taloženje pri miješanju sa fosfatima i sulfatima. Priprema se 5 %-tna otopina vodotopivog gnojiva (50 kg gnojiva se otapa u 1000 L vode).

Nakon sadnje provodi se fertirigacija gnojivima koja imaju povećan udio fosfora, kako bi se pospješio razvoj korijena i ukorjenjivanje. Tijekom faze vegetativnog rasta primjenjuju se gnojiva sa podjednakim udjelom dušika, fosfora i kalija. Prijelazom biljaka u generativnu fazu (početkom plodonošenja), započinje se s primjenom gnojiva koja imaju povećani udio kalija jer kalij pozitivno djeluje na razvoj plodova. Fertirigacija se temelji na opskrbljenosti tla hranjivima (analiza tla) i planiranom prinosu.

Oprema u zaštićenom prostoru

Dopunsko osvjetljenje

Tijekom jesensko-zimskog perioda, dnevna je količina svjetla niska zbog kratkoće dana. Ako su drugi vegetacijski čimbenici u optimumu, brzina rasta ovisit će o ukupnoj količini svjetlosnog zračenja što ga biljka primi. Problem nedostatka svjetla može se riješiti dopunskim osvjetljenjem. Pravilno projektirano dopunsko osvjetljenje stimulirat će fotosintezu, odnosno, rast, što skraćuje proizvodni ciklus. Zbog velike potrošnje električne energije, primjena dopunskog osvjetljenja isplativa je jedino u vrijeme uzgoja presadnica, kad se uzgaja velik broj biljaka po jedinici površine ili kad je potrebna određena količina svjetla kako bi biljke prešle u sljedeću razvojnu fazu. Razina potrebne osvjetljenosti koja najčešće iznosi između 5000 i 10000 mW/m², kao i duljina razdoblja osvjetljavanja (dnevno i ukupno) ovisi o biljnoj vrsti, duljini dana, geografskoj širini i načinu uzgoja.

Za dopunsko osvjetljenje se najviše koriste HPS ili natrijeve žarulje visokog pritiska, a posljednjih godina se zbog niza prednosti sve više koriste i LED svjetiljke. Izbor svjetiljki ovisi o njihovoj efektivnosti i trajnosti. Efektivnost je određena količinom električne energije koja se transformira u energiju zračenja (u vidljivi dio spektra) i raspodjelom energije zračenja u vidljivom dijelu spektra (Shamshiri i sur., 2018).

Za projektiranje dopunskog osvjetljenja u zaštićenom prostoru najvažnije je pronalaženje najpovoljnijeg rasporeda svjetiljki, što je definirano razmakom unutar i između redova svjetiljki, pri određenoj visini iznad usjeva. Na razmještaj svjetiljki utječe visina zaštićenog prostora do žlijeba, oblik refleksijske površine svjetiljke i potrebna osvjetljenost lisne površine. Dobar raspored (razmak) svjetiljki je ostvaren ako je horizontalna ujednačenost osvjetljenja, izražena kao omjer minimalne i maksimalne osvjetljenosti, jednaka ili veća od 0,7 (Emin/Emaks \geq 0,7).

Snižavanje temperature u zaštićenom prostoru

Zaštićeni prostori su uobičajeno opremljeni sustavom provjetravanja (ventilacije) tj. otvorima na bočnim i krovnim površinama i to se naziva pasivna ventilacija. Proračun potrebne ventilacije određuju dva čimbenika: volumen zaštićenog prostora i željena izmjena zraka (volumen u minuti) pri čemu se ostvaruje veća ili manja razlika između unutarnje i vanjske temperature zraka. Pritom se uzimaju u obzir i lokacijski uvjeti: nadmorska visina (razlika u barometarskom tlaku) i intenzitet svjetla. Za naše podneblje preporučuje se da površina koja služi za provjetravanje bude barem 30 % od ukupne pokrivene površine zaštićenog prostora. Bočna ventilacija bi trebala biti postavljena najmanje 70 cm iznad površine tla kako bi se izbjegao direktan utjecaj hladnog zraka na biljke. Krovna ventilacija mora biti smještena što bliže vrhu krova kako bi se što bolje iskoristio efekt "dimnjaka". Otvori za ventilaciju mogu se otvarati i zatvarati ručno, ili automatski ako su motoreduktori povezani s termostatom u i

izvan objekta te sondom za vjetar i oborine na krovu zaštićenog prostora. Bočna ventilacija se najčešće otvara namatanjem folije, a krovna podizanjem dijela krovne površine pomoću zupčastih letvi, koje pokreću zupčanici smješteni na šipci povezanoj s motoreduktorom.

