

# Sustavi zaštite trajnih nasada protiv kasnih proljetnih mrazeva

---

Hajmiler, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:402936>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Marko Hajmiler

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

**SUSTAVI ZAŠTITE TRAJNIH NASADA PROTIV KASNIH PROLJETNIH  
MRAZEVA**

Diplomski rad

Osijek, 2023.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Marko Hajmiler

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

**SUSTAVI ZAŠTITE TRAJNIH NASADA PROTIV KASNIH PROLJETNIH  
MRAZEVA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i za obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Đuro Banaj, predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Vjekoslav Tadić, mentor
3. dr. sc. Anamarija Banaj, član

Osijek, 2023.

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	4
<b>2. KLIMATSKE PROMJENE I POJAVA KASNOG PROLJETNOG MRAZA</b> .....	6
<b>3. RAZLIČITE VRSTE MRAZA</b> .....	9
<b>4. KRITIČNE TEMPERATURE</b> .....	13
<b>5. PREDVIĐANJE I PRAĆENJE KASNIH PROLJETNIH MRAZEVA</b> .....	15
<b>5.1. Temperaturno - fenološki modeli</b> .....	15
<b>5.2. Modeli strojnog učenja</b> .....	17
<b>5.3. Sateliti, senzori, termalne kamere i dronovi u predviđanju mraza</b> .....	19
<b>6. METODE I MJERE ZA SUZBIJANJE ŠTETA OD KASNIH PROLJETNIH MRAZEVA</b> .....	21
<b>6.1. Pasivne mjere</b> .....	22
<b>6.2. Kemijske mjere</b> .....	23
<b>6.3. Aktivne mjere – Tehnologije poljoprivredne mehanizacije</b> .....	24
<b>6.3.1. Zaštita dimljenjem trajnih nasada</b> .....	24
<b>6.3.2. Zaštita trajnih nasada kišenjem</b> .....	25
<b>6.3.3. Zaštita trajnih nasada izravnim zagrijavanjem</b> .....	32
<b>6.3.4. Ventilatori</b> .....	37
<b>7. EKONOMSKA PITANJA – TROŠKOVI SUSTAVA ZAŠTITE OD SMRZAVANJA</b> .....	40
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	43
<b>9. LITERATURA</b> .....	45
<b>10. SAŽETAK</b> .....	53
<b>11. SUMMARY</b> .....	54
<b>12. POPIS TABLICA</b> .....	55
<b>13. POPIS SLIKA</b> .....	56

## 1. UVOD

Glavna tema na početku ovog rada je definirati riječ "mraz" i na što se ona odnosi. U literaturi postoji mnogo različitih značenja ovog pojma, a FAO tumačenje je objašnjeno. Izraz "mraz" odnosi se na stvaranje kristala leda na površinama ili smrzavanjem rose ili promjenom faze iz pare u led. Osim ovog objašnjenja, izraz se široko koristi u poljoprivredi kao meteorološki događaj kada usjevi pretrpe štetu od mraza. U literaturi se meteorološki naziv za mraz koristi kada temperatura u vremenskom zaklonu (1,25 do 2 m iznad travnjaka, okrenut prema sjeveru) padne na ili ispod 0 °C. Poljoprivredni izraz mraz odnosi se na pojavu temperatura na ili ispod 0 °C na biljnom tkivu kada počnu problemi s mrazom i oštećenja. Neke biljke i kultivari su otporni na niže temperature, drugi na veći ili manji intenzitet mraza (trajanje mraza). Svi ti čimbenici ovise o čimbenicima smrzavanja stanične citoplazme, koncentraciji aminokiseline prolina, genetskim čimbenicima itd. To znači da se neki dijelovi biljke smrzavaju na temperaturi od -0,7 °C, dok drugi podnose niske temperature od -6,0 °C (Snyder i sur., 2005.).

Konačno, pojava mraza mora koincidirati s najosjetljivijim fazama pupanja i cvjetanja biljaka kako bi izazvala značajne ekonomske štete, što je obično slučaj u ožujku i travnju (osobito u travnju) u područjima umjerene klime gdje je većina nasada. To znači da se neki dijelovi biljke smrzavaju na temperaturi od -0,7 °C, dok drugi podnose niske temperature i do -6,0 °C (Snyder i sur., 2005.).

Pri niskim temperaturama biljno tkivo se uništava stvaranjem kristala leda unutar stanice. Ovisno o trajanju mraza i fenofazi biljke, povećava se otpornost biljke na negativne temperature. Kasni proljetni mrazovi obično se javljaju u travnju u umjerenim klimatskim područjima, ali to razdoblje može se protegnuti od kraja ožujka do početka svibnja, kada mnoge biljne vrste počinju svoj razvoj ili su već u punom razvoju. Stoga je potrebno poznavati mikroklimu kako bi se izbjegla plantažna sadnja u područjima gdje se očekuju proljetni mrazovi, a svaki poljoprivrednik mora odabrati najprikladniji način agrotehnike, ovisno o svojim mogućnostima, učinkovitosti i isplativosti (Bugarin i sur., 2014.).

Na temelju navedenog i klimatskih promjena objašnjenih u poglavlju 2, nemoguće je u današnjoj poljoprivredi ne posvetiti pozornost zaštiti trajnih nasada od kasnih proljetnih mrazeva. Osim nekih rijetkih kemijskih metoda i pasivnih mjera zaštite, samo primjenom mjera i metoda iz područja poljoprivredne tehnike mogu se dati odgovori i rješenja za minimiziranje šteta od kasnih proljetnih mrazeva (Tadić i sur., 2023.).

Kako su gospodarske štete uzrokovane mrazom svake godine sve veće, može se zaključiti da svaki poljoprivrednik mora imati vrlo učinkovito rješenje za djelotvorno i učinkovito suzbijanje, što se može postići mjerama aktivne zaštite. Pojam “aktivne mjere zaštite” uglavnom spada u područje poljoprivredne tehnike i jedino se ovim mjerama mogu u velikoj mjeri zaštititi nasadi. Iz cjelokupne svjetske znanstvene literature i novijih istraživanja vidljivo je da se problem pojave kasnih proljetnih mrazova zbog klimatskih promjena pogoršava, a štete od mrazova sve više opterećuju cjelokupnu poljoprivrednu proizvodnju. Stoga je iznimno važno da ovaj rad objasni cjelokupnu problematiku i iznese mjere i načine učinkovite zaštite od kasnih proljetnih mrazova.

## 2. KLIMATSKE PROMJENE I POJAVA KASNOG PROLJETNOG MRAZA

Krajem prošlog i početkom ovog stoljeća planet Zemlja se počela naglo zagrijavati zbog povećanih emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu (Kyoto protokol 2007., Pariški sporazum 2007.).

Hrvatski državni meteorološki zavod navodi da u hrvatskom istočnom dijelu države, pojava kasnih proljetnih mrazeva u višegodišnjem prosjeku (1899. – 2021.) iznosi 7 dana u ožujku i 2 dana u travnju. Međutim, u posljednjih petnaestak godina taj se prosjek povećao na 8-9 dana u ožujku i 4-5 dana u travnju. To može biti posljedica većeg potencijala advekcijskog mraza (koji se javlja kada se velika količina hladnog zraka zadrži na nekom području dulje vrijeme), kojemu je istočna Hrvatska izložena zbog blizine ruske ploče, kao i do velikih količina hladnog zraka koji ulazi u panonsku nizinu tijekom nestabilnosti atmosferskog tlaka u travnju. Iz navedenog (s obzirom samo na pojavu mraza) može se zaključiti da se klima ubrzano mijenja i da je pojava temperaturnih ekstrema sve češća.

Sličan rezultat objavili su američki znanstvenici iz Illinoisa, koji su objasnili da je dugoročni temperaturni rekord (1889. – 1992.) procijenjen kako bi se utvrdilo je li učestalost oštećenja od mraza porasla u posljednjim desetljećima. Njihov glavni zaključak je da su u dugoročnom zapisu uvjeti mraza prevladavali u 10 od 124 godine, ali je godišnja vjerojatnost štete od mraza (listopadne šume) značajno porasla, s 0,03 između 1889. i 1979. na 0,21 između 1980. i 2012 (Augsburger, 2018.).

U kontekstu gore navedenog klimatskog zatopljenja, Pflleiderer i sur. (2019.) izvješćuju da će se u južnoj Njemačkoj štete od mraza na stablima jabuke povećati do 10 % u usporedbi s današnjim vremenom sa zagrijavanjem od 2 °C. Također napominju da će se apsolutni broj mraznih dana smanjiti, a toplije zime dovesti do ranije cvatnje voćaka, što može dovesti do povećanja rizika od pojave mraznih dana nakon cvatnje. To je suprotno u slučaju istočne Hrvatske, ali u godinama bez advekcijskih mrazova isti je slučaj u panonskom području.

Qianqian i sur. (2019.) proveli su opsežno istraživanje 27 voćnih vrsta s preko 5000 fenoloških promatranja na više od 1000 lokacija u Europi. Ovaj znanstvenik također podupire teoriju da bi porast temperature u kasnu zimu i rano proljeće mogao izazvati takozvano "lažno proljeće", tj. rani početak rasta nakon kojeg slijede hladna razdoblja koja dovode do povećanja štete od mraza. Voćke koje su zbog ranije cvatnje vrlo osjetljive na klimatske promjene imaju tendenciju povećane opasnosti od oštećenja od mraza. S obzirom na geografski položaj, morska i priobalna područja u Europi više su izložena pojačanoj pojavi mraza i tim kasnim proljetnim mrazovima, koji mogu izazvati ogromne ekonomske gubitke i dramatične ekološke posljedice.

Nasuprot ovom zaključku, znanstvenici iz Sjedinjenih Američkih Države nalaze da u Kaliforniji, rizik od izloženosti smrzavanju zbog klimatskih promjena smanjio se s prosječnim smanjenjem od 63 % do sredine 21. stoljeća. Glavni trajni nasadi, bademi i naranče, doživjet će 50-75 % manje mraza, dok će avokado doživjeti 75 % manje sati mraza. U tom će slučaju klimatsko zagrijavanje rezultirati uštedom od više od 600 milijuna hL i 4,2 milijuna dolara troškova električne energije za crpljenje vode godišnje (metoda zaštite od smrzavanja s navodnjavanjem prskalicama).

Iako se predviđa da će klimatske promjene povećati potražnju usjeva za vodom tijekom sezone rasta i povećati pritisak štetočina, to će imati ukupni negativan učinak na poljoprivredu. U tom će slučaju klimatsko zagrijavanje rezultirati uštedom od više od 600 milijuna hL i 4,2 milijuna dolara troškova električne energije za crpljenje vode godišnje (metoda zaštite od smrzavanja s navodnjavanjem prskalicama (Parker, L. i sur., 2020.)).

Qiang, L. i sur. (2018.) donijeli su najbolji zaključak o pojavi kasnih proljetnih mrazova i klimatskim promjenama donosi rad koji je ispitivao broj dana s minimalnim temperaturama  $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na sjevernoj hemisferi na geografskim širinama iznad  $30\text{ }^{\circ}\text{N}$ . Zaključili su da zagrijavanje klime smanjuje pojavu mraza, a zatopljenje dovodi do produljenja vegetacijske sezone i mogućih češćih mraznih dana tijekom vegetacijske sezone. Podaci od 1982. do 2012. pokazuju da je  $\sim 43\%$  hemisfere (uglavnom u Europi) doživjelo značajan porast mraznih dana, uglavnom u proljeće. Općenito, regije koje doživljavaju veće povećanje duljine vegetacijske sezone imaju veće povećanje broja mraznih dana. Zagrijavanje klimatski smanjuje ukupan broj dana s mrazem u godini, ali kasni proljetni mrazovi i dalje se povećavaju u mnogim područjima.

Ovu tvrdnju podupiru i znanstvenici iz Austrije (Unterberger, C. i sur., 2018.). Njihova istraživanja iz jugoistočne Štajerske pokazuju da su se meteorološki blokirajući događaji (stabilni sustavi visokog tlaka) pokazali kao jedan od čimbenika koji izazivaju hladnoće u proljeće, kao i pomicanje početka cvatnje na početak travnja do kraja 21. stoljeća (model predviđa prosječno napredovanje cvjetanja od  $-1,6 \pm 0,9$  dana po desetljeću).

Loše prognoze glede klimatskih promjena i vinogradarstva u Europi daju grčki znanstvenici Droulia i sur. (2021.). Pojašnjavaju da će klimatske promjene utjecati na fenološke stadije vinove loze, s promjenama u sastavu grožđa i vina, prinosima te širenjem na površine koje su dosad bile nepogodne za uzgoj vinove loze. Buduće klimatske promjene sa zatopljenjem i nedostatkom vode dovest će do gubitka vinogradarstva u Sredozemlju i drugim regijama, dok bi u srednjoj i sjevernoj Europi zatopljenje moglo pogodovati vinogradarstvu. U ovom pitanju gotovo je nepotrebno spominjati tropski pojas (ili geografske širine niže od



30° N/S) u području pojave mraza, budući da se mraz obično javlja samo na većim nadmorskim visinama. Stoga, kada su tropski usjevi oštećeni hladnoćom, temperatura je obično iznad nule (Snyder i sur., 2005.).

### 3. RAZLIČITE VRSTE MRAZA

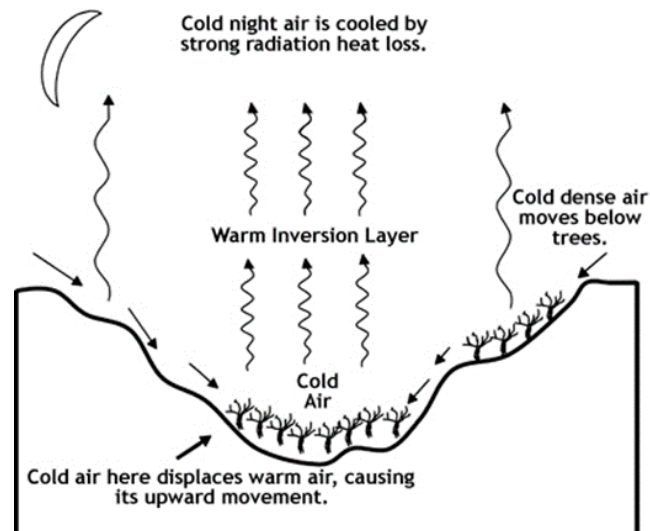
Zbog klimatskih promjena, različitih geografskih položaja, različitih nadmorskih visina i različitih položaja trajnih nasada, mogu se pojaviti različiti oblici kasnih proljetnih mrazeva. Kako temperaturni ekstremi postaju izraženiji, svaki početak smrzavanja ima svoje trajanje i intenzitet kako je opisano u literaturi. Pfammatter, W. (1998.) navodi da se općenito javljaju tri vrste mraza:

a) Advekcijski mraz - javlja se kada velika količina hladnog zraka ostaje u nekom području dulje vrijeme.

b) Evaporacijski mraz – smrzavanje uslijed isparavanja vode koje lako može sniziti temperaturu mladih dijelova biljke i uzrokovati štetu. Porast relativne vlažnosti i pad temperature zraka mogu dovesti do pojave "isparljivog leda".

c) Radijacijski mraz - tlo se ponaša kao tamno tijelo i gubi toplinu zračenjem za vedrih i mirnih noći, topli zrak se diže, hladan tone i dolazi do smrzavanja.

Zbog intenzivne pojave mrazova, prema Cittadini i sur. (2014.) procjena rizika od oštećenja od smrzavanja važna je za planiranje razvoja novih voćnjaka te za odlučivanje o projektiranju i izgradnji sustava zaštite od smrzavanja. Na slici 1. prikazana je pojava kasnih proljetnih mrazeva procjena opasnosti od oštećenja od smrzavanja važna je za planiranje razvoja novih voćnjaka te za odlučivanje o projektiranju i izgradnji sustava zaštite od smrzavanja.



Slika 1. Pojava kasnih proljetnih mrazeva

(Izvor: Taylor, K. C. Peach Orchard establishment and young tree care. Personal communication, Circular 877, 2012.)

