



Univerza v Ljubljani

Biotehniška fakulteta

**Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na
kakovost tal in vodno bilanco in določitev
agrometeoroloških kazalnikov**

430-83/2023

Dekanja

Prof. dr. Marina Pintar

Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Ljubljana, 30. 10. 2023

Naročnik



REPUBLIKA SLOVENIJA
**MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,
GOZDARSTVO IN PREHRANO**

**Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na
kakovost tal in vodno bilanco in določitev
agrometeoroloških kazalnikov**

Številka pogodbe
430-83/2023

Vodja projekta
doc. dr. **Vesna Zupanc**
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Dekanja
prof. dr. **Marina Pintar**
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Ljubljana, 30. 10. 2023

Izvajalec

Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani

Oddelek za agronomijo,

Katedra za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora in ekonomiko ter razvoj podeželja

Jamnikarjeva 101

1000 Ljubljana, Slovenija

telefon: 01 320 30 00

faks: 01 256 57 82

www.bf.uni-lj.si

Vodja naloge:

doc. dr. Vesna Zupanc, univ. dipl. inž. agr.

Sodelavci v projektni skupini:

prof. dr. Denis Rusjan, univ. dipl. inž. agr.

doc. dr. Tjaša Pogačar, univ. dipl. meteorol.

doc. dr. Matjaž Glavan, univ. dipl. inž. agr.

Tanja Zrnec Drobnjak, mag. inž. agr.

Zala Žnidaršič, mag. meteo.

Anja Gantar, mag. inž. agr.

Matic Noč, mag. med. fiz.

Predlog za navajanje:

Zupanc V., Rusjan D., Pogačar T., Glavan M., Zrnec Drobnjak T., Žnidaršič Z., Gantar A., Noč M. 2023. Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco in določitev agrometeoroloških kazalnikov. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: Ljubljana; 92 str.

KAZALO VSEBINE

1.	UVOD.....	12
1.1	Cilj naloge.....	14
1.2	A. Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco ekstenzivna travna ruša), je priporočen zaradi zaščite tal pred vodno in vetrno erozijo, po drugi strani pa srk rastlinskih korenin predstavlja konkurenco pri oskrbi vinske trte z vodo.	14
1.3	B. Določitev agrometeoroloških kazalnikov	14
2.	Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco.....	16
2.1	Pregled literature.....	16
2.2	Vpliv obdelave na obliko površine vinograda in erozijske procese.....	19
2.3	Primeren način obdelave glede na teren	22
2.4	Meritve fizikalnih, bioloških in kemijskih lastnosti tal medvrstnih prostorov v vinogradih 24	
2.4.1	Fizikalne lastnosti.....	31
2.4.2	Kemijske lastnosti.....	34
2.4.3	Biološke lastnosti	37
2.5	Vpliv obdelave tal na vodno bilanco tal v vinogradu.....	38
2.5.1	Ocena razpoložljivosti vode glede na obdelavo medvrstnega prostora.....	38
2.6	Kakovost tal.....	42
2.6.1	Organska snov.....	43
2.6.2	Vodo zadrževalne lastnosti.....	43
2.6.3	Infiltracija	45
2.6.4	Struktura tal.....	49
2.7	Sklepi ter priporočila.....	51
2.8	Literatura	53
3.	Določitev agrometeoroloških kazalnikov.....	60
3.1	Pregled literature in posveti s strokovnjaki z različnih kmetijskih področij	60
3.2	Nabor, analiza in izračun agroklimatskih kazalnikov na dosegljivih podatkih.....	67
3.2.1	Klimatološki podatki	69
3.3	Rezultati analize	69

3.3.1	Časovna vrsta za posamezno lokacijo.....	69
3.3.2	Rezultati agroklimatskih kazalnikov na celotni mreži Slovenije.....	74
3.3.3	Ekstremne vrednosti in povratne dobe	78
3.3.4	Podnebne projekcije za posamezno lokacijo	82
3.4	Sklepi ter priporočilo za nadaljnje analize agroklimatskih kazalnikov	86
3.5	Literatura	87

KAZALO SLIK

Slika 1 Konvencionalno golo obdelan medvrstni prostor (A) (45°32'31"N, 13°40'55"E; Polje, Izola, april 2020), trajno ozelenjen medvrstni prostor (B) (45°30'09"N 13°39'26"E; Cetore, Izola, april 2020), trajno izmenično ozelenjen medvrstni prostor (C) (45°31'30"N, 13°41'08"E; Livade, Izola, april 2020) in kulturni posevki v medvrstnem prostoru vinograda (D) (45°30'10"N 13°39'30"E; Cetore, Izola, april 2020) (Zrnec Drobnjak, 2020).....	19
Slika 2 Golo obdelan medvrstni prostor brez rastlinske odeje (levo). Na terasah nastalih zaradi dolgoletne izmenične obdelave medvrstnega prostora se oblikujejo na golo obdelani površini infiltracijski bazeni (desno) (17.9.2021) (Zrnec-Drobnjak, 2021).....	20
Slika 3 Digitalni ortofoto posnetki (levo) in LiDAR posnetki (desno) vinogradov Purissima (A), Baredi (B) ter Ricorvo (C) v merilu 1:2500 (vir: Atlas okolja, povzeto po Zrnec Drobnjak, 2023).	21
Slika 4 Višinska razlika, ki se je oblikovala v času obstoja vinograda zaradi različne medvrstne obdelave tal medvrstnega prostora v vinogradu Baredi (Zupanc, 2021).....	23
Slika 5 Višinska razlika, ki se je oblikovala v času obstoja vinograda zaradi različne medvrstne obdelave tal medvrstnega prostora v vinogradu Purissima (Zupanc, 2021).	23
Slika 6 Vinograd Purissima (Zupanc, 2021).....	25
Slika 7 Vinograd Baredi (Zrnec-Drobnjak, 2021).....	27
Slika 8 Vinograd Ricorvo (Zrnec-Drobnjak, 2021, Zupanc, 2021).....	28
Slika 9 Golo obdelan medvrstni prostor brez rastlinske odeje v vinogradu Purissima na prenovljenem delu vinograda (Zupanc, 2021).....	29
Slika 10 Vodo zadrževalne lastnosti tal glede na teksturo – teoretičen prikaz (Zupanc, 2017).....	32
Slika 11: Založenost s fosforjem in kalijem glede na vinograd (Purissima, Baredi, Ricorvo), način upravljanja medvrstnega prostora (trajna ozelenitev in golo obdelana tla) in globino (0-20 in 20-40 cm) leta 2022	35
Slika 12 Avtomatski pomnilnik ZL6, nameščen v tla z ozelenjenem medvrstnim prostorom (Zupanc, 2021)	39
Slika 13 Temperatura tal glede na globino (20, 40 in 60 cm) in upravljanje medvrstnega prostora (golo obdelana in ozelenjena tla medvrstnega prostora) za obdobje od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 v vinogradu Purissima (Zrnec-Drobnjak, 2021).....	40
Slika 14 Dnevna izmerjena količina padavin za obdobje od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 na meteorološki postaji Portorož–letališče in prenosni padavinski postaji Purissima (ARSO, 2022; projekt SUSGRAPE, 2022).....	40
Slika 15 : Urne meritve vsebnosti vode v tleh (m^3/m^3) glede na način upravljanja medvrstnega prostora (golo obdelana tla - rumeni odtenki; trajno ozelenjena tla - zeleni odtenki) in globino (20, 40 in 60 cm) za obdobje od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 v vinogradu Purissima (Zrnec-Drobnjak, 2021).	41

Slika 16: Povprečna vsebnost organske snovi v tleh [%] glede na vinograd, način upravljanja medvrstnega prostora (trajno ozelenjena in golo obdelana tla) in globino (0-20 cm in 20-40 cm) s standardnim odklonom.....	43
Slika 17: Prikaz povprečij intervala RDV (masni odstotek) za vinograde Purissima, Baredi in Ricorvo pri različnih načinih upravljanja medvrstnega prostora (ozelenjena tla in golo obdelana) na globini 0-20 cm in 20-40 cm	45
Slika 18: Merjenje infiltracije na medvrstnem prostoru brez rastlinskega pokrova in ozelenjenem medvrstnem prostoru.....	46
Slika 19: Primer izračunanih vrednosti kazalnika temperatura rastne dobe s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad.....	70
Slika 20: Primer izračunanih vrednosti kazalnikov temperatura najtoplejše in temperatura najhladnejše četrtine leta s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad	71
Slika 21: Primer izračunanih vrednosti kazalnikov padavine v obdobju rastne dobe in padavine izven rastne dobe s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad	71
Slika 22: Primer izračunanih vrednosti kazalnika efektivne padavine s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad.....	72
Slika 23: Primer izračunanih vrednosti kazalnikov Biološka temperaturna vsota, Hughlinov indeks in Winklerjev indeks s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad	72
Slika 24: Primer izračunanih vrednosti kazalnika Indeks hladnih noči s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad.....	73
Slika 25: Rezultati kazalnika temperatura rastne dobe za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno)	74
Slika 26: Rezultati kazalnika efektivna količina padavin za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno)	74
Slika 27: Rezultati kazalnika količina padavin tekom rastne dobe za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno).....	75
Slika 28: Rezultati kazalnika dnevni temperaturni razpon za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno)	75
Slika 29: Rezultati kazalnika Biološka temperaturna vsota (BEDD) za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno).....	76
Slika 30: Rezultati kazalnika Hughlinov indeks (HI) za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno)	76
Slika 31: Rezultati kazalnika Winklerjev indeks (WI) za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno)	76
Slika 32: Rezultati kazalnika Indeks hladnih noči (CI) za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno)	77
Slika 33: Rezultati kazalnika Število dni z maksimalno dnevno temperaturo nad 32 °C za izbrani desetletni obdobji 1981-1990 (levo) in 2001-2010 (desno).....	78

Slika 34: Rezultati kazalnika Vsota $T_{\max}$ nad 32 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)	79
Slika 35: Rezultati kazalnika Vsota $T_{\min}$ pod -10 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)	79
Slika 36: Rezultati kazalnika Vsota $T_{\min}$ pod -15 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)	79
Slika 37: Rezultati kazalnika Število dni s količino padavin nad 50 mm za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno).....	80
Slika 38: Rezultati kazalnika 95. percentil mokrih dni za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)	80
Slika 39: Povratni nivoji (višina padavin) za 1-urne nalive za povratno dobo 10 let. Povzeto po: CROSSRISK (2023)	82
Slika 40: Podnebne projekcije povprečne temperature na globini 5 cm v obdobju april–junij (levo) in julij–september (desno) za Ljubljano. Povzeto po: Bertalanič (2018)	83
Slika 41: Podnebne projekcije začetka (levo) in konca rastne dobe (desno) pri temperaturnem pragu 5 °C za Ljubljano. Povzeto po: Bertalanič (2018)	83
Slika 42: Podnebne projekcije varnostne rezerve pred pozebo pri pogoju 0 °C (levo) in -2 °C (desno) za Ljubljano. Povzeto po: Bertalanič (2018)	84
Slika 43: Podnebne projekcije tveganja za pozebo za sorto češnje Majska rana in primer postaje na Primorskem.....	84
Slika 44: Podnebne projekcije tveganja za pozebo za sorto trte Laški Rizling in primer dveh postaj v Podravju	85

KAZALO TABEL

Tabela 1: Preskrbljenost tal (po AL za fosfor in kalij oziroma po CaCl_2 za magnezij) in ustrezni odmerki hranil (Mihelič in sod., 2010).....	24
Tabela 2: Agrotehnični ukrepi izvajani v medvrstnem prostoru vinograda Purissima v obdobju od 2018 do 2022 (vir: Vinakoper, 2022).....	26
Tabela 3: Agrotehnični ukrepi izvajani v medvrstnem prostoru vinograda Baredi v obdobju od 2018 do 2022 (vir: Vinakoper, 2022).....	27
Tabela 4: Agrotehnični ukrepi izvajani v medvrstnem prostoru vinograda Ricorvo v obdobju od 2018 do 2022 (vir: Vinakoper, 2022).....	30
Tabela 5: Tekstura tal in teksturni razred (TRZ) glede na vinograd (Purissima, Baredi in Ricorvo), način upravljanja (golo obdelan medvrstni prostor in trajno ozelenjen medvrstni prostor) ter globino (0-20 in 20-40 cm).....	33
Tabela 6: Gostota tal [g/cm^3] s standardnim odklonom (SD-G) in poroznost [%] s standardnim odklonom (SD-P) za vse tri vinograde pri različnem načinu upravljanja (trajno ozelenjen in obdelan medvrstni prostor) ($n=3$).....	34
Tabela 7: Povprečen izmerjen pH v CaCl_2^* , vsebnost skupne organske snovi v tleh [%] s standardnim odklonom (SD-OS) in kationska izmenjevalna kapaciteta tal [$\text{mmolc}/100\text{g}$] s standardnim odklonom (SD-CEC) na vseh treh lokacijah pri golo obdelanem medvrstnem prostoru ter pri ozelenjenem medvrstnem prostoru na globini 0-20 cm in 20-40 cm ($n=3$).....	36
Tabela 8: β -glukozidazna aktivnost (tvorba p-nitrofenola) v izbranih vrstah vinograda Purissima. Podatki so podani kot povprečje treh ponovitev s standardnimi napakami.	37
Tabela 9: Vodozadrževalne lastnosti (masni % vode pri pF 4,2 in pF 2,5) ($n=3$) in interval rastlinam dostopne vode (RDV*, masni %) s standardnim odklonom (SD-RDV) za vse tri vinograde (Purissima, Baredi, Ricorvo) na dveh globinah v ozelenjenem medvrstnem prostoru ter v golo obdelanem medvrstnem prostoru ($n=3$).....	44
Tabela 10: Povprečna infiltracija [cm/h] leta 2022 s standardnim odklonom (SD-I) za posamezno obravnavano vrsto in povprečna izračunana infiltracija medvrstnih prostorov [cm/h] za posamezen način upravljanja le tega na vseh treh lokacijah pri golo obdelanem medvrstnem prostoru ter pri ozelenjenem medvrstnem prostoru ($n=3$).....	47
Tabela 11: Povprečna infiltracija [cm/h] leta 2023 s standardnim odklonom (SD-I) za posamezno obravnavano vrsto in povprečna izračunana infiltracija medvrstnih prostorov [cm/h] za posamezen način upravljanja le tega na vseh treh lokacijah pri golo obdelanem medvrstnem prostoru ter pri ozelenjenem medvrstnem prostoru ($n=3$).....	48
Tabela 12: Povprečni delež obstojne frakcije [%] s standardnim odklonom (SD-OF) v vseh treh vinogradih (Purissima, Baredi in Ricorvo) glede na način upravljanja medvrstnega prostora (trajna ozelenitev in golo obdelana tla) in globino (0-20 in 20-40 cm) ($n=3$).....	50
Tabela 13: Povzetek pregleda literature na temo agroklimatskih kazalnikov rastne dobe, prezimovalnih razmer in pogojev za pojav škodljivcev.....	61
Tabela 14: Povzetek pregleda literature na temo agroklimatskih kazalnikov suše in moče.....	63