Zasjenjivanje ublažava “efekt staklenika” do određene granice, jer je svjetlo potrebno za fotosintezu. Za zasjenjivanje se mogu koristiti energetske zavjese ili mreže koje propuštaju oko 70 % svjetla. Druga je mogućnost bojanje (prskanje) krovnih površina sredstvima za zasjenjivanje. Sjenilo se uklanja prskanjem otapala i ispiranjem površina. Za hlađenje prostora vlaženjem jednostavan je sustav “Fog”. Sustav se sastoji od tankih, cijevi koje se postavljaju u visini oluka na razmak 2 do 3 m. Na cijevima se nalaze mikrorasprskivači koji pod pritiskom raspršuju vodu u obliku magle. Povećanjem relativne vlage zraka snižava se temperatura zraka u zaštićenom prostoru. Sustav kišenja krovova snižava temperaturu u zaštićenom prostoru na način da se dio topline troši za isparavanje vode. Uz to, kapljice vode reflektiraju (odbijaju) dio sunčeve svjetlosti pa manje svjetlosti ulazi u zaštićeni prostor. “Fan-jet” sustav hlađenja radi na način da ventilator na čeonj strani zaštićenog prostora uvlači vanjski zrak i predaje ga ventilatoru na “fan-jet” uređaju, koji ga potiskuje kroz perforirano polietilensko crijevo uzduž lađe. Na taj način se hladniji vanjski zrak miješa s toplijim zrakom unutar zaštićenog prostora i snižava mu temperaturu.

Najefikasniji sustav hlađenja zaštićenih prostora, kojim se mogu tijekom ljeta ostvariti niže temperature nego na otvorenome je adijabatsko hlađenje. Preduvjet za primjenu ovog sustava je zabrtvljenost svih otvora. Ventilatori (slika 10a) na čeonj strani izbacuju ugrižani zrak pa se u objektu formira podtlak (niži tlak zraka). Zbog podtlaka, kroz poroznu ploču (slika 10b) na drugoj čeonj strani (suprotnoj) u zaštićeni prostor ulazi vanjski zrak. Istovremeno počinje vlaženje ploče vodom, koja dijelom oduzima toplinu vanjskom zraku kada prolazi pločom, a dijelom ga vlaži isparavanjem. Vodom ohlađeni zrak ulazi u zaštićeni prostor i snižava temperaturu.

Grijanje zaštićenih prostora

Svi sustavi grijanja dijele se u dvije skupine, ovisno o mediju za prijenos topline. Statični, kao medij za prijenos topline, koriste vodu, dinamični koriste zrak, a kombinirani koriste oba medija. Svaki sustav grijanja ima određenih prednosti prema drugome.

Za manje objekte ili manju ukupnu proizvodnu površinu preporučuju se sustavi grijanja toplim zrakom. Prednosti grijanja toplim zrakom su: brže uključenje i isključenje sustava kod promjenjivih vremenskih prilika čime se ostvaruje ušteda goriva; povoljnija vertikalna distribucija topline; postizanje boljih uvjeta za oprašivanje samooplodnih kultura zbog stalnog cirkuliranja zraka; uz dodatno uređenje sustava korištenje za hlađenje u toplijem dijelu godine; povoljniji uvjeti za mehaniziranu obradu tla; niža investicija u sustav grijanja. Nedostaci ovog sustava grijanja su: veći troškovi eksploatacije; brže hlađenje zaštićena prostora pri nestanku električne struje (statični još grije, dok se voda u cijevima ne ohladi); niža temperatura tla (za oko 2 °C). Sustavi grijanja toplim zrakom se sastoje od termogena, smještenog u ili izvan zaštićenog prostora i ventilatora za distribuciju toplog zraka po dužini lađe. Termogen se uobičajeno montira u visini žlijeba. U njemu izgara gorivo, ulje za loženje ili zemni, odnosno, ukapljeni plin i zagrijava volumen zraka u kućištu. Ventilator unutar termogena taj zagrižani zrak upuhuje u zaštićeni prostor, a za daljnju distribuciju i miješanje služe ventilatori smješteni po dužini lađe. Drugi oblik dinamičnog sustava se naziva “fan-jet” sustav i za distribuciju toplog zraka koristi perforirano polietilensko crijevo s otvorima prema dolje, čime se struja toplog zraka usmjerava prema biljkama.