Literatura ukazuje da u konačnici postoje samo dva kritična oblika mraza: radijacijski mraz i advektivni mraz. U ovoj se literaturi radijacijski mraz opisuje kao večernji gubitak topline prema nebu zbog topline pohranjene u tlu tijekom dana, tj. tijekom noćnih/većernjih sati postoji radijacijski gubitak topline od tla prema nebu. Na taj način dolazi do temperaturne inverzije između viših i nižih dijelova nasada. Radijacijski mraz javlja se češće i jače u kopnenim regijama, a relativna vlažnost zraka važan je čimbenik u jačini mraza i kritičnoj temperaturi. Daljnja podjela radijacijskog mraza je: crni mraz (kada je vlažnost niska i točka rosišta ispod 0 °C, mraz se javlja bez stvaranja leda na izloženim površinama) i bijeli mraz (kada je vlažnost visoka, na tlu se stvara rosa iznad 0 °C dok se rosa ne smrzne u sloj leda na izloženim površinama).

Advektivni mraz se objašnjava slično kao – ovaj mraz je rezultat kretanja hladnih zračnih masa koje istiskuju topli zrak iz plantaža. Ova vrsta mraza je vrlo opasna i vrlo malo se može učiniti za zaštitu biljaka tijekom advektivnog mraza (Pfammatter, W. 1998.).

Novozelandski znanstvenici Trought i sur. (1999.) dijele mraz u nekoliko kategorija: prizemni mraz, mraz na ekranu, inje, crni mraz, radijacijski mraz i advektivni mraz. Objasnili su da se mraz na tlu javlja kada se rosa smrzne (temperatura trave -1 °C ili niža), a mraz na ekranu nastaje kada je temperatura zraka u zaklonu od vremenskih prilika (1,3 m iznad tla) 0 °C ili niža. Inje se može pojaviti kada je temperatura zraka ispod nule, a kristali leda se formiraju i rastu na površinama sublimacijom. Iz cijele literature o mrazu može se zaključiti da je radijacijski mraz najčešća vrsta kasnog proljetnog mraza i javlja se u većini slučajeva diljem

svijeta, pa ovu vrstu mraza mnogi znanstvenici opisuju matematički. Upravo na ovu vrstu mraza odnose se sve poljoprivredne mjere i načini suzbijanja i minimiziranja šteta.

Sve površine zrače ovisno o površinskoj temperaturi i svojstvu površine koje se naziva emisivnost (Trought i sur. 1999.).

Stefan-Bolzmannov zakon pokazuje intenzitet emisije:

$$I = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [W m}^2\text{]},$$

gdje su:

$\varepsilon$ - emisivnost (1,0 za većinu prirodnih površina),

$\sigma$ - Stefanova konstanta ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ ).

a valna duljina ( $\lambda_{\max}$ ) vrha spektra zračenja dana je Wienovim zakonom

$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T} \text{ [}\mu\text{m]},$$

gdje su:

$\lambda_{\max}$ - maksimalna valna duljina,

$T$ - apsolutna temperatura (K).

Zemaljske površine zrače na oko  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  u infracrvenom zračenju,  $\lambda_{\max} = 10,2 \mu\text{m}$ ,  $I = 364,7 \text{ W/m}^2$ , a nebo na oko  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_{\max} = 11,2 \mu\text{m}$ ,  $I = 252,0 \text{ W/m}^2$ . U ovom slučaju gubitak je  $112,7 \text{ W/m}^2$ , au oblačnim noćima gubitak topline je oko  $10 \text{ W/m}^2$ . Dakle, zbog razlika između tla i zraka, tlo zračenjem upija toplinu i na taj se način hladi (Trought i sur., 1999.).

Na temelju gore navedenog fizikalnog zakona, lako je odrediti rizik od smrzavanja na temelju trenutnih dnevnih uvjeta.

Najjednostavnija metoda za procjenu "minimalne temperature trave sljedećeg jutra" je uzeti maksimalnu brzinu hlađenja i izmjeriti vremenske uvjete u 15:00 pomoću jednadžbe:

$$T_g = \frac{1}{3} \left( T + \frac{T_d}{2} \right) - c,$$

gdje su:

$T_g$  - prognozirana minimalna temperatura trave ( $^\circ\text{C}$ ),

$T$  – temperatura suhog termometra ( $^\circ\text{C}$ ),

$T_d$  – temperatura rosišta ( $^\circ\text{C}$ ),

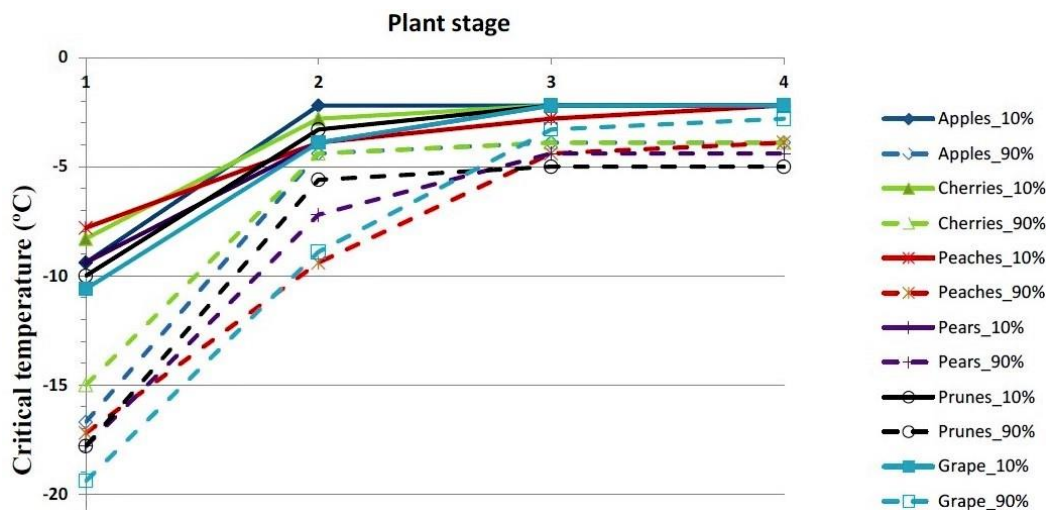
$c$  – stalni (8 – svibanj, rujan i listopad; 9 – lipanj i kolovoz).

Ako govorimo o ozbiljnim stvarnim mjerenjima, najbolje podatke daju znanstvenici iz Italije s mjerenjima u padskoj nizini , gdje su mjerili radiometrijski (zračenje) i prizemni toplinski tok. Njihovi instrumenti sastojali su se od anemološke i radiometrijske stanice opremljene zvučnim anemometrom i radiometrom za odvojenu analizu bilance sunčevog i infracrvenog zračenja. Uz sva ova mjerenja svake je noći lansiran i eksperimentalni balon za vertikalno mjerenje temperature. Ovo je sjajan primjer mjerenja radijacijskih gubitaka topline u stvarnom vremenu na licu mjesta.

#### 4. KRITIČNE TEMPERATURE

Kritične temperature ( $T_c$ ) za ozljedu tkiva mogu se opisati kao najniže temperature koje tkivo može izdržati 30 minuta ili manje bez ozljeda (Minton i sur., 2017.). To ne znači da će biljke odmah početi smrzavati i da će niske temperature od 0 °C izazvati ozljede. Svaka biljka, kultivar ili vrsta može razviti različitu osjetljivost na različite kritične temperature koje uzrokuju oštećenje tkiva ovisno o čitavom nizu unutarnjih i vanjskih čimbenika. Ti čimbenici mogu biti različita točka rosišta i površinska vlažnost, vrsta mraza, trajanje mraza, intenzitet mraza, okolišni uvjeti prije mraza, faza rasta i razvoj pupova, temperatura pupova i cvijeta itd. (Snyder i sur., 2005.). Kritične temperature često se nazivaju temperatura  $T_{-50}$ , što je smrtonosna temperatura koja uzrokuje odumiranje 50 % ili više pupova (Johnson, 1981.).

U literaturi se kritične temperature često nazivaju  $T_{10}$  i  $T_{90}$  (Europska komisija – *EPI AGRI Focus Group* 2019). Ove vrijednosti predstavljaju temperature pri kojima je vjerojatno da će 10 do 90 % tržišne proizvodnje usjeva biti oštećeno. Kritične temperature ( $T_{10,90}$ ) variraju u različitim fazama razvoja biljke, a općenito se obje temperature povećavaju nakon što počne razvoj pupova. Na primjer, kod stabala jabuke, temperatura  $T_{90}$  zimi je -20 °C, ali u fazi razvoja pupova i cvatnje ta temperatura je -1,7 °C do - 2,5 °C. Kritične vrijednosti temperature za neke trajne biljke prikazane su na slici 2. (faza 1 – početak aktivnosti pupova, faza 2 – pucanje pupova, faza 3 – cvatnja/prvi list za grožđe, faza 4 – nakon cvatnje/četvrti list za grožđe temperatura  $T_{90}$  zimi je -20 °C, ali u fazama razvoja pupova i cvjetanja, ova temperatura je -1,7 °C do - 2,5 °C (Snyder i sur., 2005.).



Slika 2. Kritična temperatura u odnosu na razvojni stadij nekih voćaka i grožđa  
(Izvor: Snyder, R.L. de Melo-Abreu, J.P. *Frost protection: fundamentals, practice and economics Vol 1*. 2005.)

Malo je radova koji govore o štetama uzrokovanim kasnim proljetnim mrazom, a jedan od njih izvještava o velikim štetama na stablima limuna i drugih citrusa u regiji Murcia u Španjolskoj. Tamošnji znanstvenici promatrali su proljetne mrazove pet puta od 2010. do 2012. i proučavali štetu na različitim dijelovima biljaka od kritične temperature od  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izmjereni  $T_{min}$  kretao se od  $-2,88$  do  $-4,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a trajanje mraza između 8 i 11 sati. Iz gore izmjerenih temperatura i kritične temperature, kao i utjecaja intenziteta mraza (trajanja mraza), može se zaključiti da su na većini dijelova biljaka zabilježena velika oštećenja. Naravno, ovo izvješće je primjer iznimnih temperaturnih ekstrema u navedenoj regiji, a lokalni poljoprivrednici bili su iznenađeni vremenskim promjenama i nisu bili spremni za primjenu aktivnih mjera zaštite od mraza.

Poznavanje kritičnih temperatura za svaku fazu razvoja iznimno je važno jer treba poduzeti aktivne mjere zaštite od oštećenja neposredno prije nego što se te temperature pojave. Uvod, objašnjenje i primjena mjera “poljoprivredne mehanizacije” (aktivnih mjera) glavni su dio ovog rada (objašnjenje u posebnom poglavlju), jer su od ključne važnosti u zaštiti trajnih nasada od kasnih proljetnih mrazeva (Conesa i sur., 2015.).

## 5. PREDVIĐANJE I PRAĆENJE KASNIH PROLJETNIH MRAZEVA

### 5.1. Temperaturno - fenološki modeli

Mnogi su znanstvenici razvili različite modele, simulacije i statističke prikaze za predviđanje i praćenje kasnih proljetnih mrazeva po godinama, lokacijama i klimatskim zonama. Neki od razvijenih modela prilično su točni, drugi nisu, ali njihova glavna funkcija je ispunjena: upozoriti uzgajivače na pojavu mraza u uskom području uzgoja. Razvojem ovih modela značajno su smanjene štete od mraza, a mnogi su poljoprivrednici uvidjeli veliki potencijal ranog upozorenja kako bi mogli na vrijeme planirati i organizirati mjere zaštite od mraza. Što je vrlo važno, poljoprivrednici su u dugoročnim modelima također prepoznali češću pojavu i jačinu mrazova, pa su investirali u poljoprivrednu mehanizaciju s različitim metodama aktivne zaštite iz područja poljoprivredne tehnike.

Jedan od tih modela koriste australski znanstvenici Darbyshire i sur. (2016.) za jabuke i kruške u dolini Tatura i Yarra. Koriste dva modela: *TT* (Termalno vrijeme – uz pretpostavku da samo proljetna temperatura određuje vrijeme cvatnje, s višim temperaturama koje pokreću proces) i *SC-G* (*Sequential Chill-Growth* – razmatra sekvencijalne i neovisne učinke zimske hladnoće nakon koje slijedi proljetna toplina) . U drugom modelu, zimske temperature su važne u modeliranju procesa odgode cvjetanja. Klimatske projekcije napravljene su korištenjem lokalnih interpretacija + 1, + 2 i + 3 °C prema globalnoj srednjoj temperaturi. Učestalost mraza izračunata je iz minimalnih dnevnih temperatura (< 0 °C) korištenjem 13 povijesnih i predviđenih dnevnih podataka, koji su također korišteni za fenološke procjene. Rezultati *TT* modela pokazuju da progresivno zagrijavanje pomiče cvatnju u rujan (južna hemisfera) i da se učestalost mraza smanjuje pri projekcijama od + 1 i + 2 °C, dok je bez rizika pri + 3 °C. *SC - G* model pokazao je da zagrijavanje u početku dovodi do ranijeg cvjetanja i cvjetanje ostaje unutar raspona povijesnih opažanja s daljnjim zatopljenjem, dok uvjeti mraza ostaju nepromijenjeni, što ukazuje na početni porast rizika (+ 1 °C), ali rizik se smanjuje s daljnjim zagrijavanjem (+ 2 °C).

Slično gledište za lokalne informacije o vremenu koristili su američki znanstvenici u Južnoj Georgiji u proizvodnji borovnica i breskvi. Njihov glavni cilj bio je proučavanje lokalne vremenske prognoze i procjena naprednog modela istraživanja vremena i prognoze (*WRF-ARW*) za epizodne pojave mraza s automatiziranom mrežom za praćenje okoliša. Napravljene su usporedbe za temperaturu zraka, vlažnog termometra i rosišta, kao i brzinu i smjer vjetra.



Točnost predviđanja minimalne temperature bila je preko 90 %, a rezultati ovih simulacija pokazali su primjenjivost i točnost upozorenja na mraz za scenarije advektivnog i radijacijskog mraza (Prabha, 2007.).

Francuski znanstvenici izvijestili su da je u svjetski poznatim vinogradarskim područjima Champagne glavni problem za pojavu radijacijskog mraza mala brzina vjetra, vedro nebo i topografski čimbenici, pa su razvili *Digital Elevation Model*. Ovim su modelom označili područje opasno od smrzavanja za cijelu regiju koristeći podatke izmjerene tijekom pet godišnjih doba i za oko 20 meteoroloških postaja (Madelin, 2005.).

Slične rezultate za glavne francuske vinogradarske regije Alsace, Burgundy i Champagne predstavili su Sgubin G. (2017.). Napominju da nije jasno je li jaka pojava mraza diljem Francuske 2016. - 2017. uzrokovana klimatskim promjenama, te stoga procjenjuju rizik od smrzavanja za francuske vinograde u 21. stoljeću analizom temperaturnih projekcija iz osam klimatskih modela i njihovim statističkim regionalnim smanjivanjem. Njihov pristup pojavi mraza određen je danom u godini i karakterističnim vremenom puštanja pupova devet sorata vinove loze simuliranih trima različitim fenološkim modelima.

Glavni zaključak ovog rada je da će se vjerojatnost mraza u projektiranom području značajno povećati u 21. stoljeću za dva od tri fenološka modela. Sasvim drugačije od ovih zaključaka i za područje Luksemburga (100 do 200 km od Champagne i Burgundije), znanstvenici su stvorili model temeljen na fenološkim fazama pupanja grožđa i projekcijama buduće temperature zraka na temelju ansambla. Napominju da njihove modelske projekcije pokazuju da će se učestalost štete od proljetnog mraza smanjiti u luksemburškoj vinogradarskoj regiji, ali bez potpunog isključivanja u bliskoj (2021. – 2050.) ili daljoj budućnosti (2069. – 2098.). (Molitori sur., 2014.).

Znanstvenici iz Južne Amerike (Patagonia) proučavali su djelovanje kasnog proljetnog mraza na nekoliko lokacija s različitim kultivarima trešanja. Zbog nedostatka povijesnih vremenskih podataka, koristili su teorijsko-empirijski pristup u svom modelu. Pretpostavlja se da će se šteta od mraza dogoditi određenog dana u sezoni ako je minimalna temperatura tog dana ispod specifične letalne temperature za fenološki stadij predviđen u to vrijeme. Ovaj model koristi aktivne mjere za smanjenje štete od mraza, tako da je ova studija prilično jedinstvena jer uključuje predviđanja modela i korištenje poljoprivredno mehanizacijskih mjera na jednom mjestu. Tako, ova vrsta kvantitativne analize može pomoći poljoprivrednicima u donošenju odluka o potrebnim ulaganjima i operativnim troškovima

opreme za zaštitu od smrzavanja na temelju potencijalnog utjecaja određenog sustava kontrole na prosječne prinose i stabilnost prinosa.

