

Pametno skladiščenje za svež pridelek
*Digitalna komora in dobre prakse za podaljševanje obstojnosti
na kmetiji*

Z naprednimi digitalnimi tehnologijami do
kakovostne hrane (FRESH@FOOD)



Slovenj Gradec, 5. maj 2025

Naslov:

Pametno skladiščenje za svež pridelek,

Digitalna komora in dobre prakse za podaljševanje obstojnosti na kmetiji

Urednik: Alenka Berložnik (Zavod SLOKVA, so. p.)

Avtorji: dr. Nika Brili, Alenka Berložnik, dr. Sebastjan Radišek, Vesna Klančnik

Fotografije: dr. Nika Brili, Alenka Berložnik, dr. Sebastjan Radišek, Vesna Klančnik

Recenzija: dr. Nika Brili, Alenka Berložnik, dr. Sebastjan Radišek, Vesna Klančnik

Grafično oblikovanje in prelom: Zavod Slokva, so.p.

Oblikovanje ovitka: Zavod Slokva, so.p.

Vrsta publikacije: Tiskana in elektronska izdaja (PDF)

Založnik: Zavod SLOKVA, so. p.

Izdajatelj: Zavod SLOKVA, so. p.

Kraj in datum izida: Slovenj Gradec, maj 2025

Dostopno na: <https://slokva.si/projekti/program-razvoja-podezelja-2014-2020-do-2022/z-naprednimi-digitalnimi-tehnologijami-do-kakovostne-hrane/>

Financer projekta: Program razvoja podeželja 2014-2020 (80 % od tega Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja, 20 % Republika Slovenija), lastna sredstva partnerjev

Naslov projekta: Z naprednimi digitalnimi tehnologijami do kakovostne hrane (FRESH@FOOD)

Številka ukrepa: 16.2

Številka odločbe: 33117-11/2022/6

ISBN: 978-961-97021-1-6

Cena: brezplačna izdaja

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

631.36:004.9

PAMETNO skladiščenje za svež pridelek : digitalna komora in dobre prakse za podaljševanje obstojnosti na kmetiji / [urednik Alenka Berložnik ; avtorji Nika Brili ... [et al.] ; fotografije Nika Brili ... et al.]. - Slovenj Gradec : Zavod Slokva, 2025

ISBN 978-961-97021-1-6
COBISS.SI-ID 237641219

KAZALO

1.	UVOD.....	4
1.1	Namen in cilji priročnika.....	4
1.2	Povezava s projektom FRESH@FOOD	5
2.	Napredna komora FRESH@FOOD	6
2.1	Namen in možnosti uporabe	7
2.1.1	Eksperimentalna raba v nadzorovanem okolju.....	7
2.1.2	Podatkovna podpora za razvoj AI modelov	8
2.1.3	Prilagodljivost za različne vrste živil.....	8
2.2	Strojna oprema in konstrukcija	9
2.2.1	Konstrukcija komore	9
2.2.2	Senzorji in aktuatorji	9
2.2.3	Krmilni sistem	15
2.2.4	Povezava senzorjev in aktuatorjev s krmilnim sistemom.....	16
2.3	Programska in strežniška arhitektura sistema	19
2.3.1	Umerjanje senzorjev in programski zajem podatkov.....	19
2.3.2	Shematski načrt programske arhitekture	20
2.3.3	Podatkovne baze in upravljanje	21
2.3.4	Sistem za ročno upravljanje z aktuatorji	22
2.3.5	Krmiljenje komore po protokolu	24
2.3.6	Front-end: grafični vmesnik v HTML, CSS in Bootstrap.....	25
2.3.7	Back-end: razvoj spletne aplikacije z Flask in Python.....	26
3.	Enostavne tehnike za podaljševanje obstojnosti.....	28
4.	Rezultati laboratorijskih anali vpliva uv-c svetlobe na skladiščenje pridelkov	31
5.	Zaključki in prihodnje smernice	34

1. UVOD

1.1 Namen in cilji priročnika

Namen tega priročnika dobrih praks je ponuditi celovit in praktično uporaben vir znanja za vse, ki želijo na kmetijah ali v raziskovalnih okoljih preizkušati ali vpeljati inovativne rešitve za podaljševanje obstojnosti živil. Priročnik združuje znanstvena spoznanja, inženirske pristope in praktične izkušnje, pridobljene v okviru projekta FRESH@FOOD, in jih pretvori v konkretna navodila, priporočila in sistemske rešitve, ki so izvedljive tudi v skromnejših okoljih.

Cilji priročnika:

- **Predstaviti koncept, konstrukcijo in uporabo napredne digitalne komore** za izvajanje eksperimentov s ciljem podaljševanja obstojnosti in svežine pridelkov,
- **Podpreti prenos znanja iz raziskovalnih institucij v prakso** z jasnimi tehničnimi opisi, shemami in razvito programsko kodo, ki je javno deljena preko spletne platforme GitHub,
- **Omogočiti izgradnjo podobnih sistemov** na osnovi opisanih komponent, arhitekture in digitalne zasnove,
- **Poudariti pomen podatkovno podprtega odločanja**, razvoja napovednih modelov in integracije senzorike v agroživilske verige,
- **Povečati trajnost in kakovost hrane** z uporabo inovativnih, a enostavnih rešitev (npr. UV-C svetloba, kontrolirana atmosfera, delni vakuum),
- **Oceniti učinkovitost enostavnih postopkov skladiščenja**, preizkušenih neposredno na kmetijah, in ugotovitve deliti s kmetovalci.

Dodatna vrednost laboratorijskih analiz UV-C svetlobe:

- Pomemben del projekta predstavlja **laboratorijska analiza vpliva UV-C osvetljevanja** na različne vrste pridelkov. Ta analiza raziskovalcem in kmetovalcem omogoča:
- določitev **učinkovitih doz UV-C svetlobe** glede na trajanje in intenzivnost,
- prepoznavo **patogenov in mikroorganizmov**, pri katerih je UV-C osvetljevanje posebej učinkovito v času skladiščenja pridelkov,
- razumevanje **mehanizmov delovanja UV-C** na površino plodov ter vpliva na kakovost, vizualni videz in varnost pridelka.
- Z vključevanjem teh znanj priročnik pomembno prispeva k **uvedbi strokovno podprtih, a praktično izvedljivih rešitev**, ki omogočajo nadzorovano, prilagodljivo in trajnostno skladiščenje sadja in zelenjave.

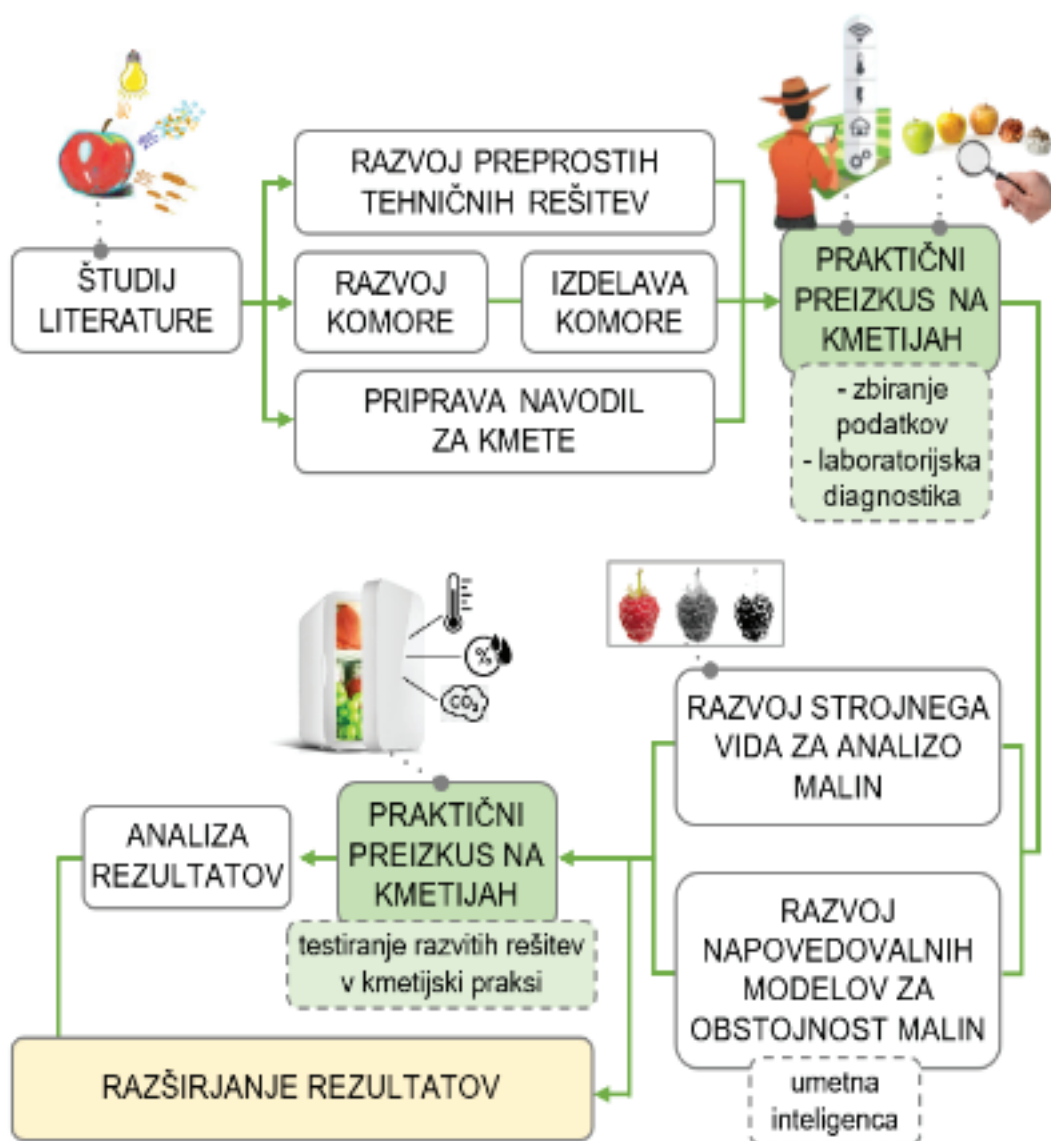


1.2 Povezava s projektom FRESH@FOOD

Priročnik je rezultat projekta EIP FRESH@FOOD: »Z naprednimi digitalnimi tehnologijami do kakovostne hrane«, ki je nastal kot odgovor na izzive skladiščenja občutljivih kmetijskih pridelkov, predvsem sadja in zelenjave, brez uporabe kemičnih sredstev. Projekt vključuje razvoj napredne komore, praktične preizkuse na kmetijah, laboratorijsko diagnostiko ter razvoj digitalnih in napovedovalnih orodij.

Z razvojem prototipa komore, testiranjem UV-C tehnologije in analizo enostavnih tehnik skladiščenja smo oblikovali konkretna orodja, ki so že bila uspešno preizkušena v praksi. Cilj priročnika je to znanje strukturirano in jasno predstaviti uporabnikom.

Projekt FRESH@FOOD se izvaja v okviru ukrepa M16.2 Programa razvoja podeželja RS 2014–2020 in je financiran 40,10 % iz lastnih sredstev partnerstva, ostalo pa iz javnih sredstev. Glavni namen projekta je razviti in preizkusiti nove rešitve za podaljševanje obstojnosti in svežine sadja ter zelenjave na način, ki je dostopen tudi manjšim kmetijam.