Tabela 15: Povzetek pregleda literature na temo ocenjevanja tveganja za pojav pozebe.....	66
Tabela 16: Nabor agroklimatskih kazalnikov, ki so bili uporabljeni v analizi in so na voljo v knjižnicah ClimInd (Reig-Gracia in sod., 2021) ter fruclimadapt (Miranda, 2023)	68
Tabela 17: Povratne dobe za ekstremno višino padavin v obdobju 1948–2008 za postajo Ljubljana– Bežigrad. Povzeto po: Agencija Republike Slovenije za okolje (2009)	81

1. UVOD

POVOD ZA NALOGO

Odlok o Programu porabe sredstev Sklada za podnebne spremembe za leti 2022 in 2023 (Uradni list RS, št. 138/22 in 48/23) je bil objavljen oktobra 2022 in spremenjen aprila 2023. V okviru tega se bodo izvajali tudi ukrepi za blaženje podnebnih sprememb in za prilagajanje nanje v kmetijstvu.

Slovenija ima precej razgiban relief in talne lastnosti, kar posledično zelo omejuje možnosti za intenzivnejšo ter s tem učinkovito kmetijsko pridelavo. Predvsem zaradi velikega nagiba, plitvih in skalovitih tal in vse večje pozidanosti, imamo v Sloveniji vse manj površin, primernih za tržno usmerjeno pridelavo hrane (Vrščaj, 2008). Ključna je zasnova nacionalnega monitoringa talne organske snovi (v nadaljevanju: TOS), ki jo Slovenija potrebuje zaradi boljšega vpogleda vpogled v stanje kmetijskih tal. Sistem vzpostavitve zbiranja in obdelave podatkov na kmetijskih tleh je nujen in predpogoj pri zagotavljanju ustreznih podatkov. Urejeno zbiranje podatkov tal ter TOS zagotavlja možnosti spremljanja stanja in napovedovanja trendov. Hkrati pristojnim inštitucijam zagotavlja enostavnejšo presojo upravičenosti in ustreznosti ukrepov ter nudi osnovo za oblikovanje ustreznih okoljskih politik v boju proti klimatskim spremembam. Ustreznost tako pridobljenih podatkov bo hkrati bistveno olajšala izpolnjevanje mednarodnih obveznosti Slovenije, predvsem poročanja v okviru mednarodnih konvencij (Kyoto) ter kot polnopravne članice EU (na področju LULUCF).

Tla so bistven del kopenskih ekosistemov ter neobnovljiv naravni vir, ki ima centralno vlogo pri kroženju snovi in plinov na planetu. Tla so več funkcionalen medij, ki omogoča rast in razvoj rastlin (pridelava hrane), filtrira podzemne vode (samoočiščevalna sposobnost), predstavlja medij, skozi katerega poteka kroženje snovi oz. hranil in habitat, ki odločilno vpliva na biotsko raznolikost. V kontekstu varovanja narave in boja proti klimatskim spremembam so tla vse bolj prepoznana tudi kot ključen ponor atmosferskega CO₂, uskladiščenega v obliki TOS. Kot kratkoročen oz. poltrajen vir hranil, TOS tlem v veliki meri določa rodovitnost in s tem kakovost tal. Obenem aktivno sodeluje pri tvorbi strukturnih agregatov, ki izboljšujejo strukturno trdnost tal (odpornost na erozijo) ter izboljšuje sposobnost tal za zadrževanje vode (odpornost za sušo, poplavna varnost) in hranil (tudi onesnažil - težkih kovin). TOS je nosilec širših okoljskih funkcij, pomembnih za vzdržnost celotnega ekosistema, ter zato pogosto ključen podatek pri različnih prostorskih analizah.

V kmetijstvu so tla osnovni vir. Uspešno in trajnostno kmetijstvo v temeljih zajema pridelavo kakovostne hrane ob hkratnem ohranjanju rodovitnosti tal.

Namen oskrbe tal skupaj z gnojenjem je ohranjanje rodovitnosti in strukture tal za zagotavljanje dolgotrajne in uravnotežene rasti vinske trte.

Z načinom oskrbe tal vplivamo na fizikalne lastnosti (struktura), založenost tal s hranili in organsko snovjo ter (mikro)biološke lastnosti tal (prisotnost mikroorganizmov, hitrost mineralizacije). Namen oskrbe tal je preprečevanje erozije tal, uravnavanje bujnosti rasti vinske trte, uravnavanje vlažnosti tal, obvladovanje plevelov, izboljšanje vezave in dostopnosti hranil. Namen oskrbe tal je v veliki meri odvisen tudi od podnebja in topografije.

Uporaba ozelenitve tal v trajnostnem kmetijstvu se je že v preteklosti izkazala kot učinkovita. V vinogradih s trajno ozelenjenim medvrstnim prostorom se poveča organska masa in nasploh

izboljšajo lastnosti tal. Travnna ruša tudi učinkovito preprečuje erozijo. Uporaba zelenega pokrova je zato zelo razširjena na območjih z zmerno toplim in celinskim podnebjem. Dilema o ozelenitvi tal se pojavi v vinogradih z mediteransko in submediteransko klimo, kjer večina padavin pade v zimskih mesecih, v času rastne sezone pa pride do primanjkljaja vode. Ravno zaradi strahu pred vodnim stresom se veliko vinogradnikov na območjih z nevarnostjo poletne suše ne odloča za ozelenitev, temveč za klasičen način obdelave. Posledično je bilo le prgišče raziskav namenjenih proučevanju učinka zelenega pokrova na tla v mediteranski klimi. Rezultati te analize dosedanjih raziskav so pokazali, da so v mediteranski klimi ozelenjena vinogradna tla prav tako učinkovit način obdelave. Zaradi manj dostopne vode je odnos vinske trte do zelenega pokrova kompleksnejši, vendar s prilagojeno obdelavo uspešen. V ta namen je zato priporočljiva kratkotrajna ozelenitev ali izmenična ozelenitev vsake druge vrste ter pogostejše mulčenje in košnja po potrebi. S tem dosežemo izboljšanje lastnosti oziroma ohranjanje rodovitnosti tal ter preprečevanje erozije, ob zmanjšani nevarnosti vodnega stresa vinske trte zaradi kompeticije zelenega pokrova za vodo.

Stalno mehansko obdelovanje tal skozi celotno rastno dobo v vinogradih ni zaželeno. Tla smejo biti obdelana le za kratek čas v določenih okoliščinah (pomanjkanje vode – vsaka druga vrsta). Izjema je le vinorodni okoliš Kras, kjer vinogradniki lahko pustijo površino medvrstnega prostora od 15.4. do 1.11. neozelenelo.

Načini oskrbe tal v integrirani pridelavi grozdja so:

- trajna ozelenitev (setev travno-deteljnih mešanic ali naravna ozelenitev, kjer gre za kontroliran razvoj plevelov oziroma travne ruše);
- kratkotrajna ozelenitev (s setvijo ali naravna, podorine);
- obdelava tal (grobo rahljanje tal v vsaki drugi vrsti);
- pokrivanje tal (slama, lubje) in
- kombinacije prej naštetih (vsaka druga vrsta).

Tla v medvrstnem prostor morajo biti od 1. novembra do fenološke faze vinske trte B-C zatravljena ali ustrezno pokrita (slama ali naravna ozelenitev ali kratkotrajna ozelenitev). Možna je tudi kombinacija ozelenitve vsake druge vrste in ustreznega pokritja ostalega dela (slama).

Pri vinogradih na terasah nad 20 % strmine zadostuje, da je v času rasti trte pokrita oziroma zatravljena samo brežina. Poleg običajne nege travne ruše (mulčenje, košnja, valjanje – odvisno od padavin), lahko od fenološke faze B-C do 31. maja (Primorska fenološke faze B-C – 31.10.) tla tudi plitvo obdelujemo (kultiviramo, podrahljamo), pri čemer moramo ohraniti grobo strukturo tal. S tem ukrepom prizadenemo del korenin travne ruše in tako zmanjšamo porabo vode. Hkrati se s tem ukrepom izboljša mineralizacija dušika in poveča se sprejem vode v tla. Pri rahljanju postopamo tako, da so tla čim manj podvržena eroziji in da jih pri tem nismo preorali. Ozelenitev je potrebno izvesti tako, da takoj po pripravi tal posejemo semena za obnovo travne ruše. Ob tem pridelovalec lahko tla tudi pokrije s slamo oziroma slamo plitvo zadela v tla.

Podnebne spremembe zahtevajo nova znanja in usmeritve kmetijskih praks. Zaradi podnebnih sprememb se Slovenija segreva hitreje od globalnega in evropskega povprečja, spreminjajo se padavinski vzorci, kmetijstvo pa je zato predvsem poleti bolj obremenjeno z vročinskim stresom, padavinskimi ekstremi in drugimi spremenjenimi rastnimi razmerami. Ker so višje temperaturne vsote hitreje dosežene, nastopi več generacij škodljivcev v enem letu, pojavljajo se nove invazivne rastline ipd. Potrebujemo analize, kako se podnebne spremembe že kažejo na področju kmetijstva

v Sloveniji, kako se premikajo meje temperaturnih vsot, rastnih razmer in drugih agroklimatskih kazalnikov ter kakšne so projekcije do konca stoletja.

1.1 Cilj naloge

Cilj naloge je, da se določi vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco, saj bo tako služilo za odpravljanje vrzeli v znanju. S tem bomo lahko v prihodnje preoblikovali ukrepe v kmetijstvu, kjer bomo naslavljali primerno medvrstno obdelavo za trajne nasade. Prav tako bo namen naloge določitev osnovnih agrometeoroloških kazalnikov za kmetijsko pridelavo, saj bomo lahko na ta način najbolj strokovno opredelili primernost določenega kmetijskega postopka v pridelavi glede na razvoj rastlin s pomočjo agrometeorologije.

PREDMET JAVNEGA NAROČILA

1.2 A. Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco ekstenzivna travna ruša), je priporočen zaradi zaščite tal pred vodno in vetrno erozijo, po drugi strani pa srk rastlinskih korenin predstavlja konkurenco pri oskrbi vinske trte z vodo.

Naročnik pričakuje od izvajalca, da le-ta izvede naslednja dela:

- i. Določitev vpliva obdelave medvrstnega prostora na obliko površine vinograda, na površinski tok vode in na erozijske procese oziroma odsotnost le-teh,
- ii. Določitev primerne načina obdelave in določitev primerne oblike terena za preprečevanja površinskih tokov vode in erozijskih procesov,
- iii. izvedba meritev fizikalne, biološke in kemijske lastnosti tal na medvrstnem prostoru vinograda, ki je zatravljen in na medvrstnem prostoru vinograda, ki je redno obdelan,
- iv. Ugotovitev vpliv načina obdelave medvrstnih prostorov na vodno bilanco tal vinograda,
- v. Ugotovitev razlik v kakovosti tal pod različnimi načini obdelave (organska snov, porazdelitev v profilu, vodozadrževalne lastnosti tal, infiltracija, struktura tal),
- vi. Pregled literature, ki opisuje raziskave in izkušnje iz tujih krajev na predmet tega javnega naročila,
- vii. Priprava poročila o vplivu obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco.

1.3 B. Določitev agrometeoroloških kazalnikov

Za pravočasno izvedbo kmetijskih opravil je potrebno poznati tudi primerne agrometeorološke kazalnike, s katerimi lahko napovedujemo določeno fazo razvoja kmetijske rastline. S tem so povezane nadaljnje aktivnosti, ki vplivajo na kvaliteto pridelka.

Naročnik pričakuje od izvajalca, da le-ta izvede naslednja dela:

- i. Določitev primernih agroklimatskih kazalnikov in metod analize s pomočjo natančnega pregleda literature in individualnih posvetov s strokovnjaki z različnih kmetijskih področij v Sloveniji,
- ii. Analizirati kazalnike, izvesti izračune na dosegljivih podatkih, proučiti ekstremne vrednosti in njihove povratne dobe ter pripraviti projekcije do konca stoletja po različnih scenarijih podnebnih sprememb

- iii. S kombinacijo različnih analiz meteoroloških in fenoloških podatkov ter izpeljanih kazalnikov pripraviti za posamezne produkte v obliki preglednic, grafov in kart, ki bodo uporabni na različnih področjih kmetijstva.
- iv. Določitev ranljivih območij, ki so pomembna za razvoj ustreznih strategij prilagajanja kmetijstva v Sloveniji.
- v. Izvajalec lahko posamezen sklop zaključi predčasno in o tem pošlje naročniku poročilo za že opravljen sklop.