Također može voditi određivanje prioriteta istraživačkih pitanja kako bi se popunile praznine u znanju koje se odnose na procjenu rizika od smrzavanja (Cittadini i sur., 2006.).

Dugoročni modeli za švicarsku dolinu Rhone (*Sion i Aigle*) Meier, i sur. (2018.) sugeriraju da bi se rizik od kasnog mraza mogao povećati ili smanjiti u bliskoj budućnosti, ovisno o lokaciji i projekcijama klimatskih promjena. Dok je za referencu rizik veći na toplijem mjestu (*Sion*) nego na hladnijem mjestu (*Aigle*), za razdoblje 2021. – 2050. mali pomaci u fenologiji i pojavi mraza (tj. dani s dnevnim minimalnim temperaturama ispod 0 °C) dovode do blagog smanjenja rizika od smrzavanja na toplijem mjestu, ali povećanja na hladnijem mjestu.

Rezultati su pokazali opću raniju pojavu pucanja pupova i cvjetanja s posebnim značenjem za sjeveroistočnu Europu. Utjecaj viših temperatura imao je veći utjecaj na kasne nego na vrlo rane i rane sorte u zapadnim krajevima. Učestalost pojave mraza u vrijeme pucanja pupova ( $T_{min} < 0$  °C) pokazala je veliku varijabilnost diljem Europe, s velikim smanjenjem u zapadnim regijama (npr. Španjolska i Ujedinjeno Kraljevstvo) i povećanjem u središnjoj Europi (npr. Njemačka) za buduće scenarije. Rezultati ovih studija naglašavaju da će u toplijoj klimi mraz, a ne stres tijekom cvatnje, preoblikovati distribuciju sorti vinove loze u Europi (Droulia i sur., 2021.).

## 5.2. Modeli strojnog učenja

S razvojem globalne tehnologije, posebice računalne tehnologije i umjetne inteligencije, nedavno su razvijeni modeli za prognozu mraza temeljeni na strojnom učenju i neuronskim mrežama. Ovi modeli su načelno vrlo precizni i mogu s velikom pouzdanošću predvidjeti pojavu mraza do 24 sata u budućnosti, odnosno točniji su od klasičnih temperaturno fenoloških modela. Njihova zajednička karakteristika je da daju predviđanje za usko područje, ali modeli strojnog učenja su prenosivi na druga područja.

Autori izjavljuju da su razvili točkaste prognoze mraza za područje Alcaldea, Novi Meksiko (*SAD*) koristeći algoritme strojnog učenja. Za obuku modela strojnog učenja koriste se 10-godišnjim povijesnim podacima s rezolucijom po satu s meteorološke postaje *Natural Resource Conservation Service*. Mnogi važni vremenski podaci kao što su temperatura (prosječna, maksimalna, minimalna), brzina i smjer vjetra, prosječna točka rosišta, prosječna količina padalina, temperatura tla itd. Iz svih navedenih parametara utvrđeno je da je

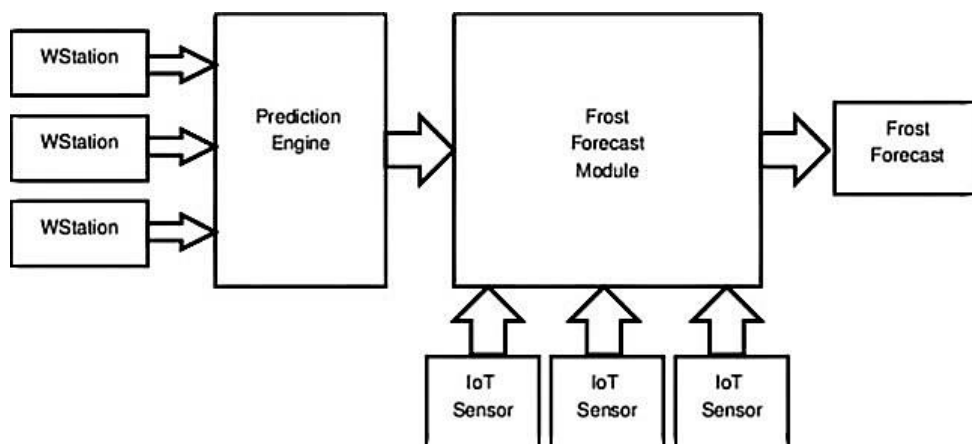
temperatura tla ključni čimbenik za dugoročno predviđanje (>24h), dok ostali čimbenici daju većinu informacija za kraće modele.

Za model su razvili dvije konfiguracije neuronske mreže: potpuno povezana neuronska mreža (*DNN*) i konvolucijska neuronska mreža dugoročnog kratkoročnog pamćenja (*CNN*). Modeli neuronske mreže izgrađeni su od skupa neuronskih čvorova koji sadrže ponderiranu vrijednost koja se prilagođava na temelju izvedbe modela i signala ili veza između čvorova. Model je projektiran za predviđanje mraza u vremenskim intervalima od 6 do 48 sati. Glavni rezultat ovog istraživanja bila je prilično visoka točnost 6-satne prognoze za predviđanje minimalnih temperatura (*RMSE* 6-satne prognoze = 1,53 – 1,72 °C). (Talasma i sur., 2023.).

Metode strojnog učenja također se koriste u modelu Dinga, L. et al. U ovom slučaju, umjesto stvaranja novog modela, točnost svakog standardnog modela je povećana korištenjem metoda strojnog učenja, stoga se u radu predlaže modeliranje kauzalnog ansambla kako bi se kompenzirala izvedba standardnih temperaturnih modela. Podaci za ovo istraživanje došli su iz Japana, iz vinograda na otoku Hokkaido (Ding i sur., 2021.).

Model strojnog učenja također se koristi u Južnoj Koreji za klasifikaciju mraza i optimizaciju poljoprivrednog okoliša. Za strojno učenje koriste se mnogi ulazni čimbenici: standardni vremenski modeli (stablo odlučivanja, slučajna šuma), logička regresija, strojni model potpornih vektora i meteorološki podaci iz automatskih meteoroloških stanica (zadnjih 10 godina). Najbolji model i performanse pokazali su model *Support Vector Machine* i *Random Forest*. Slijedom toga, važno je naglasiti da je ovaj model uspješno klasificirao 117 od 139 promatranja mraza i 35 od 37 promatranja voćaka kamerom (digitalni RGB). Iz ovoga je vidljivo da je model sa strojnim učenjem vrlo precizan i može naći svoju primjenu u voćarstvu (Noh, I i sur., 2021.).

Argentinski istraživači opisali su *IoT* sustav predviđanja smrzavanja temeljen na strojnom učenju. Prošla očitavanja senzora temperature i vlažnosti koriste se za treniranje algoritama strojnog učenja za predviđanje budućih temperatura. Ovaj se rad razlikuje od drugih istraživanja strojnog učenja po tome što pretpostavlja da su termodinamički uvjeti okoline informativni za predviđanje, tako da su za ovaj model i za svako mjesto informacije o očitanjima senzora sa svih drugih mjesta uključene u obuku, s odabranim najrelevantnijima autonomno (ovisno o algoritmu). Uzimajući u obzir rijetkost pojava mraza, podaci su prošireni tehnikom sintetskog manjinskog uzorkovanja (*SMOTE*). Na taj način se smanjuju pogreške predviđanja, a performanse modela povećavaju. Sustav za predviđanje smrzavanja temeljen na *IoT*-u prikazan je na slici 3. (Diedrichs, 2018.).



Slika 3. Sustav za predviđanje mraza

( Izvor: Diedrichs, A.L., Bromberg, F., Dujovne, D., Brun-Laguna, K., Watteyne, T. *Prediction of Frost Events Using Machine Learning and IoT Sensing Devices*, 2018.)

### 5.3. Sateliti, senzori, termalne kamere i dronovi u predviđanju mraza

Korištenje satelita (misija *Sentinel-2*) za procjenu štete i vremena za oporavak procijenjeno je pomoću satelitskog daljinskog očitavanja za pojavu mraza u sjevernoj Italiji 2017. Konvencionalne metode za utvrđivanje štete od mraza su radno intenzivne, skupe i općenito usmjerene na male površine, tako da je ovo prvi put da je ova metoda primijenjena u ovom području poljoprivrede. Rezultati su po prvi put pokazali da spektralna refleksija slika srednje razlučivosti reagira na oštećenja od mraza. Osim toga, testirani su različiti vegetacijski indeksi u pogledu njihovog potencijala za procjenu vremena oporavka. Određena spektralna područja i vegetacijski indeksi mogli su detektirati oštećenja od mraza jer su imali manju refleksiju, naime: *Red Edge 7* (-16,67), *NIR* (-16,55 %), *EVI* (-16,59 %), *MTVII* (-5,77 %) i *CARI* (-5,26 %).

(Cogato i sur., 2021.).

Prilično jednostavan i zanimljiv primjer korištenja senzora za predviđanje mraza prikazan je u radu Markovića i sur. (2013.). Postavili su nekoliko senzora za mjerenje temperature u voćnjaku. Senzori su imali mogućnost bežičnog prijenosa podataka putem GPRS-a na server *WEB*, gdje se podaci pohranjuju za daljnju analizu. Glavna komponenta mobilne mjerne stanice je digitalni upravljač koji upravlja radom mobilne mjerne stanice putem naredbi ispisanih jednostavnom *Python* skriptom. Uz ovaj sustav poljoprivrednik u svakom trenutku putem mobitela može pratiti vremenske prilike u svom nasadu i pripremiti se za pojavu kasnog proljetnog mraza.

Još jedan korak prema korištenju suvremenih tehnologija za upravljanje smrzavanjem predstavljen je tehnologijom grijanja pomoću bespilotnih letjelica (*UAV* – dronova) s toplinskim i RGB kamerama na stablima jabuka.

Tablica 1. prikazuje glavne specifikacije hardverskih komponenti korištenih u studiji. Upotreba bespilotnih letjelica s termalnim kamerama za praćenje temperature i *RGB* kamerom za karakterizaciju varijabilnosti stadija rasta biljaka.

Tablica 1. Ključne specifikacije hardverskih komponenti (Yuan i sur., 2021.).

Hardver	Model	Specifikacija
UAV	DJI Matrice 600 Pro (sa TB47S baterijama)	6 kg nosivosti, 16 do 32 min vremena lebdenja, $\pm 0,5$ m okomito i $\pm 1,5$ m horizontalne točnosti lebdenja
Termalna kamera	DJI Zenmuse XT <sub>2</sub> (sa objektivom od 19 mm)	Raspon scene od -25 do 135 °C, spektralni raspon od 7,5 do 13,5 $\mu\text{m}$ , 32° x 26° FOV, rezolucija 640 x 512
RGB kamera	DJI Zenmuse Z <sub>30</sub>	30 x optički <i>zoom</i> , 63,7° x 38,52° široki FOV, 2,3° x 1,29° <i>tele-end FOV</i> , 1920 x 1080 rezolucija

Algoritam spajanja termalnih slika razvijen je za izradu georeferenciranih temperaturnih karata voćnjaka koje su postigle rezoluciju toplinskih slika ispod centimetra unutar 30 s. *YOLOv4* klasifikatori za šest faza rasta cvjetnih pupova jabuke različitih veličina uvježbani su na temelju 5040 *RGB* slika, a najbolji model postigao je 71,57 % mAP za testni skup podataka koji se sastoji od 360 slika. Glavna značajka ovog istraživanja je izrada toplinskih karata za simulaciju potreba voćnjaka tijekom pojava mraza.

## 6. METODE I MJERE ZA SUZBIJANJE ŠTETA OD KASNIH PROLJETNIH MRAZEVA

Zaštita od kasnih proljetnih mrazova podijelili u tri područja:

a) pasivna zaštita - izbor mjesta za sadnju, izbjegavanje poljskih radova prije nego što prođe opasnost od mraza, njega tlo bez korova čija transpiracija snižava temperaturu tla, izbor sorata s kasnijom cvatnjom i savjeti za odabir u tom smjeru, traženje sorata otpornih na niske temperature.

b) aktivna zaštita - prekrivanje biljaka raznim materijalima, korištenje dima i magle s uređajima za izgaranje i zamagljivanje, korištenje raznih sustava prskanja, izravno grijanje raznim vrstama peći, strujanje zraka kroz velike ventilatore, grijanje infracrvenim zračenjem.

c) kemijska zaštita koja se temelji na korištenju hormona za usporavanje cvatnje i vegetacije. U praksi, među svim oblicima zaštite od smrzavanja, najčešće se koriste tri aktivne metode: lagano prskanje, izravno zagrijavanje i stvaranje zračnih struja velikim ventilatorima. U nastavku se kao najučinkovitije metode zaštite razmatraju samo aktivne mjere. (Snyder i sur., 2005., Poling, 2008., Bugarin i sur., 2014.)



Slika 4. Kasni proljetni mraz

(Izvor: <https://www.jabuka.tv/wp-content/uploads/2019/04/mraz-slana-led.jpg>, accessed on 21/07/2023.)

## 6.1. Pasivne mjere

Pod pasivnim mjerama zaštite od mraza podrazumijevaju se one prethodne radnje i mjere koje će stabla/nasad zaštititi od mogućih mrazova bez izravnog utjecaja na mraz ako do njega dođe. Kod konzerviranja topline tijekom noći se ona koncentrira pri tlu, gdje su biljni dijelovi najosjetljiviji na mraz, pa je prekrivanje najjednostavnija zaštitna mjera. Biljke se mogu zaštititi pokrivanjem slamom, tresetom, kartonom, tkaninom ili kemijskim proizvodima poput porozne pjene, plastične folije ili umjetnog snijega. Problem s ovom metodom je što je prikladna samo za male kultivirane površine. Ova metoda daje dobre rezultate kada temperature nisu ispod  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Bugarin i sur., 2014.).

Fuller i sur. (2003.) proučavali su primjenu hidrofobnih čestica i akrilnog polimera kao zaštite od smrzavanja. U testovima smrzavanja u kojoj se biljke prekrivaju slojem šećerne slamke, razvijena je na Sveučilištu u Perugi, Italija. Organski sloj šećerne slame sprječava oštećenja od mraza i vrlo dobro štiti mladice vinove loze. Istraživanje je također pokazalo da je ova tehnika premazivanja šećernom vatom vrlo ekološka, s obzirom na ugljični otisak u usporedbi s tradicionalnom tehnikom spaljivanja hrastovog drva kako bi se spriječila šteta od kasnih proljetnih mrazeva.

Položaj trajnog nasada vrlo je važan zbog zaštite od smrzavanja i fizikalnih svojstava zraka (Snyder i sur., 2005). Hladan zrak je gušći od toplog zraka i teče nizbrdo gdje se taloži u mikro/makro dolinama (Slika 1.). Hladni su i vrhovi brda i treba ih izbjegavati. Stoga su najbolje mjesto za sadnju padine gdje hladan zrak teče nizbrdo, a radijacijski mraz nije visok. Bolje je saditi na padinama okrenutim prema sjeveru kako bi se izbjeglo ranije cvjetanje i smanjilo zagrijavanje tla (manje radijacijskog mraza). U tom su smislu mnogi znanstvenici proveli istraživanja o lokaciji, nadmorskoj visini i topografiji sadnica (Chan, 2018.).

Druga vrlo važna karakteristika pasivne zaštite je sadržaj vode u tlu. Pravilo je da kada je tlo suho, ima više zračnih prostora koji otežavaju prijenos i skladištenje topline. Dakle, toplinska vodljivost i prijenos topline ovise o sadržaju vode u tlu. Kod pravilnog dnevnog ciklusa kretanje topline odvija se u sloju do 0,3 m ispod tla. U sušnim godinama, stoga, dobra je pasivna zaštita od smrzavanja navodnjavanje tla blizu poljskog kapaciteta, jer kada je tlo vlažno, prijenos i skladištenje topline bolji su u gornjem sloju tla, pa se više topline pohranjuje tijekom dana i može se pušten noću.

Mnogi trajni nasadi između redova imaju travnati pokrivač i malč. Što se tiče kasnih proljetnih mrazeva, ova značajka je vrlo važna jer ovaj pokrov tla i malč reflektiraju sunčevu svjetlost s površine i manje se energije pohranjuje u tlu. Vegetativni malčevi općenito smanjuju prijenos topline u tlo, čineći usjeve osjetljivijima na mraz. U voćnjacima su utvrđene minimalne površinske temperaturne razlike do 2 °C između golog tla i 5 cm visoke trave (Snyder i sur., 2005.).