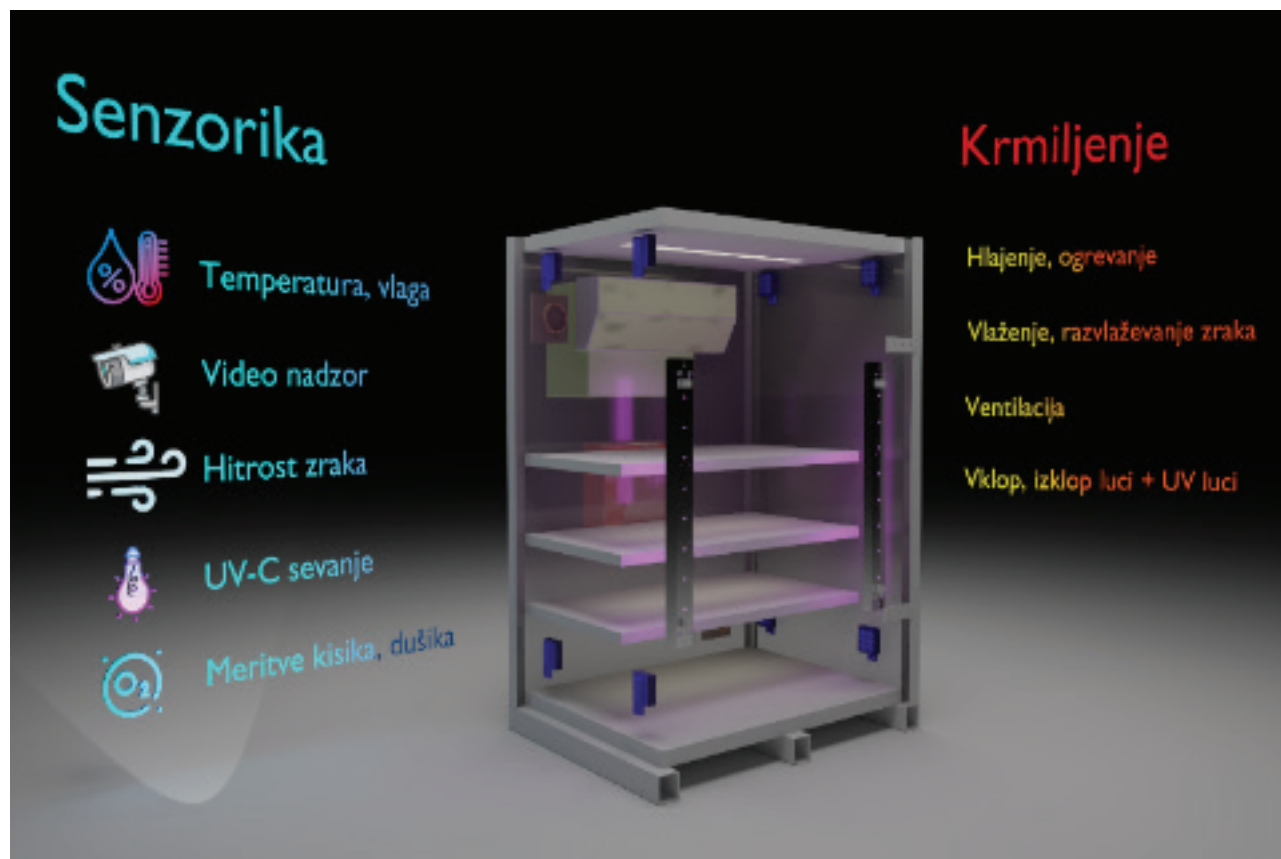
Slika 1: Shematski prikaz poteka izvajanja projekta

V projektu sodelujejo raziskovalne, svetovalne in izobraževalne institucije ter praktično usmerjene kmetije, kar zagotavlja uravnoteženo povezavo med teorijo in prakso. Vsak izmed partnerjev ima ključno vlogo v izvedbi in prenosu rezultatov v prakso – od laboratorijskih raziskav, razvojne programske opreme, do testiranja na kmetijah in diseminacije znanja. Priročnik je rezultat projekta EIP FRESH@FOOD: »Z naprednimi digitalnimi tehnologijami do kakovostne hrane«, ki je nastal kot odgovor na izzive skladiščenja občutljivih kmetijskih pridelkov, predvsem sadja in zelenjave, brez uporabe kemičnih sredstev. Projekt vključuje razvoj napredne komore, praktične preizkuse na kmetijah, laboratorijsko diagnostiko ter razvoj digitalnih in napovedovalnih orodij.

Z razvojem prototipa komore, testiranjem UV-C tehnologije in analizo enostavnih tehnik skladiščenja smo oblikovali konkretna orodja, ki so že bila uspešno preizkušena v praksi. Cilj priročnika je to znanje strukturirano in jasno predstaviti uporabnikom.

2. NAPREDNA KOMORA FRESH@FOOD

Napredna komora, razvita v okviru projekta FRESH@FOOD, predstavlja inovativno tehnološko rešitev za podaljševanje obstojnosti pridelkov v prehranski verigi. Komora FRESH@FOOD je mobilna, inteligentna in energetsko učinkovita hladilna enota z možnostjo daljinskega upravljanja. Omogoča podaljševanje obstojnosti sadja in zelenjave s kombinacijo regulirane atmosfere, UV-C razkuževanja, nadzora vlage in hlajenja. Gre za modularno, mobilno in digitalno podprto komoro z zmožnostjo natančnega nadzora mikroklimatskih pogojev. Komora omogoča shranjevanje občutljivih pridelkov (npr. jagodičevje, zelišča, solatnice) pod pogoji, ki bistveno zavirajo mikrobiološki razvoj, zmanjšujejo izgube in podaljšujejo tržno svežino.



Slika 2: Koncept napredne komore FRESH@FOOD

Zaradi vedno večjih izgub hrane v fazi skladiščenja in distribucije postaja razvoj **pametnih skladiščnih sistemov** ključnega pomena. Tradicionalne hladilnice so pogosto energijsko neučinkovite, slabo prilagodljive različnim pridelkom in ne omogočajo nadzora nad podrobnejšimi okolijskimi parametri.

Napredna komora FRESH@FOOD omogoča:

- simulacijo različnih **atmosferskih pogojev** (npr. O₂, vlaga),
- uporabo **UV-C osvetljevanja** za zmanjšanje mikrobiološke kontaminacije,
- **pametno regulacijo** temperature, prezračevanja in vlažnosti,
- **sledljivost in analizabilnost** podatkov v realnem času.

S tem postane komora **eksperimentalni poligon za razvoj tehnologij podaljševanja obstojnosti živil**, hkrati pa tudi **didaktično orodje** in osnova za industrijske rešitve prihodnosti. Prispeva k zmanjšanju odpadne hrane, boljši kakovosti izdelkov in optimizaciji skladiščnih praks.

2.1 Namen in možnosti uporabe

Napredna komora, razvita v okviru projekta FRESH@FOOD, je tehnološko dovršen in modularen sistem, zasnovan za izvajanje nadzorovanih poskusov, testiranje skladiščnih režimov ter razvoj napovednih modelov za podaljševanje obstojnosti živil. Zaradi svoje prilagodljivosti in integrirane senzorike omogoča uporabo v raziskovalne, razvojne in aplikativne namene – tako na raziskovalnih ustanovah kot v agroživilskem sektorju.

2.1.1 Eksperimentalna raba v nadzorovanem okolju

Komora omogoča simulacijo širokega spektra mikroklimatskih pogojev, pri čemer uporabnik preko spletnega vmesnika nadzoruje:

- **temperaturo** (0–35 °C),
- **relativno vlažnost** (30–95 % RH),
- **koncentracijo plinov** (CO₂, O₂, H₂),
- **svetlobne pogoje** (klasična LED osvetlitev in UV-C žarnice),
- **zračni pretok in stopnjo prezračevanja**.

Ključna eksperimentalna funkcionalnost komore je uporaba UV-C svetlobe (valovna dolžina 254 nm) za zmanjševanje mikrobioloških obremenitev na površini živil. Komora vključuje dve UV-C žarnici, katerih vklop je možno časovno natančno nastaviti. UV-C svetloba deluje kot **neinvaziven dezinfekcijski ukrep**, ki:

- zavira **rast plesni**,
- zmanjšuje število bakterij in gliv,
- podaljšuje **rok uporabnosti občutljivih pridelkov**, kot so maline, jagode, solata.

Sistem omogoča nastavljanje trajanja in pogostosti UV-C osvetljevanja za vsak eksperiment posebej, kar omogoča primerjalne študije učinkovitosti različnih režimov. V kombinaciji z drugimi parametri (temperatura, vlaga, O₂) se lahko simulirajo kompleksni skladiščni scenariji.

Posebno funkcionalnost predstavlja tudi **izpodrivanje kisika z dušikom (N₂)**, kar omogoča simulacijo **nadzorovane atmosfere (CA)**. S tem se zmanjšujejo oksidativni procesi in dodatno zavira rast mikroorganizmov.

2.1.2 Podatkovna podpora za razvoj AI modelov

Komora je zasnovana kot digitalni sistem, ki omogoča **stalno in strukturirano beleženje podatkov**. Vsi podatki (mikroklima, statusi aktuatorjev, slike) se zbirajo lokalno in varnostno kopirajo. Zbirajo se:

- vrednosti iz temperaturnih, plinskih in vlažnostnih senzorjev,
- podatki o časovnih aktivacijah UV-C žarnic, ventilacije, vlažilnika, ipd.,
- slike živil, zajete s kamero in osvetljene z LED obročem.

S tem sistemom se ustvarja **bogata podatkovna zbirka**, ki je temelj za:

- **trening in validacijo napovednih modelov** (regresija, nevronske mreže, LSTM),
- **analizo vplivov UV-C osvetljevanja in mikroklima** na pojav plesni in izgubo kakovosti,
- **razvoj prilagodljivih algoritmov odločanja** za optimalno upravljanje skladiščenja.

Komora tako deluje kot **podatkovna platforma**, ki podpira prehod iz klasičnega upravljanja kakovosti v **napovedovalno in samodejno odločanje z umetno inteligenco**.

2.1.3 Prilagodljivost za različne vrste živil

Komora je prilagodljiva in omogoča obravnavo različnih pridelkov in embalažnih konfiguracij. Primerna je za:

- **testiranje sadja in zelenjave** z različno občutljivostjo na svetlobo in mikroklimo (maline, solata, paradižnik, jabolka),
- **testiranje embalaže**, kot so perforirane vrečke, plastične posode, ali MAP embalaža,
- **simulacijo logističnih transportnih pogojev**, vključno z zamiki v hlajenju ali kratkotrajnimi UV-C osvetlitvami.

Sistem omogoča:

- **hitro menjavo nastavitev** in fleksibilno preklapljanje med eksperimentnimi scenariji,
- dodajanje novih senzorjev ali aktuatorjev glede na eksperimentalne potrebe,
- vizualno spremljanje razvoja stanja na živilih.

Komora je tako primerna tako za **raziskovalce**, ki preučujejo fizikalno-biološke vplive na obstojnost, kot tudi za živilsko industrijo, ki išče optimizirane postopke ohranjanja kakovosti z uporabo UV-C svetlobe in digitalnega nadzora.



2.2 Strojna oprema in konstrukcija

Napredna komora FRESH@FOOD je zasnovana tako, da združuje robustnost, prenosljivost in integracijo pametnih tehnologij. Njena tehnična zasnova temelji na praktičnih zahtevah uporabe na kmetiji, v laboratoriju ali pri razvoju novih tehnologij za podaljševanje obstojnosti pridelkov.

2.2.1 Konstrukcija komore

Zunanje mere: približno 160 cm (širina) × 200 cm (dolžina), višina prilagojena standardnim prikolicam

Notranji volumen: primeren za dve EUR paleti ali eksperimente z manjšimi serijami pridelkov

Materiali: sendvič plošče debeline 80 mm z visoko izolativnostjo

Vrata: hladilniška vrata z magnetnim tesnilom

Podnožje: jeklen okvir, prilagojen za prestavljanje z viličarjem (priporočene daljše vilice)

Zasnova: modularna in sestavljiva, prilagodljiva nadaljnjim nadgradnjam



Slika 3: CAD model FRESH@FOOD komore

2.2.2 Senzorji in aktuatorji

Za delovanje napredne komore je ključno pravilno umeščanje in integracija senzorjev in aktuatorjev. Ta poglavje opisuje priporočeno razporeditev, tipologijo in funkcionalno vlogo posameznih komponent, potrebnih za zagotavljanje nadzora nad mikroklimo, osvetlitvijo, plini in vizualnim nadzorom v komori.

Senzorske enote

Senzorji so razdeljeni v funkcionalne sklope glede na lokacijo in namen:

- Enota A – Zgornji del notranjosti komore
- Enota B – Spodnji del notranjosti komore
- Enota C – Zunanost komore
- Enota D – Kamera za vizualni zajem
- Enota E – Senzor na vratih (kontaktni senzor)

Aktuatorске enote

Aktuatorji so razdeljeni glede na funkcijo v komori:

- Hlajenje (zunanja in notranja enota)
- Dovod plina (N_2)
- LED osvetlitev
- UV-C osvetlitev
- Prezračevanje komore
- Vlaženje zraka
- Kamera z LED osvetlitvijo

Tehnična izvedba senzorskega sistema

Zgornja enota v notranjosti komore (Enota A)

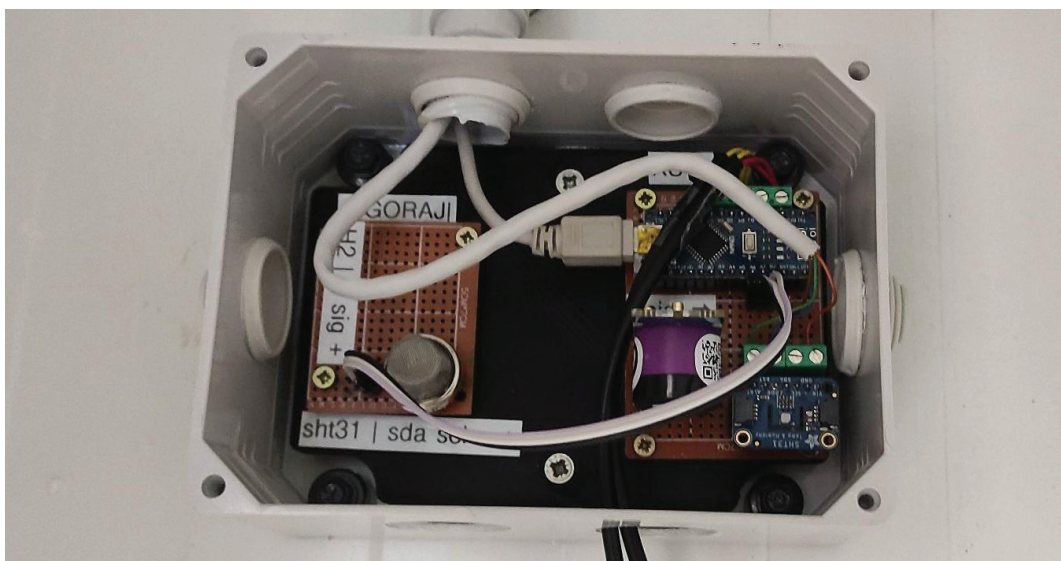
To enoto sestavljajo naslednje komponente:

- Senzor **temperature in relativne vlažnosti** (SHT31)
- Senzor **vodika** (MQ-8)
- Senzor **kisika** (GROVE – Gas Sensor O_2)
- Dva temperaturna senzorja **DS18B20**:
 - en na hladilnih rebrih notranje enote
 - en nameščen izven doze (za referenco)



Slika 4: Komponente zgornje senzorske enote v notranjosti komore (ENOTA A)

Vsi senzorji so nameščeni na nosilno **3D-tiskano osnovno ploščo**, ki je pritrjena v namensko dozo. Za pretvorbo analognih signalov in komunikacijo z glavnim krmilnikom se uporablja **Arduino Nano**, medtem ko je SHT31 povezan neposredno na **Raspberry Pi 4** preko I2C.



