



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Jernej KENK

KLIMA V ZAVAROVANIH PROSTORIH

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2018

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Jernej KENK

KLIMA V ZAVAROVANIH PROSTORIH

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij – 1. stopnja

GREENHOUSE CLIMATE

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2018

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za sadjarstvo, vinogradništvo in vrtnarstvo.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Ano Slatnar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Metka HUDINA
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Ana SLATNAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Zalika ČREPINŠEK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK UDK 631.234:631.544.4:551.52:551.58 (043.2)
- KG zavarovani prostori, klima, plastenjaki, steklenjaki, senčenje, prezračevanje, hlajenje, ogrevanje, zmanjševanje vlažnosti
- AV KENK, Jernej
- SA SLATNAR, Ana (mentorica)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Univerzitetni študijski program prve stopnje Kmetijstvo – agronomija
- LI 2018
- IN KLIMA V ZAVAROVANIH PROSTORIH
- TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij – 1. stopnja)
- OP VI, 20 str., 1 pregl., 2 sl., 21 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Po celem svetu so zavarovani prostori omogočili boljšo pridelavo zelenjave in okrasnih rastlin. Zavarovani prostori se ločijo glede na geografsko mesto pridelave, na katerega vpliva v veliki meri podnebje, in na tehnologijo, ki jo bomo uporabili v pridelavi za namene uravnavanja klime. Na uporabljeno tehnologijo vpliva tudi podnebje, saj se v toplejših oziroma hladnejših podnebjih ne poslužujemo uporabe enake tehnologije. V prvih je ta bolj enostavna in v večji meri zavzema prezračevanje in senčenje, v slednjih je tehnologija bolj napredna, saj so potrebe tudi po ogrevanju, zmanjševanju vlažnosti ter prej naštetih parametrov. Pomemben dejavnik pri izbiri zavarovanega prostora in vključene tehnologije za namene nadziranja klime je tudi izbira rastline, ki jo bomo gojili. Skupno rastline nimajo enakih zahtev za gojenje. Nekatere so bolj zahtevne, nekatere manj. Razlike med njimi se kažejo v optimalnih temperaturah za rast, v količini sončne svetlobe oziroma senčenja, zahtevah po zračni vlažnosti in potrebah po vodi. V bolj optimizirani pridelavi nekateri pridelovalci uporabljajo tudi obogatitev atmosfere s CO₂, ki rastlinam omogoča boljše razmere za rast. Če vse dejavnike, podnebje in potrebe rastlin upoštevamo, in če klimo pravilno uravnavamo, so stroški manjši, pridelava pa je ekonomsko bolj upravičena. Z odgovornim ravnanjem s sistemi zmanjšamo emisije škodljivih plinov, s tem pa ravnamo odgovorno do okolja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 631.234:631.544.4:551.52:551.58 (043.2)
- CX greenhouses, climate, plastic greenhouses, glasshouses, shading, ventilation, cooling, heating, dehumidification
- AU KENK, Jernej
- AA SLATNAR, Ana (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy, Academic Study Programme in Agriculture - Agronomy
- PY 2018
- TI GREENHOUSE CLIMATE
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 20 p., 1 tab., 2 fig., 21 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Greenhouses all around the world enabled better production of vegetables and ornamental plants. They differ based on a climate of the geographical region and technology, that will be used for climate control. Climate also affects the technology. Regions with warmer or colder climates do not need the same climate control technology. Warmer climates require simpler control, that is mainly ventilation, because of higher temperatures, and shading. In latter technology has to be more complex. Besides ventilation and shading, there is also a need to heat the greenhouse and control the humidity in it. Technology is also affected by plant chosen. Different plants have different needs, especially optimal growth temperatures, amount of solar radiation recieved or needs for shading, air humidity and water needs. Growers with more advanced greenhouses use CO₂ for atmosphere enrichment, which allow plants better growth conditions. If climate and plant needs are considered and if climate is controled well, than production is more efficient and expenses are lower. Responsible use of technology for climate control lowers harmful gas emissions, which makes production environmentally friendly.

KAZALO VSEBINE

| | Str. |
|--|-----------|
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA | III |
| KEY WORDS DOCUMENTATION | IV |
| KAZALO VSEBINE | V |
| KAZALO PREGLEDNIC | VI |
| KAZALO SLIK | VI |
| | |
| 1 UVOD | 1 |
| 2 KLIMA V ZAVAROVANIH PROSTORIH | 2 |
| 3 ZAVAROVANI PROSTORI | 3 |
| 3.1 PLASTENJAKI | 4 |
| 3.2 STEKLENJAKI | 4 |
| 4 SENČENJE | 5 |
| 4.1 BARVANJE | 5 |
| 4.2 PREMIČNA SENČILA | 5 |
| 5 PREZRAČEVANJE | 6 |
| 5.1 POTREBE PO PREZRAČEVANJU | 6 |
| 5.2 PREZRAČEVALNI SISTEMI | 7 |
| 6 HLAJENJE | 8 |
| 6.1 HLAJENJE Z VODO | 9 |
| 7 OGREVANJE | 10 |
| 7.1 POTREBE PO OGREVANJU | 11 |
| 7.2 SISTEMI OGREVANJA | 11 |
| 7.3 NADZOR NAD OGREVANJEM | 14 |
| 7.4 OGREVANJE ZA PREPREČEVANJE ZMRZALI | 14 |
| 7.5 UPORABA GEOTERMALNE VODE ZA OGREVANJE | 14 |
| 8 OBOGATITEV ATMOSFERE S CO₂ | 15 |
| 9 RAZVLAŽEVANJE/ ZMANJŠEVANJE VLAŽNOSTI | 16 |
| 10 UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE VLAŽNOSTI | 17 |
| 11 ZAKLJUČEK | 18 |
| 12 VIRI | 19 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | Str. |
|---|------|
| Pregl. 1: Koeficient U skupnih izgub toplote pri hitrosti vetra v m/s (Kittas in sod., 2013a) | 11 |

KAZALO SLIK

| | Str. |
|--|------|
| Slika 1: Klimatski diagram, ki prikazuje ustreznost klime za gojenje termofilnih rastlin v treh evropskih mestih (Kittas in sod., 2013a) | 3 |
| Slika 2: Shematski prikaz kroženja zraka pri pasivnem prezračevanju | 7 |

1 UVOD

Pridelovanje hrane na prostem, pa tudi okrasnih rastlin, se je v zadnjih desetletjih preselilo v zaprte prostore. Eden pomembnejših razlogov povečanja števila površin, ki jih zasedajo zaprti prostori, je nadzor nad klimo. Pri pridelavi na prostem le-te ne moremo nadzirati, vendar je pridelava močno odvisna od podnebja pridelovalnega območja. Tako je čas proizvodnje hrane ali okrasnih rastlin omejen le na rastno dobo v letu, saj nizke zimske temperature ne omogočajo rasti in razvoja rastlin. Prav tako na prostem ne moremo nadzirati temperature, intenzivnosti sončnega sevanja, zračne vlage, padavin oziroma količine vode (izjema je namakanje), ki je rastlinam na voljo ter koncentracije CO₂.

Zaradi želje po nadzoru naštetih dejavnikov so se pridelovalci odločili za postavitve zavarovanih prostorov. Zavarovani prostori nam ne omogočajo samo nadzora nad klimo, temveč tudi nadzor nad celotno pridelavo. To pomeni, da se rastna doba podaljša, pridelke imamo večkrat na leto, ti pa dozorevajo enakomernejše. V zavarovanih prostorih se poleg klimatskih dejavnikov lahko izognemo omejujočim dejavnikom, ki so lahko tudi tla. Pri pridelavi v zavarovanih prostorih se za gojenje rastlin lahko uporablja različne substrate oziroma substrate brez hranil, ki služijo samo za oporo rastlin ali celo gojenje brez ravnega substrata (aeroponika, floating sistemi). Pri takšnih oblikah gnojenja lahko sproti nadziramo količine dodanih gnojil rastlinam oziroma po potrebi dodajamo glede na razvojno fazo rastline.