Ostale pasivne metode zaštite od smrzavanja uključuju izbjegavanje obrade tla, selekciju biljaka, ishranu biljaka, pravilnu rezidbu, bojanje debla, postavljanje barijera itd.

## 6.2. Kemijske mjere

Kemijska zaštita biljaka od djelovanja mraza uključuje dva različita principa: prskanje radi odgađanja cvatnje do određene faze razvoja; prskanje krošnje i korijena za vrijeme mraza radi sprječavanja oštećenja. Neke od ovih mjera možemo klasificirati kao pasivne, jer se provode u jesen prije početka mraza, dok druge uključuju djelovanje na biljke neposredno prije najave mraza kako bi se smanjio učinak mraza i sanirala šteta, kako bi se mogle svrstane u aktivne metode. U upotrebi su sljedeće vrste kemikalija:

a) antitranspiransi koji se koriste za prskanje lišća, stvaranje sloja koji smanjuje transpiraciju i time povećava temperaturu biljke (prskaju se 24 sata prije pojave mraza).

b) kemikalije koje stvaraju toplinu - ovi pripravci se prskaju po lišću i stablu i stvaraju nešto topline, jer ova tvar oslobađa toplinu u dodiru s vodom.

c) kemikalije otporne na mraz koje zamjenjuju do 50 % vode u biljnim stanicama smanjujući mogućnost smrzavanja (mogu se posuti oko biljke kao vodena otopina 40 do 30 dana prije očekivanog prvog mraza ili prskati po biljke 48 do 24 sata).

d) minerali - dodaci za razvoj korijena jačaju otpornost biljke na hladnoću (kasno se primjenjuju). budući da ova tvar oslobađa toplinu u dodiru s vodom.

Postoje različite vrste pripravaka koji se koriste za tretiranje voćaka, to su patentirani proizvodi čiji je cilj potaknuti same biljke na proizvodnju antifriz proteina i antifriz aminokiselina koje omogućavaju biljci da bolje podnosi hladne i vruće temperaturne šokove ili primjenu samih proteina protiv smrzavanja (Duman, J.G i sur., 2014.).



## 6.3. Aktivne mjere – Tehnologije poljoprivredne mehanizacije

### 6.3.1. Zaštita trajnih nasada dimljenjem

Dimljenje je najstarija i najjeftinija zaštita od mraza. Oblak dima sprječava emisiju topline i time ublažava hlađenje zračnih slojeva tla. Spaljivanje treba izvesti tako da nema jakog plamena, već velike količine dima, koji se treba širiti cijelim nasadom. Ovo nije najbolji primjer ekologije, ali u vrlo teškim uvjetima može biti od velike pomoći. Ova metoda ne podiže temperaturu, ali sprječava daljnji pad. To nije osobito sigurna metoda, ali može spriječiti pad temperature za 2 °C. Materijali koji stvaraju gusti dim (stajnjak, piljevina, mokra slama pomiješana s lišćem...) spaljuju se u nasadu. Da bi ova metoda bila uspješna, potrebno je oko 50 dimova po hektaru. Ovom metodom moguće je zaštititi voćnjak od slabijih mrazeva do -4 °C. Protugradne mreže, ako su već postavljene, također mogu biti od velike pomoći u zaštiti zasada od kasnih proljetnih mrazeva dimljenjem (Bugarin i sur., 2014).

Korištenjem ovih mreža dim ostaje unutar nasada i između samih biljaka određeno vrijeme, produžujući učinkovitost ove metode zaštite. Također, veliki problem ove metode, osim ekološkog otiska, je brzo nestajanje dima u nasadima u uvjetima niskog tlaka zraka (dakle, ova metoda je izrazito nepouzdana).



Slika 5. Dimljenje trajnog nasada

(Link: <https://cdn.agroklub.com/upload/images/image/mgn-tekst.jpg>, accessed on 22.07.2023.)

### 6.3.2. Zaštita trajnih nasada kišenjem

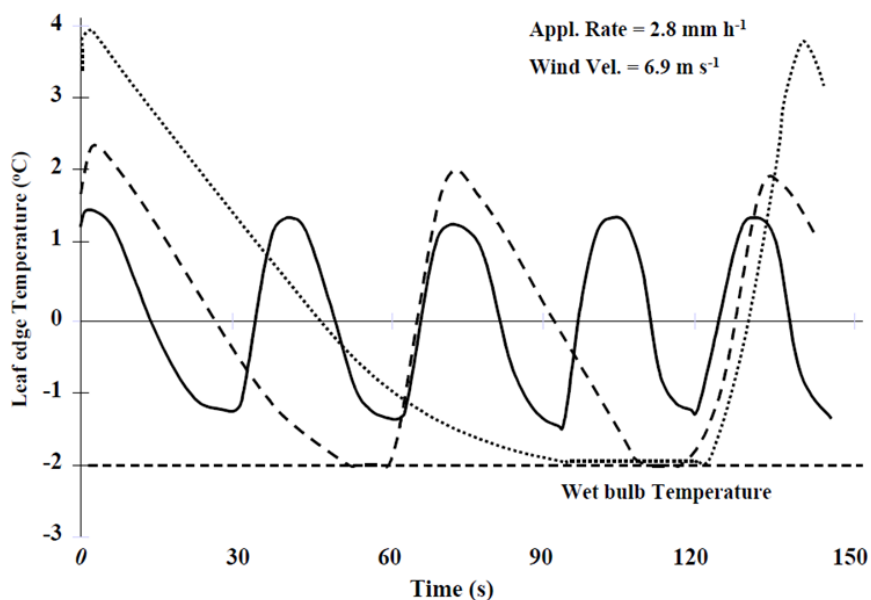
Zaštita se temelji na fizikalnom fenomenu oslobađanja topline prilikom smrzavanja vode (80 cal/1 gram vode). Oslobodena toplina održava temperaturu tla iznad 0 °C. Zaštita od smrzavanja počinje kada temperatura padne ispod 0 °C i nastavlja se sve dok temperatura zraka ne poraste iznad 0 °C, odnosno dok se sav led na stablima nasada ne otopi. (Miškulin, 2019.).

U ovoj metodi led zapravo postaje izolator između dijelova biljke i temperature okoline ispod 0 °C. Oslobađanje topline smrzavanjem kapljica vode sprječava da temperatura u tankom sloju zraka između vegetativnog organa i ledenog pokrova koji se formira na biljci padne ispod -0,3 °C. Kako bi se izbjegle moguće štete, navodnjavanje treba nastaviti i nakon što se temperatura popne iznad nule dok se led koji je nastao na biljkama potpuno ne otopi. Time se izbjegava naglo otapanje leda i hlađenje postrojenja, budući da se pri topljenju troši ista količina topline koja se oslobodila tijekom smrzavanja. Nastale kapljice trebaju biti vrlo sitne i malog promjera kako bi se led ravnomjerno formirao na dijelovima biljke i kako ne bi došlo do oštećenja od lomljenja grana. Mala količina vode može uzrokovati smrzavanje biljaka jer se ne oslobađa dovoljno topline, dok velika količina može uzrokovati štetu jer se stvara nenormalno velika masa leda, što rezultira lomljenjem grana.

Primjeri zaštite od kiše pokazuju da se učinkovito sprječavanje smrzavanja do -6 °C kod jabuka i krušaka postiže s volumenom vode od 2,4 mm h<sup>-1</sup>, odnosno 24 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> po hektaru. Oštećenja od lomljenja grana zbog velike ledene mase uočena su pri volumenu vode od 3,2 mm h<sup>-1</sup> budući da se pri taljenju troši ista količina topline koja se oslobodila pri smrzavanju (Bugarin i sur., 2014.).

Količina primjene potrebna za prskanje preko biljke ovisi o brzini rotacije raspršivača, brzini vjetra i temperaturi rosišta. Brzina vjetra i temperatura rosišta važni su jer se stopa isparavanja povećava s brzinom vjetra i smanjenjem temperature rosišta. Brzine rotacije raspršivača važne su jer se temperatura vlažnih dijelova biljke u početku povećava kako se voda smrzava i otpušta latentnu toplinu kao osjetljivu toplinu, ali se zatim smanjuje blizu temperature mokrog termometra zbog isparavanja prije nego što biljka ponovno bude pogođena puls vode (Snyder, 2000.).

Ovaj slučaj prikazan je s količinom oborine od  $2,8 \text{ mm h}^{-1}$  pri brzini vjetra od  $6,9 \text{ ms}^{-1}$ . Isprekidana linija je za rotaciju od 120 s, isprekidana linija je za rotaciju od 60 s, a puna linija je za rotaciju od 30 s (slika 6.).



Slika 6. Glavna svojstva eksploatacije rasprskivača

(Izvor: Frota de Albuquerque Landi, F., Di Giuseppe, A., Gambelli, A.M., Palliotti, A., Nicolini, A., Pisello, A.L., Rossi, F. *Life Cycle Assessment of an Innovative Technology against Late Frosts in Vineyard*, 2021.)

S obzirom na količinu vode potrebnu za zaštitu, izvorišta vode su uglavnom akumulacije. Koriste se centrifugalne pumpe velikih protoka i radnog tlaka od 6-8 bara (ovisno o konfiguraciji terena). Pokazatelj uspješnosti zaštite od mraza je pojava leda na biljkama – ako je led proziran, zaštita je dobro uspjela. Ako led poprimi mliječnu boju, to znači da su se biljke počele smrzavati (Slika 7.). Glavne karakteristike ove metode zaštite su visoka učinkovitost, ali i velika potrošnja vode (zaštita obično traje 10 sati).



Slika 7. Uspješna zaštita kišom (lijevo) i neuspješna zaštita (desno)

(Izvor: <https://cdn.agroklub.com/upload/images/image/mgn-tekst.jpg>, accessed on 22.07.2023.)

Perry (1998.) navodi u svom radu da zaštita od kiše ima značajne prednosti uz određene rizike. Operativni troškovi su manji jer je voda mnogo jeftinija od nafte i plina. Sustavi za navodnjavanje prikladni su za rukovanje jer se njima upravlja iz središnjeg kućišta s pumpom. Isti autor napominje da kišni paravan ima višenamjensku funkciju koristi se za sprječavanje suše, suzbijanje vrućine, primjenu gnojiva i najvjerojatnije zaštitu od pesticida. Slika 8. prikazuje metodu sprječavanja kasnih proljetnih mrazeva prskanjem i navodnjavanjem.



Slika 8. Zaštita kišenjem

(Izvor: : <https://cdn.agroklub.com/upload/images/text/thumb/slika1-880x495.jpg>, accessed on 22.07.2023.)

Mnogi autori ovu poljoprivredno mehanizacijsku mjeru dijele na različite rasporede prskalica: tradicionalne prskalice iznad biljaka, ciljane prskalice nad biljkama, prskalice nad pokrivenim usjevima, prskalice ispod drveća, mikrorasprskivače ispod biljaka, navodnjavanje kap po kap, a ispod biljaka prskalice zagrijanom vodom.

Snyder (2000.) predlaže da kada se koriste rasprškivači, zaštita mora započeti kada je temperatura vlažnog termometra iznad kritične temperature oštećenja, npr. ako je temperatura rosišta  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a kritična temperatura  $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tada se s prskalicama treba krenuti kada je temperatura zraka iznad  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Naravno, prskalice se ne smiju gasiti sve dok temperatura žarulje ne prijeđe  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Minton i sur. (2017.). navode da mikrorasprskivači za zaštitu od smrzavanja trebaju potrošiti oko jedne trećine količine vode koju koriste nadzemni raspršivači. Naglašavaju i da mikrorasprskivači zalijevaju samo trsove, a ne cijelo polje uključujući i prostore između trsova. Pulsirajuće mikrorasprskivače također zahtijevaju manji pritisak vode od standardnih nadzemnih rasprskivač jer mogu stvoriti pritisak u komori unutar raspršivača i nanositi vodu na pulsirajući način, umjesto da zahtijevaju konstantan pritisak za konstantan protok. Mikrorasprskivači, ako se pravilno koriste, mogu zaštititi vinovu lozu na temperaturama čak do  $-3,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Što se tiče veličine kapljica rasprskivača, Loder, (2008) navodi da bi veličina kapljica trebala biti takva da se preferiraju veće kapljice kako bi se smanjio učinak hlađenja na početku. Međutim, praktično iskustvo pokazuje da fine kapljice imaju prednost zbog bolje ujednačenosti površine.

Evans (2009.) navodi da je sustav zaštite od smrzavanja stabala najbolji i najučinkovitiji sustav (može zaštititi do  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ili do  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), a njegova je svrha trostruko: navodnjavanje, zaštita od smrzavanja i hlađenje isparavanjem za smanjenje boje i opekotina (u jabukama). Zaštitni učinak zaštite od prekomjernog prskanja stabala ovisi samo o količini (masi) primijenjene vode, pa ovaj sustav baš i nije najbolji za mlada stabla i stabla sa slabim deblom i granama. Isti autor navodi da zaštitni učinak sustava za natapanje drveća ovisi kako o količini (masi) primijenjene vode tako i o temperaturi primijenjene vode koja je ograničena jačinom toplinske inverzije.

Svaki rasprskivač sustav za zaštitu od smrzavanja trebao bi biti računalno nadziran i kontroliran, uz praćenje vremenskih podataka i odluke o puštanju sustava u rad. Ovu vrstu automatiziranog sustava predstavili su (Koc, 2000.). Implementirali su ciklični sustav prskanja stabala na stablima Jonagold jabuka veličine 1 hektara.

Kontrolna karta temeljila se na praćenju vremenskih čimbenika (temperatura zraka, brzina vjetra, relativna vlažnost) i temperatura pupova izračunatih s vremenima uključivanja i isključivanja koja su uključivala ventil. Ova vrsta praćenja smanjila je potrošnju vode za oko 72 % tijekom tri slučaja smrzavanja u usporedbi s kontinuiranom primjenom vode pomoću istog sustava. Količina prskalice izračunata je pomoću energetske bilance voćnjaka. To znači da se određuje energija izgubljena radijacijom, konvekcijom i isparavanjem, a količina energije potrebna za kompenzaciju tih gubitaka pretvara se u brzinu prskanja (izračunavanje energije koja se oslobađa kada se voda smrzne).

Pojednostavljena jednadžba ovog fenomena je (Issa, 2012.):

$$q_s = \frac{T_{sH_2O} - T_\infty}{R_{cond.} + \frac{1}{\frac{1}{R_{conv.}} + \frac{1}{R_{rad.}} + \frac{1}{R_{evap.}}}},$$

gdje su:

$q$ – prijenos topline [W],

$s$ – agregatno stanje: čvrsto (led),

$T$ – temperatura [°C],

$R$ – toplinski otpor [°CW<sup>-1</sup>],

$T_\infty$  – temperatura zraka [°C],

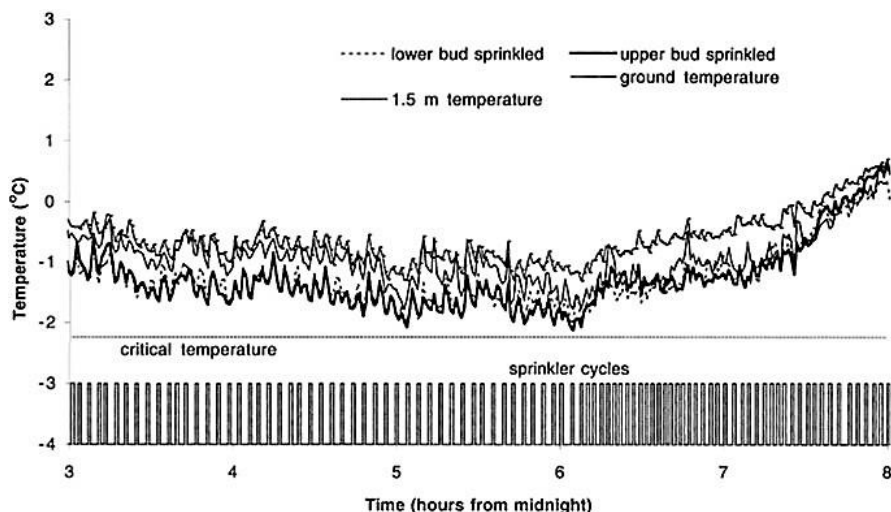
*cond.* – *conduction heat transfer*,

*conv.* – *convection heat transfer*,

*rad.* – *radiation heat transfer*,

*evap.* – *evaporation*.