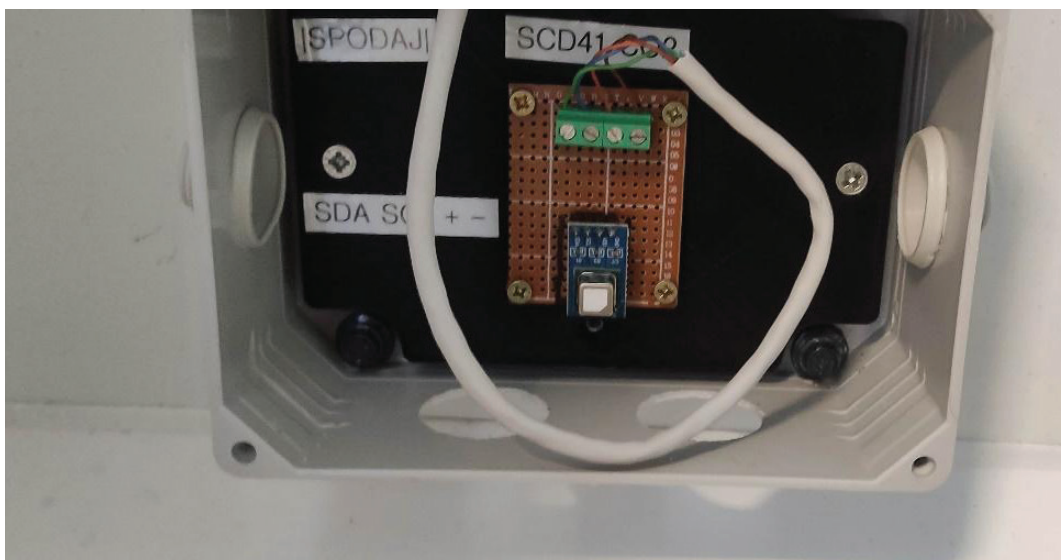
Slika 5: Zgornja enota v notranjosti komore (Enota A)

Spodnja enota v notranjosti komore (Enota B)

Ta enota vključuje en senzor:

- Kombinirani senzor za **temperaturo, vlago in CO₂** (SCD41)

Tudi ta enota je nameščena v dozo z 3D-tiskano ohišje in vezjem.



Slika 6: Komponente spodnje senzorske enote v notranjosti komore (ENOTA B)

Zunanja enota je pritrjena na dozo, v kateri se nahaja glavni krmilnik. Vsebuje:
Senzor **temperature in relativne vlažnosti** (SHT31), nameščen v 3D-tiskano ohišje



Slika 7: Zunanja senzorska enota (Enota C)

Kamera **Logitech C920 HD Pro** je nameščena na premično stojalo. Vključuje **LED obroč**, ki se aktivira samo med zajemom slike.



Slika 8: Optični senzor in sistem osvetlitve nameščen v notranjosti komore

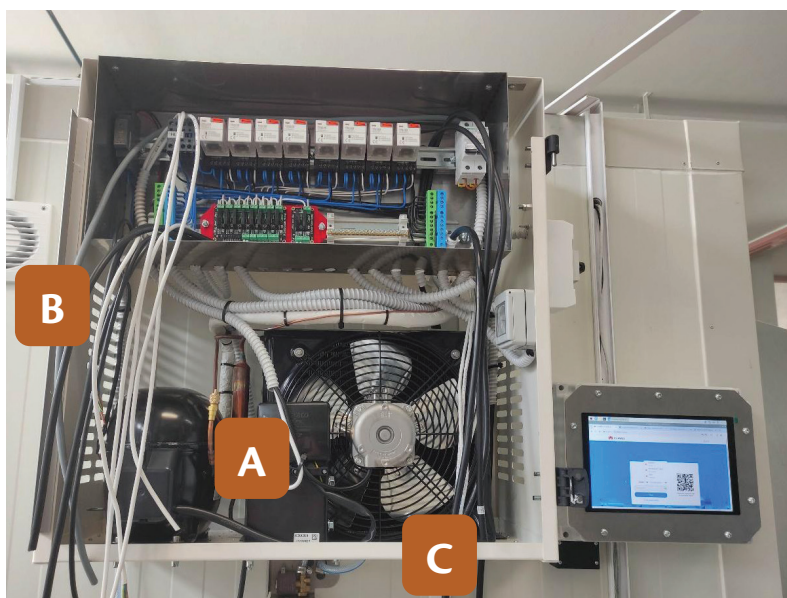
Tehnična izvedba aktuatorskega sistema

Aktuatorski sistem v napredni komori FRESH@FOOD omogoča aktivno uravnavanje mikroklimatskih pogojev, osvetlitve, atmosfere in vizualnega zajema. Vsak aktuator je krmiljen z uporabo **SSR relejev ali klasičnih elektromehanskih relejev**, ki jih upravlja glavni krmilnik (Raspberry Pi) preko digitalnih izhodov.

Tabela 1: Pregled aktuatorskih enot in njihovih funkcij

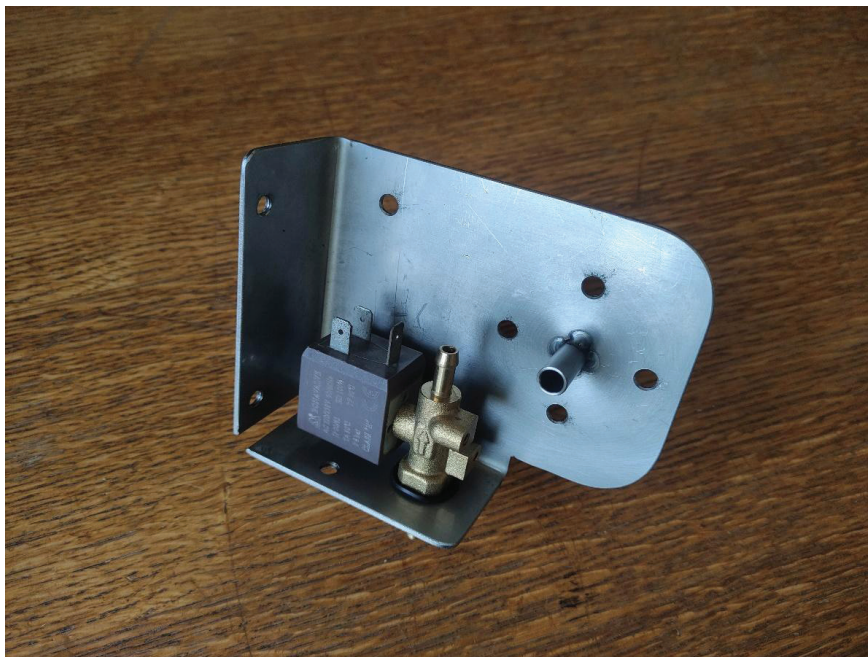
Aktuatorska enota	Sestavni deli	Funkcija
Hlajenje – zunanja enota	Kompresor	Zniževanje temperature v komori
Hlajenje – notranja enota	Ventilator, grelec za odmrzovanje	Kroženje zraka in odstranitev kondenza z reber
Dovod plina (N ₂)	Elektromehanski ventil	Zmanjšanje koncentracije O ₂ , simulacija kontrolirane atmosfere
LED osvetlitev	Notranja LED svetilka	Osnovna vidna osvetlitev komore
UV-C osvetlitev	2 × UV-C svetilki	Mikrobiološka dezinfekcija površin, zaviranje rasti plesni
Prezračevanje	2 × ventilator z nepovratno loputo	Zamenjava zraka v komori
Vlaženje	Vlažilnik zraka	Dvig relativne zračne vlažnosti
Osvetlitev kamere	LED obroč okrog kamere	Osvetlitev za zajem kakovostnih slik izdelkov

Na sliki 8 je viden kompresor in ventilator zunanje enote hladilnega sistema. Na levi strani slike je viden tudi ventilator za prezračevanje v komori. Pod hladilno enoto je viden ventil za dovod plina.



*Slika 9: (a) Kompresor in ventilator zunanje hladilne enote, (b) Ventilator za prezračevanje komore
(c) Elektromagnetni ventil za dovod dušika v komoro*

Enota za dovod plina (Slika 8) zajema po meri narejen nosilec jeklenke, regulator plina in sam ventil za dovod plina, ki ima narejen nosilec iz nerjaveče pločevine in 3D printan pokrov. Vidno na sliki spodaj.



Slika 10: Enota za dovajanje dušika v komoro

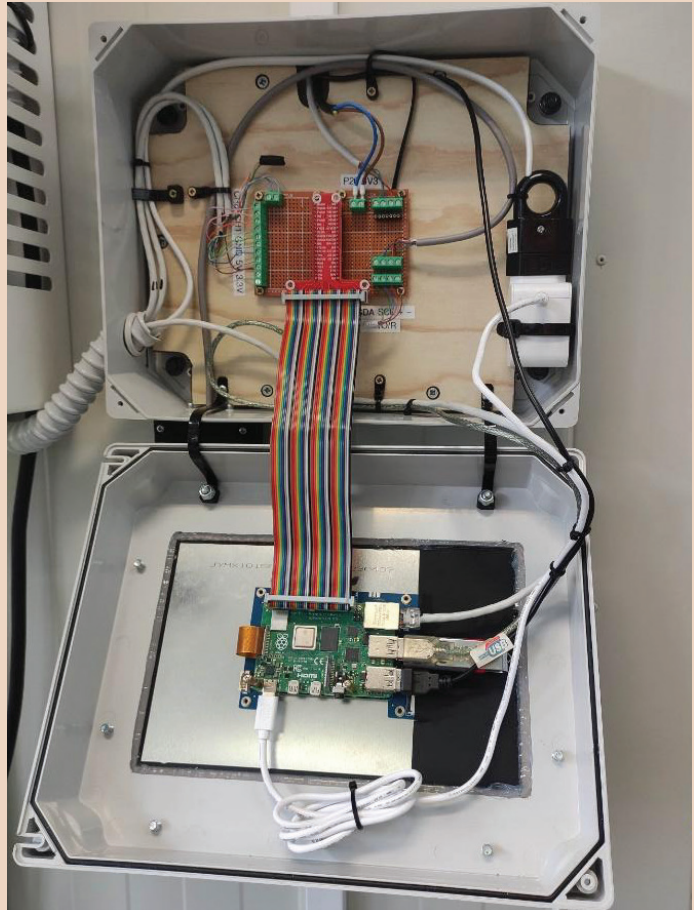


V notranjosti komore se nahajajo LED osvetlitev notranjosti, UV-C luči, notranja enota hladilnega sistema in vlažilnik spodaj, kar je prikazano na sliki 10. Vidimo tudi, da je odvod kondenza speljan v vlažilnik zraka. Vse vidno na sliki spodaj.

Slika 11: Notranjost komore: LED osvetlitev notranjosti, UV-C luči, notranja enota hladilnega sistema in vlažilnik zraka.

2.2.3 Krmilni sistem

Za celovit nadzor nad senzorji, aktuatorji in komunikacijo z uporabnikom sistem uporablja **dvostopenjski krmilni sistem**, ki vključuje pomožni krmilnik (*Arduino Nano*) in **glavni krmilnik** (*Raspberry Pi 4*). Oba sta povezana preko serijske komunikacije, pri čemer glavni krmilnik prevzema vlogo osrednjega procesnega in komunikacijskega središča.



Slika 12: Krmilni sistem

V zgornji senzorski enoti komore je nameščen **pomožni krmilnik Arduino Nano**, ki je zadolžen za:

- zajem podatkov s senzorjev, ki niso neposredno kompatibilni z Raspberry Pi (npr. analogni senzorji, serijski moduli),
- pretvorbo signalov v digitalno obliko,
- pošiljanje podatkov na glavni krmilnik preko serijskega vmesnika (COM port).