V končnem (zaključnem) poročilu morajo biti vključene vse aktivnosti iz te naloge.

KADROVSKI POGOJI

Izvajalec mora za izvedbo javnega naročila izpolniti naslednje kadrovske pogoje:

1. Izvajalec mora razpolagati z zadostnimi kadrovskimi in tehničnimi zmogljivostmi, kar dokazuje s seznamom članov, ki bodo sodelovali v projektni skupini. V projektni skupini mora izvajalec, poleg odgovornega nosilca naloge/vodje projekta, zagotoviti vsaj še 3 sodelavcev/članov projektne skupine, ki bodo zagotovili izvedbo predmeta javnega naročila.

2. Projektno skupino sestavljajo člani, ki izkazujejo, da ima vsaj eden izmed njih:

- poznavanje področja merjenja vodnih lastnosti kmetijskih tal in
- poznavanje področja agrometeorologije,
- poznavanje kmetijskih praks na zadrževanje vode v kmetijskih tleh.

Izpolnjevanje kadrovskih pogojev se izkazuje skladno z določbami ponudbene dokumentacije.

ROK IZVEDBE

Mejnik: Najkasneje do 30. 10. 2023 - Opraviti obveznosti za posamezen sklop naloge in pripraviti poročilo o vplivu obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco in določitev agrometeoroloških kazalnikov.

2. Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco

2.1 Pregled literature

Pregled literature, ki opisuje raziskave in izkušnje iz tujih krajev, zajema izkušnje najnovejših dognanj s področja medvrstne obdelave tal v vinogradih na območjih Evrope, S in J Amerike.

Območje pridelave grozdja v Evropi se zaradi segrevanja ozračja pomika proti severu, medtem ko se bodo pridelovalci grozdja v državah južne Evrope in drugod po svetu (Kajfež-Bogataj, 2009; Hannah in sod., 2013) vse pogostejše spopadali s sušo (Malheiro in sod., 2010). Vpliv podnebnih sprememb na vinogradništvo je posledica prepoznanega močnega vpliva podnebja na količino vode v tleh ter količino in kakovost pridelanega vina Webb in sod., 2008; Malheiro in sod., 2010). Učinki višje temperature na dolgoročno trajnost pridelave vinskega grozdja povzročajo zaskrbljenost (Hall in Jones, 2009; Sturman in Quénol, 2013). Zlasti v Evropi so poletja z intenzivnimi vročinskimi valovi in zaznanimi trendi segrevanja v zadnjih desetletjih povzročila zaskrbljenost med vinarji in vzbuja skrb o možnostih gospodarne pridelave vinskega grozdja (Seguin, 2003; Briche in sod., 2011; Cataldo in sod., 2021). Visoke stopnje evapotranspiracije pri višjih temperaturah v kombinaciji s suhimi vetrovi povzročijo hiter upad količine vode v tleh. V času suše imajo spremembe v fotosintezi, ki jih povzroča pomanjkanje ali celo nedostopnost vode v tleh, negativen vpliv na ravnovesje ogljika v celi rastlini, kar vpliva na kakovost grozdja (Schulze, 1986; McDowel, 2011; Zhao in sod., 2013).

Ustrezna postavitev vinograda je ključna za trajnostno pridelavo grozdja, saj s tem vzpostavimo dolgoročne razmere za rast in rodnost vinske trte (Rusjan, 2020). Način obdelave medvrstnega prostora v vinogradih je osnova za doseganje želene rodnosti trt ter kakovosti grozdja v konvencionalni in ekološki pridelavi. Tla v vinogradih ne predstavljajo le rastnega substrata trtam, temveč so zalogovnik vode in v vodi raztopljenih hranil (Goldammer, 2018). Primeren način obdelave tal ima velik pomen za vzdrževanje dobrih fizikalnih, kemijskih in bioloških lastnosti tal, ki so ključne za doseg trajnostne pridelave v vinogradu. Izbira primerne obdelave medvrstnega prostora je pogojena predvsem z naravnimi danostmi, vendar ne smemo izključiti lastnosti sorte znotraj vinograda ter izkušenj obdelovalca (Goldammer, 2018; Cataldo in sod., 2020).

Trajnostno in sonaravno ravnanje s tlemi v vinogradih je pristop, ki je primarnega pomena ne le za količino pridelka (t/ha) in kakovost grozdja (vsebnost primarnih in sekundarnih metabolitov), temveč tudi za večjo ohranjenost ekosistema. V primerjavi s trajnim konvencionalnim obdelovanjem tal in trajnimi uporabami gnojil in fitofarmacevtskih sredstev imajo te tehnike primarno vlogo pri varovanju biotske raznovrstnosti, ohranjanju rodovitnosti tal in ohranjanju produktivnega ravnotežja v ekosistemu vinograda. Agrotehnični ukrepi, kot so škropljenje in s tem povezana poraba fitofarmacevtskih sredstev, goriva in gnojil, naj bi bili odgovorni za 24 % toplogrednih plinov človekovega izvora. Tla in posledično pridelava vina sta del občutljivega ekosistema, ki ni ogrožen le zaradi nepremišljenega pristopa človeka, ampak tudi zaradi podnebnih sprememb, saj naraščajoče poletne temperature in manjša količina padavin povzročata upad proizvodnje in pomanjkanje vode v tleh. Neustrezno upravljanje tal v agroekosistemi povzroča degradacijske procese, kot je erozija tal, zbitost, onesnaženje, izčrpavanje organske snovi v tleh in izguba biotske raznovrstnosti, ki vodijo do padca rodovitnosti tal in se negativno odražajo v kakovosti in količini pridelanega grozdja (Cataldo in sod., 2021). V tem kontekstu so gospodarjenje

s tlemi v vinogradništvu in trajnostne strategije bistvenega pomena za izboljšanje kakovosti sodobnega vinogradništva. Namen tega pregleda je poudariti obdelavo tal, ki lahko poveča odpornost sistema in prispeva k ohranjanju in zagotavljanju ekosistemskih storitev vinogradov, zlasti ker potrošniki vina vedno bolj cenijo okolju prijazne kmetijske prakse.

V vinogradih poznamo več načinov obdelave tal medvrstnega prostora in v sami vrsti. V vrstah, kjer so zasajene trte, gre za mehansko ali kemijsko zatiranje plevelov. Predvsem medvrstna obdelava tal mora biti prilagojena danim razmeram za doseg optimalne pridelave (Zrnec Drobnjak, 2020). Za vzdrževanje kakovostnih tal zato uporabljamo različne postopke kot so na primer oranje, kultiviranje, mulčenje, vzdrževanje stalno ozelenjenih tal (Bordoni in sod., 2019).

Smer sajenja vinske trte (sajenje vzdolž plastnic ali prečno na nagib) in oblika terena (npr. terase) bistveno vplivata na površinski tok vode in s tem na vodno bilanco tal vinograda. Prav tako ima znaten vpliv na kakovost ter vodno bilanco tal in na rastne razmere trte obdelava medvrstnega prostora v vinogradih (Monteiro in Lopes, 2006; Delpuech in Metay, 2018). Izbira obdelave medvrstnega prostora je pogojena z naravnimi danostmi (topografija, tip tal, podnebje) ter izkušnjami obdelovalcev. Trajna ozelenitev medvrstnega prostora naj bi doprinesla k boljši kakovosti tal, predvsem k povečanju vsebnosti organske snovi ter zmanjšanju erozije tal (Novara in sod., 2018). Obenem je obdelava (podrahljavanje) medvrstnega prostora stalna praksa v aridnih območjih, saj se s tem prekine kapilarni dvig in zmanjša evaporacija vode iz tal (Buesa in sod., 2020).

V Sloveniji je vinorodno območje razdeljeno na tri vinorodne dežele (Primorska, Posavje in Podravje) z devetimi vinorodnimi okoliši. Največ vinogradnih površin je v najtoplejši slovenski vinorodni deželi Primorska, kjer se čuti vpliv Jadranskega morja (RPGV). Leta 2022 je bilo v Sloveniji skupno 85,1 % trajno ozelenjenih vinogradov, kar v naravi predstavlja 12.325 ha. V vinorodni deželi Podravje in Posavje je njihov delež preko 97 %. V vinorodni deželi Primorska je bilo leta 2022 v vinorodnem okolišu Kras najmanj ozelenjenih vinogradov, in sicer 44,6 %, sledi okoliš Vipavska Dolina s 60,9 %, okoliš Slovenska Istra s 64,1 %, in vinorodni okoliš Goriška Brda s 83,9 % trajno ozelenjenimi vinogradi. Pri tem je kot ozelenjen vinograd upoštevan vinograd s trajno ozelenitvijo vsake ali vsake druge vrste (izmenična trajna ozelenitev) (Hauptman in sod., 2023).

Konvencionalna gola obdelava v vinogradih pomeni večkrat letno mehansko obdelavo tal do globine 30 cm z namenom prekinitve kapilarnega dviga vode in ohranjanje površine tal brez rastlinskega pokrova. Stalno mehansko obdelovanje tal preko celega leta je v ekološki in integrirani pridelavi prepovedano. V integrirani pridelavi morajo biti tla medvrstnega prostora od 1. novembra do odpiranja brstov (BBCH 05-07) zatravljena ali ustrezno pokrita (Tehnološka navodila za ekološko pridelavo grozdja, 2017; Tehnološka navodila za integrirano pridelavo grozdja, 2022). Najpogostejši način obdelave je kombinacija oranja (vsaj enkrat v rastni sezoni), kultiviranja (rahljanja) in uporabe herbicidov. Mehanska groba obdelava povzroči porušenje strukture tal, kar pomeni, da se kljub boljši infiltraciji ob pravilni obdelavi zaloga vode v tleh manjša. Hkrati s tem ukrepom prizadenemo del korenin travne tuše in s tem zmanjšamo porabo vode. S stalno obdelavo se ponovno poruši struktura tal, vsebnost organske snovi se še hitreje zmanjšuje, biološka aktivnost tal upade, vendar se izboljša mineralizacija dušika (Tehnološka navodila za integrirano pridelavo grozdja, 2022).

Poleg gole obdelave poznamo kratkotrajno in dolgotrajno ozelenitev medvrstnega prostora. Trajna ozelenitev je lahko v vsaki vrsti, trajna izmenična ozelenitev vsake druge vrste ali kratkotrajna ozelenitev. Pri izmenični ozelenitvi se izvaja rahljanje tal v vsaki drugi vrsti. Za kratkotrajno ozelenitev medvrstnega prostora je značilno menjavanje obdelave tal (rahljanje) in setev hitrorastočih rastlin (Delpuech in Metay, 2018; Tehnološka navodila za integrirano pridelavo grozdja, 2022).

Ozelenitev medvrstnega prostora vinogradov je priporočena predvsem v namen povečanja vsebnosti organske snovi v tleh, izboljšanja strukture tal ter zmanjšanje erozije. Travnna ruša – tako samonikla kot sejana – ne sme ovirati rasti trt, ne sme konkurirati trti za vodo in s tem negativno vplivati na pridelek. Zaželeno je, da razvije veliko maso korenin, hkrati morajo imeti zeleni deli veliko regeneracijsko sposobnost po mulčenju. Mulčenje v vinogradu mora biti izvedeno vsaj enkrat letno, priporočeno je predvsem preden začne zelinje konkurirati trti za vodo.

Pri povečevanju organske mase v tleh se je kot učinkovita izkazala predvsem samonikla lokalna travna ruša, kjer velika pestrost rastlin izboljša tudi strukturo tal in biološko pestrost talnih organizmov (Colnarič in Vrabl, 1991; Monteiro in Lopes, 2006). Za trajno uvedbo ozelenitve celotne površine medvrstnega prostora s samoniklim travinjem, ob katerem ne bo negativnega vpliva na količino pridelka, morajo imeti tla zadostno kapaciteto za vodo (t.j. dobre vodo zadrževalne lastnosti), vsebovati morajo vsaj 1,5 % organske mase, bujnost trsov mora biti velika (Vršič in Lešnik, 2001).

Za dobro oskrbo z vodo morajo biti padavine razporejene preko rastne dobe enakomerno, potrebna količina je vsaj 150 do 300 mm padavin tekom rastne dobe (Vršič in Lešnik, 2001). Zato morajo biti tla pred setvijo travne ruše ustrezno pripravljena, morajo biti zorana in založno pognojena. V prvih treh letih po setvi travne ruše je skladno z analizo tal potrebno dodajati dušik. Ukrep mora biti izveden premišljeno, da ne pride do negativnega vpliva na trte.

Če je v tleh premalo organske mase, je možen ukrep za povečanje le – te mulčenje rastlinskega pokrova. V enem letu je potrebno večkratno mulčenje, in sicer v mediteranski klimi tako mulčimo vsaj štirikrat, v mokrih letih pa lahko tudi do šestkrat. V sušnem obdobju mulčimo oziroma kosimo v čim krajših časovnih presledkih, da ohranjamo rastline čim manjše (Vršič in Lešnik, 2001; Corino in sod., 1999; Ingels in sod., 1998). Kot pomanjkljivost uporabe bodisi samoniklega travinja ali sejane kulturne rastline v medvrstnem prostoru se je izkazala kompeticija le teh z vinsko trto za vodo (Celette in sod., 2012). Ker se večina vinorodnih krajev nahaja v območjih z manjšo količino padavin tekom rastne dobe, je pomanjkanje vode pogost problem predvsem v mlajših vinogradih.