Isprekidani ciklus određen je na temelju minimalnih količina nanošenja, prethodno postavljenog minimalnog vremena uključivanja ili maksimalnog vremena isključenja i stvarne količine nanošenja prskalice. Slika 9. prikazuje temperaturni profil voćnjaka i cikluse prskalice od 03:00 do 08:00 h.



Slika 9. Profil temperature i ciklusi rasprskivača za 03:00 do 08:00 h

(Izvor: Koc, A.B., Heinmann, P.H., Crassweller, R.M., Morrow, C.T. *Automated cycled sprinkler irrigation system for frost protection of apple buds*, 2000.)

Anconelli i sur. (2002.) proučavali su učinkovitost mikrorasprskivača ispod drveća i prskalica iznad drveća u umjetnom okruženju. Otkrivaju da se mijenjanje mikroklima na razini tla pokazalo učinkovitim u smanjenju štete od kasnih proljetnih mrazeva. Istraživanja koriste različite količine vode kako bi se povećala temperatura zraka u sloju krošnje i optimizirala količina vode koja cirkulira. Za postizanje energetske ravnoteže s različitim promjerima kapljica koriste se različiti odljevi vode za različite vrste prskalica. Kada je temperatura iznad 3 °C, nema razlika između tipova prskalica u pogledu pojave mraza, ali kada temperatura padne ispod -3 °C, mikrorasprskivači pokazuju bolje performanse.

Druga studija o sustavu prskanja stabala provedena je u južnom Iranu (Ghaemi, 2009.) kako bi se zaštitila dva voćnjaka (breskve i naranče) na različitim lokacijama. U ovoj studiji, količina nanošenja vode također je određena energetsom bilancom implementiranom softverom.

Autori su objasnili energetska ravnotežu kroz ovu jednadžbu:

gdje su:

$$I = \frac{2[(h_r + h_c)(T_c - T_l) + L_E]}{L_I},$$

$h_r$  i  $h_c$  – radijacijski i konvektivni koeficijenti prolaza topline [ $\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ],

$T_c$  – kritična temperatura [ $^\circ\text{C}$ ],

$T_l$  – temperatura dijela biljke [ $^\circ\text{C}$ ],

$L_E$  – razlika u latentnom gubitku topline [ $\text{W m}^2$ ],

$L_I$  – latentna toplina taljenja [ $\text{J kg}^{-1}$ ],

2 – dvije strane biljke,

$I$  – brzina primjene [ $\text{mm s}^{-1}$ ].

$T_l$  je funkcija brzine vjetra ( $U$ ) i relativne vlažnosti ( $RH$ ), na primjer: kada je  $U > 3,93 \text{ m s}^{-1}$  ili  $RH > 91 \%$ , tada je  $T_l = T_a$ , gdje je  $T_a$  temperatura u  $^\circ\text{C}$ .  $T_l$  se uzima kao temperatura cvata i plodova za voćnjak breskve i naranče.

Navedeni sustav korišten je u tri slučaja mraza, a glavni zaključak je da je sustav uspješno održavao temperature iznad kritične vrijednosti od  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ovaj uspjeh se očituje u podacima o utvrđivanju stradalih cvjetova nakon mraza, gdje rezultati pokazuju postotak od 12 % stradalih cvjetova u blokovima za prskanje, dok su kontrolni blokovi imali 41,5 % stradalih cvjetova. Osim toga, proračuni su pokazali da se količina vode može smanjiti za 54 % ako se koriste promjenjive količine vode.

Australski odjel za očuvanje vode, zemljišta i bioraznošnosti u svom izvješću pokazao je broj "start-upa" za automatizirani sustav prskanja u jugoistočnoj Australiji (Coonawarra) za 24 vinogradarska istraživačka područja u razdoblju od 1999. do 2003. Broj dana s temperaturom nižom od  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  koja pokreće sustav bila je u rasponu od 4 (1999.) do 10 (2003.) događaja. Očigledno je da se broj mraznih dana povećava, stoga je u tablici 2. dana preporuka za količinu primjene za zaštitu od hladnoće pri različitim temperaturama tkiva grožđa i brzinama vjetra (Pudney, 2007.).



Tablica 2. Količina raspršivača (mm h<sup>-1</sup>) za raspršivače iznad drveća potrebne za zaštitu vinograda

Temperatura tkiva (°C)	Brzina vjetra (km h <sup>-1</sup> )				
	0 – 1,5	3 – 6.5	8 – 13	15 – 22	29 – 32
-3	0,25	0,25	0,36	0,50	1,00
-4	0,25	0,40	0,75	1,00	2,00
-5	0,30	0,60	1.25	1.50	3.00
-6	0,35	0,70	1.40	1.80	3.65
-7	0,40	0,75	1.50	2,00	4.00

### 6.3.3. Zaštita trajnih nasada izravnim zagrijavanjem

Izravno zagrijavanje jedna je od učinkovitih metoda zaštite od smrzavanja, a temelji se na zagrijavanju zraka, a time i osjetljivih dijelova biljke. Izgaranjem raznih materijala stvara se toplina i temperatura se održava iznad 0 °C. Grijanje se vrši pomoću peći koje isijavaju toplinu i grijača s ventilatorima koji strujanjem zagrijanog zraka pružaju zaštitu i toplinu. Zagrijani zrak diže se do temperaturno zaštitnog sloja na visini od 5-20 metara i širi se kao zamjena za zagrijani zrak koji se diže sa strane, dolazi u susret hladni zrak, koji se također zagrijava i diže još više. Time se stvara cirkulacija zraka koja zagrijava nasad i štiti biljke od smrzavanja. Grijanje je ekonomičnije kada je vrijeme mirno, inače se topli zrak brzo uklanja i potrebne su nove količine toplog zraka, odnosno veća potrošnja goriva. Primjeri zaštite izravnim grijanjem pećima pokazuju da se jednom peći može učinkovito zaštititi oko 40 m<sup>2</sup>. Međutim, detaljnije studije pokazuju da je za zaštitu od smrzavanja do temperature od -5 °C potrebno 83.736 J h<sup>-1</sup> na 100 m<sup>2</sup>. Ova količina topline postiže se izgaranjem 3 l loživog ulja ili 6 kg koksa u mirnom vremenu, dok je 50 % veća pri jakom vjetru (Bugarin i sur., 2014.).



Slika 10. Korištenje prijenosne peći za izravno grijanje

(Izvor: <https://cdn.agroklub.com/upload/images/text/thumb/grijac1-880x495.jpg>, accessed on 24.07.2023.)

Druga vrsta izravnog grijanja je s mobilnim generatorom topline (*Frostbuster*) gdje princip rada leži u uspješnom miješanju zraka ispod i iznad inverzijskog sloja. Izgaranje propana stvara toplinu koju ventilatori distribuiraju po plantaži i smanjuju štetu od smrzavanja. Količina topline brzo opada s udaljenošću od izvora, pa je potrebno vratiti količinu topline koja je ograničavajući faktor ovog stroja, jer se stroj u određenom vremenu mora vratiti u prvobitni položaj. Zagrijani zrak iz grijača se širi, postaje lakši i diže okomito, a turbulencija zraka poboljšava prijenos topline do nasada. *Frostbuster* (slika 11.) sastoji se od plamenika koji izgara plin iz industrijskih ili kućnih boca i ventilatora koji distribuiraju zagrijani zrak po nasadu ( $540 \text{ o min}^{-1}$ , min. 40 kW traktora). Maksimalno širenje vrućeg zraka je 150 metara (radna širina s obje strane). Potrošnja plina je  $30\text{-}45 \text{ kg h}^{-1}$ , a topli zrak koji izlazi iz stroja ima temperaturu od  $80\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$ , dok je temperatura na udaljenosti od jednog metra od stroja oko  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Prije uporabe ovog stroja potrebno je označiti smjerove kretanja, a razmak između prolaza ne smije biti veći od 140 m (obično 70-60 m), (Bugarin i sur., 2014 i Miškulin, 2019.).



Slika 11. Mobilni generator topline

(Izvor: <https://www.vignerontostore.com/product-page/frostbuster-501>, accessed on 24.07.2023.)

Prednosti korištenja *Frostbustera* u odnosu na druge metode zaštite od smrzavanja su: relativno niska nabavna cijena stroja (obradna površina do 10 ha), niski troškovi primjene, niski troškovi održavanja, neškodljivost za okoliš, manja pojava bolesti u usporedbi s kišom. zaštita, jednostavan za primjenu i vrlo pouzdan u uporabi. Kako bi spriječili moguće štete od smrzavanja, mnogi poljoprivredni proizvođači koriste *StopGEL* svijeće protiv smrzavanja. Vrlo brzo i učinkovito podižu temperaturu u nasadu, zagrijavaju nasad ili površine na kojima se uzgaja povrće. Svijeća gori oko 8 sati u normalnoj uporabi. Velika površina svijeće osigurava maksimalno zračenje topline (Sito i sur., 2014.).

Tablica 3. Potrebna količina *StopGEL* svijeća/ha ovisno o temperaturi (Miškulin, 2019).

Temperatura (°C)	-2	-3	-4	-5 do -6	-6 do -7
Broj svijeća/ha	200	250-300	300-350	350-400	400-500

Svijeća *StopGEL* pali se plinskim upaljačem minimalno 5-7 sekundi na najjačem intenzitetu. Nakon paljenja svijeće poželjno je nakon 10-15 minuta provjeriti intenzitet gorenja. Ako je plamen preslab (visina plamena 2-5 cm), preporuča se ponovno upaliti tako da plamen dosegne visinu od 15-30 cm. Gašenje *StopGEL* svijeće je vrlo jednostavno, dovoljno je staviti poklopac na kantu.



Slika 12. Upaljene *StopGEL* svijeće u vinogradu

(Izvor: <https://cdn.agroklub.com/upload/images/image/colic-stopgel-1-1.jpg>, accessed on 24.07.2023.)

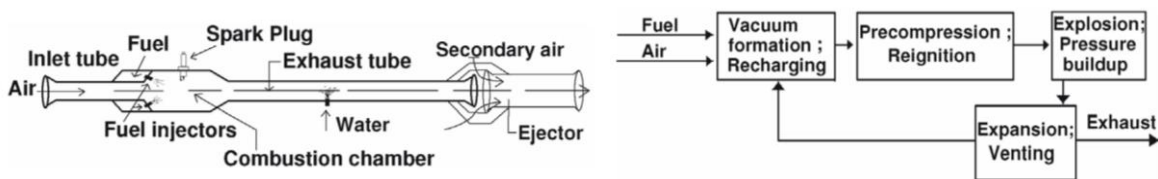
Jedna od današnjih modifikacija izravnih grijača je uporaba električnih grijaćih kabela. Ova referenca se nalazi na komercijalnoj web stranici, a studije korištenja nisu napravljene, tako da ne možemo ništa zaključiti o povratu ulaganja s obzirom na visoku cijenu električne energije. Međutim, web stranica navodi da je noćna upotreba nekoliko sati tijekom kritičnih tjedana jeftinija od posade koja radi s upaljačima za roštilj i držačima za svijeće (odnosi se na *StopGel* svijeće) – ili helikopterskim preletima radi raspršivanja hladnog zraka (Vrangbaekgaard Vin).

Metoda grijanja temelji se na električnim grijaćim kabelima (Danfoss, inženjering sutra) omotanim oko armaturnih žica i mladice trsa, a sustav se uključuje kada temperatura padne ispod 2 °C. Isti koncept predlaže turski znanstvenik, ali da se električna energija dobiva iz solarnih fotonaponskih ćelija (Atam i sur., 2017.).

Prilično nov i uspješan pristup pitanju zagrijavanja trajnih nasada predstavili su novozelandski znanstvenici. Njihovo istraživanje temelji se na pokrivenosti tla u zoni korijena solarnim pokrivačem za grijanje vode. To uključuje punjenje plastičnih popluna vodom i stavljanje u izravan kontakt s tlom. Ovaj princip poboljšava prikupljanje sunčeve energije i skladištenje topline tla, što rezultira povećanjem temperature do 1 °C u zraku i do 3 °C u tlu. Oni navode da solarni popluni mogu prikupiti 2528 MJ u usporedbi s 1832 MJ u golom tlu, oslobađajući 32 % više topline. Slijedi da bi ova vrsta grijanja mogla rezultirati oslobađanjem topline od oko 3500 MJ po hektaru (Smyth i sur., 2008.).

Ideja zagrijavanja trajnih nasada mikrovalovima implementirana je u Kanadi s prototipom sustava u vinogradima. Sustav koristi mikrovalne emitere niske snage smještene na tornjevima visokim 7 m. Ovi mikrovalovi mijenjaju energetska ravnatežu u vinogradu i usporavaju noćno hlađenje. Mikrovalovi zagrijavaju vlagu u mladicama vinove loze, uzrokujući vibriranje molekula vode, a dok molekule vibriraju, mladice se zagrijavaju. Ovaj princip je u fazi prototipa i još nije jasno kakav će utjecaj imati na biologiju vinograda. (Masse, 2010.)

Nova generacija grijača za voćnjake predstavljena je u radu Evansa (2009.) koji predstavlja šest godina istraživanja za razvoj učinkovitijih i učinkovitijih grijača za voćnjake. U ovom radu prikazan je prijenosni, samoregulatorajući, horizontalni pulsno-mlazni motor (plamenik). Dan je opis svih komponenti, a autori navode da ovaj uređaj koristi tehnologiju izbacivanja zraka izgaranjem velike brzine za miješanje zraka i povećanje temperature od 2 do 5 °C iznad temperature okoline. Posebna konstrukcija ovog uređaja proizvodi fluktuacije tlaka bez nepravilnosti izgaranja, uz maksimiziranje ovih amplituda za velike brzine ispušnog mlaza za duboko prodiranje u voćnjak.



Slika 13. Shema izgaranja pulsno-mlaznog motora (a); Shema procesa izgaranja (b)

(Izvor: Evans, R.G., Alshami, A.S. *Pulse Jet Orchard Heater System Development: Part I. Design, Construction, and Optimization. Trans. ASABE* 2009.)

Isti autori su nastavili istraživanje i sada testiraju pulsni mlazni plamenik u radnim uvjetima. Pri izgaranju 3 l dizelskog goriva ili 4,7 l tekućeg propana postiže se optimalni toplinski učinak od oko 110 MJ h<sup>-1</sup>. Glavni rezultati pokazuju da je toplinska učinkovitost naprednih impulsnih mlaznih grijača u rasponu od 65-75 %, u usporedbi s 10-15 % za standardne grijače za voćnjak (Alshami i sur., 2009).

#### 6.3.4. Ventilatori

Ova metoda zaštite temelji se na intenzivnom miješanju slojeva zraka, sprječavajući veće zračenje i temperaturnu inverziju. Ventilatori pogonjeni elektromotorima (slika 14.) snage 65-75 kW postavljaju se na nosače više od nasada - potreban je jedan ventilator na svakih 4 do 4,5 ha. Tijekom rada ventilatora spriječen je određeni pad temperature od 1 do 2 °C tako da tijekom rada ne dolazi do rošenja i mraza (Bugarin, i sur 2014.; i Miškulin, 2019.).



Slika 14. Ventilatori za zaštitu od proljetnog mraza

(Izvor: [https://www.vailmontvineyards.com/Vailmont\\_Tow-And-Blow.html](https://www.vailmontvineyards.com/Vailmont_Tow-And-Blow.html), accessed on 24.07.2023.)

Ventilatori stvaraju gotovo vodoravno strujanje zraka kako bi pomiješali topliji zrak u temperaturnoj inverziji s hladnijim zrakom blizu površine. Ventilatori se obično sastoje od čeličnog tornja s velikim rotirajućim dvostrukim lopaticama (približno 3 m u promjeru) koji se nalaze na vrhu i montiraju na osovinu koja je nagnuta oko 7 ° od horizontale prema tornju. Visina ventilatora je oko 10-11 m, a brzina 590 do 600 okretaja u minuti. Ventilatori se ne preporučuju kada su vjetrovi u području veći od 2,5 ms<sup>-1</sup> ili kada je magla, koja može uzrokovati ozbiljna oštećenja ventilatora ako se lopatice smrznu (Bugarin, i sur., 2014. i Miškulin, 2019).