Ta razbremeni glavni sistem, hkrati pa omogoča modularno širitev sistema v prihodnje.

Raspberry Pi 4 predstavlja srce celotnega sistema in opravlja naslednje funkcije:

- krmiljenje vseh aktuatorjev (prek GPIO izhodov),
- neposredno branje podatkov s kompatibilnih digitalnih senzorjev (prek I²C in GPIO vhodov),
- zagon spletne aplikacije in grafičnega vmesnika (Flask + Bootstrap),
- lokalno in oddaljeno shranjevanje podatkov,
- avtomatizacija procesov (protokolarno krmiljenje, regulacija temperature, osvetljevanja itd.).

Raspberry Pi 4 je vgrajen v namensko **industrijsko dozo**, katere sprednja stran je izdelana iz **nerjaveče pločevine**, vanjo pa je vgrajen:

- **10.1-palčni LCD zaslon**, občutljiv na dotik (Touchscreen),
- **USB, HDMI in napajalni priklopi**, dostopni z zadnje strani,
- **zračne reže** za hlajenje,
- **pritrtilna mesta** za varno montažo na steno ali stojalo.

Tabela 3: Priporočen seznam komponent za izgradnjo krmilnega modula

Komponenta	Priporočeni model / opomba
Glavni krmilnik	Raspberry Pi 4 (4GB ali 8GB)
Zaslon	10.1" HDMI LCD touchscreen (ločljivost min. 1280×800)
Pomožni krmilnik	Arduino Nano (klon z CH340 čipom je cenovno ugoden)
Napajalnik	5V 4A (stabiliziran, z industrijsko zaščito)
Vmesniško vezje (PCB)	Po meri načrtovano tiskano vezje z GPIO povezavo (40 pin)
Povezovalni kabel	GPIO flat kabel (40-pin female–female)
Vijačne sponke	2.54 mm ali 3.5 mm (za enostavno priključevanje senzorjev)
Ohišje za krmilnik	Plastično ali kovinsko, z režami za zračenje
Razdelilne vrste	Za ločevanje napajalnih in signalnih poti
Napajalni kabli in USB kabel	USB-A ↔ microUSB (za napajanje), USB-A ↔ USB-B (Arduino)
Programska orodja	Raspbian OS, Python, Flask, PlatformIO (Arduino IDE)

2.2.4 Povezava senzorjev in aktuatorjev s krmilnim sistemom

Za varno in pregledno povezavo med Raspberry Pi in perifernimi napravami je bil razvit **po meri izdelan tiskan vezni modul** (interface PCB), ki omogoča:

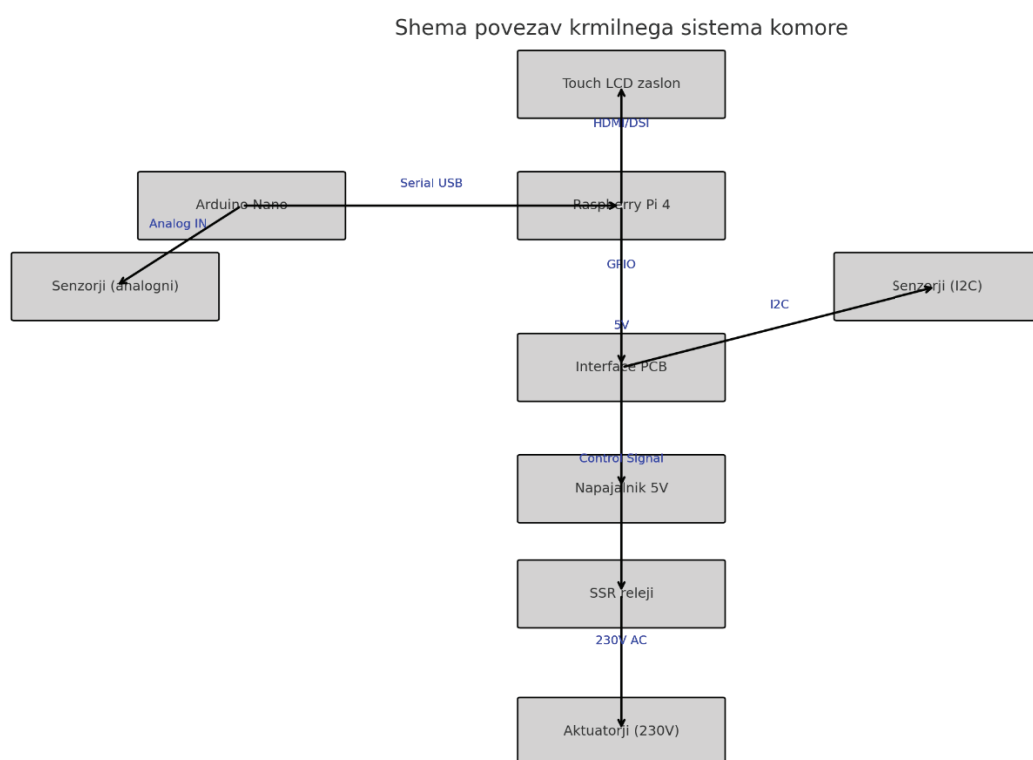
- prikllop vseh senzorjev in aktuatorjev preko **vijačnih sponk** (s ponovljivim označevanjem),
- ločevanje napajalnih in signalnih poti,
- vključitev potrebnih **napetostnih delilnikov, pull-up upornikov, varovalnih diod**, ipd.,
- povezavo s Pi-jem preko **ploščatega kabla (GPIO header)**.

Napajanje sistema poteka prek stabiliziranega **5V napajalnika**, ki se nahaja v istem ohišju. Napaja Raspberry Pi, interface vezje in manjše senzorje.

Tabela 2: Pregled komunikacijskih povezav med komponentami krmilnega sistema

Komponenta	Prikllop na	Način komunikacije
Senzor SHT31	Raspberry Pi	I ² C
Senzor MQ-8, O ₂	Arduino Nano	Analogni vhodi
Kamera	Raspberry Pi (USB)	Video streaming
Aktuatorji	SSR releji → vmesni releji	GPIO izhodi
LCD zaslon	Raspberry Pi (DSI/HDMI)	Zaslon in dotik
Arduino Nano	Raspberry Pi	USB / Serijska povezava

Priporočilo: Vsi priključki na vmesniškem vezju naj bodo **označeni z nalepkami ali barvnimi oznakami** za lažje vzdrževanje in diagnostiko.



Slika 13: Shema povezav krmilnega sistema komore

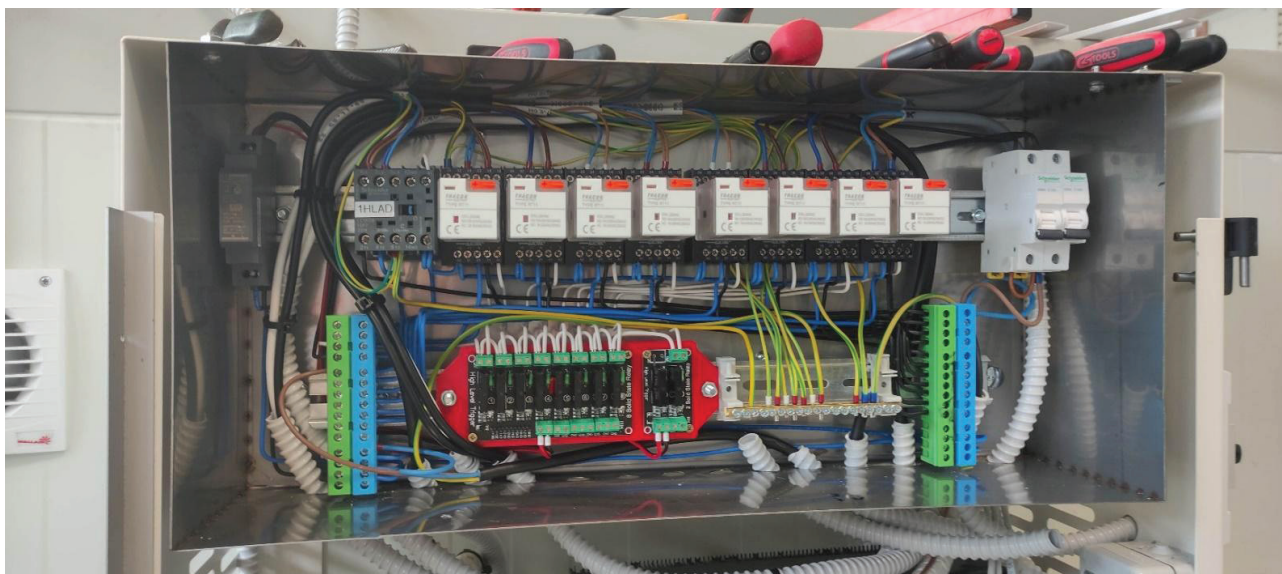
Za zanesljivo in varno upravljanje aktuatorjev v komori je poleg krmilnika potreben tudi **ločeni močnostni sklop** – t. i. **močnostna omarica**, ki vsebuje vse releje, varovalke in zbiranke za napajanje 230 V porabnikov.

Raspberry Pi 4 oddaja digitalne izhodne signale na ravni 3,3 VDC, kar zadošča za aktivacijo **SSR (solid-state) relejev**. Ti releji pa niso primerni za neposredno krmiljenje močnejših porabnikov. Zato je sistem zasnovan tako, da:

Raspberry Pi upravlja SSR releje

SSR releji vklopijo elektromehanske močnostne releje, ki krmilijo porabnike do **10 A / 230 VAC**

Ta dvostopenjski sistem zagotavlja galvansko ločitev med krmilnim in močnostnim delom ter izboljša varnost in stabilnost delovanja.



Slika 14: Vsebina močnostne omarice

Zgornji del omarice (gledano z leve proti desni) vključuje:

1. **Napajalnik 5 VDC** – za napajanje SSR relejev
2. **Kontaktor** – za vklop kompresorja in ventilatorja zunanje hladilne enote
3. **Osem elektromehanskih relejev**, zaporedno priključenih na:
 - ventilator notranje enote,
 - elektromehanski ventil za dušik,
 - LED osvetlitev notranjosti,
 - UV-C osvetlitev,
 - dva ventilatorja za prezračevanje,
 - vlažilnik (prek notranje vtičnice),
 - LED osvetlitev kamere (prek notranje vtičnice),
 - grelec za odmrzovanje reber hladilnega sistema
4. **Varovalke:**
 - ena za krmilno vezje (SSR releji, senzorji, modem),
 - ena za močnostni del (aktuatorji, releji, kontaktorji)

Spodnji del omarice vsebuje:

- **Zbiralki L in N** za napajanje krmilnega dela (vezani na ustrezno varovalko)
- **Vrstico SSR relejev**, ki premoščajo signale iz Raspberry Pi na močnostne releje
- **Zbiralko PN** (za zaščitni vodnik – ozemljitev)
- **Zbiralki L in N** za napajanje akuatorskega dela (prav tako preko varovalke)

Močnostna omarica je s krmilnim sistemom povezana tako, da:

- **SSR releji** prejmejo signal iz Raspberry Pi (GPIO izhodi),
- vsak **SSR rele aktivira pripadajoči močnostni rele**,
- napetost 230 V AC za aktuatorje je ločena in zaščitena s svojimi varovalkami,
- vsa ožičenja potekajo preko industrijskih vijačnih sponk ali DIN-letev.

Aktuatorji so priključeni preko **močnostne omarice**, ki vključuje:

- **SSR (Solid-State) releje**, ki jih neposredno aktivira Raspberry Pi z nizkonapetostnim signalom (3,3 VDC),
- **Elektromehanske releje**, ki omogočajo krmiljenje naprav z močjo do 10 A / 230 VAC,
- **Kontaktor** za vklop kompresorja hladilnega sistema,
- **Dve varovalki**: ena za krmilni del, druga za napajanje aktuatorjev.

2.3 Programska in strežniška arhitektura sistema

Programska in strežniška arhitektura predstavlja jedro digitalne zasnove komore in omogoča delovanje vseh njenih funkcionalnosti – od zajema podatkov s senzorjev do avtomatskega krmiljenja in spletnega dostopa. V tem poglavju so predstavljene ključne komponente programske opreme, podatkovne baze, struktura spletne aplikacije ter konfiguracija strežniških storitev za oddaljeno upravljanje.

Celotna struktura projekta, vključno s programsko kodo in mapami, je dostopna v javnem repozitoriju na naslednji povezavi: github.com/cognitive-sailor/komora

2.3.1. Umerjanje senzorjev in programski zajem podatkov

Za zanesljivo in natančno delovanje senzorjev je bilo potrebno zagotoviti tako fizično povezljivost kot tudi programsko podprto komunikacijo. Vsak izmed 13 senzorjev je bil opremljen z ustreznim Python paketom za komunikacijo s krmilnikom Raspberry Pi 4 oziroma pomožnim mikrokontrolerjem Arduino Nano V3.