Med zahtevnejšimi in dovršenimi oblikami zavarovanih prostorov sta plastenjaki in steklenjaki, v katerih med vsemi oblikami zavarovanih prostorov sploh lahko govorimo o uravnavanju klime. Katero obliko bomo postavili in uporabili, pa je odvisno od geografske lokacije in vrste, ki jo želimo pridelovati. Plastenjaki so v uporabi v bolj toplih območjih z milo zimo, drugi v bolj hladnih območjih, kjer so hladnejše zime, saj imajo boljšo sposobnost ohranjanja temperature. V zavarovanih prostorih lahko namestimo različne sisteme za nadzor dejavnikov klime, ki nam omogočijo bolj ekonomično proizvodnjo. Katere bomo namestili, je odvisno od vrste zaprtega prostora. Intenziteto sončnega sevanja omejujemo s senčenjem, previsoke temperature znižujemo s prezračevanjem, prenizke pa zvišujemo z ogrevanjem. Ta dva sistema uporabimo tudi v primeru previsoke zračne vlage, da ne pride do kondenzacije ter za nadzor nad količino CO₂ v ozračju, v primeru, da ga dovajamo.

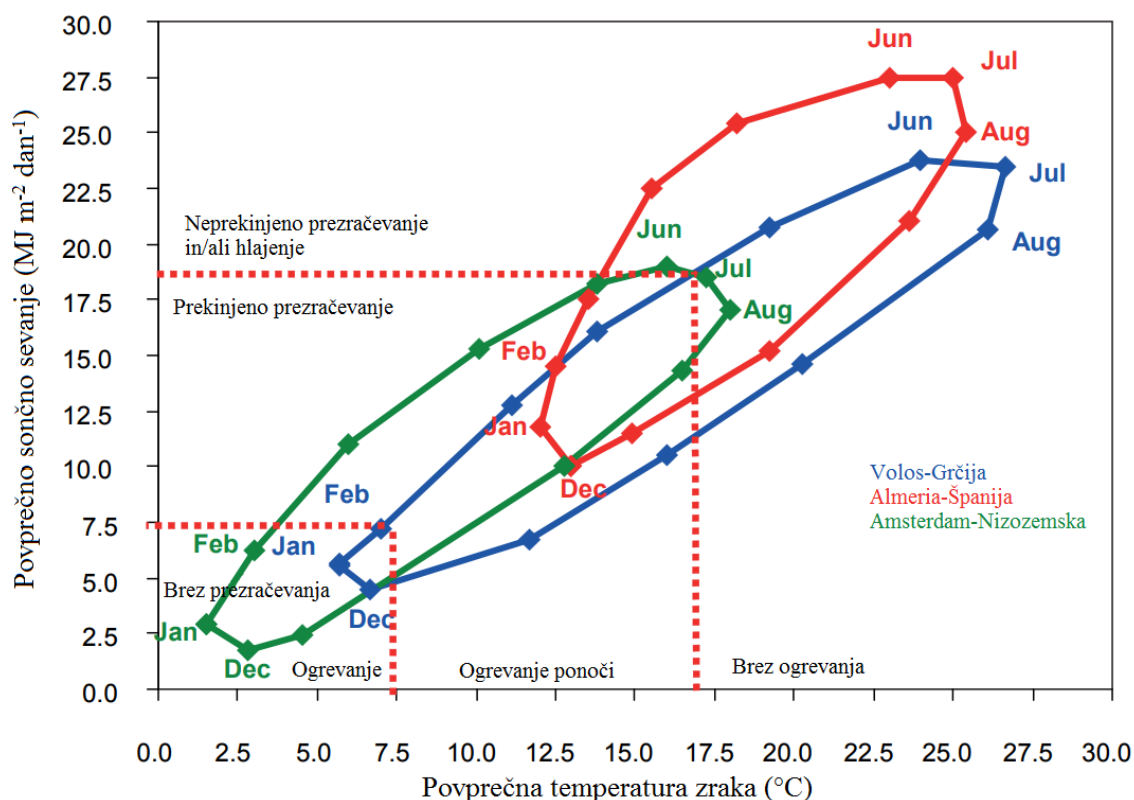
2 KLIMA V ZAVAROVANIH PROSTORIH

Klima v zavarovanih prostorih je stanje atmosfere v nekem obdobju, katero moramo nadzirati in uravnovati. Opisujemo jo z dejanskim stanjem različnih parametrov. Ti parametri so temperatura, zračna vlaga, količina CO₂ in intenziteta sončnega obsevanja. V primeru odstopanj le-teh od optimalnih vrednosti, se poslužujemo uporabe različnih sistemov za doseganje teh vrednosti.

Najpomembnejša spremenljivka za nadzorovanje in uravnavanje v zavarovanih prostorih je temperatura. Rastline, ki jih gojimo v zavarovanih prostorih, so prilagojene na temperature med 17 °C in 27 °C. Spodnja meja sega do 10 °C, zgornja do 35 °C. Če zunanje temperature padejo pod 10 °C, zlasti v nočnem času, bo v zaprtih prostorih potrebno ogrevanje. V nasprotnem primeru, ko povprečna zunanja temperatura sega do 27 °C, lahko s prezračevanjem preprečujemo, da bi bila temperatura v zavarovanem prostoru previsoka. Pri temperaturah nad 27 °C pa samo prezračevanje ne zadostuje več in je potrebno uporabiti tudi hlajenje. Maksimalne temperature v zaprtem prostoru naj ne bi presegale 30–35 °C v daljšem obdobju (Kittas in sod., 2013a).

Na sliki 1 imamo klimografe za mediteranski mesti Volos v Grčiji in Almeria v Španiji ter severnoevropsko mesto Amsterdam na Nizozemskem. Tako lahko vidimo, da je v zmernih podnebnih Severne Evrope za nadzor nad temperaturo potrebno ogrevanje in prezračevanje čez celo leto. Ta dva sistema izjemoma ne zadostujeta v poletnem času. V zimskem času prezračevanja ni, vendar se za razliko ostalih delov leta pozimi ogreva stalno (Kittas in sod., 2013a).

V južnejših predelih lahko ogrevanje (ponoči) in prezračevanje uporabljamo samo v obdobju od pozne jeseni do spomladi oziroma pozno spomladi. V poletnem času so temperature previsoke, da bi samo s prezračevanjem v zaprtih prostorih zagotovili optimalne temperature, zato se uporablja prezračevanje in hlajenje skupaj. V Grčiji pa se uporablja kombinacijo vsega. V zimskem času je potrebno ogrevanje, spomladi in jeseni se prezračuje podnevi in ogreva ponoči, v poletnem času pa podobno kot v Španiji ogrevanja ni, potrebno pa je prezračevanje in hlajenje (Kittas in sod., 2013a).



Slika 1: Klimatski diagram, ki prikazuje ustreznost klime za gojenje termofilnih rastlin v treh evropskih mestih (Kittas in sod., 2013a)

Drugi in prav tako zelo pomemben faktor je zračna vlaga, ki jo pogosto zasledimo kot relativno zračno vlago. Relativna zračna vlaga, v razponu med 60 % in 90 %, na rastline ne vpliva negativno. Če se med prezračevanjem spusti pod 60 %, lahko v suhem podnebju ali na mladih rastlinah povzroča sušni stres. Problemi nastanejo tudi, če se zračna vlaga za daljše obdobje dvigne nad 95 %. To se lahko zgodi v času noči, kar pa lahko povzroči širjenje bolezni (najpogosteje siva plesen (*Botrytis cinerea* (de Bary) Whetzel) (Kittas in sod., 2013a).

3 ZAVAROVANI PROSTORI

Rastlinjaki so zaprti in pokriti prostori, v katerih se ob sončnih dnevih zaradi močnega sončnega sevanja poveča temperatura. Temu pravimo učinek tople grede. Zato je pomembno, da povišane temperature zmanjšamo, saj niso ugodne za rastline, ki jih gojimo. Notranjo zračno temperaturo lahko posredno znižamo preko senčenja, ki zmanjšuje vpliv sončnega sevanja, oziroma neposredno s prezračevanjem ali hlajenjem. Samo senčenje, v smislu zmanjševanja temperature, v rastlinjakih ne zadostuje, zato se poslužujemo senčenja v kombinaciji s prezračevanjem (Baille, 1999).