Battany (2012.) raspravlja o performansama modernih uzlaznih ventilatora u usporedbi s konvencionalnim ventilatorima u svom istraživanju. Kako bi se odgovorilo na ovu hipotezu, eksperimenti su provedeni tijekom 12 ledenih noći u proljeće 2010. i 2011. u komercijalnom vinogradu uz korištenje dva ventilatora: uzlaznog ventilatora i jednog konvencionalnog ventilatora. Konvencionalni ventilator dosljedno je uzrokovao veća i statistički značajna povećanja temperature, osobito na 1,1 m iznad vinograda. Na temelju sažetih odnosa između promjena temperature, očekuje se da će konvencionalni ventilator povećati temperature na visini vinograda za 1,6 °C pod uvjetima obrnutog gradijenta od 0,2 °C m<sup>-1</sup>.

S obzirom na sve zahtjevnije uvjete okoline, kineski znanstvenici Wenye i sur. (2015). su u svojim istraživanjima razvili poboljšani impeller ventilatora. Novi impeller ventilatora dizajniran je korištenjem načela obrnutog inženjeringa i *CFD* simulacija. Glavne značajke impellera bile su oblik poprečnog presjeka lopatica, kut ugradnje, kut zahvata, omjer glavčine i broj lopatica. Nakon inženjerskog dijela, provedena su terenska ispitivanja za procjenu performansi smetnji protoka zraka. Najbolja izvedba ventilatora postignuta je s Ø 2400 mm s jednim lučnim presjekom, ugradbenim kutom od 15°, kutom zakretanja od 87°, omjerom glavčine od 0,3 i 4 lopatice. Potrebna snaga ventilatora bila je 1,363 kW. Terenski testovi pokazuju da je maksimalna brzina strujanja zraka bila 12 ispred ventilatora, a vjerojatnost da je brzina strujanja zraka bila iznad 3. 0 m s<sup>-1</sup> unutar 30 minuta bio je najveći (71,7 %), što ukazuje na poboljšanje stabilnosti protoka zraka. Još jedna kineska studija predstavila je *LoRa* (niskonaponski dalekometni) bežičnu komunikacijsku tehnologiju sastavljenu od jedinica za meteorološko praćenje, pristupnika, poslužitelja i jedinica opreme za odmrzavanje.

Autori Jiajun (2021.) daju cjelovit prikaz jedinica za nadzor i upravljanje, modula za napajanje i jedinice za meteorološko praćenje. Za suzbijanje oštećenja od smrzavanja koriste se ventilatori na visokom vertikalnom tornju i automatski generator dima, pa se ovo može smatrati kombiniranom metodom zaštite od smrzavanja i jedinice opreme za odleđivanje. Autori daju cjelovit prikaz jedinica za nadzor i upravljanje, modula za napajanje i jedinice za meteorološko praćenje (Snyder i sur., 2005.).

Izraelski znanstvenici prvi su put proučavali oštećenja stabala avokada od mraza koristeći horizontalne vjetroelektrane (*HWM*) usmjerene paralelno i poprečno u redovima. Minimalna temperatura u nasadu bila je -3,16 °C, što je daleko ispod kritične temperature. Kada su ventilatori bili paralelno orijentirani, temperatura zraka je ovisila o udaljenosti od ventilatora i rasla je do 2,4 °C. Mjerili su prinos avokada po stablu na 20, 50 i 100 m od ventilatora kao pokazatelj oštećenja od mraza. Uz paralelnu orijentaciju prinos je iznosio 42,76, 30,87 i 20,46 kg stablo<sup>-1</sup> (samo 2,77 kg na 125 m), što je odlučujući dokaz da je prinos

bio manji što je dalje od lepeze. Uz poprečnu orijentaciju temperatura zraka bila je viša samo na 20 i 50 m, što je smanjilo oštećenja pupova na cvatovima na tim udaljenostima na 6,25 odnosno 43,75 %.

(Bar-Noy i sur., 2019.).

Zanimljivi rezultati istraživanja dolaze od portugalskog znanstvenika koji je instalirao vjetrovni uređaj promjera 5,4 m s ventilatorom s dvije lopatice postavljen na 10,5 m visok čelični toranj u voćnjaku jabuka. Ventilator pokreće *diesel* motor snage 118 kW pri 2300 o/min. Ventilator je bio nagnut 78° od horizontale pri 590 okretaja u minuti, a ventilator je rotirao toranj za jedan okretaj svake 4,3 minute. Temperatura zraka iznad voćnjaka mjerena je oklopljenim bakrenim konstantanskim termoparovima od fine žice (promjera 0,2 mm) na visinama od 0,05, 0,1, 0,3, 0,6, 1,0, 1,5, 3, 5, 10, 15 i 24 m iznad tla. Mjerenja su obavljena u 11 proljetnih noći s mrazom (u dvije godine) sa slabim vjetrovima ( $0,58 - 1,92 \text{ ms}^{-1}$ ) i vedrim nebom, što je rezultiralo gubitkom zračenja od  $2,67 \pm 0,38 \text{ MJ m}^{-2}$  i gustoćom toplinskog toka tla između  $-38,0$  i  $-43,1 \text{ W m}^{-2}$ . Minimalna temperatura 15 m prosječno  $-2,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  s rasponom od  $-0,7^{\circ}$  do  $-4,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Glavni zaključci ove studije pokazuju da je temperatura zraka porasla odmah nakon uključivanja ventilatora, kada je došlo do temperaturne inverzije. Između 1,5 i 15 m nadmorske visine, rad ventilatora uzrokuje povećanje temperature zraka od  $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  za svaki porast temperaturne inverzije od  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , a ventilatori smanjuju štetu na cvjetovima za 60 % u prvoj godini i 27 % u drugoj godini (Ribeiro, 2006.).

Drugi pristup za pokretanje temperature inverzije zbog gubitaka topline zračenjem predstavlja Yazdanpanah (2019.) sa sustavom SIS (odabrani *inverter sink*). Ovaj prizemni ventilator odvodi najhladniji zrak iz plantaže i izbacuje ga prema toplijim visinama gdje se raspršuje. Dakle, ovaj proces radi suprotno od okomitih ventilatora, ali rezultat je gotovo isti. Testirali su ovaj sustav u voćnjaku od 20 ha badema, a prosječno povećanje temperature zraka na različitim parcelama kretalo se od  $0,5$  do  $2,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Veći gradijenti temperature na 100-300 m od SIS-a iznose najviše  $0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  na 100 m, tako da je potrebno više SIS sustava za veće udaljenosti i veće sadnje (Yongguang, 2015.).

Temperaturna inverzija zbog radijacijskog gubitka topline može se pokrenuti i novijim suvremenim sredstvima kao što su bespilotne letjelice i bespilotni helikopteri, a pregled većine metoda i mjera zaštite trajnih nasada od kasnih proljetnih mrazeva donosi Yongguang i sur. (2018.).

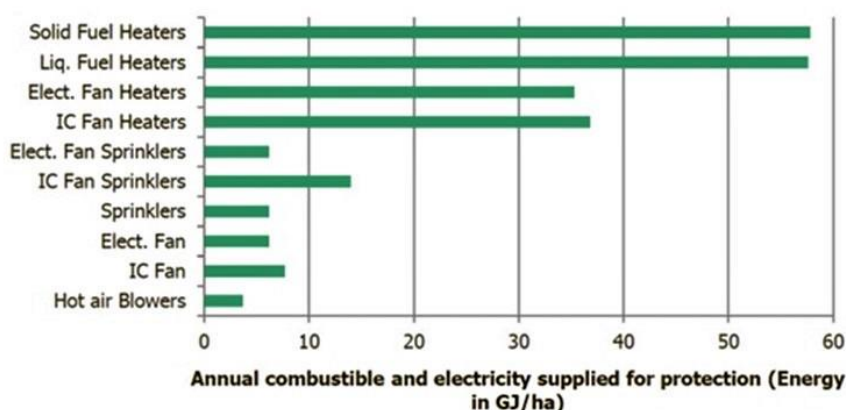


## 7. EKONOMSKA PITANJA – TROŠKOVI SUSTAVA ZAŠTITE OD SMRZAVANJA

Kasni proljetni mraz zbog navedenih klimatskih promjena nanosili su i nanosit će sve veću štetu poljoprivrednoj proizvodnji, a posebice većini trajnih nasada kada se cvatnja poklapa s niskim proljetnim temperaturama. Stoga mnogi autori primjećuju da su ekonomski gubici od smrzavanja u SAD-u najveći među svim vremenskim opasnostima. U prošlosti su neki događaji na Floridi izbrisali svu proizvodnju citrusa i prouzročili troškove milijarde dolara.

U Kaliforniji je mraz prouzročio štete na voćkama na površini od 450 000 ha u iznosu od oko 500 milijuna dolara . Još jedno opažanje u smislu troškovne štete dolazi od Australskog ureda za statistiku , koji je otkrio da štete od mraza u australskom vinogradarstvu iznose više od 33 milijuna dolara svake godine. U Hrvatskoj, Ministarstvo poljoprivrede poljoprivrednim proizvođačima svake godine isplaćuje štete od proljetnog mraza (oko 3 milijuna eura za 2021.). Veliki ekonomski gubici također se opetovano uočavaju u drugim osjetljivim trajnim usjevima diljem svijeta, a očekuje se da će se ekonomski gubici povećati. Ako ove novčane iznose usporedimo s troškovima ugradnje sustava zaštite od smrzavanja u daljnjem tekstu, doći ćemo do spoznaje da zaštita od smrzavanja ne bi trebala predstavljati veće probleme.

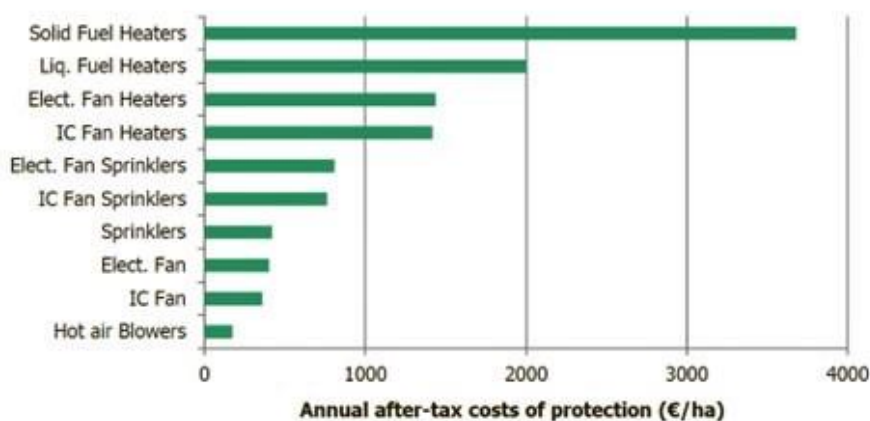
Snyder (2005.) i Europska komisija (2019.) u literaturi daju prilično dobar pregled troškova sustava i potrošnje energije za mjere aktivnog agroinženjeringa. Slika 15. prikazuje godišnju energiju potrebnu za rad većine metoda agroinženjeringa u programu *FrostEcon*.



Slika 15. Godišnja energija potrebna za provođenje poljoprivredno mehanizacijskih mjera zaštite od smrzavanja

(Izvor: Snyder, R.L., De Melo-Abreu, J.P., Matulich, S. *Frost protection: fundamentals, practice and economics*, Vol. 2, 2005.)

Iz slike 15. vidljivo je da su najveći potrošači energije grijači na fosilna goriva (kruta i tekuća, blizu  $60 \text{ GJ ha}^{-1}$ ), zatim mjere koje troše električnu energiju, a najmanji potrošači energije su puhala toplog zraka i puhala s unutarnjim izgaranjem (IC) (Slika 13.). Isti autori imaju godišnju procjenu troškova zaštite za iste aktivne mjere kao što je opisano na slici 15. Cijene i troškovi procijenjeni su za 2018. Slika 16. prikazuje rezultate *FrostEcon* izračuna ukupnih troškova ( $\text{€ ha}^{-1}$ ) za fiktivni mjesto za uzgoj jabuka.



Slika 16. Procjena godišnjih troškova za neke od poljoprivredno mehanizacijskih mjera zaštite od smrzavanja

(Izvor: Snyder, R.L., De Melo-Abreu, J.P., Matulich, S. *Frost protection: fundamentals, practice and economics*, Vol. 2, 2005.)

Još jednu projekciju troškova za sustav zaštite od smrzavanja predstavio je Evans (2009.). Navedeno je da je trošak ventilatora za 10 – 12 hektara (4,4 – 4,8 ha) 1500 – 1800 američkih dolara, za prskalice iznad i ispod drveća 900 – 1200 američkih dolara, za prskalice ispod drveća 1000 – 1500 američkih dolara, za uljne grijače 400 – 450 američkih dolara i za propanske tlačne grijače 2500 – 4000 američkih dolara. Za precizno modeliranje i simulaciju temperaturne dinamike, tj. za izračun minimalne energije potrebne za optimalno projektiranje energetskog sustava za aktivnu prevenciju mraza, Atam, E. et al koristili su termofluidno modeliranje velikih voćnjaka. Prema ovom modelu, svaki sustav mora generirati dovoljnu količinu energije za podizanje temperature u nasadu i smanjenje štete od mraza. Evans, RG., (2009). iznosi ovaj izračun u svom radu, tako da moramo znati pravu potrošnju energije i pravi trošak procesa za pravi trošak metode. Navodi da kondenzacija/isparavanje vode na  $0 \text{ °C}$  daje  $9000 \text{ BTU/US galon}$  ( $2,637 \text{ kW}/3,785 \text{ l}$ ) izgaranje dizela oslobađa  $142800 \text{ BTU/američki galon}$  ( $41,84 \text{ kW}/3,785 \text{ l}$ ), a izgaranje propana ostvaruje  $4284000 \text{ BTU/američki galon}$  ( $1255,21 \text{ kW}/3,785 \text{ l}$ ).

Dobar primjer izračuna ulaganja u zaštitne sustave kao funkcije učestalosti smrzavanja daje Poling (2008). Izračunao je prosječne neto prinose vinograda s različitim vjerojatnostima oštećenja od mraza. Procijenjeni trošak instaliranja i korištenja ventilatora u vinogradu od 4 ha bio je: početni trošak opreme 28000 *USD*, ukupni godišnji trošak 726 *USD/ha* operativni trošak po satu od 5,36 *USD* i trošak rada od 25,94 *USD/h*. Drugo predviđanje je vjerojatnost gubitka usjeva od 50 %, što znači gubitak od 6609 *USD/ha* (cijena po t = 1400 *USD*). Posljednje predviđanje je da će ventilatora raditi 40 sati godišnje).

Tablica 4. Prosječni neto prinosi vinograda s različitim vjerojatnostima oštećenja od mraza (Poling, 2008.).

Vjerojatnost mraza šteta (%)	10 – godišnji prosječni neto povrat (\$ ha <sup>-1</sup> )		Razlika u prosječnim neto povratima	
	Vinograd sa stroja za vjetar	Vinograd bez stroja za vjetar	\$/ha <sup>-1</sup>	\$/ha vinograda
0	1984	2711	-726	-7264
10	1928	2068	-140	-1410
20	1872	1426	446	4463
30	1838	783	1033	10327
40	1760	141	1619	16191
50	1704	-502	2206	22055
60	1648	-1144	2792	27919
70	1592	-1786	3378	33783
80	1536	-2318	3965	39647
90	1480	3071	4551	45511
100	1424	-3714	5137	51375

Iz tablice 4. jasno je da će u slučaju pojave mraza od 50 % ušteda tj. veća dobit iznositi do 22 tisuće američkih dolara. U godinama sa 100 % štete dobit će biti 51. 375 američkih dolara. Isti autor u drugom izdanju daje pregled operativnih troškova provedbe zaštite od kasnog proljetnog mraza za druge načine zaštite. Navodi da je cijena helikopterske usluge kao metode zaštite 825 – 1600 *USD* po satu (dostupno samo u Virginiji, SAD). Paljenje 40 grijača po hektaru koštalo bi 100 *USD* po satu (cijena dizela 2,5 *USD* po galonu, SAD 2007. 2,28 €/3,75 l = 0,6 € l<sup>-1</sup>) (Poling, EB., 2007.).