- Senzorja **Adafruit SHT31D** in **SCD4x** delujeta preko protokola **I2C**.
- Senzorja za **H2** in **O2** sta priključena na **serijski (COM) vmesnik** prek Arduino Nano.
- **Kamera** je povezana na Raspberry Pi preko **USB**.
- Ostali senzorji so povezani preko **GPIO pinov**.

Vsi analogni senzorji podajajo napetostne vrednosti, zato je bilo potrebno izvesti **umerjanje** glede na dokumentacijo proizvajalcev. Razviti so bili **linearni in nelinearni modeli pretvorbe** električne napetosti v merjeno fizikalno veličino.

Za vsak senzor je bila v Pythonu razvita lastna funkcija, ki:

- vzpostavi povezavo s senzorjem,
- izvede meritve,
- shrani vrednosti v sistemsko spremenljivko in v datoteko.

Razvita glavna skripta za sinhronizirano branje vseh senzorjev »sensors_read.py« je prosto dostopna na: https://github.com/cognitive-sailor/komora/blob/master/komorasoft/scripts/sensors_read.py

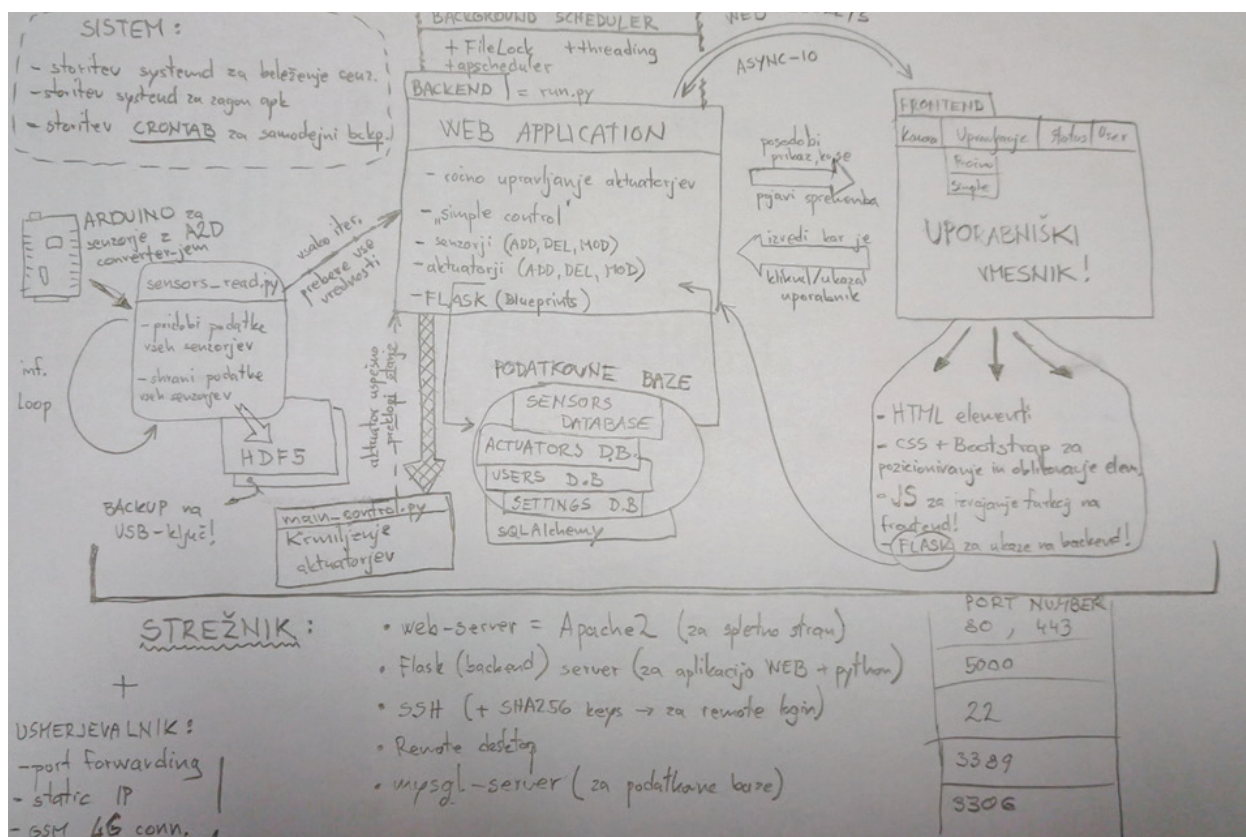
2.3.2 Shematski načrt programske arhitekture

Kot osnovo za programsko rešitev komore se uporablja spletna aplikacija, ki omogoča oddaljen dostop, sočasno uporabo več uporabnikov in neprekinjeno delovanje na lokalnem mikroprocesorskem sistemu.

Zaradi omejenih sistemskih virov na napravi Raspberry Pi 4 je izbrano ogrodje Flask (Python), ki omogoča hitro izvajanje, enostavno razširljivost in nizko porabo virov.

Priporočena arhitektura vključuje naslednje funkcionalne sklope:

- Zajem in shranjevanje podatkov s senzorjev
 - uporaba modulov za I²C, COM in GPIO senzorje
 - strukturirano shranjevanje v HDF5 ali podatkovno bazo
- Ročno in samodejno krmiljenje aktuatorjev
 - digitalno upravljanje preko GPIO izhodov in podatkovnih modelov
- Povezava z lokalno in spletno podatkovno bazo
 - uporaba SQLAlchemy ORM za povezavo z SQLite ali PostgreSQL bazo
- Grafični spletni vmesnik
 - izdelan v HTML/CSS/JS z uporabo Bootstrap ogrodja
 - omogoča upravljanje, spremljanje stanja in konfiguracijo sistema
- Dostop preko lokalnega omrežja (LAN) ali spleta (Internet)
 - vzpostavljen preko statičnega IP naslova in odprtih pristopnih točk (npr. port 5000)
- Vzporedno izvajanje meritev v ozadju
 - ločen sistemski proces s pomočjo systemd storitve, ki skrbi za nemoten zajem podatkov, neodvisno od delovanja spletne aplikacije



Slika 15: Shematski načrt celotne programske arhitekture

2.3.3 Podatkovne baze in upravljanje

Za učinkovito, pregledno in razširljivo delovanje digitalnega sistema je smiselno vse ključne entitete – senzorje, aktuatorje, uporabnike in protokole – shranjevati v ločene in ustrezno strukturirane podatkovne baze. Tako je omogočeno varno shranjevanje, nadzor nad sistemom, enostavna obnova nastavitvev ter uporaba zgodovinskih podatkov za analize in razvoj napovednih modelov.

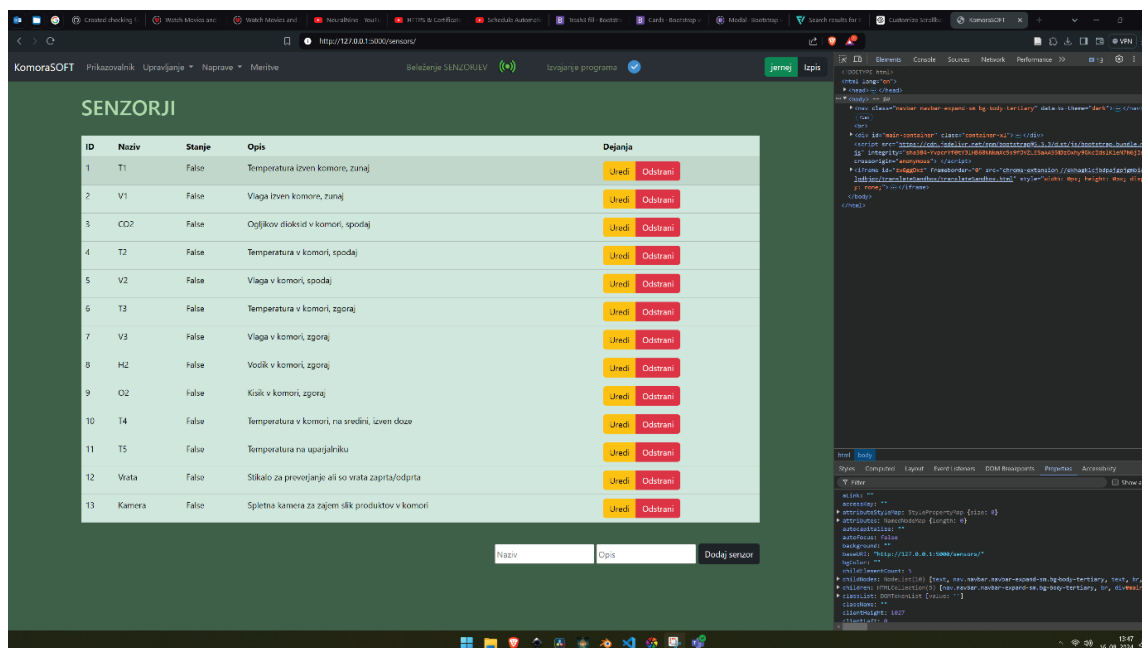
Priporočena zasnova

Sistem uporablja relacijski model podatkovne baze, vzpostavljen z uporabo ogrodja **SQLAlchemy** (ORM za Python), ki omogoča delo z bazami na deklarativen način, neodvisno od konkretnega strežnika (npr. SQLite, MySQL, PostgreSQL).

Osnovne podatkovne zbirke

Priporočamo organizacijo baze v sledeče module:

Modul	Opis in namen	Koda / povezava
actuators.db	Evidenca aktuatorjev: naziv, opis, stanje (ON/OFF), pripadajoči GPIO pin	Actuator model
sensors.db	Evidenca senzorjev: naziv, tip, enota, način branja, priključek	Sensor model
users.db	Seznam uporabnikov: uporabniško ime, geslo (šifrirano), vloga (npr. administrator, uporabnik)	Users model
settings.db	Nastavitve za protokol: trajanja in intervali za vklop posameznih aktuatorjev	Settings model
auto.db	Dodatne avtomatske logike in povezave med pogoji ter aktivnostjo naprav	Auto model



Slika 16: Primer podatkovne baze senzorji

Upravljanje s podatkovnimi bazami – dobre prakse:

1. Ločitev odgovornosti

Vsaka entiteta (senzor, aktuator, uporabnik, nastavitev) naj ima svojo tabelo. S tem dosežemo:

- boljšo preglednost,
- lažje vzdrževanje,
- lažjo nadgradnjo (dodajanje parametrov ali relacij).

2. Uporaba ORM namesto ročnih SQL poizvedb

ORM (SQLAlchemy) omogoča varnejše in bolj zanesljivo delo, še posebej:

- zaščito pred SQL injekcijami,
- jasno strukturo modelov,
- validacijo vnosov.

3. Samodejna inicializacija baze

Ob prvi zagonu aplikacije naj sistem samodejno:

- preveri obstojenost baze,
- po potrebi inicializira prazne baze in tabele (migracije),
- omogoči začetno nastavitev systemskega administratorja.

4. Redno varnostno kopiranje

Vključi cron opravila za redno kopiranje .db datotek ali izvoženih .sql zank:

- lokalno na sistemski disk,
- na zunanjo napravo (USB),
- opcijsko tudi v oblak (npr. Nextcloud, FTP, GDrive).

5. Revizijske sledi

Za vsako spremembo podatkov (posebej pri aktuatorjih in protokolih) je priporočljivo:

- beleženje datuma spremembe,
- uporabnika, ki je izvedel spremembo,
- prejšnje in nove vrednosti (revizijski dnevnik).

2.3.4 Sistem za ročno upravljanje z aktuatorji

Za fleksibilno testiranje in neposredno upravljanje komore je v sistem vključen ročni način delovanja, ki omogoča individualno vklapljanje in izklapljanje vsakega aktuatorja. Takšen način upravljanja je uporaben predvsem v fazi eksperimentiranja, odpravljanja napak ali kalibracije posameznih komponent.