Grijanje toplom vodom (statični sustav) uglavnom se koristi za zagrijavanje većih proizvodnih objekata. Prednost ovog sustava je veća horizontalna ujednačenost topline i što topla voda kao medij dulje zadržava toplinu i grije zaštićeni prostor u odnosu na topli zrak. Uz objekt je potrebno izgraditi i kotlovnice, u kojoj se voda zagrijava na određenu temperaturu. Temperatura zagrijavanja vode ovisi o tipu cijevi koje se koriste za distribuciju. Ako se koriste metalne cijevi, voda se zagrijava na 70 do 90 °C, a ako se koriste plastične, tada je temperatura vode 40 do 60 °C. Temperatura povratne vode, koja se vraća u kotlovnice, u prosjeku je oko 20 do 30 °C niža. Zagrijana voda se putem cijevi (cijevnih registara) distribuira po zaštićenom prostoru. Cijevi se najčešće postavljaju u paru uz nosivu konstrukciju ili između redova biljaka, kada služe kao tračnice za kolica za njegu i berbu. U slučaju da se ne koriste za transport, cijevi mogu biti rebraste, čime se povećava površina koja zrači toplinu. Dodatne cijevi se postavljaju ispod žlijeba (pomažu topljenje snijega zimi) te uz čelone i bočne stranice objekta, gdje su najveći gubici topline. Za zagrijavanje zaštićenih prostora se mogu koristiti i geotermalni izvori vode, što se zasad u Hrvatskoj vrlo malo primjenjuje.

U zaštićenom prostoru s kombiniranim sustavom grijanja, na početku i kraju sezone uključuje se sustav grijanja toplim zrakom (interventno, noćno grijanje). Tijekom glavne sezone grijanja kontinuirano je uključen sustav grijanja toplom vodom, dok se grijanje toplim zrakom uključuje povremeno, kad su vrlo niske vanjske temperature.

Termo- ili ventilokonvektori su uređaji za grijanje toplim zrakom kod kojih topla voda zagrijava zrak unutar kućišta uređaja, a takav zagrijani zrak ventilator distribuira u zaštićeni prostor.

Smanjenje gubitaka topline

U svrhu smanjenja gubitaka topline, plastenici se pokrivaju dvostrukom PE-folijom i između dva sloja se tijekom zime upuhuje zrak, koji služi kao izolator. Iz istog se razloga za pokrivanje staklenika u posljednje vrijeme koriste specijalna stakla. Gubici topline mogu se smanjiti: brtvljenjem spojnih mjesta elemenata konstrukcije i pokrovnog materijala te ventilacijskih otvora, odnosno, smanjenjem gubitaka topline infiltracijom; korištenjem sustava grijanja koji transportira topli zrak većom brzinom (oko 10 m/s) i usmjerava ga prema tlu smanjiti gubitke topline zbog izražene stratifikacije zraka (vertikalne slojevitosti topline); korištenjem antiradijacijskih energetskih zavjesa smanjiti gubitke topline radijacijom (noću). Antiradijacijske zavjese u sebi imaju trake aluminija, koji reflektira dugovalno toplinsko značenje natrag prema biljkama i tlu.

Reguliranje relativne vlažnosti zraka

Kako bi se ublažio manjak vlage u zraku tijekom ljetnog perioda u zaštićenim prostorima se primjenjuju sustavi za zamagljivanje, odnosno, cijevi s mikrorasprskivačima postavljene na visini žlijeba. Ovim se načinom ujedno i snižava temperatura zraka.

Osim za snižavanje temperature zraka tijekom ljeta, u sezoni grijanja krovni ventilacijski otvori služe za snižavanje relativne vlažnosti zraka. Ventilacija se otvara toliko da se izmijeni oko 30 % volumena zraka. Otvaranjem krovne ventilacije u zaštićeni prostor ulazi hladniji i vlažniji vanjski zrak. U zaštićenom prostoru se taj zrak zagrijava, čime mu se povećava mogućnost vezanja vodene pare. Na taj način se vlažnost zraka u zaštićenom prostoru snižava.