Problem predstavlja predvsem pomanjkanje padavin v poletnih mesecih, ko rastlina potrebuje največ vode predvsem v fazi začetka zorenja (veraison) (Corino in sod., 1999; Monteiro in Lopes, 2006; Griesser in sod., 2022). Zato je potrebno izhlapevanje oziroma evapotranspiracijo travinja v medvrstnem prostoru karseda zmanjšati (Ruiz-Colmenero in sod., 2011). To lahko dosežemo z obdelanim medvrstnim prostorom, kjer prekinemo kapilarni dvig in se zmanjša evaporacija vode iz tal. Vendar podrahljavanje hkrati privede do poslabšanja strukture, zmanjšanja biotske pestrosti tal in slabše dostopnosti nekaterih hranil rastlinam (Virto in sod., 2012; Belmonte in sod., 2018).

Ob postavitvi vinograda, se velikokrat pojavi dilema ozelenitve medvrstnega prostora ali obdelave le tega. V primeru ozelenitve medvrstnega prostora vinograda se sejanje travne ruše oziroma travno deteljne mešanice izvede v tretjem letu od postavitve vinograda (Tehnološka navodila za

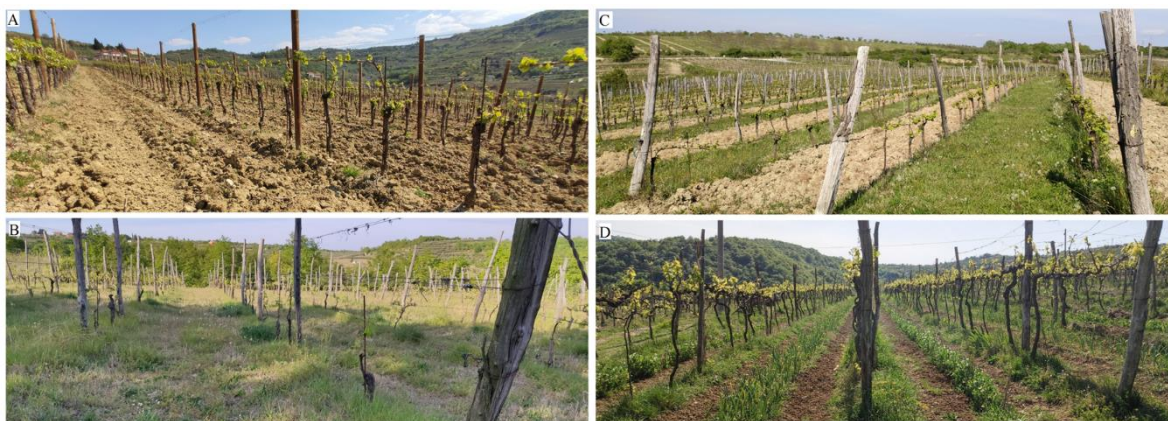
integrirano pridelavo grozdja, 2022). Pokrivanje tal z različnimi organskimi materiali je lahko dober kompromis, saj pogosta obdelava tal ni potrebna in ni rastlin, ki bi z vinsko trto tekmovala za vodo. Vendar je uporaba pokrivk v vinogradih neekonomična in na splošno v praksi le redko uporabljena. Tako na primer pokrivka iz slame predstavlja veliko nevarnost za zdrs traktorja, svetla barva tal poveča možnost požarov v spomladanskem času, poveča se nevarnost vžiga v poletnem času in povečuje pojav škodljivcev (Vršič in Lešnik, 2001).

Izbira obdelave medvrstnega prostora je odvisna tudi od postavitve vinograda. V primeru, da je vinograd na reliefno razgibanem in vetrovnem območju z nekoliko večjim naklonom, ki je posledično bolj erozijsko ogrožen, je priporočljiva ozelenitev (Mikoš in Zupanc, 2000). Na takih lokacijah so vrste vinogradov običajno postavljene vzporedno s plastnicami, saj se tako zmanjša površinski odtok vode ob nalivih in s tem zmanjša erozija (Novara in sod., 2019; Schütte in sod., 2020).

2.2 Vpliv obdelave na obliko površine vinograda in erozijske procese

V Sloveniji se pri vinogradih izmenjujeta obdelava vzdolž plastnic in obdelava prečno na plastnice. Določitev smeri postavitve linij oziroma vrst vpliva na to, kako bomo tla medvrstnega prostora obdelovali. Z obdelavo medvrstnega prostora se spremeni oblika površine vinograda, kar vpliva na površinski tok vode in na erozijske procese oziroma odsotnost le-teh. Študije vpliva postavitve vrst vinskih trt na strmih pobočjih na zadrževanje vode in odziv vinske trte na sušni stres so pokazale, da so terasirani lahko zadržali do 40 % višji relativni odstotek zimskih padavin v primerjavi s kontrolo (Strack in Stoll, 2022).

Na podlagi opazovanj videza površine obravnavanih vinogradov lahko zaključimo, da se zaradi izmenične stalne obdelave medvrstnih prostorov z leti na delu, ki je brez rastlinskega pokrova, oblikovale blage terase. Zaradi spremenjene oblike terena je na površju golo obdelanih tal medvrstnega prostora podaljšan čas zadrževanja vode, ki imajo funkcijo manjših infiltracijskih bazenov. S tem se doseže boljši nadzor nad površinskim tokom vode ob večjih padavinskih dogodkih, preko česar se ublaži proces erozije, koreninski splet vinske trte se obogati s potrebno zalogo vode (Zrnec Drobnjak in sod., 2023).



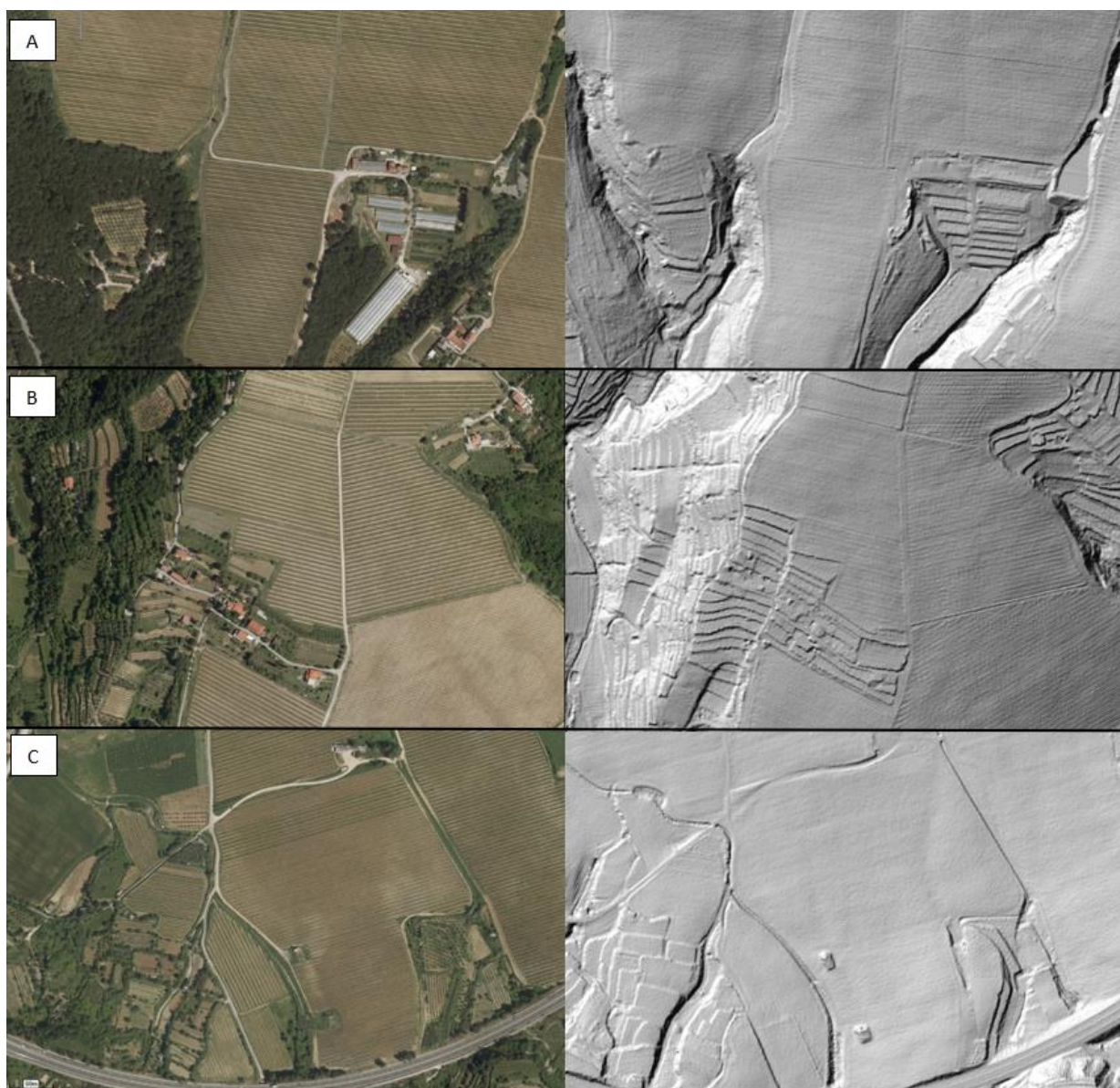
Slika 1 Konvencionalno golo obdelan medvrstni prostor (A) (45°32'31"N, 13°40'55"E; Polje, Izola, april 2020), trajno ozelenjen medvrstni prostor (B) (45°30'09"N 13°39'26"E; Cetore, Izola, april 2020), trajno izmenično ozelenjen medvrstni prostor (C) (45°31'30"N, 13°41'08"E; Livade, Izola, april 2020) in kulturni posevki v medvrstnem prostoru vinograda (D) (45°30'10"N 13°39'30"E; Cetore, Izola, april 2020) (Zrnec Drobnjak, 2020).

Pri večletni obdelavi takega medvrstnega prostora vinograda z rahljanjem pride do nastanka infiltracijskih bazenov, ki dodatno pripomorejo pri zadrževanju padavinske vode na površju tal ter posledično boljši infiltraciji (Novara in sod., 2019; Lieskovsky in Kenderessy, 2012; Zrnec Drobnjak in sod., 2023).



Slika 2 Golo obdelan medvrstni prostor brez rastlinske odeje (levo). Na terasah nastalih zaradi dolgoletne izmenične obdelave medvrstnega prostora se oblikujejo na golo obdelani površini infiltracijski bazeni (desno) (17.9.2021) (Zrnec-Drobnjak, 2021).

Medvrstni prostor v predmetni študiji obravnavanih treh vinogradov, ki so postavljeni vzdolž plastnic, se je zaradi večletne izmenične stalne obdelave preoblikoval v blage terase. Med trtami v vrsti in začetkom nivoja terase so se tako ustvarile višinske razlike. Višina nastalih brežin teras v vinogradu Purissima (naklon vinograda je ca. 8°) je ± 20 cm, v vinogradu Baredi (naklon vinograda je ca. 6°) (Slika 5), prav tako ± 20 cm ter v vinogradu Ricorvo, ki je na najpoložnejšem terenu izmed vseh treh vinogradov, do ± 10 cm (Slika 4). Z dolgoletno obdelavo se je tako preoblikoval sam teren, kar smo potrdili s posnetki laserskega skeniranja terena (LiDAR) (Slika 3). Na izravnani površini golo obdelanega medvrstnega prostora so se tako oblikovale ponikovalne terase z infiltracijskimi bazeni, zaradi česar se na površju tal brez rastlinske odeje tudi podaljša čas zadrževanja vode. To v času padavin omogoča boljšo infiltracijo in s tem bogatenje podzemnih zalog vode ter zmanjšanja površinskega odtoka vode.



Slika 3 Digitalni ortofoto posnetki (levo) in LiDAR posnetki (desno) vinogradov Purissima (A), Baredi (B) ter Ricorvo (C) v merilu 1:2500 (vir: Atlas okolja, povzeto po Zrnec Drobnjak, 2023).

2.3 Primeren nači obdelave glede na teren

Primeren načina obdelave in določitev primerne oblike terena za preprečevanja površinskih tokov vode in erozijskih procesov upošteva naravne danosti terena (nagib, geološka podlaga, tip tal). Pri vinogradu je ključna začetna priprava zemljišča. Pred ureditvijo vinograda tla rigolamo (globina 60-80cm). V prvih treh letih medvrstnega prostora ne ozelenimo, temveč ga obdelujemo. Obdelujemo ga z namenom, da se korenine ne širijo tik pod površjem tal ter, da zatiramo plevela, ki delajo konkurenco trtam (Vršič in Lešnik, 2010). Pri konvencionalni obdelavi tal z oranjem v obdelovani, vrhnji plasti tal ustvarimo relativno homogen vrhnji horizont, imenovan tudi ornica. Ta horizont ima bolj ali manj homogene fizikalne lastnosti in vsebnost hranil (Kraut-Cohen in sod., 2020). Z oranjem povzročamo manjšo velikost agregatnih skupkov ter manjšo obstojnostjo strukturnih agregatov. Slednji pod vplivom obdelave tudi hitreje razpadajo (Helgason in sod., 2010; Stanko, 2017; Vazzani in sod., 2018; Dhaliwal in sod., 2019).

Z obdelavo tal posredno vplivamo na kemijske lastnosti. Med pomembnejšimi kemijskimi lastnostmi je vsebnost ogljika. Tla vsebujejo več kot trikrat več ogljika kot atmosfera (Su in sod., 2022). Velik del v tleh vezanega ogljika je v obliki stabilne organske snovi, ki zaradi dolgega zadrževalnega časa služi kot najpomembnejši globalni rezervoar ogljika (Su in sod., 2022). Z mehansko motnjo, ki jo predstavlja oranje in ki poseže v strukturo tal, se organska snov sprostí iz večjih talnih agregatov (Helgason in sod., 2010; Gmach in sod., 2020). Do sproščanja organske snovi pride tudi zaradi izpostavljenosti organskega ogljika oksidaciji, kar povzroči zmanjšanje količine organske snovi v tleh (Vazzani in sod., 2018; Dhaliwal in sod., 2019). V tla vdeleni, z mehansko obdelavo razdrobljeni rastlinski ostanki so bolj izpostavljeni mikrobni razgradnji (Page in sod., 2020). Kationska izmenjalna kapaciteta tal je zelo odvisna od mineralne sestave in velikostne sestave talnih delcev, še posebej vsebnosti gline. Na kationsko izmenjalno kapaciteto lahko vplivata tudi vsebnost organske snovi in pH tal. V ohranitveni obdelavi, kjer tal ne orjemo, se kationska izmenjalna kapaciteta tako lahko poveča. Povečanje je navadno v povezavi s povečanjem negativnega naboja zaradi povečanja vsebnosti organske snovi na površini (Page in sod., 2020).