Poznamo dva modela zavarovanih prostorov oziroma rastlinjakov. Prvega sestavlja visoka tehnologija za hladnejša področja, medtem ko v drugem take tehnologije ne potrebujemo, saj

so taki rastlinjaki postavljeni v bolj toplih in suhih oz. mediteranskih podnebjih. Visoko tehnološko opremljeni rastlinjaki nam omogočajo aktiven nadzor nad klimo, dajejo visoke pridelke in dobro kvaliteto čez celo leto ter omogočajo redno proizvodnjo. Zaradi tehnologije, ki jo vključujemo v visoko proizvodne rastlinjake, pa uravnavanje klime predstavlja visoke stroške. Manj tehnološko dovršene rastlinjake opisuje pasivno uravnavanje klime. Za take rastlinjake velja, da dajejo dobro kvalitetne pridelke v krajšem obdobju in v omejenih količinah, proizvodnja pa je neenakomerna. Prednost predstavljajo majhni stroški. Vse vrste rastlinjakov nam omogočajo določeno stopnjo nadzora nad klimo v njih. Veliko vlogo pri tem imajo gradbeni materiali in konstrukcija rastlinjaka ter geografska lega postavitve (Kittas in sod., 2013b).

3.1 PLASTENJAKI

V industriji prevladujejo predvsem večladijski rastlinjaki s konstrukcijo, ki jo prekriva plastična folija ali togi oz. poltogi materiali. Za prekrivanje streh se ponavadi uporablja plastična folija, za stranice pa poltoga polikarbonatna plastika. Konstrukcija večladijskih rastlinjakov je največkrat narejena iz nerjavečega jekla. Takih rastlinjakov se poslužujejo pridelovalci okrasnih rastlin in pridelovalci sadik. Za razliko od dvokapnih rastlinjakov, so večladijski bolj tesni, zato se v njih lažje namešča ogrevanje, hlajenje in računalniško vodenje sistemov. Plastenjaki imajo učinkovite prezračevalne sisteme, saj so strešna okna velika in nameščena na vsaki ladji. Nekateri plastenjaki imajo kombinacijo strešnih oken in možnost odpiranja stranic – bočno zračenje. Okna so lahko nameščena izmenično na eno in drugo stran, vendar taka postavitve ne predstavlja nobene prednosti (Kittas in sod., 2013b).

Kljub temu imajo plastenjaki težave s kondenzacijo v strešnem delu. Zbran kondenz se spreminja v kapljice, te pa v zgodnjih jutranjih urah padajo na rastline spodaj. Delno, a ne povsem, se tega lahko znebimo s povečanjem naklona strehe s koničastim lokom namesto polkrožnega (Kittas in sod., 2013b).

3.2 STEKLENJAKI

Za razliko od plastenjakov so steklenjaki bolj pogosto v uporabi v severnejših predelih, kjer so temperature nižje. Največkrat so zgrajeni v večjem številu skupaj, ker se s tem zmanjšuje cena na površinsko enoto, pomembneje pa je, da se izboljša učinkovitost ter zmanjšuje izguba toplote skozi stranske stene (Bunschoten in Pierik, 2003). Steklenjaki imajo najpogosteje samo strešno prezračevanje. Razmerje med površino ventilatorjev in površino, ki jo pokriva rastlinjak, je v večini okoli 25 %, ta številka je blizu ASABE (American Society of agricultural and biological engineers) standarda. Uporaba rastlinjakov v Južni Evropi je v manjšem številu, saj so stroški investicij veliki. V Španiji steklenjaki pokrivajo manj kot 1 % skupnih površin zaprtih prostorov. Če so steklenjaki postavljeni v toplejša območja kot so v

Severni Evropi, je potrebna izboljšava prezračevanja. Uporaba kombinacije strešnih oken in odpiranja stranic izboljša pasivno prezračevanje v vetrovnem vremenu (Kacira in sod., 2004) glede na razmere z malo ali brez vetra (Baeza in sod., 2009).

4 SENČENJE

Glavnino sončnega sevanja rastlinjaki prejmejo skozi streho. Ker samo prezračevanje v vročih poletnih dneh ne zadostuje za odvajanje odvečne sončne energije (Baille, 1999), moramo uporabiti še druge metode, kot je senčenje. Za senčenje poznamo veliko metod in tehnik. Med njih sodijo barvne prevleke in vodni filmi na strehi, polnila v stenah rastlinjaka ter različne mreže in blago. Senčenje lahko vpliva na zmanjšanje fotosinteze, v nekaterih primerih pa lahko celo izboljša kvaliteto pridelkov (Kittas in sod., 2017).

4.1 BARVANJE

Barvanje oziroma beljenje streh je cenovno ugodna ter na široko uporabljena metoda v poletnem času v območjih mediterana. Barvanje steklenih materialov izboljšuje delež PAR oziroma fotosintetskega aktivnega sevanja. To pomeni, da se moč sevanja poveča, hkrati pa se zmanjša delež infrardečega sevanja, ki vstopa v rastlinjak in ga segreva. Vse to predstavlja prednost pred drugimi načini senčenja v območjih z veliko sevanja v poletnem času. Prednost beljenja je tudi v tem, da ne vpliva na strešno ventilacijo znotraj rastlinjaka, kot to delajo različne mreže ali blago za senčenje (Baille in sod., 2001).

Največja pomanjkljivost te metode je v prilagajanju na spremembe intenzitete sončnega sevanja med rastno dobo gojenih rastlin. Ko dodajamo dodatne plasti pri večjih intenzitetah, le-teh ne moremo odstranjovati proti koncu sezone, ko se intenziteta sončnega sevanja zmanjša. Na nanese plast barve ne moremo vplivati in jo prilagajati različnim intenzitetam sončnega sevanja (Kittas in sod., 2017).

4.2 PREMIČNA SENČILA

Taka senčila nam omogočajo izboljšanje notranje klime, še posebej v najtoplejšem delu dneva. Zmanjšujejo transpiracijo v nadzemnih delih in sprejem vode v rastline, zato torej povečajo učinkovitost pri porabi vode. Premična senčila so v zadnjih 15-ih letih postala vedno bolj v uporabi (Cohen in sod., 2005; Castellano in sod., 2008). Zložljiva senčila zmanjšajo energetsko preobremenitev znotraj zavarovanega prostora, še posebej v podnebjih, kjer je značilna velika evaporacija, vodni viri/količina vode pa je omejena (Lorenzo in sod., 2006).

Optične lastnosti senčil (vrsta blaga in faktor senčenja) in metode beljenja (vrsta produkta in koncentracija) spreminjajo razmerje med direktnim in difuznim sevanjem in učinkovitost

hlajenja, hkrati pa zmanjšujejo temperaturo zraka in temperaturo rastlin. Posledično to vpliva na količino sevanja, ki ga rastline absorbirajo, stomatalno prevodnost in neto asimilacijo CO₂, vse to pa vpliva na samo pridelavo (Kittas in sod., 2017).

5 PREZRAČEVANJE

Je najbolj enostaven način uravnavanja klime v zavarovanih prostorih. Ravno v poletnem času je potrebno iz zavarovanih prostorov odstranjevati topel zrak, da pri pridelavi rastlin ne prihaja do težav. Prezračevanje ima veliko vlogo pri odstranjevanju toplega zraka ter vlage (Kittas in sod., 2017). Poznamo dva načina prezračevanja, to sta naravni oziroma pasivni in aktivni oziroma mehanski način.

5.1 POTREBE PO PREZRAČEVANJU

Za optimalno rast rastlin v zaprtih prostorih je potrebno zadostno prezračevanje, še posebej takrat, ko so visoke zunanje temperature in močno sončno obsevanje. Take razmere so predvsem v državah ob Mediteranskem morju. Da lahko preučujemo spremenljivke, ki vplivajo na temperaturo v zaprtem prostoru, lahko uporabimo enačbo (1) (Kittas in sod., 2013a).