Povećanje koncentracije CO₂

Obogaćivanje zraka ugljičnim dioksidom provodi se posebnim uređajima i sustavom distribucije. Moguće je koristiti čisti CO₂ (komprimirani u čeličnim bocama) ili se koriste pećice s

izgaranjem goriva (Poudel i Dunn, 2023). U prostorima gdje je distribucija prekidana zbog otvaranja ventilacije najučinkovitija je upotreba čistog ugljičnog dioksida. Gorivo koje se koristi za obogaćivanje zraka ugljičnim dioksidom ne smije sadržavati više od 0,05 % sumpora kako ne bi došlo do oštećenja biljaka. Stoga, nije moguće koristiti fosilna goriva nego zemni plin u kojem je potrebno ispitati sadržaj sumpora, propan, parafin itd. Izgaranjem 1 kg goriva oslobađa se oko 3 kg CO₂. Zemni plin i propan stvaraju vlagu prilikom sagorijevanja (oko 1,4 kg vlage po m³). Uz obogaćivanje ugljičnim dioksidom istovremeno se obavlja i djelomično zagrijavanje zaštićenog prostora.

Obogaćivanje zraka zaštićenog prostora ugljičnim dioksidom preporuča se provoditi samo tijekom sunčanih (vedrih) i hladnih dana, kad se ventilacija otvara rjeđe, samo za snižavanje relativne vlage zraka. S obogaćivanjem se započinje ujutro, a prestaje kad osvjetljenost padne ispod 1500 lx (luksa).

Sustav za distribuciju čistog ugljičnog dioksida u proizvodnom se prostoru najčešće sastoji od glavne cijevi postavljene uz bočne, odnosno, čeonu stranicu (ovisno o tipu objekta) ili uz središnju stazu i lateralnih cijevi, smještenih između redova biljaka. Ugljični dioksid se pod tlakom dovodi od spremnika do glavne cijevi. Na početku glavne cijevi nalazi se ventilator koji služi za distribuciju. Lateralne cijevi imaju na sebi perforacije kroz koje ugljični dioksid izlazi u zaštićeni prostor. Polazu se na tlo ili u blizini tla, odakle se ugljični dioksid polagano diže u vis. Kako bi se osigurala ujednačena horizontalna distribucija, potrebno je osigurati ujednačen tlak na početku i kraju lateralne cijevi. Ujednačena vertikalna distribucija se postiže uključivanjem ventilokonvektora ili ventilatora za miješanje zraka. Ako se koriste pećiće s izgaranjem goriva može se na izlaz montirati perforirano polietilensko crijevo kojim se osigurava ujednačenija distribucija po dužini lađe ili se koriste ventilatori za miješanje zraka.

Navodnjavanje u zaštićenom prostoru

U zaštićenim prostorima se ovisno o tehnologiji uzgoja i uzgajanoj kulturi primjenjuju različiti sustavi navodnjavanja: kišenje, kapanje (kap po kap) i subirigacija. Kod navodnjavanja kišenjem rasprkivači su postavljeni iznad biljaka tako da se zalijeva cijela površina. Navodnjavanje kišenjem se primjenjuje u proizvodnji presadnica i uzgoju kultura gustog sklopa (rotkvice, blitva, mladi luk). Kišenje se provodi tijekom dana kako bi se biljke osušile do večernjih sati, čime se smanjuje opasnost od zaraze bolestima. Uz navodnjavanje, istim je sustavom moguće provesti zaštitu od bolesti i štetnika te folijarnu prihranu (preko lista). Kod navodnjavanja kapanjem voda se dodaje lokalno uz svaku biljku zasebno. U zaštićenim prostorima se sustav za navodnjavanje kapanjem postavlja ispod polietilenskog malča, jedna cijev za svaki red uzgajane kulture ili jedna cijev za dva reda. Zajedno s navodnjavanjem može se provesti i prihrana vodotopivim gnojivima ili se može primijeniti hraniva otopina. U tom slučaju se govori o fertirigaciji. Pri provedbi fertirigacije treba biti oprezan jer su uzgajane kulture osjetljive na previsoku koncentraciju hranjive otopine. Subirigacija se primjenjuje u proizvodnji presadnica na stolovima tako da se voda pusti u utore na površini stola odakle se kapilarnim silama diže do razine korijena. Također, subirigacija (podzemno navodnjavanje) predstavlja oblik navodnjavanja kapanjem kad su cijevi za navodnjavanje ukopane na određenu dubinu u tlo (20 do 30 cm). Voda i hraniva se distribuiraju direktno u zonu korijenovog sustava, a ujedno nema gubitaka isparavanjem.