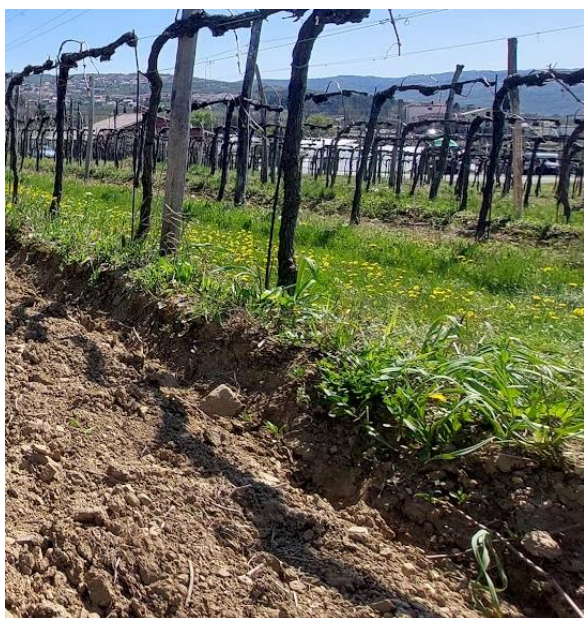
Intenziteta obdelave tal vpliva na gostoto tal. Neposredno po oranju je gostota tal manjša, nato pa se s posedanjem tal poveča. Povečana gostota tal ni nujno povezana z manjšo količino por v tleh, saj se ob posedanju talnih delcev v daljšem časovnem obdobju oblikujejo bolj stabilne mikropore. Po drugi strani intenzivna obdelava tal z mnogo hodi težke mehanizacije ali obdelava tal v času, ko so tla premokra, povzroči zbitost tal (Ball in sod., 1997; Batey, 2009). Pri zmanjšani intenziteti obdelave, kot je ozelenitev medvrstnih prostorov, lahko pride do spremembe pri vodnem režimu tal. Slednje je posledica izboljšane obstojnosti strukturnih agregatov, večje količine vdelenih rastlinskih ostankov in s tem organske snovi v tleh (Page in sod., 2020). Na vodni režim tal vpliva povečan obseg makropor, ki so med seboj povezane. Manj intenzivna obdelava tal v takem primeru zmanjša izhlapevanje in poveča infiltracija vode (Vazzani in sod., 2018; Page in sod., 2020).

Ob povečanju vsebnosti organske snovi v tleh se spremeni dostopnost rastlinskih hranil, in sicer tako zaradi spremembe količine hranil, kot tudi zaradi prerazporeditve hranil in organske snovi v talnem profilu. V tleh z zmanjšano intenziteto obdelave, kjer se poveča količina rastlinskih ostankov na površini, se poveča vsebnost dušika, fosforja, kalija ter tudi magnezija, mangana in cinka. Povečana količina rastlinskih hranil v zgornji plasti hkrati ne pomeni večje dostopnosti teh hranil za rastline. Pri dušiku se pogosto zgodi, da se z zmanjšano obdelavo tal hitrost mineralizacije

dušika zmanjša ter poveča imobilizacija. Zaradi povečane mineralizacije in imobilizacije dušika je ta rastlinam manj dostopen. Prav tako se manj mobilni elementi akumulirajo v zgornjih plasteh tal, kjer so lahko rastlinam slabše dostopni (Page in sod., 2020). Hranila, ki se kopičijo v površinskih horizontih, so lahko bolj izpostavljena površinskemu odtoku in izhlapevanju (Blanco-Caqui in Wortmann., 2020).



Slika 4 Višinska razlika, ki se je oblikovala v času obstoja vinograda zaradi različne medvrstne obdelave tal medvrstnega prostora v vinogradu Baredi (Zupanc, 2021).



Slika 5 Višinska razlika, ki se je oblikovala v času obstoja vinograda zaradi različne medvrstne obdelave tal medvrstnega prostora v vinogradu Purissima (Zupanc, 2021).

2.4 Meritve fizikalnih, bioloških in kemijskih lastnosti tal medvrstnih prostorov v vinogradih

Vzdrževanje fizikalne (struktura tal), kemične (zadostna količina hranil, brez onesnažil) in biološke (biološka pestrost, vsebnost organske snovi) kakovosti tal je ključno za zdrav vinograd, ki daje kakovosten pridelek (Capó-Bauçà in sod., 2018; Goldammer, 2018). Pri kakovostnih tleh gre najprej omeniti tla z dobro strukturo (Dexter, 2003). Stabilnost strukture tal narekuje predvsem povezovanje koloidnih in glinenih delcev v strukturne agregate, pri čemer nastanejo pore. Tla dobre strukture imajo večjo vsebnost finejših delcev. To je odvisno od sestave tal glede na odstotek delcev različnih velikostnih skupin ter vsebnosti organske snovi v tleh (Zhao in sod., 2020). Ker pri mikrobiološki razgradnji organska snov razpade na polisaharide, ki delujejo kot vezivo, to neposredno vpliva na tvorbo strukturnih agregatov (Dexter, 2003; Ferrero in sod., 2007; Zhao in sod., 2020).

Prav tako so pri pridelavi vinske trte pomembne tudi kemijske lastnosti tal, ki odražajo vpliv mineralov in organskih spojin v talni raztopini, ki je glavni vir hranil za vinsko trto. Optimalna vsebnost hranil in dobra dostopnost le-teh za vinsko trto so ključni za regulacijo prirasta zelene mase in pridelka; priporočila povzemamo iz Smernic za strokovno utemeljeno gnojenje (Mihelič in sod., 2010) (Tabela 1).

Osnova za dosegljivost hranil rastlinam je rahlo kisel pH talne raztopine. V vinogradih postavljenih na flišno podlago to pogosto predstavlja problem, saj so tla zaradi matične kamnine pogosto bazična in zato dosegljivost hranil trtam manjša čeprav je vsebnost le teh na prvi pogled v tleh zadostna. Dostopnost rastlinam dosegljivih hranil je odvisna tudi od kationske izmenjalne kapacitete tal (CEC), ki nam pove kolikšna je sposobnost tal vezave kationov. Od makrohranil sta pomembni predvsem vsebnost dostopnih oblik fosforja in kalija (Mihelič in sod., 2010; Goldammer, 2018; Tehnološka navodila za integrirano pridelavo grozdja, 2022). Izvedba meritev fizikalne, biološke in kemijske lastnosti tal na medvrstnem prostoru vinograda, ki je zatavljen in na medvrstnem prostoru vinograda, ki je redno obdelan,

Tabela 1: Preskrbljenost tal (po AL za fosfor in kalij oziroma po CaCl_2 za magnezij) in ustrezni odmerki hranil (Mihelič in sod., 2010).

Stopnja preskrbljenosti tal v vinogradih	mg P_2O_5 /100g tal	kg/ha P_2O_5	mg K_2O /100g tal		kg/ha K_2O	mg Mg/100g tal		kg/ha MgO
			Lažja do srednje težka tla	Težka tla		Lažja do srednje težka tla	Težka tla	
A- siromašno	< 6	100	< 8	< 12	120	< 6	< 8	70
B- zmerno	6-12	60	8-15	12-20	80	6-14	8-17	40
C- dobro	13-20	15-25	16-25	21-30	50-75	> 14	> 17	-
D- čezmerno	21-30	10	26-40	31-45	40	-	-	-
E- ekstremno	> 30	0	> 40	> 45	0	-	-	-

Mejne vrednosti v preglednici veljajo za strukturna, z organsko snovjo preskrbljena in z njo redno oskrbovana tla.

Izbrane fizikalne, kemijske in biološke lastnosti tal smo ovrednotili za izbrane lokacije na območju vinogradnega okoliša Slovenska Istra, Slovenija. Vinogradi so bili izbrani na ciljno, in sicer smo pri izbiri upoštevali, da so vse enote podvržene enakim agrotehničnim ukrepom (primerljivi po načinu izvajanja in časovni izvedbi) ter so izpostavljeni enakemu podnebjju. Zato smo izbrali tri enote (vinogradi Purissima, Baredi in Ricorvo), ki so v lasti gospodarske družbe, ki ima poenoten način upravljanja z vinogradi (Vinakoper d.o.o.). Tako smo dosegli čim manjše variabilnost med postavitvijo vinogradov, načinom obdelave in izvajanjem agrotehničnih ukrepov.

Trte vseh treh vinogradov, Purissima, Baredi in Ricorvo so posajene tako, da obdelava poteka vzdolž plastnic. Vrste vinogradov so torej postavljene pravokotno na največji naklon zemljišča. V vseh treh vinogradih prevladujejo srednje globoka evtrična rjava tla na karbonatnem flišu. Zanje je značilen kambični horizont (Bv), ki se nahaja pod humusno akumulativnim A horizontom. Za kambični horizont (diagnostični) je značilna velika nasičenost z bazičnimi kationi ($V > 50 \%$) in pH merjen v vodi večji od 5,5 (Vidic in sod., 2015). V vseh treh vinogradih je bil izmerjen pH tal okoli 7,5 (Zrnec Drobnjak in sod., 2022). Medvrstna razdalja v vinogradih je 2,2 m z izjemo Baredi, ki je najstarejši in je zato medvrstna razdalja 2,5 m. Razdalja v vrsti med trtami zanaša 0,9 m.

Na vseh izbranih lokacijah je medvrstni prostor trajno izmenično ozelenjen (Slika 6, Slika 7, Slika 8). Prva tri leta od postavitve teh vinogradov se je izvajala konvencionalna oziroma redna obdelava medvrstnega prostora, ki na površini preprečuje razrast zeli (Slika 9). V četrtem letu po sajenju preide obdelava vsakega drugega medvrstnega prostora v trajno ozelenitev, za kar uporabijo in posejejo travne deteljne mešanice.



Slika 6 Vinograd Purissima (Zupanc, 2021).

Lokacija vinograda Purissima (45.573713 °N, 13.773444 °E) je znotraj občine Koper ob občinski meji z Ankaranom v Škofijah. Tla so evtrična rjava na flišu, srednje globoka (globina 60 cm) do ponekod plitva s teksturo glinene ilovice (GI) (prilogi B in C, slika 4). Povprečen odstotek organske mase na globini do 20 cm je 3,1 % v ozelenjenem medvrstnem prostoru in 1,5 % na golo obdelanem medvrstnem prostoru. Starost tega vinograda je okrog 15 let, zasajena je trta sorte 'Merlot'. Na zgornjem delu pobočja, kjer je naklon v povprečju okoli 8°, so začeli že s postopno obnovo vinograda. Na obdelani goli površini se izvaja večkrat letno rigolanje z rahljači od 20 do 30 cm globine, na ozelenjenem medvrstnem prostoru tri do štirikrat letno mulčenje oziroma košnja. Zatiranje plevelov v vrsti je mehansko z okopavanjem, pletjem ali košnjo (Tabela 2).

Vinograd Baredi (45.513040 °N, 13.681994 °E) se nahaja na pobočju Šavrinskega gričevja pod naseljem Baredi v občini Izola (slika 6). Izmed vseh treh lokacij se ta nahaja na najstrmejšem pobočju hriba z nagibom 5-6°. Tekstura tal je meljasto glinasta ilovica (MGI). Organske snovi je bilo v tem vinogradu nekoliko manj, in sicer 2,7 % v ozelenjenem medvrstnem prostoru in 0,7 % na golo obdelanem. Starost tega vinograda je bila tu največja, in sicer okrog 20 let. Na obravnavanem delu vinograda je zasajena sorta 'Refošk'. Na obdelani goli površini se izvaja večkrat letno rigolanje z rahljači do globine 30 cm, na ozelenjenem medvrstnem prostoru tri do štirikrat letno mulčenje (Tabela 3). Zatiranje plevelov v vrsti je mehansko.

Tabela 2: Agrotehnični ukrepi izvajani v medvrstnem prostoru vinograda Purissima v obdobju od 2018 do 2022 (vir: Vinakoper, 2022).

2018		2019		2020		2021		2022	
Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo
								29. 3.	gnojenje
6. 4.	gnojenje	12. 4.	gnojenje	1. 4.	gnojenje				
23. 4.	rahljanje	18. 4.	rahljanje			12. 4.	gnojenje		
30. 4.	mulčenje	30. 4.	mulčenje	30. 4.	rahljanje	19. 4.	rahljanje		
21. 5.	rahljanje			13. 5.	mulčenje	6. 5.	rahljanje	4. 5.	rahljanje
30. 5.	mulčenje	17. 5.	rahljanje						
31. 5.	rahljanje					26. 5.	mulčenje		
		4. 6.	mulčenje						
20. 6.	mulčenje	5. 6.	rahljanje	18. 6.	mulčenje	15. 6.	rahljanje	16.-17. 6.	mulčenje
		27. 6.	mulčenje	29. 6.	rahljanje			21. 6.	rahljanje
10. 7.	rahljanje					1. 7.	mulčenje	4. 7.	rahljanje
23. 7.	rahljanje					5. 7.	mulčenje		
						22. 7.	rahljanje	26. 7.	rahljanje
12. 9.	trgatev	sept.	trgatev	14. 9.	trgatev	sept.	trgatev	13. 9.	trgatev



Slika 7 Vinograd Baredi (Zrnec-Drobnjak, 2021).