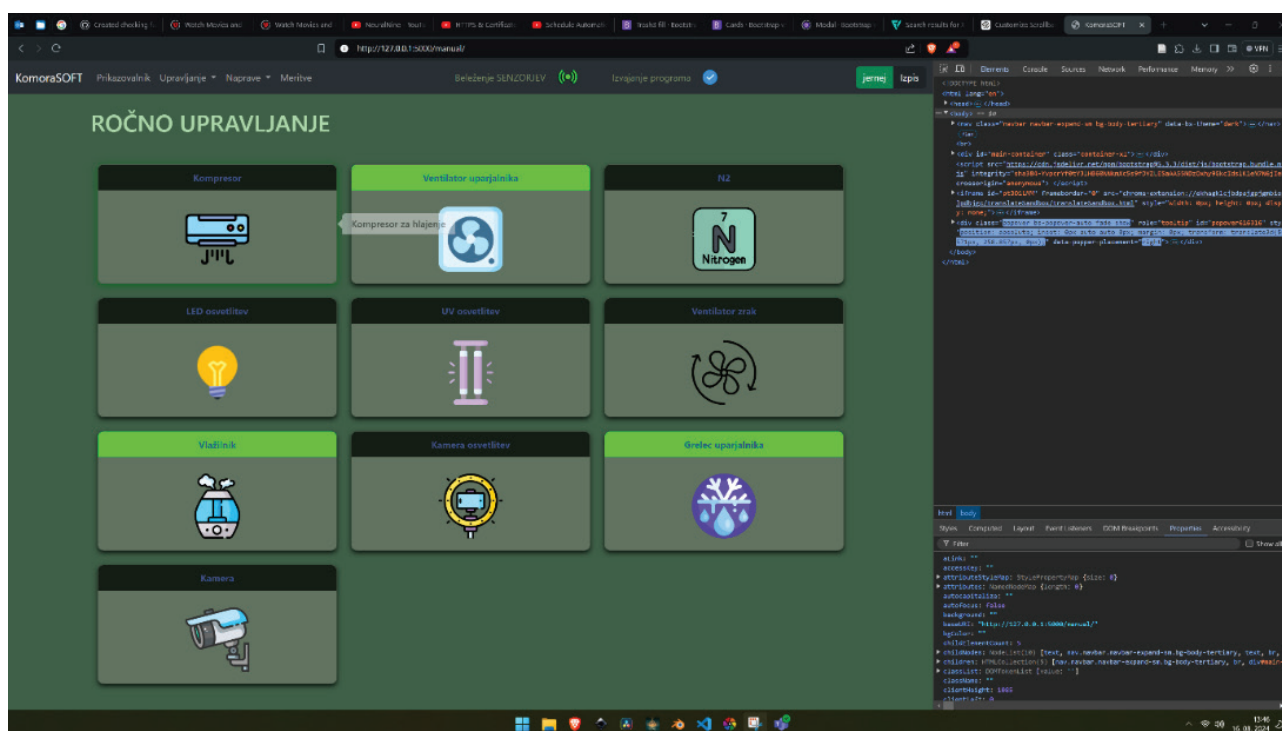
Ročni način omogoča uporabniku nadzor nad naslednjimi elementi sistema:

Aktuator	Funkcija
Kompresor za hlajenje	Znižuje temperaturo v komori
Ventilator na uparjalniku	Kroženje zraka znotraj komore
Ventil za dovod dušika (N ₂)	Znižuje koncentracijo kisika v komori
LED osvetlitev notranjosti	Omogoča klasično osvetlitev prostora
UV-C osvetlitev	Dezinficira površine in zavira rast mikroorganizmov
Prezračevalni ventilatorji	Omogočajo izmenjavo zraka z okolico
Vlažilnik	Dviguje relativno vlažnost zraka
Osvetlitev za kamero (LED obroč)	Izboljša kakovost slike med zajemom
Kamera	Aktivira zajem slike
Grelec na uparjalniku	Odstranjuje led z reber hladilnega sistema

Ročno upravljanje je omogočeno prek zavihka »Ročno upravljanje« v grafičnem vmesniku. Prikazani so vsi aktuatorji z gumbi za vklop/izklop ter trenutnim stanjem.

Vsaka sprememba stanja aktuatorja se nemudoma:

- zabeleži v podatkovno bazo actuators.db,
- sinhronizira z uporabniškim vmesnikom (posodobitev gumba ali ikone).



Slika 17: Uporabniški vmesnik programskega modula za ročno upravljanja komore

2.3.5 Krmiljenje komore po protokolu

Za ponovljivo, nadzorovano in natančno izvajanje eksperimentov v komori je priporočljivo uporabiti **način krmiljenja po protokolu**, ki omogoča samodejni vklop in izklop posameznih aktuatorjev na podlagi predhodno nastavljenih časovnih parametrov.

Ta način upravljanja bistveno zmanjšuje potrebo po neposredni prisotnosti uporabnika in zagotavlja doslednost med ponovitvami eksperimentov.

Koncept delovanja:

Vsak aktuator ima lahko določen svoj časovni vzorec vklopa, ki je sestavljen iz dveh parametrov:

1. INTERVAL vklopa – kako pogosto naj se aktuator vklopi:

- Dnevi (npr. vsak 1., 2., 3. dan),
- Ure (npr. vsake 4 ure),
- Minute (npr. vsakih 30 minut),
- Sekunde (npr. vsakih 15 s).

2. TRAJANJE delovanja – kako dolgo naj bo aktuator vklopljen:

- Ure,
- Minute,
- Sekunde.

Uporabnik konfigurira časovne nastavitve za vsak aktuator prek grafičnega vmesnika (zavihek “Enostavno upravljanje”). Vsaka nastavev vključuje:

- naslov (ime nastavitve),
- opis (pojasnilo uporabe),
- temperaturni cilj (če je vključen tudi temperaturni nadzor),
- napredne možnosti (če so zahtevane ločene nastavitve za vsak aktuator).

Po vnosu uporabnik klikne na “**Shrani**”, s čimer se podatki shranijo v podatkovno bazo nastavitvev.

Možnosti uporabnika:

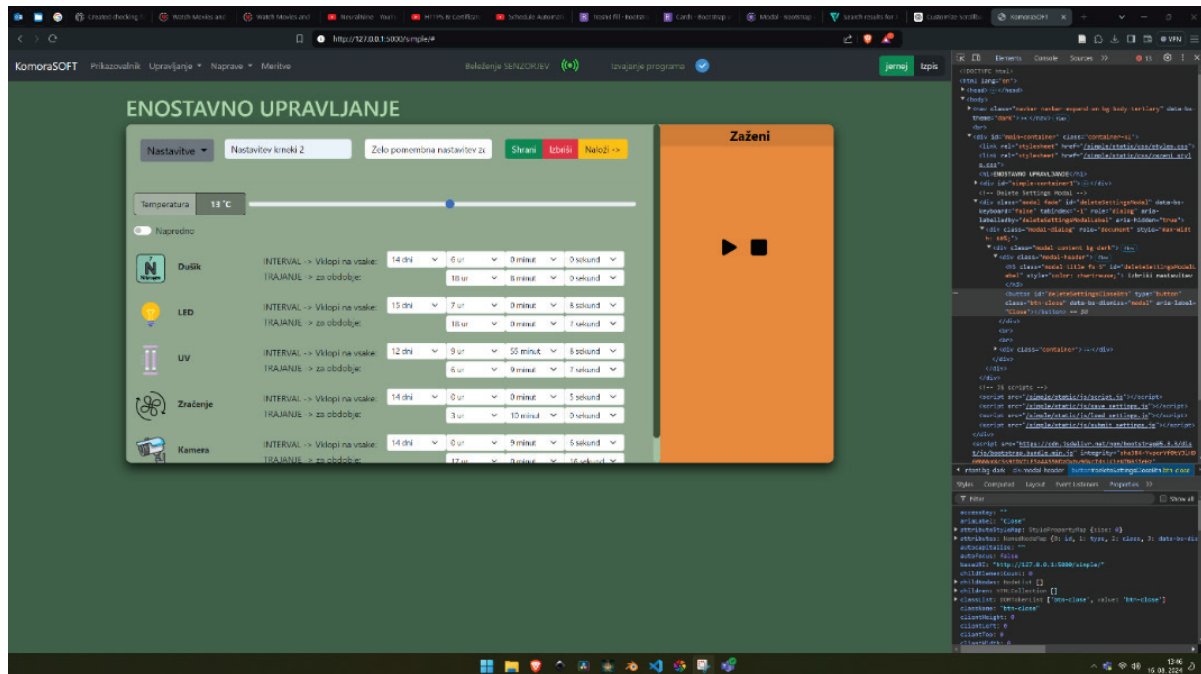
- **Ustvarjanje** nove nastavitve,
- **Urejanje** obstoječih nastavitvev,
- **Brisanje** neželenih nastavitvev,
- **Ponovno nalaganje** shranjene nastavitve,
- **Zagon** izvajanja z gumbom “**Start**”,
- **Zaustavitev** izvajanja z gumbom “**Stop**”.

Med izvajanjem protokola se onemogoči ročno upravljanje, s čimer se prepreči nepredvideno spreminjanje stanja naprav.

Vizualna povratna informacija:

V zgornji menijski vrstici je vedno prikazano, ali je sistem v **protokolskem** ali **ročnem načinu**,

V zavihku »Aktuatorji« je možno v realnem času spremljati stanje vseh naprav.



Slika 18: Uporabniški vmesnik programskega modula za načrtovanje protokola eksperimenta

Za podporo delovanju sistema je v Flask aplikaciji razvit poseben **Blueprint modul simple**, ki vključuje:

- model Settings za osnovne podatke o protokolu,
- model ActuatorSetting za časovne nastavitve posameznih aktuatorjev,
- logiko preverjanja, ali so nastavitve skladne (npr. trajanje < interval),
- funkcije za aktivacijo, deaktivacijo in spremljanje izvajanja.

Celotna razvita programska koda modula je prosto dostopna na:

<https://github.com/cognitive-sailor/komora/tree/master/komorasoft/blueprints/simple>

2.3.6 Front-end: grafični vmesnik v HTML, CSS in Bootstrap

Spletna aplikacija komore vključuje pregleden in odziven grafični vmesnik, ki je dostopen prek običajnega spletnega brskalnika. Vmesnik predstavlja glavno točko interakcije med uporabnikom in funkcijami sistema ter omogoča nadzor, spremljanje in konfiguracijo delovanja komore.

Osnovna struktura vmesnika

Grafični vmesnik je zgrajen s pomočjo naslednjih spletnih tehnologij:

- **HTML5** – za definiranje osnovnih elementov (struktura),
- **CSS (vključno s Bootstrap)** – za postavitev, izgled in prilagodljivost elementov,
- **JavaScript** – za ustvarjanje dinamičnih in interaktivnih komponent.

Uporabljeni elementi vmesnika vključujejo:

- panele za prikaz modulov,
- gumbe za interakcijo (vklop, izklop, shrani, start/stop),
- tabele za pregled senzorjev in aktuatorjev,
- modalna okna (za potrditve, urejanje),
- statusno vrstico z menijem in spustnimi meniji,
- ikone za prikaz stanja,
- tekstovna in numerična vnosna polja,
- obrazce (forms) za upravljanje podatkov.

Za postavitev elementov je uporabljen **Bootstrap**, ki omogoča prilagodljiv dizajn in hitro postavitev modulov. Stilne datoteke so vključene v mapi `/static/css/styles.css`.

◇ CSS datoteka

Interaktivni elementi in podatkovna povezava

Dinamika spletne aplikacije temelji na JavaScript funkcijah, ki izvajajo:

- poizvedbe na podatkovne baze,
- kreiranje ali odstranjevanje elementov glede na vsebino baze,
- sprotno osveževanje elementov (npr. stanja aktuatorjev).

JavaScript funkcije so modularno organizirane v mapi `/static/js`, ločeno po funkcionalnih sklopih aplikacije.

◇ JS skripte

Strani spletne aplikacije

Vsaka funkcionalnost aplikacije je predstavljena z ločeno spletno stranjo:

Modul	Opis funkcionalnosti
Aktuatorji	Upravljanje naprav, stanje ON/OFF, dodajanje, brisanje
Senzorji	Konfiguracija senzorjev, kalibracije, opis, dodajanje
Ročno upravljanje	Neposredno vklop/izklop naprav
Enostavno upravljanje	Definiranje avtomatskih protokolov in časovnih zaporedij
Uporabniki	Upravljanje uporabniških računov in njihovih pravic

2.3.7 Back-end: razvoj spletne aplikacije z Flask in Python

Jedro sistema je zgrajeno na ogrodju **Flask** (Python), ki omogoča modularno, odzivno in razširljivo spletno aplikacijo.

Arhitektura in organizacija

Back-end aplikacije temelji na t.i. **Blueprint** strukturi, kjer je vsaka funkcionalna skupina organizirana kot samostojen modul. S tem je doseženo:

- večja preglednost kode,
- lažje vzdrževanje,
- možnost neodvisnega testiranja posameznih delov.

Moduli vključujejo:

Modul	Opis
actuators	Krmiljenje in nadzor nad fizičnimi aktuatorji
sensors	Branje senzorjev in dostop do meritev
manual	Podpora za ročno upravljanje
auto	Dodatna avtomatska pravila in pogoji
simple	Glavni modul za enostavno/protokolarno krmiljenje
users	Upravljanje uporabnikov in preverjanje pristopa
core	Osnovne sistemske funkcije
automatic	Specifične funkcije za časovno nadzorovano delovanje

Vsak modul ima svojo **datoteko routes.py**, kjer so definirane ključne poti (endpointi) in funkcije, ki obdelujejo uporabniške zahteve, berejo ali zapisujejo v podatkovno bazo, izvajajo logiko nadzora itd.

Primer: logika modula simple

Modul simple je namenjen enostavnemu definiranju časovnih protokolov. Njegova funkcionalnost vključuje:

- preverjanje skladnosti trajanja in intervala,
- shranjevanje nastavitv v bazo,
- začetni zagon ali zaustavitev protokola,
- posodabljanje statusa aktuatorjev v realnem času.