Za preučevanje spremenljivk, ki vplivajo na temperaturo znotraj zaprtega prostora in kako nanje vplivamo, poznamo enačbo o energetskem ravnovesju za zaprte prostore. Kittas in sod. (2005) poenostavijo in opisujejo to enačbo kot:

$$Va = \frac{0,0003 * \tau * R_{s,o} - \max}{\Delta T} \quad \dots \quad (1)$$

kjer je:

Va... razmerje med Q/Ag, Q je stopnja prezračevalne hitrosti (m³ [zrak] s⁻¹)

Ag... površina tal zaprtega prostora (m²)

τ... koeficient oddajanja sončnega sevanja zaprtega prostora

R_{s,o-max}... maksimalno zunanje sončno sevanje (W m⁻²)

ΔT... temperaturna razlika med notranjim in zunanjim zrakom (°C)

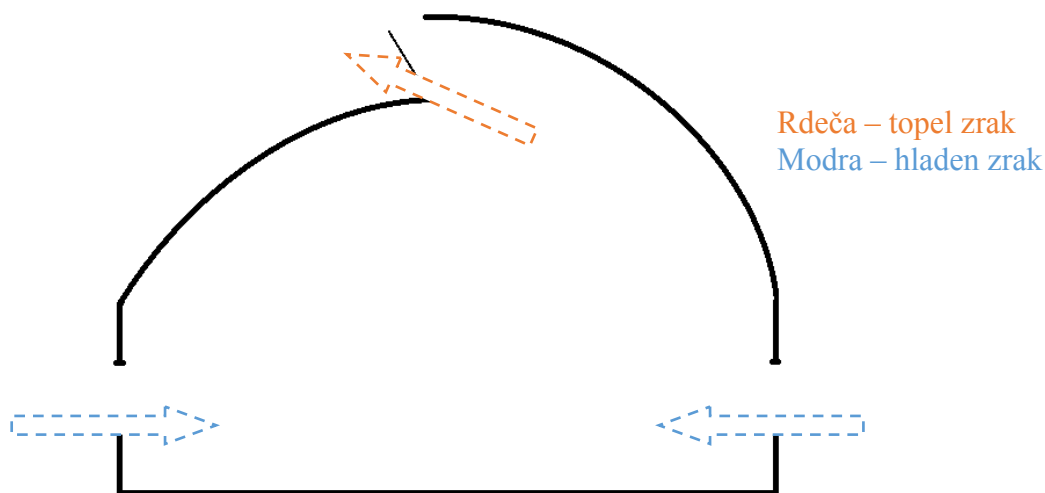
Z uporabo te enačbe lahko izračunamo potrebe prezračevanja za R_{s,o-max} in ΔT. V območju Magnezije v Grčiji je v času najmočnejšega sevanja sončno sevanje preseglo 900 W m⁻² (Kittas in sod., 2005). Da pri takem sevanju obdržimo v zaprtem prostoru ΔT okoli 4 °C, moramo prezračevati s hitrostjo 0,06 m³ s⁻¹ m⁻² (to se navezuje na zaprt prostor s skupno višino 3 m z izmenjavo zraka 60 m³ h⁻¹) (Kittas in sod., 2013a).

5.2 PREZRAČEVALNI SISTEMI

Pasivni sistem

Pasivni sistem deluje na principu razlike tlakov zunanjega okolja ter tlaka v notranjosti. Ta razlika je posledica vetra zunaj zaprtega prostora ter temperaturnega gradienta med zunanjim ter notranjim zrakom. Sistem pasivnega prezračevanja opisuje odpiranje stranic ter strešnih oken. Zaradi različnih gostot zračnih mas med hladnim in toplim zrakom lahko prostor prezračimo in ohladimo. Da pasivno prezračevanje poteka, moramo na rastlinjakih imeti odprtine. Te naj bodo blizu tal in na strehi. Že ob šibkem vetru se posledično topel zrak izmenjuje s hladnejšim. Hladnejši vstopa v rastlinjak skozi odprtine pri tleh, toplejši pa se dviguje in izstopa skozi strešne odprtine (Kittas in sod., 2017). Kako poteka kroženje zraka pri pasivnem sistemu, vidimo na sliki 2.

Pri takem načinu lahko nastopijo negativne posledice, kot so vdori nezaželenih žuželk v zavarovan prostor skozi odprtine. Da preprečimo vdore, ter da zmanjšamo uporabo insekticidov, lahko preko odprtin namestimo posebne proti insektne mreže. Ne samo, da te preprečujejo vstop žuželk, hkrati tudi vplivajo na kvaliteto prezračevanja. Posledice so višja temperatura in vlaga (Katsoulas in sod., 2006). Ker je tak način prezračevanja in hlajenja zaprtega prostora pasiven, nam predstavlja manjše stroške (Kittas in sod., 2017).



Slika 2: Shematski prikaz kroženja zraka pri pasivnem prezračevanju

Aktivni sistem

Mehanski oziroma aktivni sistemi prezračevanja s pomočjo ventilatorjev izmenjujejo zračne mase bolje in hitreje kot pasivni sistemi. Posledično nam omogočajo, da znotraj rastlinjaka ohranjamo rahlo višjo temperaturo kot zunaj (Kittas in sod., 2013a).

Aktivno prezračevanje uporabimo takrat, ko zunanje razmere za pasivno prezračevanje ne ustrezajo, to je takrat, ko je hitrost vetra majhna oziroma vetra ni. Z uporabo ventilatorjev nadomestimo pasivne prezračevalne sisteme, da odvajamo topel zrak (Kittas in sod., 2017).

Princip mehanskega prezračevanja je ustvariti pretok zraka po zaprtem prostoru. Ventilatorji na eni strani zrak izpihujejo, na drugi strani zaprtega prostora pa zrak vstopa preko stene, v katero je nameščen vodni kanal, ki steno, skozi katero vstopa zrak, omoči in s tem ohladi. Prezračevanje s pomočjo ventilatorjev je najbolj učinkovita metoda aktivnega prezračevanja. Vendar pa ni energetsko učinkovita, saj se za prezračevanje rastlinjakov v mediteranskem podnebjju porabi med 70000–100000 kWh energije na ha (Kittas in sod., 2013a).

White in Aldrich (1975, cit. po Kittas in sod., 2013a) priporočata, da naj bodo ventilatorji nameščeni bočno na stranicah in slemenu. Skupna površina ventilatorjev naj bo med 15 % in 30 % površine tal v rastlinjaku. Pri presežku 30 % učinek dodatne površine le-teh na temperaturo zelo malo vpliva.

Kittas in sod. (2001) so preučevali vpliv prezračevanja (pasivnega ali aktivnega) na porazdelitev energije med dobro zalitimi vrtnicami, v obdobju več dni v toplih mediteranskih razmerah. Ugotovili so, da je pasivno prezračevanje, v primeru da ni omejeno s prenizko hitrostjo vetra, boljše od aktivnega, saj ustvari bolj vlažno in hladnejše, a vendar manj homogeno okolje okoli rastlin.

6 HLAJENJE

Senčenje in prezračevanje ne moreta zmanjšati temperature zraka v zaprtem prostoru pod temperaturo zraka zunaj. Za take potrebe, kjer znotraj potrebujemo nižjo temperaturo, uporabimo sistem hlajenja zraka s pomočjo vode. Ta temelji na spremembi zaznavne toplote v latentno toploto s pomočjo izhlapevanja vode, ki jo neposredno dovajamo v atmosfero zaprtega prostora ali preko vodne stene. To omogočajo sistemi za meglenje oziroma pršenje. Tak način hlajenja nam omogoča hkratno znižanje temperature in deficit v parnem tlaku, učinkovitost pa je boljša v suhem okolju (Kittas in sod., 2017).

6.1 HLAJENJE Z VODO

Sistem za meglenje

Z uporabo visokega pritiska se škropi vodne kapljice s premerom 2–60 nm nad rastline, da povečamo površino vode v stiku z zrakom. Kapljice padajo počasi, zato jih zračni tokovi po zaprtem prostoru lahko prenašajo. Posledica tega je višja stopnja učinkovitosti pri izhlapevanju vode in ohranjanju suhe listne površine. Meglenje lahko uporabimo za vzpostavitev visoke zračne vlage, posledično pa s tem zrak ohladimo. Prednost sistema za pršenje in meglenje pred sistemom vodne stene je v tem, da omogoča enakomerno delovanje po celotnem zaprtem prostoru, kar pomeni, da ni potrebe po dodatnem prezračevanju in popolnoma zaprtem prostoru (Kittas in sod., 2017).

Sistem ohlajevalnih plošč /vodne stene in ventilatorjev

Najpogostejša raba takih sistemov je v hortikulturi. Zunanji zrak v prostor vstopa skozi plošče, ki morajo biti vedno mokre. To dosežemo tako, da po ploščah teče voda. Voda s plošč izhlapi in hladi zrak, pod pogojem, da je zunanja zračna vlaga nizka. Dobro je, da poleg hlajenja uporabimo tudi senčenje. Poznamo dve različici sistema, to sta sistem z negativnim tlakom in sistem s pozitivnim tlakom (Kittas in sod., 2013a).