Tabela 3: Agrotehnični ukrepi izvajani v medvrstnem prostoru vinograda Baredi v obdobju od 2018 do 2022 (vir: Vinakoper, 2022)

2018		2019		2020		2021		2022	
Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo
						30. 3.	gnojenje	30. 3.	gnojenje
30. 3.	gnojenje	26. 3.	gnojenje			30. 3.	rahljanje	30. 3.	rahljanje
		4. 4.	rahljanje	2. 4.	gnojenje				
		18. 4.	mulčenje	2. 4.	rahljanje				
						29. 4.	rahljanje		
				5. 5.	mulčenje	7. 5.	mulčenje	12. 5.	rahljanje
				21. 5.	rahljanje			16. 5.	mulčenje
4. 6.	rahljanje	6. 6.	rahljanje	19. 6.	mulčenje	2. 6.	rahljanje		
20. 6.	mulčenje	7. 6.	mulčenje						
22. 6.	rahljanje	28. 6.	mulčenje			30. 6.	mulčenje		
				9. 7.	rahljanje	16. 7.	rahljanje		
				22. 7.	mulčenje				
11. 9.	trgatev	28. 9.	trgatev	29. 9.	trgatev	sept.	trgatev	sept.	trgatev

Vinograd imenovan Ricorvo (45.524904 °N, 13.659462 °E) je star okrog 10 let in se nahaja v Livadah, občina Izola (slika 7). Tu so v vrste zasajene trte sorte 'Chardonnay', ki se nahajajo na ravninskem predelu. Tla so tu prav tako evtrična rjava na flišu vendar nekoliko težja z večjo vsebnostjo gline. Prevladujoča tekstura tal na tej lokaciji je meljasto glinena (MG). Organska snov v ozelenjenih vrstah v povprečju tu je 2,8 % in v golo obdelanih vrstah 2 %. Na obdelani goli površini se izvaja večkrat letno rigolanje z rahljači do globine 30 cm, na ozelenjenem medvrstnem prostoru tri do štirikrat letno mulčenje oziroma košnja. Zatiranje plevelov v vrsti je mehansko.



Slika 8 Vinograd Ricorvo (Zrnec-Drobnjak, 2021, Zupanc, 2021).



Slika 9 Golo obdelan medvrstni prostor brez rastlinske odeje v vinogradu Purissima na prenovljenem delu vinograda (Zupanc, 2021).

Tabela 4: Agrotehnični ukrepi izvajani v medvrstnem prostoru vinograda Ricorvo v obdobju od 2018 do 2022 (vir: Vinakoper, 2022)

2018		2019		2020		2021		2022	
Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo	Datum	Opravilo
				30. 3.	gnojenje				
26. 3.	gnojenje			31. 3.	rahljanje				
		1. 4.	gnojenje			2. 4.	gnojenje	8. 4.	gnojenje
23. 4.	mulčenje	3. 4.	rahljanje			2. 4.	rahljanje	8. 4.	rahljanje
		24. 4.	mulčenje	29. 4.	mulčenje	29. 4.	mulčenje		
3. 5.	rahljanje							11. 5.	mulčenje
				21. 5.	rahljanje	27. 5.	mulčenje	12. 5.	rahljanje
29. 5.	rahljanje	29. 5.	rahljanje			28. 5.	rahljanje		
12. 6.	mulčenje	5. 6.	mulčenje						
		26. 6.	mulčenje	19. 6.	mulčenje			21. 6.	rahljanje
		28. 6.	rahljanje			24. 6.	mulčenje		
				17. 7.	rahljanje	16. 7.	rahljanje		
				30. 7.	mulčenje				
24. 8.	trgatev	2. 9.	trgatev	31. 8.	trgatev	sept.	trgatev	sept.	trgatev

2.4.1 Fizikalne lastnosti

Glavne fizikalne lastnosti tal so gostota tal in poroznost, ki numerično nakažeta, kakšna je struktura tal (razmerje med maso suhega, trdnega dela tal in volumnom neporušenih tal oziroma razmerje med volumnom por in volumnom neporušenih tal) ter hidravlične lastnosti. Slednje opišejo, kako se voda giblje v tleh, pod nasičenimi oziroma nenasičenimi pogoji. Prvo opiše hidravlična prevodnost nasičenih tal, gibanje vode pod nenasičenimi pogoji pa vodo zadrževalne lastnosti tal.

Gostota tal (ρ_b) (tudi volumska gostota tal) je razmerje med trdnim, praviloma mineralnim delom tal in volumnom, ki ga ta trdni del tal zaseda v strukturirani, neporušeni obliki (V_b). Gostota tal je pogojena s teksturo talnih delcev, ki tvorijo mineralni del in oblikujejo porozni prostor vrhnjega sloja tal. Odvisna je od razmerja med količino organske in mineralne snovi trdnega dela tal in od obsega volumna por. Na gostoto tal znatno vpliva organski del tal oziroma količina humusa v tleh, ki se z globino tal zmanjšuje (Turniški in sod., 2019). Tla z veliko organske snovi in veliko poroznostjo imajo majhno volumsko gostoto. Šotna in ostala humozna tla v gozdu imajo gostoto med 0,2 in 0,6 kg/dm³, povprečna poljska tla pa imajo gostoto ornega sloja med 1,0 in 1,5 kg/dm³ (Stritar, 1973).

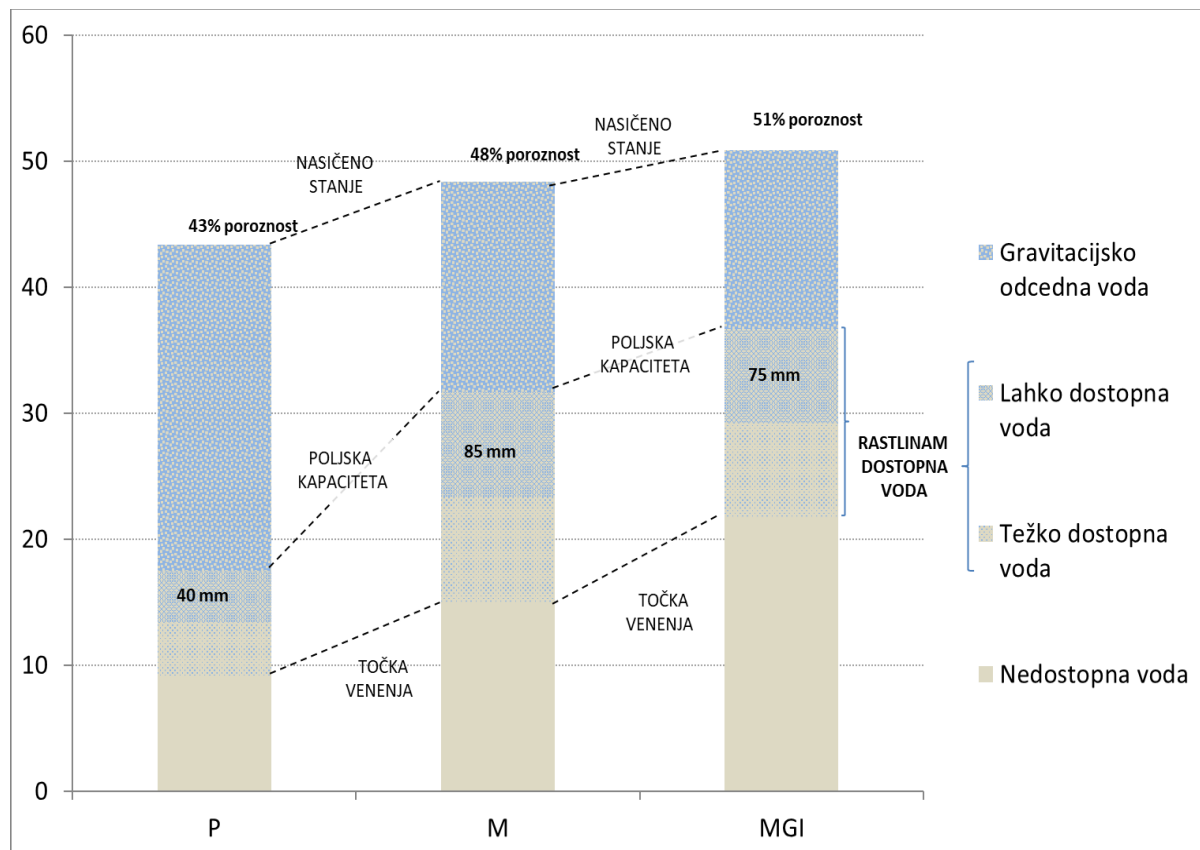
Poroznost nam pove razmerje med volumnom por in volumnom celotnega neporušenega vzorca tal. Med trdnimi talnimi delci se nahajajo pore različnih velikosti in oblik, v katerih se zadržujeta voda in/ali zrak. V mikro porah, ki jih imenujemo tudi kapilare, se voda zadržuje pod vplivom adhezijskih in kohezijskih sil, ki so močnejše od gravitacijske sile, pod vplivom katere bi ta voda odtekla v nižje plasti tal. Makropore so običajno zapolnjene z zrakom. Delež makropor nam predstavlja drenažno odcednost. Skozi makropore voda odteče hitreje, saj je gravitacijska sila močnejša od sil, ki vežejo vodo na steno pore (Hillel, 1998).

Tekstura je razmerje v količini mineralnih talnih delcev glede na njihovo velikost. Ločimo tri osnovne velikostne skupine: pesek (največji delci), melj in glina (najmanjši delci, velikosti < 2 mm). Razmerja med njimi grafično prikažemo v teksturnem trikotniku, kjer so prikazani razredi (Zupan in sod., 2008). Od velikosti mineralnih delcev sta odvisni specifična površina delcev in velikost por v tleh. Velikost in narava mineralnih delcev vplivata na kemijske in fizikalne lastnosti tal, kot so hidravlične lastnosti tal, zračnost tal, kationska izmenjalna kapaciteta, idr.

Vodo zadrževalne lastnosti nam povedo, koliko vode tla zadržijo, opišemo jih z intervalom rastlinam dostopne vode (razlika med količino vode pri točki venenja in količino vode pri poljski kapaciteti) (Slika 10). Drugače povedano, sposobnost tal za zadrževanje vode je običajno obravnavana na nivoju homogene plasti tal ter je opisana z razmerjem med matričnim potencialom in vsebnostjo vode v tleh. To razmerje imenujemo krivulja vodozadrževalnih lastnosti tal (Dane in Hopmans, 2002). Matrični potencial nam predstavlja silo vezave vode na talne delce. Oblika krivulje je odvisna od talnih lastnosti, kot so tekstura, struktura, vsebnost organskega ogljika in gostota tal.

Glede na dosedanje študije privzamemo, da imajo tla z i) večjo vsebnost gline, ii) zaradi večje vsebnosti organskega ogljika izboljšano strukturo in s tem iii) manjšo gostoto tal (veliko število zelo majhnih por) ter boljšo sposobnost za zadrževanje vode. Iz krivulje vodozadrževalnih lastnosti tal lahko odčitamo oziroma določimo t.i. poljsko kapaciteto in točko venenja. Poljska kapaciteta je vsebnost vode v tleh, ki jo tla zadržijo po nekaj dneh po nasičenosti z vodo (npr. po daljšem obdobju intenzivnih padavin), ko postane gravitacijski odtok zanemarljiv.

Poljska kapaciteta je največkrat privzeta kot vsebnost vode pri matričnem potencialu -6 do -33 kPa, in je rastlinam optimalno dostopna. Točka venenja predstavlja vsebnost vode v tleh, pri kateri je voda tako močno vezana na talne delce, da rastline nepovratno ovenijo. Pogosto je ocenjena kot vsebnost vode pri matričnem potencialu -1500 kPa (Dane in Hopmans, 2002). Tla z dobrimi vodozadrževalnimi lastnostmi nudijo rastlinam dobro oskrbo z vodo tudi v času dolgotrajne suše. Vodozadrževalne lastnosti študijskih primerov vinogradov obravnavamo v posebnem poglavju (2.6.2).



Slika 10 Vodo zadrževalne lastnosti tal glede na teksturo – teoretičen prikaz (Zupanc, 2017)

Tabela 5: Tekstura tal in teksturni razred (TRZ) glede na vinograd (Purissima, Baredi in Ricorvo), način upravljanja (golo obdelan medvrstni prostor in trajno ozelenjen medvrstni prostor) ter globino (0-20 in 20-40 cm).

Vinograd	Način upravljanja	Globina	PESEK [%]	MELJ grobi [%]	MELJ fini [%]	MELJ skupni [%]	GLINA [%]	TRZ
Purissima	Ozelenjeno	0- 20 cm	24,9	23	22,7	45,7	29,4	GI
		20 - 40 cm	24,9	21,4	21,9	43,3	31,8	GI
	Golo	0 - 20 cm	28,2	22,7	20,5	43,2	28,6	GI
		20 - 40 cm	26	20,8	22,2	43	31	GI
Baredi	Ozelenjeno	0 - 20 cm	11	18	39,1	57,1	31,9	MGI
		20 - 40 cm	9,4	18	39	57	33,6	MGI
	Golo	0 - 20 cm	11	17,2	40,8	58	31	MGI
		20 - 40 cm	10,9	15,8	39,9	55,7	33,4	MGI
Ricorvo	Ozelenjeno	0 - 20 cm	11,3	18,4	24,8	43,2	45,5	MG
		20 - 40 cm	11,8	16,3	24,7	41	47,2	MG
	Golo	0 - 20 cm	11,2	12,2	32,4	44,6	44,2	MG
		20 - 40 cm	17,8	12,3	30	42,3	39,9	MG-MGI

Volumsko gostoto tal smo izmerili na neporušenih vzorcih, ki smo jih odvzeli s Kopecky cilindri (100 cm³) na globini do 15 cm (ISO 11272, 2017). Na vsak vinograd smo odvzeli 3 vzorce na golo obdelani medvrstni razdalji (en vzorec na vrsto) in 3 vzorce na ozelenjeni. Na neporušenih vzorcih smo poleg volumske gostote nato izmerili hidravlično prevodnost. Za določitev nasičene hidravlične prevodnosti glede na tip tal (gostoto tal) smo uporabili razporeditev po Bearu (1972).