Podrobna razvita programska koda vseh funkcij modula je na voljo v repozitoriju:

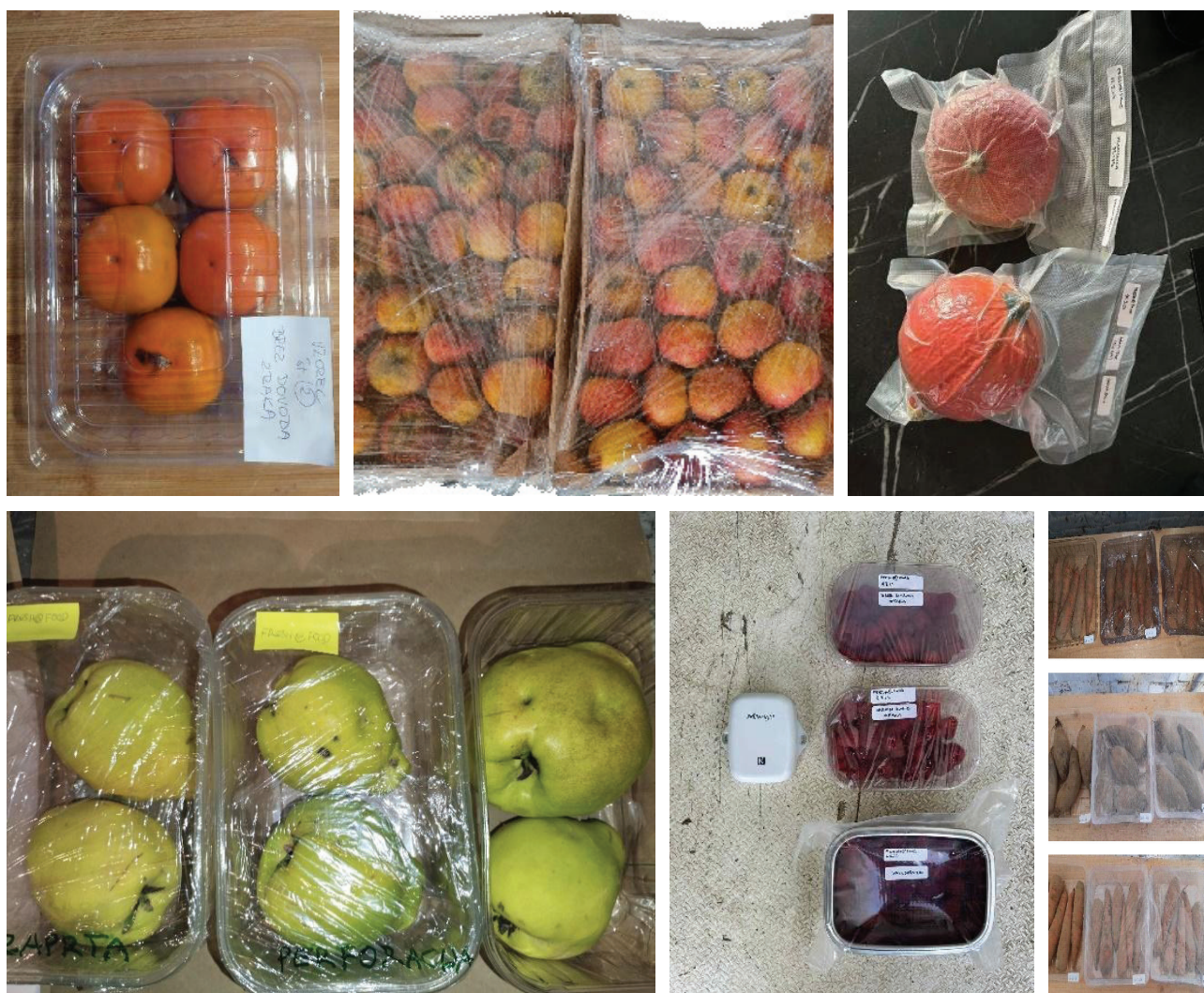
♦ **Simple Blueprint (Flask backend)**

3. ENOSTAVNE TEHNIKE ZA PODALJŠEVANJE OBSTOJNOSTI

V okviru projekta FRESH@FOOD so kmetije in partnerji izvedli praktične poskuse shranjevanja različnih vrst sadja in zelenjave z uporabo enostavnih, dostopnih in nizekotehnoloških metod. Glavni namen preizkusov je bil preveriti vpliv različnih načinov shranjevanja na pojav bolezni in obstojnost pridelkov v realnih pogojih na kmetijah.

V poskusih so se uporabljale naslednje metode:

- **Kontrola:** brez posebnih pogojev, kot običajno na kmetiji,
- **Folija:** živilo je zavito v klasično živilsko folijo,
- **Folija z odprtinami:** dodatne luknjice za delno zračenje,
- **Delni vakuum:** z uporabo ročnih vakuumskih črpalk ali vrečk z zadrgo in ventilom.



Slika 19: Prikaz testiranja enostavnih tehnik z namenom podaljševanja obstojnosti in svežine pridelkov

Vsaka kmetija je poskusno uporabila več metod na izbranih pridelkih in spremljala pojav najpogostejših bolezni (npr. siva plesen, gniloba, gobavost).

Dan	Datum	Vzorec št. 1 KONTROLA			Vzorec št. 2 FOLIJA			Vzorec št. 3 FOLIJA + ODPRTINE			Vzorec št. 4 BLAGI VAKUUM		
		Opis bolezni	0	1	2	Opis bolezni	0	1	2	Opis bolezni	0	1	2
1	15.9.2023		X				X				X		
2	16.9.2023		X				X				X		
3	17.9.2023	plesen		X			X				X		
4	18.9.2023			X		plesen		X		plesen, gniloba		X	
5	19.9.2023				X	gniloba		X				X	
6	20.9.2023								X			X	
7	21.9.2023												X
8	22.9.2023											X	
9	23.9.2023												X
10	24.9.2023												
11													

Slika 20: Vzorčen primer spremljanja pridelkov

Povzetek in priporočila

Poskusi so bili izvedeni v realnih pogojih in s poudarkom na dostopnih, nizkotehnoloških rešitvah, ki jih kmetje lahko preizkusijo brez večjih investicij. V ospredju je bilo spremljanje razvoja kvarnih bolezni, kot so gniloba in plesen, ter ugotavljanje, kako posamezne metode shranjevanja vplivajo na obstojnost različnih kultur.

Na podlagi zbranih rezultatov in opažanj je bila pripravljena naslednja shema:

	BREZ ZAVIJANJA	ZAVITO V FOLIJO	FOLIJA Z LUKNJICAMI	(DELNI) VAKUUM
				✓
	✓			
	✓			
	✓			
	✓			
		✓	✓	
		✓	✓	
		✓	✓	

Slika 21: Rezultati praktičnih preizkusov – enostavne tehnične rešitve

Na podlagi rezultatov prve sezone praktičnih poskusov izpostavljamo naslednje ugotovitve:

Metoda	Povprečna uspešnost	Učinkovitost glede na bolezen
Kontrola	zelo dobra	pogosto najboljša pri bučah, jabolkih, kutinah
Delni vakuum	zelo dobra	odlična rešitev za občutljive plodove, npr. maline
Folija z odprtinami	srednja	kompromis med zračenjem in zaščito
Folija (brez odprtin)	šibka	pogosto povzroča kondenzacijo in poslabšanje kakovosti

Ključno priporočilo:

Enostavne metode, kot je **kontrola brez posebnega ovijanja**, pogosto dosegajo boljše rezultate kot folija brez prezračevanja. **Delni vakuum** pa predstavlja potencial za podaljšanje obstojnosti občutljivih pridelkov, kot so maline.

Praktična priporočila za uporabo v kmetijski praksi

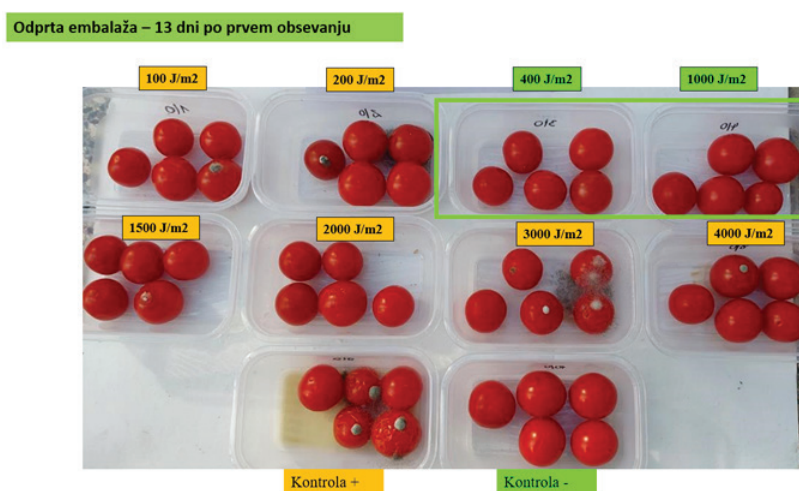
- **Ne uporabljajte klasične nepredušne folije za pridelke, ki so občutljivi na vlago**, kot so sadeži z mehko lupino (maline, kaki).
- **Folija z odprtinami lahko deluje kot začasna zaščita**, vendar je treba paziti na prezračevanje in razvoj plesni.
- **Delni vakuum** je primerna metoda za manjše količine občutljivega sadja, še posebej če je na voljo vakuumska oprema.
- **Metoda “brez vsega”** je pogosto najučinkovitejša pri trpežnejših pridelkih (buče, jabolka, kutine), če so shranjeni v zračnem in suhem prostoru.

4. REZULTATI LABORATORIJSKIH ANALI VPLIVA UV-C SVETLOBE NA SKLADIŠČENJE PRIDELKOV

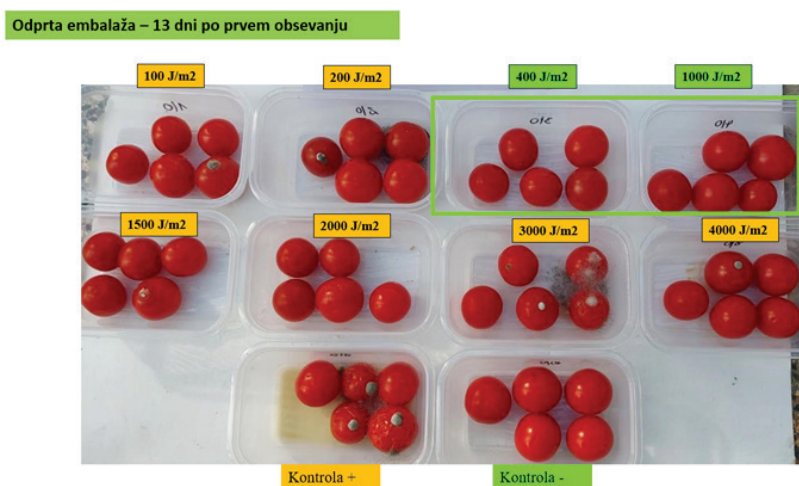
Raziskave kažejo, da UV-C obsevanje z svetlobo lahko negativno vpliva na razvoj mikroorganizmov na plodovih ter zavira proces zorenja in s tem podaljšuje obstojnost plodov. Tretiranje z UV-C svetlobo ima številne pozitivne učinke v procesih priprave živil, brez negativnih vplivov na samo živilo, tretiranje pa je enostavno za uporabo.

(1) Poskus preprečevanja sive plesni

V prvi fazi laboratorijskih poskusov smo se osredotočili na testiranje preprečevanja sive plesni (*Botrytis cinerea*), ki spada med najpogostejše zastopane gniloživke na plodovih. Pri tem smo izvedli poskus umetnim okuževanjem plodov malin, jagod in paradižnika. Obravnavali smo tudi vpliv prisotnosti kisika na razvoj patogena, pri čemer smo v delu poskusa imeli odprto embalažo s plodovi, v drugem delu pa je bila embalaža zaprta. Plodove smo obsevali v odmerkih od 100–4000 J/m² vsake tri dni v obdobju 13 dni. V povprečju smo pri obsevanjih jagod in malin lahko podaljšali obstojnost plodov za največ 3 dni. Pri tem smo v primeru odprte embalaže zaznali preprečevanje gnitja pri odmerkih nad 1500 J/m², medtem ko smo je v primeru zaprte embalaže zadostovalo že 200 J/m². Hkrati smo pri 4000 J/m² opazili pojav poškodb na plodovih, ki so pokazale izpostavljenost prevelikemu odmerku. V primeru paradižnika smo obstojnost podaljšali za 13 dni in sicer pri odmerkih 400 in 1000 J/m², v primeru zaprte embalaže pa pri odmerkih od 200-1500 J/m².