Karakteristike dobrog sustava za navodnjavanje u zaštićenom prostoru su: niski intenzitet navodnjavanja (oko 5 mm/h); lokalno navodnjavanje sa mogućnošću definiranja veličine zone vlaženja (površinski i prostorno); određena veličina kapi i oblik mlaza (sa mogućnošću promjene režima od kišenja do orošavanja i zamagljivanja); mobilnost i adaptabilnost

(mogućnost premještanja i prilagođavanja obliku i veličini zaštićenog prostora) i mogućnost provedbe fertirigacije.

Oprema za fertirigaciju

Injektori – venturi su jednostavni uređaji koji se koriste za doziranje gnojiva, sredstava za zaštitu bilja ili sredstava za poboljšanje kvalitete vode za navodnjavanje preko sustava za navodnjavanje kapanjem (moguće korištenje i kod rasprskivača). Rade na principu podtlaka, odnosno, pokreću ih razlika ulaznog i izlaznog tlaka u sustavu za navodnjavanje.

Dozatori rade na principu klipne hidro pumpe i koriste energiju protoka vode. Precizni su i imaju mogućnost regulacije koncentracije od 0,20 % do 2,00 %. Protok vode aktivira dozator koji usisava određeni postotak koncentrirane hranive otopine, koju miješa u određenom postotku sa vodom iz glavnog voda sustava za navodnjavanje. Takvu gotovu otopinu šalje dalje kroz sustav za navodnjavanje pravilno raspoređen do svake biljke.

Sustav za upravljanje

Reguliranje mikroklimatskih čimbenika u zaštićenom prostoru (otvaranje i zatvaranje otvora za ventilaciju, uključivanje i isključivanje grijanja, navodnjavanje) može biti ručno ili pomoću automatskih sustava. Rad suvremenih sustava je moguće pratiti i korigirati putem interneta ili pametnih mobilnih telefona. Također, u slučaju bilo kakvog problema ili kvara sustav može poslati obavijest putem e-maila ili sms-a. Za nesmetanu opskrbu električnom energijom, potrebnom za rad sustava za reguliranje mikroklimatskih čimbenika neophodno je u sklopu pratećeg objekta ili tehničko-tehnološkog prostora postaviti generator.

Automatski sustavi za reguliranje mikroklimatskih čimbenika u zaštićenim prostorima projektirani su na način da je njihov rad uvijek pod nadzorom upravljačkih jedinica ili klima kompjutera. Osim potpuno automatiziranog načina, svi sustavi se mogu i ručno uključiti ili isključiti. Osnovu upravljanja čine podaci mjernih instrumenata za mjerenje temperature i vlažnosti zraka razmještenih unutar zaštićenog prostora. Njihova je zadaća temeljem zadanih parametara temperature i vlage zraka regulirati rad sustava za grijanje i ventilaciju. Osim toga, na krovnom dijelu su smješteni senzori brzine i smjera vjetra te oborina (meteorološka stanica), koji osiguravaju pravovremeno zatvaranje svih otvora u slučaju naleta vjetra ili pojave bilo kojeg oblika oborina (slika 20). Na krovnom dijelu se može nalaziti i senzor za mjerenje sunčeve radijacije, čiji podaci služe za programiranje navodnjavanja i fertirigacije.