Gostota tal je v vseh treh vinogradih bila večja v trajno ozelenjenih tleh medvrstnega prostora (Tabela 6). Razlika v gostoti tal pri različnem načinu obdelave vinograda Purissima je bila 0,08 g/cm³, v vinogradu na lokaciji Baredi 0,17 g/cm³ tal ter v vinogradu Ricorvo 0,32 g/cm³, kjer je bila razlika v gostoti tal pri različnih načinih obdelave največja. Poroznost tal je bila torej večja v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora v vseh treh vinogradih. Največja razlika v poroznosti tal z različnim načinom upravljanja je v vinogradu Ricorvo, in sicer 11,99 %. Neporušeni vzorci tal niso bili odvzeti na večji globini tal zaradi prevelikega deleža skeleta.

Tabela 6: Gostota tal [g/cm³] s standardnim odklonom (SD-G) in poroznost [%] s standardnim odklonom (SD-P) za vse tri vinograde pri različnem načinu upravljanja (trajno ozelenjen in obdelan medvrstni prostor) (n=3).

Vinograd	Način upravljanja	Gostota tal [g/cm ³]	SD-G	Poroznost [%]	SD-P
Purissima	Ozelenjeno	1,42	0,06	46,49	2,27
	Golo	1,34	0,12	49,78	4,60
Baredi	Ozelenjeno	1,48	0,25	44,56	9,47
	Golo	1,31	0,02	50,93	0,85
Ricorvo	Ozelenjeno	1,63	0,07	38,63	2,64
	Golo	1,31	0,06	50,62	2,11

2.4.2 Kemijske lastnosti

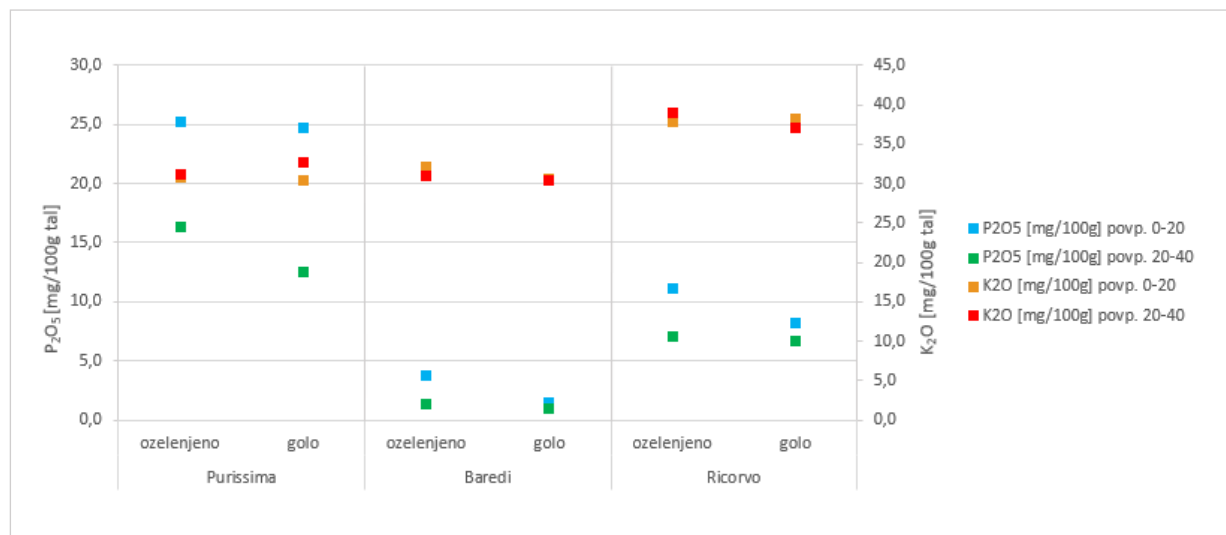
V sklopu osnovne kemijske analize tal izbranih vinogradov smo določili vsebnost rastlinam dostopnega fosforja in kalija kot pomembnejši hranili za razvoj vinske trte. V vseh treh izbranih vinogradih je vsebnost K₂O na globini 0-20 cm in 20-40 cm znotraj priporočene vrednosti pri obeh načinih upravljanja medvrstnega prostora (Slika 11).

Kemijske lastnosti tal smo določali na dveh globinah, in sicer na globini 20 cm in 40 cm. Združen vzorec je bil ločeno odvzet za posamezno globino. V vsakem vinogradu smo z žlebičasto sondo naredili 15 sondiranj na vrsto znotraj vzorčnega območja v medvrstnem prostoru. Analizo talnih vzorcev smo opravili v laboratoriju Infrastrukturnega centra za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete po ISO 11464 (2006). S plamensko spektrofotometrijo smo določili vsebnost izmenljivih bazičnih kationov v tleh, in sicer Ca, Mg, K, Na. Izmerili smo vsebnost dostopnega fosforja in kalija. Skupni in organski C (organsko snov) smo določili po principu suhega sežiga tal (ISO 10694, 1995). Izračunali smo C/N razmerje, določili izmenljive bazične katione in kationsko izmenjalno kapaciteto (CEC). Za določitev vsebnost karbonatov v tleh smo uporabili volumetrično metodo po Scheiblerju s HCl (ISO 10693, 1995). Za ugotavljanje pH smo uporabili elektrometrično meritev H⁺ ionov s pH metrom v suspenziji s raztopino 0,01 mol/l CaCl₂ (ISO 10390, 2021). Teksturo tal smo določili s prstnim preizkusom (vsi vzorci) in mehansko analizo (ena ponovitev na lokacijo) po principu mokrega sejanja in sedimentacije (ISO 11277, 2020) z modifikacijo za ameriško teksturno klasifikacijo.

Rezultati (Slika 11,

Tabela 7) kažejo, da so tla dobro založena, in sicer na lokacijah Purissima in Baredi 15-25 mg K_2O / 100 g tal. V vinogradu Ricorvo, kjer so težja tla, so le ta prav tako dobro preskrbljena, in sicer 21-30 mg K_2O / 100 g tal. Vinograd Purissima je s fosforjem dobro preskrbljen na globini 20-40 cm pri obeh načinih upravljanja, vendar je vsebnost P_2O_5 večja v trajno ozelenjenih tleh medvrstnega prostora. Založenost s fosforjem na globini 0-20 cm je v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora ter pri v trajno ozelenjenih tleh medvrstnega prostora čezmerna. Na lokaciji Baredi in Ricorvo je vsebnost rastlinam dosegljivega fosforja, pri obeh načinih upravljanja medvrstnega prostora na globini 0-20 cm in 20-40 cm, pod priporočeno vrednostjo 13-20 mg P_2O_5 / 100 g tal (Slika 11).

Povprečen izmerjen pH v $CaCl_2$ v vseh treh vinogradih je bil 7,5, kar je značilno za evtrična rjava tla na flišu z visoko vsebnostjo karbonatov (Tabela 7). Najmanjši izmerjen pH je bil v vinogradu Purissima trajno ozelenjenega medvrstnega prostora na globini 0-20 cm, in sicer 7,3, kjer je tudi največja vsebnost organske snovi. Na enaki globini in enakem načinu upravljanja medvrstnega prostora v vinogradu Baredi je bil pH tal 7,4 in na lokaciji Ricorvo 7,5. V golo obdelanem medvrstnem prostoru na isti globini je bil pH na lokaciji Purissima in Ricorvo 7,5 ter na lokaciji Baredi 7,6, kjer je tudi višja vsebnost karbonatov (Tabela 7).



Slika 11: Založenost s fosforjem in kalijem glede na vinograd (Purissima, Baredi, Ricorvo), način upravljanja medvrstnega prostora (trajna ozelenitev in golo obdelana tla) in globino (0-20 in 20-40 cm) leta 2022

Tabela 7: Povprečen izmerjen pH v CaCl₂*, vsebnost skupne organske snovi v tleh [%] s standardnim odklonom (SD-OS) in kationska izmenjevalna kapaciteta tal [mmolc/ 100g] s standardnim odklonom (SD-CEC) na vseh treh lokacijah pri golo obdelanem medvrstnem prostoru ter pri ozelenjenem medvrstnem prostoru na globini 0-20 cm in 20-40 cm (n=3).

Vinograd	Način upravljanja	Globina	pH (v CaCl ₂)	Org. snov [%]	SD-OS	Povp. org. snov [%]	CEC [mmolc/ 100g]	SD-CEC
Purissima	Ozelenjeno	0 - 20 cm	7,3	3,1	0,20	2,35	19,69	1,50
		20 - 40 cm	7,5	1,6	0,00		20,24	1,57
	Golo	0 - 20 cm	7,5	1,53	0,12	1,32	21,39	2,15
		20 - 40 cm	7,5	1,1	0,46		23,22	5,36
	Ozelenjeno	0 - 20 cm	7,4	2,7	0,26	1,83	27,88	13,94
		20 - 40 cm	7,6	0,97	0,06		16,02	7,65
Baredi	Golo	0 - 20 cm	7,6	0,7	0,00	0,7	12,39	4,07
		20 - 40 cm	7,6	0,7	0,20		14,98	1,67
	Ozelenjeno	0 - 20 cm	7,5	2,77	0,61	1,97	24,74	14,11
		20 - 40 cm	7,6	1,17	0,38		16,76	5,39
Ricorvo	Golo	0 - 20 cm	7,5	2	1,56	1,43	13,17	2,87
		20 - 40 cm	7,5	0,87	0,76		17,46	5,94

*kalcijev klorid

2.4.3 Biološke lastnosti

Encimi v tleh katalizirajo več biokemičnih reakcij, kjer se odmrli organski ostanki pretvorijo v anorganske spojine, ki postanejo dostopne rastlinam in drugim organizmom. Mikroorganizmi imajo velik vpliv na kroženje snovi, vpliv na druge organizme v tleh, na nastajanje tal in rodovitnost tal (Leštan, 2002). Encimska aktivnost v tleh je dober pokazatelj biološke kakovosti tal, saj so encimi zelo občutljivi na spremembe v tleh, enostavni za merjenje in bolj odzivni na obdelavo in strukturo tal kot druge talne lastnosti. Obstaja več encimov v tleh, vendar se za ocenjevanje kakovosti tal najpogosteje uporabljajo tisti, ki sodelujejo v hidrolizah in razgradnji glavnih komponent odpadlega materiala (Adetunji in sod., 2017).

β -glukozidaza je najpogostejši, pomemben in pogosto uporabljen indikator kakovosti tal. β -glukozidazna aktivnost je tesno povezana z organsko snovjo tal, biološko aktivnostjo v tleh in kroženjem ogljika. Spremembe v organskem ogljiku v tleh pokaže veliko prej, kot ostale rutinske tehnike. Te lastnosti so pomembne za uporabo β -glukozidazne aktivnosti pri testiranju kakovosti tal v kmetijstvu (Adetunji in sod., 2017).

V tabeli so rezultati β -glukozidazne aktivnosti, ki je bila okrog 5-krat višja v ozelenjenih vrstah kot v obdelanih (Tabela 8). Rezultati analiz β -glukozidazne aktivnosti torej kažejo, da je aktivnost β -glukozidaze v obdelanih tleh nižja kot v tleh ozelenjenega medvrstnega prostora. Razlika v aktivnosti med obdelanimi in ozelenjenimi vrstami bi bila lahko posledica različne sestave organske snovi (Adetunji in sod., 2017).

Višja β -glukozidazna aktivnost v ozelenjenih vrstah bi bila lahko povezana tudi s tem, da je bila na globini vzorčenja (2 – 7 cm) prisotna rizosfera. Encimi v rizosferi imajo običajno višjo aktivnost kot tisti, ki delujejo v okoliških tleh, saj je v rizosferi prisotnega več organskega ogljika. Encimi, ki jih proizvajajo in sproščajo tako korenine kot mikroorganizmi, prispevajo k spremembi razpoložljivosti hranil v rizosferi, saj sodelujejo pri hidrolizi ogljikovih substratov in organskih oblik hranil, kot so dušik, fosfor in žveplo (Gianfreda, 2015).

Tabela 8: β -glukozidazna aktivnost (tvorba *p*-nitrofenola) v izbranih vrstah vinograda Purissima. Podatki so podani kot povprečje treh ponovitev s standardnimi napakami.

Oznaka vrste	Zap. št. vrste	Obdelano/ozelenjeno	Koncentracija <i>p</i> -nitrofenola na gram suhih tal ($\mu\text{g/g}$)
6/3	13	Obdelano	$0,80 \pm 0,04$
4/2	15	Obdelano	$0,85 \pm 0,04$
2/1	17	Obdelano	$1,05 \pm 0,07$
1/1	16	Ozelenjeno	$5,03 \pm 0,36$
3/2	18	Ozelenjeno	$5,47 \pm 0,71$
5/3	14	Ozelenjeno	$5,42 \pm 0,75$

2.5 Vpliv obdelave tal na vodno bilanco tal v vinogradu

Vodna bilanca pove razmerje med pozitivnimi in negativnimi členi vode za neko območje, ki je lahko na nivoju profila tal ali za vodoprисpevno območje večjega ali manjšega povodja. Z vodno bilanco ugotavljamo hidrološke značilnosti kroženja vode. Glede na razmere v posameznem prispevnem območju, se padavine razdelijo na različne komponente. Za prispevno območje tako vodno bilanco zapišemo kot (Zang in sod., 2001):

$$P = ET + O + G + \Delta S \quad \dots(1)$$

kjer so posamezni členi P padavine, ET evapotranspiracija, O površinski odtok, globinski odtok (G) in ΔS sprememba vsebnosti količine vode v tleh (vse člene obravnavamo v mm). V enačbi padavine (P) predstavljajo celoten delež vode in se spreminjajo tako prostorsko kot časovno. Z obdelavo tal bistveno vplivamo na dva člena vodne bilance, in sicer na površinski odtok (O) in na del padavin, ki se infiltrira, na člen infiltracije (I). Slednji neposredno vpliva na to, koliko vode bo prišlo v profil tal in s tem tudi – ko je presežena zadrževalna sposobnost profila – podzemne zaloge vode preko globinskega odtoka (G).