## 8. ZAKLJUČAK

Jasno je da klimatske promjene uzrokuju čestu proljetnu nestabilnost atmosfere, a globalno zatopljenje povećava zimske temperature, uzrokujući prerano cvjetanje kod većine vrsta u trajnim nasadima u umjerenim geografskim širinama. Spajanjem ova dva čimbenika u jedan događaj istodobno dobivamo izrazito povećanu mogućnost šteta od kasnih proljetnih mrazeva. Učestalost, intenzitet i trajanje pojava mraza su se povećali, što je rezultiralo povećanom štetom od mraza diljem svijeta u posljednjih 10 do 15 godina. Priroda pojave mraza razlikuje se ovisno o lokaciji, nadmorskoj visini i zemljopisnom položaju, ali jedan je problem zajednički svima: gubitak topline iz mladica i cvjetova mladih biljaka. Kako dolazi do gubitka topline, temperatura pada, što dovodi do smrzavanja biljnog tkiva. Smrzavanje tkiva ovisi o kritičnim temperaturama i vrsti mraza.

Suočeni s navedenim problemom, sve više znanstvenika počelo je proučavati problem i razvijati sve savršenije modele za predviđanje kasnih proljetnih mrazeva. Kao rezultat toga, danas postoje različiti modeli predviđanja u svim većim uzgojnim područjima, a sve se više koriste suvremene metode strojnog učenja, dronovi, senzori i sateliti.

Trenutno znanost može ponuditi nekoliko rješenja za kontrolu štete od kasnog mraza putem pasivnih, kemijskih i aktivnih mjera. U skladu s dobrom poljoprivrednom praksom, svaki bi poljoprivrednik trebao primijeniti pasivne mjere u svojim nasadima kako bi smanjio ili čak spriječio štete od mraza. Pasivne mjere provode se tijekom cijele godine i danas je teško zamisliti poljoprivrednu proizvodnju bez njih. Kemijske mjere nisu toliko zastupljene jer nisu pokazale veliku učinkovitost, s izuzetkom primjene antifriz proteina. Aktivne mjere, ili kako smo ih u radu nazvali, agrotehničke mjere (jer su to u biti mjere pod okriljem poljoprivredne mehanizacije tj. poljoprivredne tehnike) jedine su vrlo učinkovite mjere protiv većine vrsta mraza koji se javljaju

Aktivne mjere nazivaju se zbog ulaganja rada, novca, energije i znanja. Svaki poljoprivrednik bi si na početku investicijskog ciklusa i sadnje trebao postaviti neka vrlo važna pitanja:

- Hoće li aktivne mjere osigurati potrebnu razinu zaštite od smrzavanja?
- Koja vrsta mraza je najvjerojatnija i kako će na nju utjecati aktivne mjere?
- Je li ovaj sustav pouzdan, odnosno ne bi li ova investicija trebala zaštititi veći dio nasada?

U radu se daje odgovor na većinu postavljenih pitanja, osim učinkovitosti i pouzdanosti sustava. Pasivne mjere (odabir mjesta, stanje tla, pokrivenost tla itd.) trebale bi zaštititi svaku sadnju pri niskoj evapotranspiraciji i radijacijskom mrazu, pri niskim minus temperaturama do  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ispod te temperature, mjere pasivne zaštite su potpuno neučinkovite. Na temperaturama između  $0$  i  $-2,0$  do  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sve aktivne mjere trebale bi osigurati  $100\%$  zaštite svih nasada. Na temperaturama nižim od  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  i bez vjetra samo ventilatori pokazuju određenu neučinkovitost s  $20\text{-}25\%$  oštećenja. Pravi problemi nastaju pri temperaturama ispod  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  i vjetru od  $3\text{-}4\text{ m s}^{-1}$ , tada samo sustavi s prskanjem pokazuju punu učinkovitost, a sve vrste grijača imaju ograničenu učinkovitost. Tako što se isplativosti sustava tiče, ona naravno ovisi o veličini nasada te zamisli i željama vlasnika. U slučaju velikih nasada (preko  $8\text{-}10\text{ ha}$ ) neozbiljno je očekivati da u tom slučaju neće biti instaliran niti jedan sustav za prskanje. Stoga veliki nasadi zahtijevaju velika ulaganja u sustave zaštite jer se jedino tako mogu zaštititi ulaganja i prinosi. Osim visokih ulaganja, potrebno je osigurati i dovoljne količine vode za ove sustave. Za srednje velike plantažne površine ( $3\text{-}8\text{ ha}$ ) potrebno je odabrati i primijeniti neke aktivne mjere. To mogu biti mjere s vertikalnim ventilatorskim tornjevima, grijačima na izgaranje ili čak  $3\text{-}4$  mobilna grijača po plantaži (zaštita od smrzavanja).

U ovom radu prikazani su svi načini zaštite trajnih nasada od kasnih proljetnih mrazeva te su detaljno razmotrene metode koje se najčešće koriste. Na kraju se može zaključiti da postoje mnoge suvremene metode zaštite zasada, ali se poljoprivrednici uglavnom služe onim metodama koje su najdostupnije i cjenovno prihvatljivije. U manjim nasadima diljem Europe u većini slučajeva korištene su jednostavnije metode zaštite bez velikog učinka, no u posljednje vrijeme mnoge od tih nasada opremljene su raznim sustavima korištenja zračnih grijača i ventilatora. Navedene činjenice odgovor su suvremene poljoprivredne proizvodnje na klimatske promjene i prilagodbe proizvođača na povećane rizike.

## 9. LITERATURA

1. Alshami, A.S.; Evans, R.G. Pulse Jet Orchard Heater System Development: Part II. SystemScalingandApplication.*Trans.ASABE*2009,52(2),345-355.  
<https://doi.org/10.13031/2013.26818>.
2. Anconelli, S.; Facini, O.; Marletto, V.; Pitacco, A.; Rossi, F.; Zinoni, F. Micrometeorological test of microsprinklers for frost protection of fruit orchards in Northern Italy. *Phys. Chem. Earth* 2002, 27, 1103-1107 [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00146-8](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00146-8)
3. Atam, E.; Arteconi, A. Green Energy-assisted Frost Prevention: A Conceptual Framework.  
*Energy Procedia* 2017, 141, 155-159. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.029>.
4. Atam, E.; Hong, S.W.; Arteconi, A. Thermofluid Modelling of Large-Scale Orchards for Optimal Design and Control of Active Frost Prevention Systems. *Energies* 2020, 13, 378. <https://www.fao.org/10.3390/en13020378>.
5. Augspurger, C.K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. *Ecol.* 2013, 94(1), 41-50. <https://doi.org/10.1890/12-0200.1>.
6. Bar-Noy, Y.; Sofer-Arad, C.; Perel, M.; Cohen, H.; Senesh, N.; Noy, M.; Rubinovich, L. Frost protection efficiency evaluation in avocado with a horizontal wind machine. *Fruits* 2019, 74(3), 124-129. <https://doi.org/10.17660/th2019/74.3.4>.
7. Battany, M.C. Vineyard frost protection with upward-blowing wind machines. *Agric. For. Meteorol.* 2012, 157, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.01.009>.
8. Bugarin, R.; Bošnjaković, A.; Sedlar, A. *Agricultural engineering in fruit growing and viticulture*. University textbook. University in Novi Sad, Agricultural faculty, Novi Sad, Serbia, 2014. <https://dpt.polj.uns.ac.rs/udzbenici/>.
9. Chan, J.M. Frost tolerance of six seed orchards of *Acacia mearnsii* (black wattle) and the effect of developmental stage and tree size on frost hardiness. *Aust. For.* 2019, 82(1), 35-47. <https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1583112>.
10. Chen, L.; Huang, J.G.; Ma, Q.; Hanninen, H.; Rossi, S.; Piao, S.; Bergeron, Y. Spring phenology at different altitudes is becoming more uniform under global warming in Europe. *Glob. Chang. Biol.* 2018, 24, 3969-3975. <https://doi.org/10.1111/gcb.14288>.

11. Cittadini, E.D.; de Ridder, N.; Peri, P.L.; van Keulen, H. A method for assessing frost damage risk in sweet cherry orchards of South Patagonia. *Agricultural and Forest Meteorology* 2006, 141 (2-4), 235-243.  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.10.011>.
12. Cogato, A.; Meggio, F.; Collins, C.; Marinello, F. Medium-Resolution Multispectral Data from Sentinel-2 to Assess the Damage and the Recovery Time of Late Frost on Vineyards. *Remote Sens.* 2020, 12, 1896. <https://doi.org/10.3390/rs12111896>.
13. Conesa, A.; Nicolas, J.M.; Manera, F.J.; Porrás, I. Frost Damage in Lemon orchards in the Province of Murcia. *Acta Hort.* 2015, 1065, 1417-1422.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1065.179>.
14. Croatian government. Available online: <https://vlada.gov.hr/vijesti/nove-cijene-goriva-od-25-travnja-2023/38186> (accessed on 28.07.2023.).
15. Croatian government: Available online: <https://vlada.gov.hr/vijesti/vuckovic-opg-ovimaza-stetu-isplaceno-oko-25-milijuna-kuna/37414> (accessed on 27.07.2023.).
16. Croatian State Meteorological Institute. Available online:  
[https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_podaci&param=k1&Grad=osijek](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&param=k1&Grad=osijek) (accessed 11/07/2023).
17. Darbyshire, R.; Barlow, E.W.R.; Webb, L.; Goodwin, I. Roadblocks to assessing climate impacts on temperate perennial fruit. *Acta Hort.* 2016, 1130, 11-18.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.2>
18. Diedrichs, A.L.; Bromberg, F.; Dujovne, D.; Brun-Laguna, K.; Watteyne, T. Prediction of Frost Events Using Machine Learning and IoT Sensing Devices. *IEEE Internet Things J.* 2018, 5(6), 4589-4597. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2867333>.
19. Ding, L.; Tamura, Y.; Yoshida, S.; Owada, K.; Toyoda, T.; Morishita, Y.; Noborio, K.; Shibuya, K. Ensemble causal modelling for frost forecast in vineyard. *Procedia Comput. Sci.* 2021, 192, 3194-3203. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.092>.
20. Drepper, B.; Bamps, B.; Gobin, A.; Van Orshoven, J. Strategies for managing spring frost risks in orchards: effectiveness and conditionality—a systematic review. *Environ. Evid.* 2022, 11, 29. <https://doi.org/10.1186/s13750-022-00281-z>.
21. Droulia, F.; Charalampopoulos, I. Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *J. Atmos.* 2021, 12, 495. <https://doi.org/10.3390/atmos12040495>. itd...

22. Duman, J.G.; Wisniewski, M. The use of antifreeze proteins for frost protection in sensitive crop plants. *Environ. Exp. Bot.* 2014, 106, 60-69.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.01.001>.
23. European Commission – EPI AGRI Focus Group. Protecting fruit production from frost damage. Final Report, 2019. [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_fg_frost_damage_final_report_2019_en.pdf)
24. [agri\\_fg\\_frost\\_damage\\_final\\_report\\_2019\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_fg_frost_damage_final_report_2019_en.pdf).
25. Evans, R.G. The ABC of Frost Management. In Proceeding of the 104<sup>th</sup> Annual Meeting of the Washington State Horticultural Association. Yakima, Washington, USA, 1-3.12.2009.
26. Evans, R.G.; Alshami, A.S. Pulse Jet Orchard Heater System Development: Part I. Design, Construction, and Optimization. *Trans. ASABE* 2009, 52(2), 331-343.  
<https://doi.org/10.13031/2013.26817>.
27. Frota de Albuquerque Landi, F.; Di Giuseppe, A.; Gambelli, A.M.; Palliotti, A.; Nicolini, A.; Pisello, A.L.; Rossi, F. Life Cycle Assessment of an Innovative Technology against Late Frosts in Vineyard. *Sustainability* 2021, 13, 5562. <https://doi.org/10.3390/su13105562>.
28. Fuller, M.P.; Hamed, F.; Wisniewski, M.; Glenn, D.M. Protection of plants from frost using hydrophobic particle film and acrylic polymer. *Ann. Appl. Biol.* 2003, 143(1), 93-98.  
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.00093.x>.
29. Geiger, R.; Aron, R.H.; Todhunter, P. *The climate near the ground*, 6<sup>th</sup> ed.; Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 2003.
30. Ghaemi, A.A.; Rafiee, M.R.; Sepaskhah, A.R. Tree-Temperature Monitoring for Frost Protection of Orchards in Semi-Arid Regions Using Sprinkler Irrigation. *Agr. Sci. China* 2009, 8(1), 98-107. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60014-6](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60014-6).
31. Issa, R.J. Numerical heat transfer model for frost protection of citrus fruits by water from aspraying system *Therm. Sci.* 2012, 16(1), 31-42. <https://doi.org/10.2298/TSCI110331084I>.
32. Jiajun, Q.; Liping, W.; Hongting, L. Frost Prevention and Mitigation System of Mountain Orchard Based on LoRa. In Proceedings of the 2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Harbin City, China, 28.06. – 02.07.2021. <https://doi.org/10.1109/IWCMC51323.2021.9498789>.
33. Johnson, D.E.; Howell, G.S. Factors influencing critical temperature for spring freeze damage to developing primary shoots of Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 1981, 32, 144-149. <https://doi.org/10.5344/ajev.1981.32.2.14>.
34. Kyoto Protocol. Available online: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol) (accessed 11/07/2023).



35. Leoneli, L.; Moriondo, M.; Fila, G.; Costafreda-Aumedes, S.; Ferrise, R.; Bindi, M. Late spring frost impacts on future grapevine distribution in Europe. *Field Crops Res.* 2018, 222, 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.018>.
36. Loder, H. *Frost Protection in Viticulture: A Users Guide for South East Irrigators*, Wingara Wine Group, South Melbourne, Australia, 2008. <https://coonawarra.org/wp-content/uploads/2017/04/Frost-Protection-in-Viticulture-A-Users-Guide-for-South-East-Irrigators-H.Loder-2008.pdf>.
37. Madelin, M.; Beltrando, G. Spatial interpolation-based mapping of the spring frost hazard in the Champagne vineyards. *Meteorol. Appl.* 2005, 12, 51-56. <https://doi.org/10.1017/S1350482705001568>.
38. Marković, D.B.; Glišić, I.P.; Pešović, U.M.; Randić, S.S. Wireless information system for frost detection in orchards. *Acta agric. Serb.* 2013, 36, 179-186. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0354-9542/2013/0354-95421336179M.pdf>.
39. Masse, D. Raytheon Installs Frost Protection Systems in Canadian Vineyard. *Microwave Journal* 2010, 53(6), 45-46.
40. Meier, M.; Fuhrer, J.; Holzkamper, A. Changing risk of spring frost damage in grapevines due to climate change? A case study in the Swiss Rhone Valley. *Int. J. Biometeorol.* 2018, 62, 991-1002. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1501-y>.
41. Minton, V.; Howerton, H.; Cole, B. *Vineyard Frost Protection. A guide for a Northern Coastal California*. United States Department of Agriculture, Petaluma, California, USA, 2017. <https://sonomarc.org/wp-content/uploads/2017/06/Vineyard-Frost-Protection.pdf>.
42. Miškulin, P. Protection systems for late spring frosts in permanent orchards. BSc thesis, University of J.J. Strossmayer in Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences in Osijek, Croatia, 04.09.2019. <https://dabar.srce.hr/islandora/object/pfos%3A1854>.
43. Molitor, D.; Caffarra, A.; Sinigoj, P.; Pertot, I.; Hoffmann, L.; Junk, J. Late frost damage risk for viticulture under future climate conditions: a case study for the Luxembourgish winegrowing region. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2014, 20, 160-168. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12059>.
44. Noh, I.; Doh, H.W.; Kim, S.O.; Kim, S.H.; Shin, S.; Lee, S.J. Machine Learning-Based Hourly Frost-Prediction System Optimized for Orchards Using Automatic Weather Station and Digital Camera Image Data. *J. Atmos.* 2021, 12, 846. <https://doi.org/10.3390/atmos12070846>.
45. Paris Agreement. Available online: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (accessed 11/07/2023).