Sistem z negativnim tlakom sestavljata plošča na eni strani in ventilator na drugi strani rastlinjaka. Ventilator sesa zrak po prostoru skozi ploščo. Posledica tega je, da je notranji zračni tlak nižji kot zunanji. Zaradi nižjega tlaka tako lahko vstopata toplejši zrak in prah. Med ventilatorjem in ploščo nastane temperaturni gradient (Kittas in sod., 2013a).

Sistem s pozitivnim tlakom sestavljajo ventilatorji in plošče na isti strani zaprtega prostora, na drugi strani pa so odprtine. Ventilatorji vpihujejo zrak skozi plošče, ta pa preko odprtin izstopa. V tem primeru je zračni tlak znotraj večji kot zunaj, zato topel zrak in prah ne moreta vstopati v notranjost (Kittas in sod., 2013a).

Posebno pozornost je potrebno nameniti postavitvi sistema, da je le-ta učinkovit. Učinkovito hlajenje mora zagotavljati približno 85 % zračno vlago znotraj prostora, saj visoka zračna vlaga upočasni transpiracijo. Tako se lahko temperatura rastlin poveča nad temperaturo zraka. Pomembna je tudi izbira plošč. Te naj imajo dovolj veliko površino, dobre lastnosti omočitve in učinkovito hlajenje. Poleg tega naj ne povzročajo prevelikih izgub v tlaku, morajo biti vzdržljive, ter da se na njih ne odlagajo neželeni delci. Povprečna debelina plošč je med 100 mm in 200 mm. Pomembno je, da na plošči ni odprtin, preko katerih bi zrak prehajal v prostor, ne da bi se shladil. Narejene so iz lesa, volne, nabrekajoče gline ali posebno impregniranega papirja iz celuloze (Kittas in sod., 2013a).

Za kakšno velikost površine plošč se bomo odločili, je odvisno od potreb po hlajenju in dopustne površinske hitrosti padanja kapljic. Povprečne hitrosti pretoka so med $0,75 \text{ m s}^{-1}$ in

1,5 m s⁻¹. Večje hitrosti lahko povzročajo težave, saj začno kapljice vstopati v prostor. Površina plošč naj bo 1 m² na 20–30 m² površine zaprtega prostora. Največja razdalja med ventilatorjem in ploščo naj bo med 30 m in 40 m (Kittas in sod., 2013a).

Plošče lahko postavimo horizontalno ali vertikalno (bolj pogosto). Slednjim se voda dotaka z zgornje strani oziroma zgornjega roba skozi perforirane cevi. Pri horizontalnih ploščah se vodo dovaja s škropljenjem na zgornji strani plošče. Pri dovajanju vode je pomembno, da se ta enakomerno razporedi po celotni površini. Prav tako je potrebno plošče zaščititi pred direktnim sončnim sevanjem, saj v nasprotnem primeru prihaja do točkovnega sušenja ter posledično do zamašitve s soljo ali peskom. V območjih, kjer so pogostejše peščene nevihte, se priporoča, da se plošče zaščitijo s tanjšimi suhimi ploščami, katere služijo kot filter. Te se namesti na strani, s katerih piha veter (Kittas in sod., 2013a).

Ventilatorji naj bodo nameščeni v zatišnih legah, saj je v nasprotnem primeru potrebnih dodatnih 10 % za prezračitev. Razmak med ventilatorji naj ne presega razdalje 7,5 m do 10 m. Prav tako naj ventilatorji ne odvajajo zraka do sosednjih prostorov v manj kot 15 m. Ventilatorji naj imajo avtomatske zaklopke, ki preprečujejo izmenjavo zraka med nedelovanjem (Kittas in sod., 2013a).

Pomembno je, da se pri vklopu sistema hlajenja najprej namočijo plošče, ko pa so le-te nasičene z vodo, se vklopi ventilatorje. S tem se izognemo zamašitvam plošč. Zvečer, ko ugašamo sistem, pa je potrebno paziti, da se najprej izklopi ventilatorje, nato pa dovod vode. Priporočljivo je, da se sistem nadzira z enostavnim sistemom, ki je odvisen od notranje temperature. Tok zraka je odvisen od sončnega sevanja znotraj rastlinjaka, to je od materiala, ki pokriva rastlinjak, od senčenja, evapotranspiracije rastlin ter zemlje. Za dobro in učinkovito delovanje hlajenja je potreben tok zraka 120–150 m³ na m² rastlinjaka na uro (Kittas in sod., 2013a).

7 OGREVANJE

Osnovni namen zaprtih prostorov je, da ohranjajo kontrolirano atmosfero. Pri toploti zraka to dosega s pomočjo neposrednega sončnega sevanja, ki segreva zrak v notranjosti. Kljub temu doseganje optimalnih pogojev s pomočjo sonca čez celo leto ni mogoče. Zato je potrebno uporabiti sisteme za ogrevanje. Optimalne temperature zraka so zelo pomemben dejavnik v zaprtih prostorih, saj omogočajo dobro kvaliteto in zdravje rastlin ter nadzor bolezni (Kittas in sod., 2017).

Ogrevanje zaprtih prostorov je potrebno tudi v območjih s toplejšim podnebjem, kot je mediteransko podnebje. S tem tudi v ne optimalnih razmerah zagotovimo rastlinam optimalne pogoje za rast in razvoj ter splošno učinkovitost pridelave. Ogrevanje ima tudi negativno plat, saj ne le, da za ogrevanje porabimo veliko energije, ampak prihaja tudi do emisij škodljivih plinov (Kittas in sod., 2013a).

7.1 POTREBE PO OGREVANJU

Potrebe po ogrevanju (H_g) lahko izračunamo z več enačbami. Najenostavnejša je naslednja (Kittas in sod., 2013a):

$$H_g = U \cdot A \cdot (T_i - T_0) \quad \dots (2)$$

kjer je:

U... koeficient toplotne izgube ($Wm^{-2} K^{-1}$) (iz preglednice 1)

A... izpostavljena površina rastlinjaka (m^2)

T_i ... notranja temperatura zraka (K)

T_0 ... zunanja temperatura zraka (K)

V tej enačbi ni vključenih izgub toplote zaradi uhajanja iz objekta. Kljub temu je enačba enostavna za izračun potreb po ogrevanju na podlagi pokrite površine objekta in željeni temperaturni razliki med notranjim in zunanjim zrakom (Kittas in sod., 2013a).

Preglednica 1: Koeficient U skupnih izgub toplote pri hitrosti vetra v m/s (Kittas in sod., 2013a).

| Material za prekrivanje | Vrednost U ($W/m^2/K$) |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Enojno steklo | 6.0-8.8 |
| Dvojno steklo, razmik 9 mm | 4.2-5.2 |
| Dvojna akrilna plastika 16 mm | 4.2-5.0 |
| Enojna plastika | 6.0-8.0 |
| Dvojna plastika | 4.2-6.0 |
| Enojno steklo in energetska sloj iz: | |
| Enojna netkana folija | 4.1-4.8 |
| Aluminijasta enojna folija | 3.4-3.9 |

Koliko toplote iz rastlinjaka izgubimo, je odvisno od tipa zaprtega prostora, njegovega stanja in starosti. Pri starejših rastlinjakih se pogosto pojavijo razpoke oziroma različne odprtine, preko katerih topel zrak izstopa, hladen zrak pa v prostor vstopa. Rastlinjaki, ki so pokriti s steklenimi vlakni oziroma eno ali dvo plastno togo ali prožno plastiko, so nagnjeni k manjšim izgubam toplote. Pomembno je, da ogrevamo razumno, saj nam ogrevanje lahko predstavlja do 35 % vseh stroškov v proizvodnji. Povprečna letna poraba energije za ogrevanje pri pridelavi paradižnika v Mediteranu je okoli $850 MJ m^{-2}$ (Kittas in sod., 2017).

7.2 SISTEMI OGREVANJA

Sistemi za ogrevanje morajo rastlinjaku zagotavljati dovod toplote v enaki meri, kot se ta iz njega izgublja. Veliko sistemov ima pomanjkljivosti, saj le omejeno vplivajo na klimo (spremembo temperaturnega gradienta) v prostoru. Dobri sistemi so tisti, ki zagotavljajo

stalen nadzor nad temperaturo (konstantno temperaturo), ne da bi hkrati negativno vplivali na rastline (Kittas in sod., 2017).

Poznamo več sistemov za ogrevanje, izpostavil bi dva, ki sta bolj v uporabi. To sta sistem ogrevanja s toplim zrakom ter sistem ogrevanja s toplo vodo, v katerem je vključenih več različic. Lahko se uporabljata tudi skupaj (Kittas in sod., 2013a).