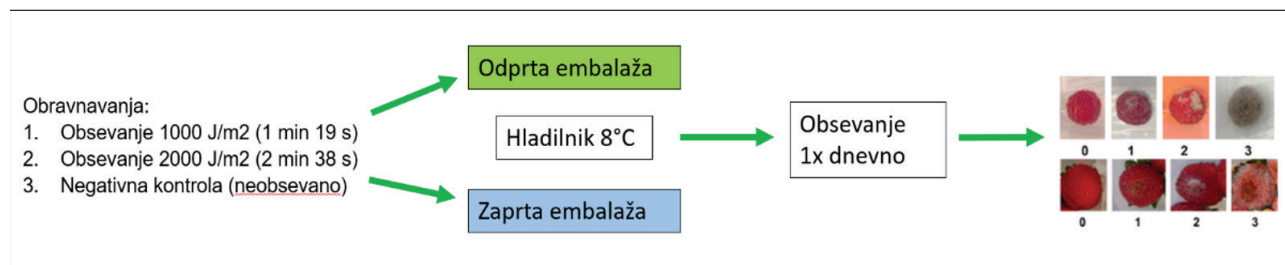
Slika 22: Plodovi češnjevega paradižnika 13 dni po prvem obsevanju v odprti embalaži.



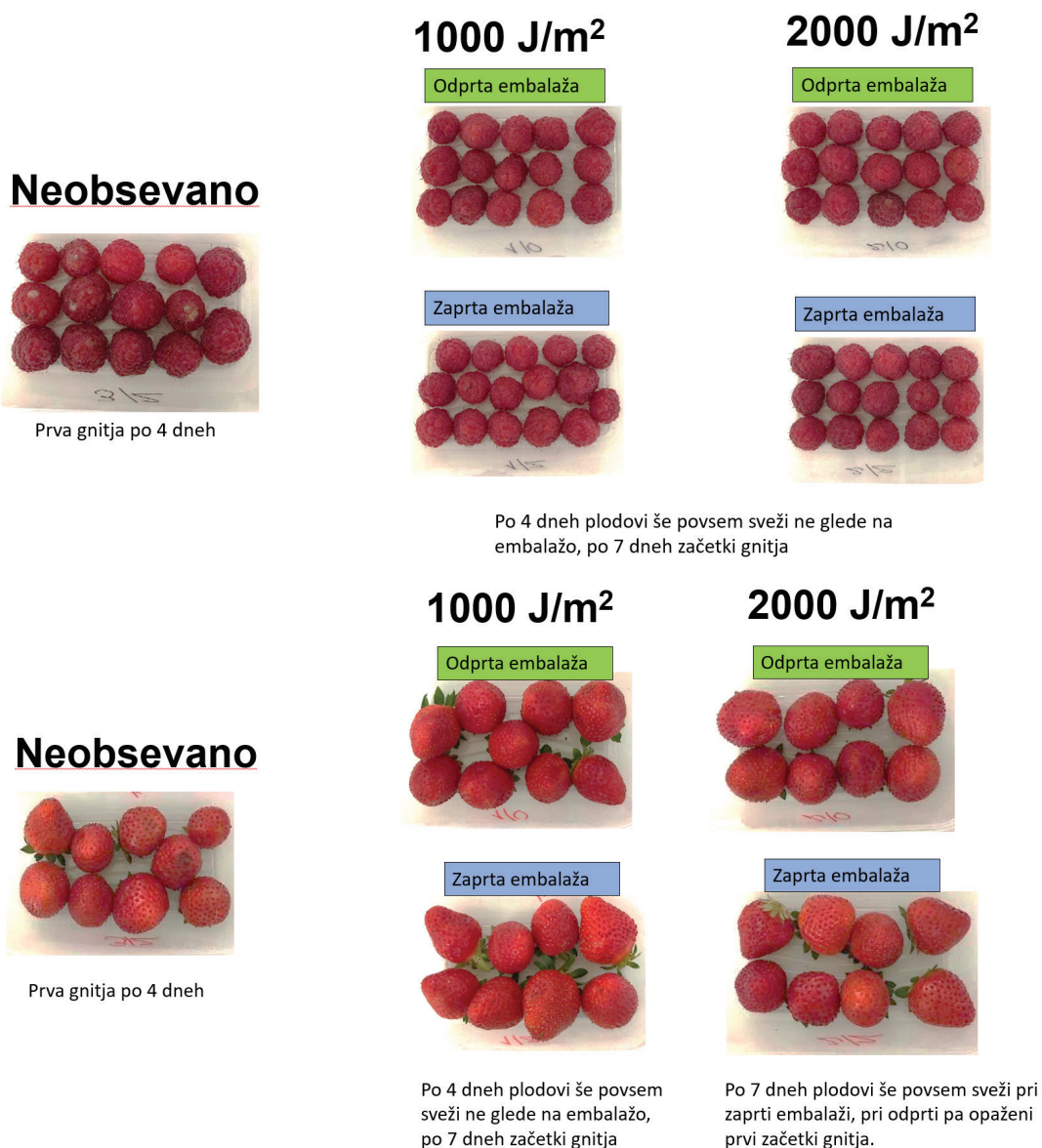
Slika 23: Plodovi češnjevega paradižnika 13 dni po prvem obsevanju v zaprti embalaži.

(2) Preprečevanje gnitja plodov jagod in malin

V drugi fazi smo na osnovi rezultatov prvega poskusa osredotočili na uporabo UV-C v odmerkih 1000 in 2000 J/m², pri čemer smo frekvenco povečali na vsakodnevno osvetljevanje in poleg različne embalaže dodali še vpliv hlajenja plodov:

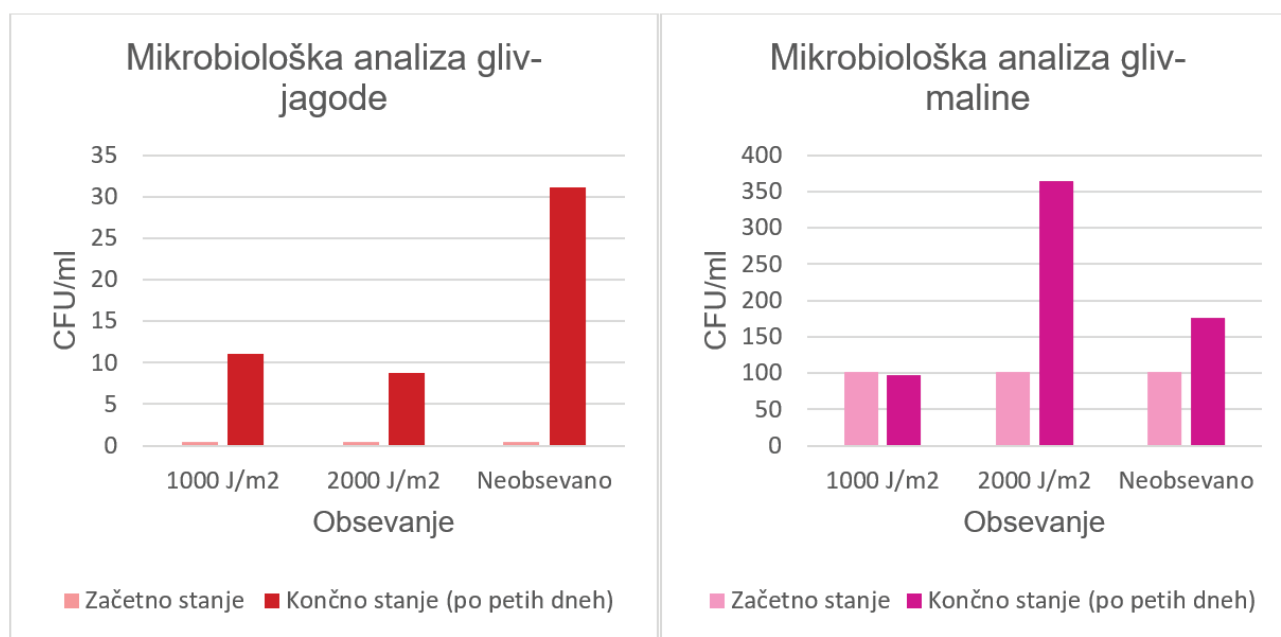


Rezultati vizualnih ocenjevanj so pokazali, da smo v primeru malin podaljšali obstojnost plodov do 6 dni ne glede na tip embalaže in odmere. V primeru jagod pa smo najvišjo stopnjo obstojnosti dosegli pri odmerku 2000 J/m² v kombinaciji z zaprto embalažo in sicer so 11 dni več od kontrolnega obravnavanja.



Slika 24: Plodovi malin in jagod glede na obravnavanja v različnih časovnih točkah.

Ob koncu poskusa smo kot dopolnilo vizualnim ocenam izvedli tudi mikrobiološko analizo (določitev celokupne populacije gliv) plodov pri obravnavanjih z odprto embalažo. Pri tem smo v sterilnih pogojih izvedli homogenizacijo plodov in iz pridobljene kaše pripravili serijske redčitve razredčitve. Na selektivno gojišče smo nanесли vzorce v treh tehničnih ponovitvah. Stanje populacije smo izračunali iz števila zraslih kolonij gliv na gojišču. V primeru jagod smo potrdili nižjo populacijo gliv na obsevanih plodovih v primerjavi z ne-obsevano kontrolo. V primeru malin pa smo ugotovili povečan pojav gliv v primeru odmerka 2000 J/m², kar pomeni, da je obsevanje najverjetneje povzročilo povečano sporulacijo pri določeni vrsti gliv, ki so odporne na UV-C. Med njih spadajo glive iz rodu *Cladosporium*, ki smo jih v okviru analize zaznali predvsem na malinah.



Slika 25: Mikrobiološka analiza jagod in malin ob začetku in koncu poskusa.

5. ZAKLJUČKI IN PRIHODNJE SMERNICE

Priročnik, ki je pred vami, združuje tehnično znanje, praktične izkušnje in rezultate skupnega razvoja v okviru projekta FRESH@FOOD. V ospredju je cilj: kako lahko s premišljeno uporabo digitalnih tehnologij, podatkovno podprtim nadzorom in enostavnimi tehnikami pripomoremo k daljši obstojnosti pridelkov – brez dragih sistemov ali kemičnih posegov.

Napredna digitalna komora, ki je v središču tega priročnika, ni zgolj naprava – je orodje. Orodje, ki omogoča eksperimentiranje, učenje in izboljševanje praks na kmetiji. Omogoča simulacijo mikroklimatskih pogojev, uporabo UV-C svetlobe, shranjevanje podatkov in izvajanje avtomatskih protokolov. A še pomembneje: omogoča prilagoditve in nadgradnje, skladno z različnimi potrebami uporabnika – naj bo to raziskovalec, svetovalec ali kmetovalec.

Poleg tehnološkega razvoja pa priročnik izpostavlja tudi pomen preprostih rešitev, ki jih lahko vsakdo preizkusi – od shranjevanja brez ovijanja, do uporabe perforiranih folij ali delnega vakuumu.

Zbrani podatki, še posebej iz laboratorijskih analiz UV-C osvetljevanja, pa odpirajo vrata za bolj ciljno usmerjene strategije: določanje optimalnih doz, prepoznavanje občutljivih patogenov in prilagoditev režimov shranjevanja glede na vrsto pridelka.

V prihodnje vidimo naslednje priložnosti:

- širitev uporabe digitalne komore za nove pridelke in embalažne scenarije,
- razvoj naprednejših algoritmov za avtomatsko odločanje z uporabo umetne inteligence,
- prenos znanja na nova okolja in uporabnike, z dodatnimi moduli za usposabljanje in svetovanje,
- nadgradnjo priročnika s spremljanjem rezultatov v naslednjih sezonah.

Ta priročnik je povabilo. Povabilo k sodelovanju, eksperimentiranju in soustvarjanju boljših praks za prihodnost živil – trajnostno, pametno in v sodelovanju z naravo.

To gradivo lahko prosto uporabljate, kopirate, delite, navajate in uporabljate tudi v komercialne namene, pod pogojem, da navedete avtorje izvirnega dela.

Strokovna monografija Pametno skladiščenje za svež pridelek *Digitalna komora in dobre prakse za podaljševanje obstojnosti na kmetiji* je nastala v okviru projekta z naslovom "Z naprednimi digitalnimi tehnologijami do kakovostne hrane (FRES@FOOD)", ki je potekal v okviru Programa razvoja podeželja, ukrepa 16.2 Podpora za pilotne projekte ter za razvoj novih proizvodov, praks, procesov in tehnologij za projekte EIP. Projekt sofinancirata Evropski kmetijski sklada za razvoj podeželja in proračun Republike Slovenije.





Obdobje trajanja projekta: maj 2023 - maj 2025

Višina odobrenih sredstev: 240.000,00 eur

Tip projekta: EIP projekt podukrep 16.2

Tematika projekta: Podaljšanje obstojnosti živil in svežine proizvodov



Kontaktne podatke vodilnega partnerja:

SLOKVA, zavod za razvoj neizkoriščenih potencialov so. p.

info@slokva.si

 <https://slokva.si/>

IHPS

Inštitut za hmeljarstvo
in pivovarstvo
Slovenije



EKOLOŠKA KMETIJA



INTERKORN

Korenika
SOCIALNA KMETIJA

PolaBekeraj



Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,
GOZDARSTVO IN PREHRANO



FRESH @ FOOD