Zaključak

Zbog optičkih i termičkih svojstava materijala za pokrivanje zaštićenih prostora, u zaštićenim prostorima vladaju povoljniji mikroklimatski uvjeti nego na otvorenom polju, što rezultira većom produkcijom biomase po jedinici površine u jedinici vremena, odnosno većim i kvalitetnijim prinosom. Mogućnost reguliranja mikroklimatskih uvjeta ovisi o vrsti (tipu) zaštićenog prostora i njegovoj opremljenosti. Postojeće zaštićene prostore neophodno je prilagoditi trenutnim i budućim klimatskim prilikama, prvenstveno u smislu povećanih potreba za snižavanjem temperature tijekom ljetnog perioda korištenjem prisilne ventilacije te poboljšanjem osvjetljenja korištenjem pokrovnih materijala visoke propusnosti za sunčevo svjetlo i dopnskog osvjetljenja za zimsku proizvodnju; podizanje razine opremljenosti sa *low-tech* do *mid* ili *high-tech*. Novi zaštićeni prostori trebali bi biti grijani i potpuno opremljeni (*high-tech*) za cjelogodišnju proizvodnju korištenjem hidropnonskih tehnika uzgoja, čime se povećava sigurnost i ekološka održivost proizvodnje.

Literatura

- FAO (2018)** *The future of food and agriculture – alternative pathways to 2050*. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2c6bd7b4-181e-4117-a90d-32a1bda8b27c/content> (27.6.2024)
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L., Saghai, Y. (2021)** A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050. *Nature Food*, 2, 494-501. <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>.
- Ghoulem, M., El Moueddeb, K., Nehdi, E., Boukhanouf, R., Calautit, J.K. (2019)** Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. *Biosyst. Eng.*, 183 121-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.016>.
- Rabbi, B., Chen, Z.-H., Sethuvenkatraman, S. (2019)** Protected cropping in warm climates: A review of humidity control and cooling methods. *Energies*, 12 2737, <http://dx.doi.org/10.3390/en12142737>. Cuesta Roble Consulting. URL: www.cuestaroble.com/statistics.html (25.6.2024.)
- Tong, X., Zhang, X., Fensholt, R., Jensen, P.R.D., Li, S., Nylandsted Larsen, M., Reiner, F., Tian, F., Brandt, M. (2024)** Global area boom for greenhouse cultivation revealed by satellite mapping. *Nat Food*, 5 513-523. <https://doi.org/10.1038/s43016-024-00985-0>. ARKOD preglednik. URL: <https://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/> (1.7.2024.) Državni zavod za statistiku. URL: https://web.dzs.hr/PXWeb/Selection.aspx?px_path=Poljoprivreda,%20lov,%20%20c5%a1umarstvo%20i%20ribarstvo__Biljna%20proizvodnja&px_tableid=BP3_NUTS2021.px&px_language=hr&px_db=Poljoprivreda,%20lov,%20%20c5%a1umarstvo%20i%20ribarstvo&rxid=955f9633-8cc0-450a-8e6f-13a993374fc8 (1.7.2024.)
- Poudel, M., Dunn, B. (2023)**. Greenhouse carbon dioxide supplementation. URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/greenhouse-carbon-dioxide-supplementation.html> (3.7.2024.)
- Shamshiri, R.R., Kalantari, F., Ting, K.C., Thorp, K.R., Hameed, I.A., Weltzien, C., Ahmad, D., Shad, Z.M. (2018)** Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *Int J Agric & Biol Eng*, 11 (1), 1-22. <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>

Prispjelo/Received: 10.5.2024.

Prihvaćeno/Accepted: 28.6.2024.

Professional paper

Greenhouse equipment for the microclimate regulation

Abstract

Greenhouses represent all the ways of protecting plants from unfavorable climatic conditions, which enable production on a certain area and in a certain time, while the same production is not possible at the open field. Their main purpose is to preserve the heat accumulated from the sunlight energy or introduced by heating systems. Depending on the greenhouse type and equipment, it is possible to regulate certain vegetation (growing) factors (temperature, relative humidity, duration and intensity of lighting, CO₂ concentration) to a certain degree. Based on the interaction of vegetation factors, plants need to be supplied with optimal amounts of water and nutrients in order to ensure continuous growth and development. In a modern greenhouses, high-pressure sodium lamps or LED lamps are used for supplemental lighting. Warm air and hot water heating systems are used to maintain optimal temperatures during the cold part of the year, while during the spring-summer period different methods of lowering the temperature are used (ventilation, shading, fogging, fan and pad cooling). Air enrichment with carbon dioxide is carried out with special equipment and a distribution system, only during sunny (bright) and cold days, when the ventilation is opened less often, just to lower the air relative humidity.

Key words: greenhouses, supplemental lighting, greenhouse heating and cooling, CO₂ application, greenhouse management system