Ogrevanje s toplim zrakom

Je najbolj pogost ter najcenejši način ogrevanja, predvsem zato, ker ne zahteva prevelikih investicij za vgradnjo, za namestitev ni težaven in ga po potrebi lahko razširjamo oziroma prilagajamo. Zračni ogrevalniki so pritrjeni na tla oziroma dvignjeni na višino. Za gorivo se uporablja olje (naravno, kurilno). Ogrevalnik sestavljata termogen in ventilator. Prvi zrak segreva, slednji pa ogret zrak izpihuje in ga razporeja po prostoru. Nameščeni naj bodo tako, da po celotnem prostoru segrevajo zrak. Za enega velja, da ogreva zrak nad površino med 180 in 500 m². Glavna pomanjkljivost tega sistema je v heterogeni porazdelitvi toplote. To lahko premagamo s povezavo zračnega ogrevalnika in cevjo z ventilatorjem nad ali pod gojitveno mizo ali nad rastlino. Tako omogočimo bolj homogeno porazdelitev toplega zraka v območju, kjer so rastline (Kittas in sod., 2017).

Sistem ogrevanja s toplo vodo

Para ali vroča voda, ki se pretaka po ceveh, nameščenih v rastlinjaku, oddaja toploto po celotnem objektu. Cevi so lahko železne ali plastične, nameščene po obodu rastlinjaka, pod gojitvenimi mizami ali po zraku. Sistem poleg cevi sestavljajo tudi bojler, ventili in ostale nadzorne naprave. Za razliko od zračnega ogrevalnika tu toplota prihaja tudi do korenin in vrha rastlin. Bolj toplo okolje in nižji zračni tokovi okoli rastlin tako lahko vodijo v boljšo rast rastlin in večjo odpornost na bolezni (Kittas in sod., 2017).

Pravilna postavitvev teh cevi je zelo pomembna, saj je postavitvev v povezavi s toplotnimi izgubami. Postavitvev na višino ni priporočljiva, saj vodi v večje toplotne izgube skozi streho rastlinjaka. Kljub temu lahko taka postavitvev cevi služi kot nadomestni vir toplote strehe v zimskem času, ko je na strehi sneg. Cevi na višini se uporablja tudi za nadziranje bolezni kot je siva plesen (*Botrytis cinerea*) in za spodbujanje rasti apikalnih meristemov. Pri namestitvi cevi na stene rastlinjaka pride do večjih izgub skozi stranice rastlinjaka. Za zmanjšanje takih izgub se lahko uporabi stransko obodno segrevanje, ki služi za bolj enakomerno toplotno okolje v rastlinjaku. Najbolj učinkovita postavitvev cevi so talne cevi, ko gre za gojenje rastlin na tleh, ter cevi pod gojitvenimi mizami, ko gre za gojitev rastlin na gojitvenih mizah. Tople cevi pod mizami ustvarjajo zračni tok, ki posledično zmanjšuje vlago v okolici rastlin. Talno ogrevanje je bolj učinkovito kot cevi tik pod mizami. Ta lahko tla v primeru namakanja s poplavljanjem tal, oziroma če so rastline sajene v tleh, tla hitreje posuši. Tako tudi v tem primeru topla tla ustvarjajo tok zraka, ki niža vlago okoli rastlin (Kittas in sod., 2017).

Sistem cevi na steni

Sistem stenskih cevi lahko zagotovi del dodatnega ogrevanja in prispeva k enotnem/uniformnem toplem okolju v zaprtem prostoru. Uporablja se narebrene in gole cevi. Cevi na straneh naj bodo od sten na vseh straneh rastlinjaka oddaljene nekaj centimetrov. S tem zagotovimo pretok zraka. Prav tako naj bodo cevi nameščene dovolj nizko, da se prepreči blokiranje vstopa sončne svetlobe v rastlinjak (Kittas in sod., 2013a).

Sistem cevi na višini (nad glavo)

Toplota, ki izhaja iz cevi, ki so nameščene na višino, se izgublja predvsem skozi streho. Tak sistem ni najbolj zaželen, ker je nameščen nad rastline. Klub temu pa tak sistem v zimskem času lahko zagotavlja dodaten vir toplote. V uporabi so tudi za preventivno zmanjševanje okužb s sivo plesnijo (*Botrytis cinerea*), ki v rastlinjakih povzroča velik problem (Kittas in sod., 2013a).

Cevi v/pod gojitvenimi mizami

Če rastlinjak omogoča uporabo sistema, je uporaba priporočljiva. Pri postavitvi cevi blizu koreninskega sistema rastlin, korenine in nadzemni deli dobijo več toplote kot pri sistemu ogrevanja na višini. Te cevi ustvarjajo zračni tok, ki zmanjšuje vlago okoli rastlin. Toplota se ohranja nižje v rastlinjaku, kar pomeni, da za ogrevanje porabimo manj energije. Tak sistem je primeren za vzgojo rastlin na gojitvenih mizah (Kittas in sod., 2013a).

Sistem talnega ogrevanja

Talno ogrevanje je bolj učinkovito kot prej omenjeno ogrevanje, saj ima ta sistem zmožnost hitrejše osušitve tal. Pri uporabi poplavnih tal za namakanje oziroma gnojenje je ta funkcija bistvenega pomena. Sistem talnega gretja omogoča gojenje rastlin na tleh, kar pa hkrati pomeni, da se tla težje osušijo. Posledica delovanja so toplejša tla, zaradi česar se ustvari tok zraka, ki zmanjšuje vlago okoli rastlin. Sistem pride v poštev pri gojenju rastlin na tleh in pri uporabi poplavnih tal (Kittas in sod., 2013a).

Cevi/tirnice

Sistem cevi na tirnicah vzdržuje konstantno temperaturo s pozitivnim učinkom na mikroklimo. Tok zraka, ki se ustvari zaradi toplih cevi zmanjšuje vlago okoli rastlin. Taki sistemi so v uporabi pri proizvodnji zelenjave, sistem cevi pa služi tudi kot tirnica za prevažanje transportnih vozičkov ali dvižnih ploščadi (Kittas in sod., 2013a).

Radiacijski ogrevalni sistem

Radiacijski ogrevalniki oddajajo infrardeče sevanje, katero potuje s hitrostjo svetlobe. Zrak, skozi katerega potuje tako sevanje, se ne segreje. Ogrijejejo se samo objekti, katere sevanje zadane, to so mize, poti in same rastline. Nato se zrak z oddajanjem toplote s teh objektov segreje. Rastlinjaki, ki so ogreti z radiacijskimi ogrevalniki zraka, imajo okoli 3–6 °C nižjo temperaturo kot tisti, ki so ogrevani na prej naštetih načinih. Pridelovalci poročajo, da se pri

uporabi teh sistemov uporaba goriv zmanjša za 30–50 % v primerjavi z uporabo zračnih ogrevalnikov (Kittas in sod., 2013a).

7.3 NADZOR NAD OGREVANJEM

Termostati (naprave za zaznavanje temperature) naj bodo nameščeni na višino rastočih rastlin, saj na višjih višinah ne zagotavljajo točnih podatkov za določevanja in uravnavanja optimalnega okolja. Za natančno zaznavanje je potrebno v rastlinjaku imeti nameščenih več termostatov, ker se okoljske razmere na kratke razdalje hitro spreminjajo. Termostati naj ne bodo nameščeni tam, kjer je direktna sončna osvetlitev, saj lahko podajo napačne podatke. Zato je priporočeno, da se jih namešča tako, da bodo usmerjeni proti severu ali na zavarovana mesta. Za bolj točne rezultate se nad termostat lahko namesti manjši ventilator, da odvajajo zrak od naprave (Kittas in sod., 2013a).

7.4 OGREVANJE ZA PREPREČEVANJE ZMRZALI

Ogrevanje lahko uporabljamo tudi za zaščito rastlin pred zmrzaljo, prav tako lahko ohranja temperaturo zraka znotraj rastlinjaka nad pragom kondenzacije. Za take potrebe zadostuje že enostaven sistem ogrevanja s toplim zrakom. Dodatne možnosti so še postavitve severne stene ob že obstoječe objekte oziroma stavbe in uporaba vode za shranjevanje toplote, kar opisujejo enostavni pasivni solarni ogrevalniki. Sodi ali cevi, napolnjene z vodo in postavljene v rastlinjak, sprejemajo sončno sevanje čez dan in oddajajo toploto ponoči, ko se temperatura spusti. Lahko pa uporabljamo izolacijo rastlinjaka, kot je na primer, da čez noč rastlinjak prekrijemo s penasto prekrivko, čez dan pa jo odstranimo. Lahko tudi namestimo dodatne plasti iz plastike v notranjosti za dodatno izolacijo (Kittas in sod., 2017).