46. Parker, L.; Pathak, T.; Ostoja, S. Climate change reduces frost exposure for high-value California orchard crops. *Sci. Total Environ.* 2020, 762, 143971. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143971>.
47. Perry, K.B. Basics of Frost and Freeze Protection for Horticultural Crops. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 1998, 8(1), 10-15.
48. Pfammatter, W. Fight against frost by sprinkling in fruit arboriculture; Swiss magazine. *Vitic. Arboric. Hortic.* 1998, 30 (5), 331-335.
49. Pfliegerer, P.; Menke, I.; Schleussner, C.F. Increasing risks of apple tree frost damage under climate change. *Clim. Change* 2019, 157, 515-525. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02570-y>.
50. Poling, E.B. Overview of Active Frost, Frost/Freeze and Freeze Protection Methods. In Proceedings of Understanding and Preventing Freeze Damage in Vineyards, University of Missouri, Columbia, USA, 5-6.12.2007. <https://viticulture.unl.edu/newsarchive/2012wg1001.pdf>.
51. Poling, E.B. Spring Cold Injury to Winegrapes and Protection Strategies and Methods. *Hort. Science* 2008, 43(6), 1652–1662.
52. Prabha, T.; Hoogenboom, G. Evaluation of the Weather Research and Forecasting model for two frost events. *Comput. Electron. Agric.* 2007, 64, 234-247. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.019>.
53. Pudney, S. (Department of Water, Land and Biodiversity Conservation, Government of South Australia, Mount Gambier, Australia). Frost Protection in Vineyards and Volumetric Allocations in the South East. 2007. [https://www.waterconnect.sa.gov.au/Content/Publications/DEW/dwlbc\\_report\\_2007\\_07.pdf](https://www.waterconnect.sa.gov.au/Content/Publications/DEW/dwlbc_report_2007_07.pdf)
54. Qiang, L.; Shilong, P.; Janssens, I.A.; Yongshou, F.; Shusshi, P.; Xu, L.; Ciais, P.; Myneni, R.; Penuelas, J.; Wang, T. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. *Nat. Commun.* 2018, 9, 426. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02690-y>.
55. Qianqian, M.; Huang, J.G.; Hanninen, H.; Berninger, F. Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Glob. Chang. Biol.* 2019, 25, 351-360. <https://doi.org/10.1111/gcb.14479>.
56. Ribeiro, A.C.; De Melo-Abreu, J.P.; Snyder, R.L. Apple orchard frost protection with wind machine operation. *Agric. For. Meteorol.* 2006, 141, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.019>.

57. Rossi, F.; Facini, O.; Loreti, S.; Nardino, M.; Georgiadis, T.; Zinoni, F. Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards. *Phys. Chem. Earth* 2002, 27, 1077-1089. [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00144-4).
58. Sgubin, G.; Swingedouw, D.; Dayon, G.; de Cortazar-Atauri, I.G.; Ollat, N.; Page, C.; van Leeuwen, C. The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 2018, 250-251, 226-242. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.253>.
59. Sito, S.; Skendrović Babojelić, M.; Šket, B.; Vodopivec, J.; Šket, M.; Kušec, V.; Milodanović, M. Application of Frostbuster in protecting orchards from frost. *Glas. zašt. Bilja* 2014, 37(3), 53-58.
60. Smith, R.M. (New Zealand Meteorological Society, Mosigell, New Zealand). Frost forecasting for Christchurch, Technical Note 214, 5, 1973.
61. Smyth, M.; Skates, H. A passive solar water heating system for vineyard frost protection. *Sol. Energy* 2009, 83, 400-408. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.08.014>.
62. Snyder, R.L.; de Melo-Abreu, J.P. *Frost protection: fundamentals, practice and economics*, Vol. 1; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2005. [http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/Docs/FROST\\_Volume1.pdf](http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/Docs/FROST_Volume1.pdf)
63. Snyder, R.L.; De Melo-Abreu, J.P.; Matulich, S. *Frost protection: fundamentals, practice and economics*, Vol. 2; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2005. <https://www.fao.org/3/y7231e/y7231e.pdf>.
64. Tadić, V.; Marković, M.; Plaščak, I.; Stošić, M.; Lukinac Čačić, J.; Vujčić, B. Impact of technical spraying factors on leaf area coverage in an apple orchard. *Teh. Vjesn.* 2014, 21(5), 1117-1124. <https://hrcak.srce.hr/clanak/190713>.
65. Tadić, V.; Petrović, D.; Miškulin, P.; Pačarek, G.; Vidaković, I.; Barač, Ž. Protection systems against late spring frosts in permanent crops. In Proceedings of the Actual Tasks on Agricultural Engineering - ATAE 2023, Opatija, Croatia, 28.02-02.03.2023. <https://atae.agr.hr/proceedings.htm>.
66. Talsma, C.J.; Solander, K.C.; Mudunuru, M.K.; Crawford, B.; Powell, M.R. Frost prediction using machine learning and deep neural network models. *Front. Artif. Intell.* 2023, 5, 963781. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.963781>.
67. Taylor, K. C. (University of Georgia, Athens, Georgia, USA). Peach Orchard establishment and young tree care. Personal communication, Circular 877, 2012. [https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20877\\_3.PDF](https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20877_3.PDF).

68. Trought, M.C.T.; Howell, G.S.; Cherry, N. (Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand). Practical Considerations for Reducing Frost Damage in Vineyards. Personal communication, 1999.
69. [https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/4236/frost\\_damage\\_in\\_vineyards.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/4236/frost_damage_in_vineyards.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
70. UN Climate Change Protocol, Glasgow. Available online: <https://ukcop26.org/> (accessed 11/07/2023).
71. Unterberger, C.; Brunner, L.; Nabernegg, S.; Steiniger, K.W.; Steiner, A.K.; Stabentheiner, E.; Monschein, S.; Truhetz, H. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS One* 2018, 13(7), 0200201. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200201>.
72. Vrangbaekgaard Vin. Available online: <https://www.vrangbaekgaard.dk/en/electric-frost-protection-of-the-vineyard/> (accessed on 24.07.2023.).
73. Wenye, W.; Yongguang, H.; Shuo, Y.; Kangqian, M.; Xiaoyong, Z.; Pingping, L. Optimal design of wind machine impeller for frost protection based on CFD and its field test on airflow disturbance. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2015, 8(5), 43-49.
74. Yazdanpanah, H.; Stigter, C.J. Selective inverted sink efficiency for spring frost protection in almond orchards northwest of Isfahan, Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 2011, 105, 27-35. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0367-7>.
75. Yongguang, H.; Amoah Asante, E.; Yongzong, L.; Mahmood, A.; Ali Buttar, N.; Yuan, S. Review of air disturbance technology for plant frost protection. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2018, 11(3), 21-28. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.3172>.
76. Yongguang, H.; Shengzhong, L.; Wenye, W.; Jizhang, W.; Jianwen, S. Optimal flight parameters of unmanned helicopter for tea plantation frost protection. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2015, 8(5), 50-57. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150805.1655>.
77. Yongguang, H.; Wenye, W.; De Melo-Abreu, J.P.; Shapland, T.M.; Hong, Z.; Snyder, R.L. Comparative experiments and effectiveness evaluation on vertical blowing fans (VBF) for frost protection. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2015, 8(5), 36-42. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150805.1419>
78. Yuan, W.; Choi, D. UAV-Based Heating Requirement Determination for Frost Management in Apple Orchard. *Remote Sens.* 2021, 13, 273. <https://doi.org/10.3390/rs13020273>.

Internet linkovi slika:

Link 1 [https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20877\\_3.PDF](https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20877_3.PDF), 2012.

Link 2. <https://www.fao.org/3/y7231e/y7231e.pdf>, 2005.

Link 3. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2867333>, 2018.

Link 4. <https://www.jabuka.tv/wp-content/uploads/2019/04/mraz-slana-led>, 2023.

Link 5. <https://zvornicki.ba/wp-content/uploads/2017/04/mraz-dimljenje.jpg>, 2023.

Link 6. [https://ucanr.edu/blogs/strawberries\\_caneberries/blogfiles/19636.pdf](https://ucanr.edu/blogs/strawberries_caneberries/blogfiles/19636.pdf), 2021.

Link 7. <https://cdn.agroklub.com/upload/images/image/mgn-tekst.jpg>, 2023.

Link 8. <https://cdn.agroklub.com/upload/images/text/thumb/slika1-880x495.jpg>, 2023.

Link 9. <https://doi.org/10.13031/2013.5146>, 2000.

Link 10. <https://cdn.agroklub.com/upload/images/text/thumb/grijac1-880x495.jpg>, 2023.

Link 11. <https://www.vignerontoystore.com/product-page/frostbuster-50>, 2023.

Link 12. <https://cdn.agroklub.com/upload/images/image/colic-stopgel-1-1.jpg>, 2023.

Link 13. <https://doi.org/10.13031/2013.26817>, 2009.

Link 14. [https://www.vailmontvineyards.com/Vailmont\\_Tow-And-Blow.html](https://www.vailmontvineyards.com/Vailmont_Tow-And-Blow.html), 2023.

Link 15. <https://www.fao.org/3/y7231e/y7231e.pdf>, 2005.

Link 16. <https://www.fao.org/3/y7231e/y7231e.pdf>, 2005.

## 10. SAŽETAK

Pojava kasnog proljetnog mraza zbog klimatskih promjena nanosi velike štete cjelokupnoj svjetskoj plantažnoj proizvodnji. Glavni cilj rada bio je proučiti i sagledati razloge pojave mraza, vrstu mraza i kritične temperature koje uzrokuju oštećenja tkiva. Priroda pojave mraza razlikuje se ovisno o lokaciji, nadmorskoj visini i geografskom položaju, ali jedan je problem zajednički svima: gubitak topline iz mladica biljaka i cvijeća koji uzrokuje smrzavanje. Smrzavanje tkiva ovisi o kritičnim temperaturama i vrsti mraza, njegovom intenzitetu i trajanju. Metode i mjere zaštite od kasnog proljetnog mraza dijele se u tri glavna područja: aktivne, pasivne i kemijske mjere. Detaljno su objašnjene metode koje spadaju u područje poljoprivredne tehnike, jer studije pokazuju da su najučinkovitije: različite vrste sustava za prskanje, različite vrste sustava grijanja i veliki promjer ventilatora. Izvedeni su zaključci o učinkovitosti različitih sustava s obzirom na negativne temperature i isplativosti pojedinog sustava.

**Ključne riječi:** klimatske promjene, kritične temperature, ventilatori, zamagljivanje, gubitak topline, grijači, modeli predviđanja zračenje, proljetni mraz, prskanje.

## 11. SUMMARY

The occurrence of late spring frost due to climate changes causes great damage to all world's plantation production. The main objective of the paper was to study and to review the reasons of frost occurrence, type of frosts and critical temperatures that causes tissue damages. The nature of frost occurrence varies by location, elevation, and geographic position, but one problem is common to all: heat loss from young plant shoots and flowers that causes freezing. Freezing of tissue depends on critical temperatures and the type of frost, its intensity and duration. Protection methods and measures from late spring frost are divided into the three main areas: active, passive, and chemical measures. The methods that fall within the scope of agricultural engineering are explained in detail, as studies show that they are the most effective: different types of sprinkling systems, different type of heating systems and large fan diameter. Conclusions were drawn about the effectiveness of different systems regarding negative temperatures and the cost-effectiveness of each system. The area of protecting permanent plantations from late spring frost will become more important due to climate change, and agricultural engineering must keep pace with the challenges of modern production and provide a response to all challenges.

**Keywords:** climate change, critical temperatures, fans, fogging, heat loss, heaters, prediction models radiation, spring frost, sprinkling

## 12. POPIS TABLICA

Tablica 1. Ključne specifikacije hardverskih komponenti

Tablica 2. Količina raspršivača ( $\text{mm h}^{-1}$ ) za raspršivače iznad drveća potrebne za zaštitu vinograda

Tablica 3. Potrebna količina *StopGEL* svijeća/ha ovisno o temperaturi

Tablica 4. Prosječni neto prinosi vinograda s različitim vjerojatnostima oštećenja od mraza



### 13. POPIS SLIKA

Slika 1. Pojava kasnih proljetnih mrazeva

Slika 2. Kritična temperatura u odnosu na razvojni stadij nekih voćaka i grožđa

Slika 3. Sustav za predviđanje mraza

Slika 4. Kasni proljetni mraz

Slika 5. Dimljenje trajnog nasada

Slika 6. Glavna svojstva eksploatacije rasprskivača

Slika 7. Uspješna zaštita kišom (lijevo) i neuspješna zaštita (desno)

Slika 8. Zaštita kišenjem

Slika 9. Profil temperature i ciklusi rasprskivača za 03:00 do 08:00 h

Slika 10. Korištenje prijenosne peći za izravno grijanje

Slika 11. Mobilni generator topline

Slika 12. Upaljene *StopGEL* svijeće u vinogradu

Slika 13. Shema izgaranja pulsno mlaza (a); Shema procesa izgaranja (b)

Slika 14. Ventilatori za zaštitu od proljetnog mraza

Slika 15. Godišnja energija potrebna za provođenje nekih poljoprivredno mehanizacijskih mjera zaštite od smrzavanja

Slika 16. Procjena godišnjih troškova za neke od poljoprivredne mehanizacijskih mjera zaštite od smrzavanja

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij, smjer (Mehanizacija)

Diplomski rad

### Sustavi zaštite trajnih nasada protiv kasnih proljetnih mrazeva

Marko Hajmiler

#### Sažetak:

Pojava kasnog proljetnog mraza zbog klimatskih promjena nanosi velike štete cjelokupnoj svjetskoj plantažnoj proizvodnji. Glavni cilj rada bio je proučiti i sagledati razloge pojave mraza, vrstu mraza i kritične temperature koje uzrokuju oštećenja tkiva. Priroda pojave mraza razlikuje se ovisno o lokaciji, nadmorskoj visini i geografskom položaju, ali jedan je problem zajednički svima: gubitak topline iz mladica biljaka i cvijeća koji uzrokuje smrzavanje. Smrzavanje tkiva ovisi o kritičnim temperaturama i vrsti mraza, njegovom intenzitetu i trajanju. Metode i mjere zaštite od kasnog proljetnog mraza dijele se u tri glavna područja: aktivne, pasivne i kemijske mjere. Detaljno su objašnjene metode koje spadaju u područje poljoprivredne tehnike, jer studije pokazuju da su najučinkovitije: različite vrste sustava za prskanje, različite vrste sustava grijanja i veliki promjer ventilatora. Izvedeni su zaključci o učinkovitosti različitih sustava s obzirom na negativne temperature i isplativosti pojedinog sustava.

**Ključne riječi:** klimatske promjene, kritične temperature, ventilatori, zamagljivanje, gubitak topline, grijači, modeli predviđanja zračenje, proljetni mraz, prskanje.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** izv.prof.dr.sc. Vjekoslav Tadić

**Broj stranica:** 57

**Broj slika:** 16

**Broj tablica:** 4

**Broj literaturnih navoda:** 78

**Broj priloga:** -

#### Datum obrane:

#### Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Đuro Banaj, predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Vjekoslav Tadić, mentor
3. dr. sc. Anamarija Banaj, član

**Rad je pohranjen:** : Knjižnica Agrobiotehničkog fakulteta Osijek, Sveučilištu Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences of Osijek  
University Graduate Studies, Mechanization

Graduate thesis

### Systems of protection of permanent plantations against late spring frost

Marko Hajmiler

#### Summary:

The occurrence of late spring frost due to climate changes causes great damage to all world's plantation production. The main objective of the paper was to study and to review the reasons of frost occurrence, type of frosts and critical temperatures that causes tissue damages. The nature of frost occurrence varies by location, elevation, and geographic position, but one problem is common to all: heat loss from young plant shoots and flowers that causes freezing. Freezing of tissue depends on critical temperatures and the type of frost, its intensity and duration. Protection methods and measures from late spring frost are divided into the three main areas: active, passive, and chemical measures. The methods that fall within the scope of agricultural engineering are explained in detail, as studies show that they are the most effective: different types of sprinkling systems, different type of heating systems and large fan diameter. Conclusions were drawn about the effectiveness of different systems regarding negative temperatures and the cost-effectiveness of each system. The area of protecting permanent plantations from late spring frost will become more important due to climate change, and agricultural engineering must keep pace with the challenges of modern production and provide a response to all challenges.

**Keywords:** climate change, critical temperatures, fans, fogging, heat loss, heaters, prediction models radiation, spring frost, sprinkling

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** assoc. prof, JA, PhD Vjekoslav Tadić

**Number of pages:** 57

**Number of figures:** 16

**Number of tables:** 4

**Number of references:** 78

**Number of appendices:** -

**Thesis defended on date:**

#### Reviewers:

1. full professor, PhD Đuro Banaj, president
2. assoc. prof, JA, PhD Vjekoslav Tadić, mentor
3. PhD, Anamarija Banaj, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.