7.5 UPORABA GEOTERMALNE VODE ZA OGREVANJE

Ker lahko potrebe po energiji za rastlinjake zagotavljamo s šibkejšimi toplotnimi viri med 45 °C in 85 °C, to pomeni, da so rastlinjaki zelo primerni za ogrevanje z geotermalno vodo (Kittas in sod., 2017). Najpogostejši način za ogrevanje rastlinjakov je v zadnjih 25-ih letih prav ogrevanje z geotermalno vodo. Tak način je v uporabi pri pridelovalcih iz mnogo evropskih držav za pridelavo zelenjave, sadja ter okrasnih rastlin skozi celo leto. Ogrevanje rastlinjakov z geotermalno vodo ima prednosti, kot so manjši stroški v primerjavi z ostalimi viri energije, relativno enostavna namestitev sistema in vzdrževanje, bližina geotermalnih virov rastlinjakom in boljša učinkovitost, saj se uporabljajo lokalni viri energije (Popovski in Vasilevska, 2003).

Uporaba geotermalne vode je za ogrevanje velika prednost, še posebej v ekonomskem smislu. Povprečen rastlinjak lahko na tak način privarčuje tudi nad tri četrtine stroškov upravljanja v

primerjavi z gorivom. V toplejših območjih pa se ogrevanje ponavadi uporabi predvsem za nadziranje vlage, saj manjša kot je vlaga, manj pogosti so pojavi glivičnih okužb (Kittas in sod., 2017).

Tudi v Sloveniji je v pridelavi uporabljeno ogrevanje z geotermalno vodo. Najbolj znani primeri so Cvetje Čatež, Lušt in Ocean Orchids.

8 OBOGATITEV ATMOSFERE S CO₂

V Mediteranu je nadzor nad klimo v rastlinjakih slab, katerega posledice so neustrezna mikroklima, ki negativno vpliva na pridelke in učinkovitost pridelave. Obogatitev atmosfere s CO₂ je zato ključnega pomena za izboljšanje kvalitete pridelkov. Stalna ali periodična uporaba povečevanja CO₂ v rastlinjaku lahko vodi v povečanje proizvodnje pridelka nad 20 % v smislu sveže in suhe snovi (Sanchez-Guerrero in sod., 2005). Baille (1999) pravi, da boljši nadzor nad atmosfero vodi v večje pridelke in boljšo kakovost ter podaljšuje rastno sezono.

Nekoč je bil vir CO₂ čisti plin, danes pa se pridelovalci poslužujejo uporabe plinov, ki nastanejo pri sežigu ogljikovodikov. To so parafin, propan, butan, zemeljski plin in bioplin. Pri sežigu naštetih ogljikovodikov je potrebno nadzorovati koncentracije SO₂, SO₃ in NO_x, kateri lahko že pri majhnih koncentracijah rastline poškodujejo (Kittas in sod., 2013a).

Raven CO₂ v neobogatenem rastlinjaku lahko pade pod raven CO₂ v atmosferi. To se zgodi takrat, ko rastline s fotosintezo porabljajo več CO₂ kot ga v rastlinjak preko ventilatorjev vstopa. Slaba učinkovitost prezračevalnih sistemov v preprostejših rastlinjaki v Mediteranu skupaj z uporabo protiinsektnih mrež (Muñoz in sod., 1999) pojasnjuje relativno velika zmanjšanja CO₂ v vrednosti okoli 20 % v poročilih iz južne Španije (Lorenzo in sod., 1990).

Takih težav se lahko znebimo z večjo stopnjo prezračevanja, boljšim prezračevalnim sistemom ali z obogatitvijo atmosfere s CO₂. Zadnji od naštetih je v severni Evropi širše uporabljen za namene povečevanja fotosinteze pri nižjih intenzitetah sončnega sevanja v obdobju zime. Obogatitev je vplivala na večje pridelke in boljšo kvaliteto le-teh pri koncentracijah CO₂ med 700 μmol mol⁻¹ in 900 μmol mol⁻¹ (Nederhoff, 1994).

Enoch (1984, cit. po Kittas in sod., 2013a) pravi, da je potrebno omejevanje pri obogatitvi atmosfere, saj je po kratkem obdobju, v katerem se v atmosfero dodaja CO₂, potrebno prostor tudi prezračiti. Zato je v rastlinjaki neekonomično, da bi cel dan v atmosferi ohranjali visoke koncentracije CO₂, saj večji del dneva predstavlja prezračevanje. Različni avtorji predlagajo možno rešitev, da se CO₂ dovaja tudi takrat, ko se prostor prezračuje. Tako se koncentraciji CO₂ v rastlinjaku in zunaj vzdržujeta na nivoju okoli 700–800 μmol mol⁻¹ tudi, ko je rastlinjak

zaprt, običajno v jutranjih urah in pozno popoldan, ko se rastlinjak ne prezračuje (Nederhoff, 1994).

V primeru, da CO₂ v atmosfero ne dodajamo, ga rastline za potrebe fotosinteze pridobijo samo iz zraka, ki ga v rastlinjak dovajamo s pomočjo ventilatorjev. Koncentracije CO₂ v rastlinjaku naj bodo manjše kot zunanje, saj le tako omogočimo naravni pritok v rastlinjak. Za prezračevanje lahko rečemo, da gre za kompromis med zagotavljanjem pritoka CO₂ in ohranjanjem primerne temperature v rastlinjaku, še posebej v obdobju poletja (Kittas in sod., 2013a).

Optimalna obogatitev atmosfere v rastlinjaku je odvisna od povečanja vrednosti pridelka in cene za CO₂, ki ga uporabljamo. Za ugotavljanje optimalne koncentracije za obogatitev, ekperimentiranje ekonomsko ni upravičeno, saj potrebe po obogatitvi variirajo zaradi različnih intenzitet sončnega obsevanja zaradi fotosinteze in zaradi izgub CO₂, kot posledica prezračevanja (Bailey in Chalabi, 1994). Na zelene vrednosti za CO₂ vpliva več dejavnikov. To so učinek CO₂ na stopnjo fotosintetske asimilacije, razmerje med plodovi in vegetativnimi deli rastlin, porazdelitev produktov fotosinteze v naslednje/kasnejše pridelke in cena sadežev tistih pridelkov z upoštevanjem porabljene količine CO₂, cene CO₂ ter prezračevanja rastlinjaka (Kittas in sod., 2013a).

9 RAZVLAŽEVANJE/ZMANJŠEVANJE VLAŽNOSTI

Za nadzor je vlaga v rastlinjakih eden izmed najzahtevnejših dejavnikov. Vlažnost je količina vodnih hlapov, ki se ob procesu kondenzacije začnejo iz zraka izločati kot vodne kapljice. Do kondenzacije pride, ko topel in vlažen zrak pride v stik s hladno površino oziroma z materialom, ki pokriva rastlinjak (steklo, plastika, steklena vlakna) in ogrođjem. V stiku se zrak ohladi na temperaturo površine. Če je temperatura materiala pod temperaturo rosišča zraka, se vodna para kondenzira in tvorijo se kapljice. Tekom dneva je sončno sevanje za ogrevanje zadostno, da ne pride do pojava kondenzacije, razen v primeru hladnih in oblačnih dni (Kittas in sod., 2013a).

Najbolj pogosta je v času od sončnega zahoda pa vse do vzhoda oziroma do nekaj ur po vzhodu. Kondenzacija je pokazatelj visoke vlage v rastlinjaku, ki pa lahko povzroča veliko težav kot je kalitev spor patogenih gliv. V določenem obdobju leta nam lahko povzroča veliko težav, ne moremo pa se je popolnoma znebiti (Kittas in sod., 2013a).

10 UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE VLAŽNOSTI

Ukrepe za zmanjševanje izvajamo ob zori in mraku. Ob zori zmanjšujemo vlažnost za preprečevanje kondenzacije in za spodbujanje transpiracije, ob mraku pa za preprečevanje kondenzacije, zračno vlago znižamo na 70–80 % (Kittas in sod., 2013a).

Uporaba ogrevanja v kombinaciji s prezračevanjem

Pogost ukrep za zmanjševanje vlažnosti je enostavno odpiranje oken, ker s tem omogočimo, da vlažen zrak iz rastlinjaka izstopa, tega pa zamenja zunanji relativno suh zrak. Ko v rastlinjaku pride do previsoke temperature, jo lahko s prezračevanjem enostavno znižamo in ne potrebujemo energijskega vložka. Potrebujemo ga, ko pasivno prezračevanje ne zadostuje za odstranjevanje vlage v zraku. Topel notranji zrak nadomesti hladnejši zunanji, posledica pa je znižanje notranje temperature (Kittas in sod., 2013a).

Uporaba higroskopskih materialov za absorbcijo

Ta metoda ni v širši uporabi, saj je bilo na tem področju narejenih premalo raziskav. Glavna razloga sta kompleksna namestitvev in potrebna uporaba kemikalij, ki pa v pridelavi ni najbolj zaželena. Sistem deluje tako, da vlažen zrak znotraj rastlinjaka pride v stik s higroskopskim materialom. Ob izhlapevanju vodne pare se sprošča latentna toplota, vodni hlapi pa se absorbirajo. Pri višjih temperaturah se mora higroskopski material obnavljati. Do 90 % energije, ki jo dovajamo za obnavljanje materiala, se lahko s pomočjo zapletenih sistemov vrača v rastlinjak (Kittas in sod., 2013a).

Kondenzacija na hladnih površinah

Tu ne gre za materiale, ki pokrivajo rastlinjak, temveč tiste, ki so posebej nameščeni v rastlinjaku. Ko vlažen zrak pride v stik s površino teh materialov, kondenzira, in nastanejo vodne kapljice. Zbrano vodo lahko tudi uporabimo. Posledično se zračna vlaga v rastlinjaku zmanjša. En meter narebrenih cevi, ohlajenih na 5 °C, lahko v eni uri odstrani 54 g vodne pare pri temperaturi zraka 20 °C in 80 % zračni vlagi (Kittas in sod., 2013a).

Aktivno prezračevanje v kombinaciji z izmenjevalcem toplote

Ko je potrebno odstraniti vlažen zrak v rastlinjaku s suhim zunanjim, to naredimo z aktivnim prezračevanjem. Potrebam prezračevanja zadostuje že samo ventilator z zmogljivostjo 0,01 m³ s⁻¹ (Campen in sod., 2003).

Uporaba anti-drip materialiov

Uporaba anti-drip materialov je za odstranjevanje vlage v rastlinjakih alternativna tehnologija. Anti-drip plasti vsebujejo posebne dodatke, ki onemogočijo tvorbo kapljic, vendar oblikujejo tanek sloj vode, ki teče po strehi navzdol. Na stranicah pa nastal kondenz odstranjuje vlago iz zraka, zato se posledično vlažnost zmanjša (Kittas in sod., 2013a).

11 ZAKLJUČEK

S pomočjo zavarovanih prostorov si pridelovalci omogočijo bolj nadzorovano proizvodnjo zelenjave in okrasnih rastlin. Za različne geografske lege na svetu postavitve enakih zaprtih prostorov ne ustreza, saj ima na to velik vpliv podnebje, ki že na manjše razdalje zelo niha. To pomeni, da je predvsem od podnebja odvisno, kakšno tehnologijo bomo uporabili za namene uravnavanja klime v zaprtem prostoru. Tako imamo lahko v toplejših območjih bolj enostavne rastlinjake, kjer je najbolj pomembno uravnavanje temperature, to je s hlajenjem in prezračevanjem, v hladnejših območjih pa se soočamo s podnebjem, kjer so temperaturna nihanja velika. V teh območjih so zavarovani prostori bolj tehnološko zasnovani, saj moramo zaradi nižjih zunanjih temperatur uporabljati ogrevanje, v primeru pojava kondenzacije pa ukrepe za zmanjševanje vlažnosti.

Na izbiro zavarovanega prostora vpliva več dejavnikov. Poleg podnebja nekega območja vpliva tudi vrsta, ki jo bomo gojili, časovno obdobje in toplotne zahteve za gojenje te rastline. Zahteve so za vsako rastlino drugačne. Tu gre v veliki meri za optimalno temperaturo gojenja, pomembne pa so tudi količina svetlobe oziroma potrebe po senci, zračna vlaga, preskrbo z vodo in za boljše gojenje raven CO₂.

Pravilno uravnavanje klime privede do manjših stroškov in ekonomsko bolj upravičene pridelave, hkrati pa s tem zmanjšamo emisije škodljivih plinov in odgovorno ravnamo do okolja.

12 VIRI

- Baeza E.J., Pérez-Parra J., Montero J.I., Bailey B., Lopez, J.C., Gazquez, J.C. 2009. Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 104, 1: 86–96
- Bailey B.J., Chalabi Z.S. 1994. Improving the cost effectiveness of greenhouse climate control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 10: 203-214
- Baille A. 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Horticulturae*, 491: 37–47
- Baille A., Kittas C., Katsoulas N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107: 193–306
- Bunschoten B., Pierik C. 2003. Kassenbouw neemt weer iets toe. CBS Webmagazine. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2003/49/kassenbouw-neemt-weer-iets-toe> (23. 7. 2018)
- Campen J.B., Bot G.P.A., de Zwart H.F. 2003. Dehumidification of greenhouses at northern latitudes. *Biosystems Engineering*, 86, 4: 487–493
- Castellano S., Scarascia G.M., Russo G., Briassoulis D., Mistriotis A., Hemming S., Waaijenberg D. 2008. Plastic nets in agriculture: A general review of types and applications. *Applied Engineering in Agriculture*, 24, 6: 799–808
- Cohen S., Raveh E., Li Y., Grava A., Goldschmidt E.E. 2005. Physiological response of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. *Scientia Horticulturae*, 107, 1: 15–35
- Kacira M., Sase S., Okushima L. 2004. Effects of side vents and span numbers on wind-induced natural ventilation of a gothic multi-span greenhouse. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 38, 4: 227–233
- Katsoulas N., Bartzanas T., Boulard T., Mermier M., Kittas C. 2006. Effect of vent openings and insect screens on greenhouse ventilation. *Biosystems Engineering*, 93, 4: 427–436
- Kittas C., Katsoulas N., Baille A. 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79, 1: 349–360
- Kittas C., Karamanis M., Katsoulas N. 2005. Air temperature regime in a forced ventilated greenhouse with rose crop. *Energy and Buildings*, 37, 8: 807–812

- Kittas C., Katsoulas N., Bartzanas T., Bakker S. 2013a. Greenhouse climate control and energy use. V: Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. Baudoin W. O., Duffy R. (ur.). Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 63–95
- Kittas C., Katsoulas N., Bartzanas T., Bakker S. 2013b. Greenhouse design and covering materials. V: Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. Baudoin W. O., Duffy R. (ur.). Rome, Food and agriculture organization of the united nations: 35–62
- Kittas C., Katsoulas N., Bartzanas T. 2017. Structures: design, technology and climate control. V: Good agricultural practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries. Baudoin W. O., Duffy R. (ur.). Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 29–51
- Lorenzo P., Garcia M.L., Sanchez-Guerro M.C., Medrano E., Caparros I., Giménez M. 2006. Influence of mobile shading on yield, crop transpiration and water use efficiency. *Acta Horticulturae*, 719, 1: 471–478
- Lorenzo P., Maroto C., Castilla N. 1990. CO₂ in plastic greenhouse in Almería (Spain). *Acta Horticulturae*, 268: 165–170
- Muñoz P., Montero J.L., Antón A., Giuffrida F. 1999. Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73: 171–178
- Nederhoff E.M. 1994. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Doctoral dissertation. Wageningen University: 213 str.
<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/25066> (23. 7. 2018)
- Popovski K., Vasilevska S. P. 2003. Prospects and problems for geothermal use in agriculture in Europe. *Geothermics*, 32: 545–555
- Shanchez-Guerrero M.C., Lorenzo P., Medrano E., Castilla N., Soriano T., Baille A. 2005. Effect of variable CO₂ enrichment on greenhouse production in mild winter climates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 244–252

ZAHVALA

Za vso strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela se zahvaljujem mentorici doc. dr. Ani Slatnar.