Na površinski odtok vode najbolj vpliva oblika površine – nagib terena, konveksnost ali konkavnost le-tega. Teraso so najstarejši agrotehnični ukrep, ki je znan že iz pradavnine, ki omogoča lažjo obdelavo na nagnjenih območjih. S terasiranjem pridobimo bolj ali manj ravno ploskev, ki poveča obseg obdelovalne površine, olajša – predvsem mehansko – obdelavo tal. Z zmanjšanjem nagiba se zaustavi hitrost toka vode po pobočju, podaljša se čas, ko se voda lahko vpije v pod površje tal. S tem zmanjšamo procese erozije oz. odnašanja tal, poveča se zaloga vode v globini tal, kjer jo lahko rastline koristijo. Brežine teras so pogosto narejene iz kamenja, pobranega s kmetijskih zemljišč.

Vendar so terase tehnično in tudi finančno zahteven ukrep. Blažji, a tudi učinkovit ukrep je obdelava vzdolž plastnic. S primerno medvrstno razdaljo in ustrezno obdelavo lahko upočasnimo površinski tok vode in povečamo infiltracijo vode v tla, s tem pa količino vode v tleh.

Poleg oblike površine je za količino površinskega odtoka, ki se generira, in infiltracijo, ključno, kakšne so lastnosti tal. Pomembno je, kakšna je narava površine – prisotnost rastlinskega pokrova in značilnosti le-tega ter lastnosti tal, kot sta poroznost in struktura tal (Zupanc, 2017).

2.5.1 Ocena razpoložljivosti vode glede na obdelavo medvrstnega prostora

Vodno bilanco na nivoju nekega zemljišča, kot je to vinograd, nabolje preverimo z meritvami količine vode in tenzije vode v tleh, da dobimo dejansko stanje. Z namenom podrobnejše preverbe vodne bilance smo za krajše obdobje (od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022) pridobili natančne padavinske podatke premične klimatološke postaje v vinogradu Purissima. Klimatološka postaja je bila postavljena v sklopu projekta čezmejnega sodelovanja SUSGRAPE.

Prav tako smo v vinogradu Purissima postavili tudi dve postaji za senzorje (ZL6). Namestili smo ju v dve srednji vrsti trt obravnavanega območja v vinogradu Purissima (eno postajo za meritve v golo obdelanih tleh in drugo za meritve v tleh ozelenjenega medvrstnega prostora). S senzorji, nameščenimi na globinah 20 cm, 40 cm in 60 cm, smo merili temperaturo tal, vsebnost vode v tleh (volumski %), tenzijo in slanost tal (EC talne raztopine). Postavili smo avtomatska pomnilnika ZL6 (Slika 12), ki oddajata v oblak ZENTRA. Priključene sonde so bile Teros 12, s katerimi smo pridobili podatke o količini vode v tleh (%), slanosti tal (EC raztopine) in temperaturi tal ter sonde

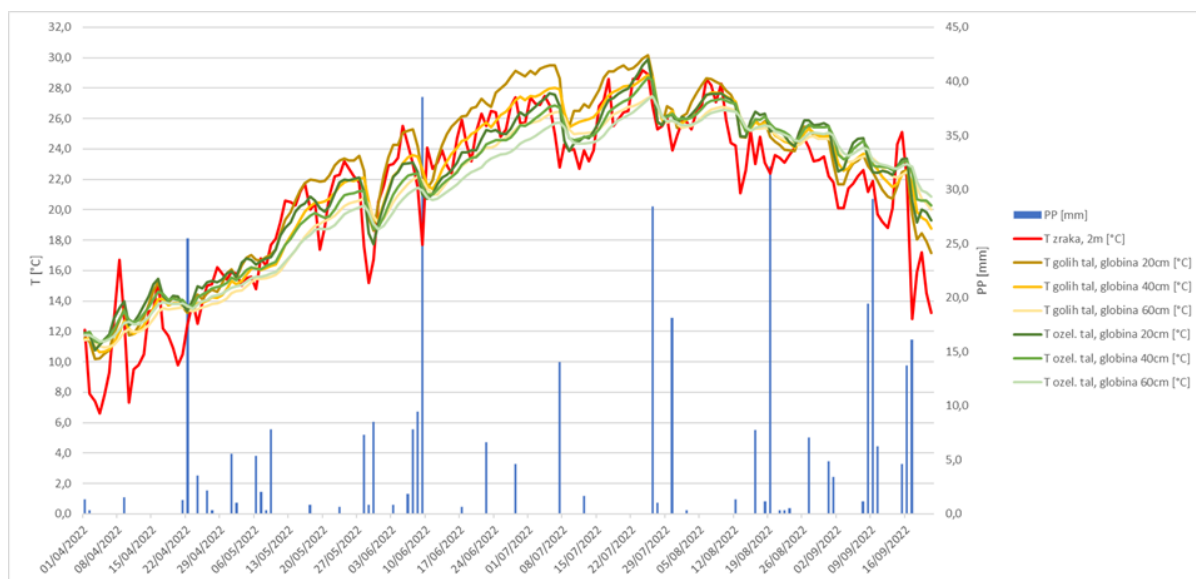
Teros 21, ki so poleg temperature tal beležile tudi tenzijo. Od 10. 9. do 10. 10. 2021 ni bilo baterije v avtomatskem pomnilniku, ki vodi senzorje, nameščenih v tleh golo obdelanega medvrstnem prostoru in zato podatkov za to obdobje v času meritev nismo mogli upoštevati.



Slika 12 Avtomatski pomnilnik ZL6, nameščen v tla z ozelenjenem medvrstnim prostorom (Zupanc, 2021)

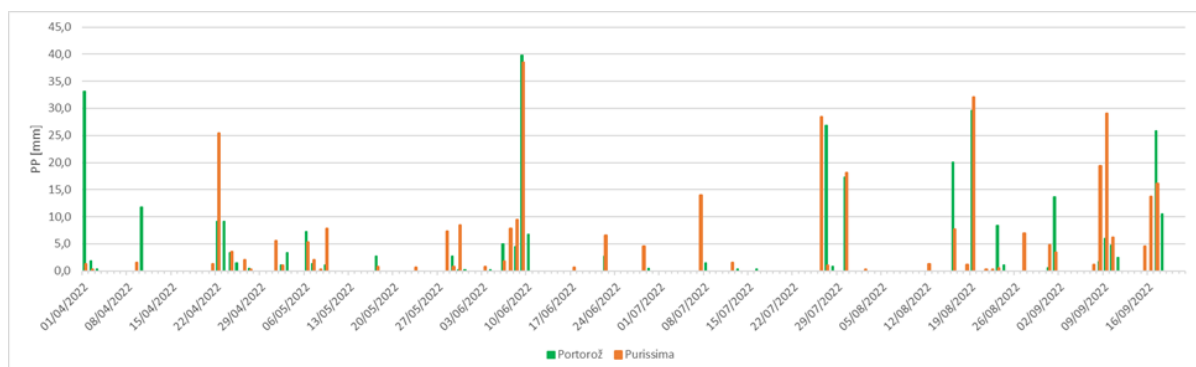
V obdobju trajanja poskusa je bila povprečna dnevna temperatura zraka v letu 2022 za 2 °C višja od predhodnega leta. Količina padavin je v letu 2021 od januarja do konca oktobra je bila 726,6 mm in leta 2022 v istem obdobju le 492,7 mm. Leta 2021 je od julija do konca oktobra padlo 244,4 mm padavin in v istem obdobju leta 2022 294,5 mm. Torej je v ključni fenološki fazi vinske trte začetka zorenja (veraison) padlo več padavin v bolj sušnem letu 2022 (Zrnec Drobnjak in sod., 2023).

Pridobljene urne podatke o količini padavin na izbranem območju ter temperaturo zraka smo nato primerjali z izmerjeno temperaturo tal pri obeh načinih obdelave na treh globinah (Slika 13). Ob ohladitvi oziroma padcu temperature zraka je bilo večje nihanje v temperaturi tal pri goli obdelavi medvrstnega prostora.



Slika 13 Temperatura tal glede na globino (20, 40 in 60 cm) in upravljanje medvrstnega prostora (golo obdelana in ozelenjena tla medvrstnega prostora) za obdobje od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 v vinogradu Purissima (Zrnec-Drobnjak, 2021).

Pridobljene padavinske podatke premične klimatološke postaje v vinogradu Purissima smo primerjali s pridobljenimi podatki meteorološke postaje Portorož-letališče. Ob večjih padavinskih dogodkih tekom opazovanega obdobja ni bilo znatnejših odstopanj v količini padavin med obema postajama. V obdobju od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 je bilo na padavinski postaji Purissima skupno izmerjeno 357,9 mm padavin in na meteorološki postaji Portorož 321,8 mm (Slika 14). Za nadaljnjo evalvacijo v vseh treh izbranih vinogradih smo uporabili podatke meteorološke postaje Portorož-letališče za opazovano obdobje.

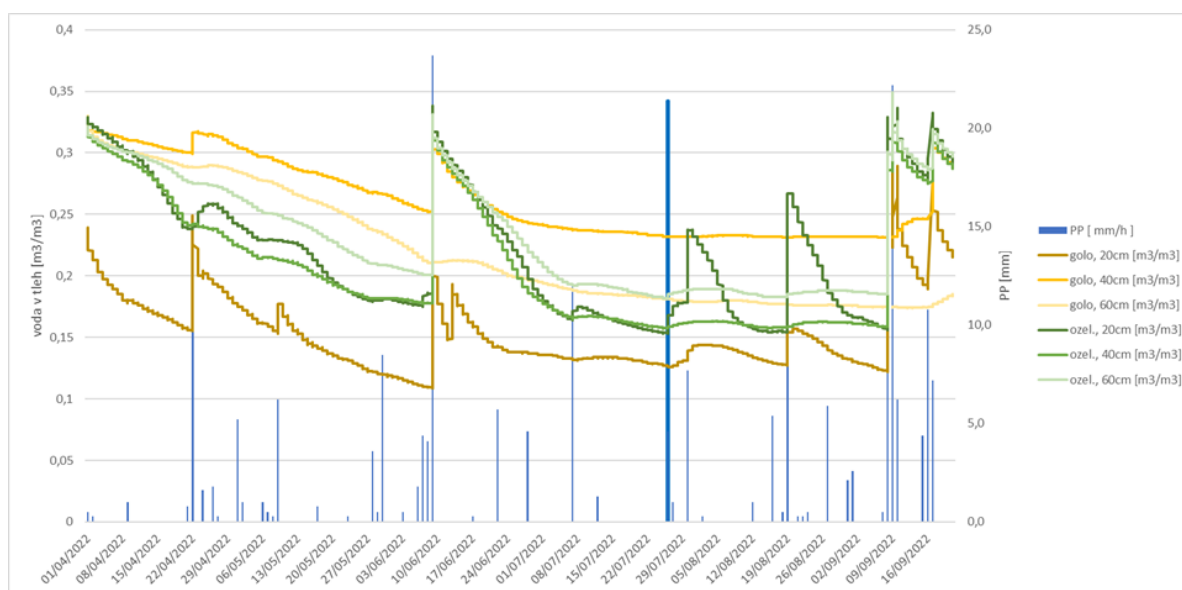


Slika 14 Dnevna izmerjena količina padavin za obdobje od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 na meteorološki postaji Portorož-letališče in prenosni padavinski postaji Purissima (ARSO, 2022; projekt SUSGRAPE, 2022).

V vinogradu Purissima, kjer smo postavili senzorje, smo pridobili podatke meritve vsebnosti vode v tleh na časovni interval pet minut. Za krajše časovno obdobje smo nato primerjali vsebnost vode v tleh (m^3/m^3) z natančnimi urnimi padavinskimi podatki padavinske postaje. Povprečna količina vode v tleh trajno ozelenjenega medvrstnega prostora je bila med $0,33$ in $0,11 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Vsebnost vode golo obdelanih tal medvrstnega prostora je znašala nekoliko več, in sicer med $0,35$ in $0,15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Najmanjša količina vode v opazovanem obdobju je bila na globini 20 cm tal tako v tleh z ozelenjenim medvrstnim prostorom kot v tleh z golo obdelanim medvrstnim prostorom. V tleh brez rastlinskega pokrova je bilo v profilu največ vode na 40 cm, bistvenih razlik v količini

vode po globinah pa ni bilo (Slika 15). V tleh z ozelenjenim medvrstnim prostorom je po sušnem poletnem obdobju leta 2022 zaznan rahel dvig v količini vode ob padavinskih dogodkih v avgustu in septembru 2022, medtem ko so v tleh brez rastlinskega pokrova padavine pronicale do 60 cm šele v oktobru 2022, po daljšem obdobju s padavinami.

Zaradi izmenične stalne obdelave medvrstnih prostorov vinograda so se z leti oblikovale blage terase. Na površju tal z ozelenjenim medvrstnim prostorom voda počasneje pronica naprej zaradi gostega rastlinskega pokrova. Prav tako je na medvrstnem prostoru, ki je golo obdelan, podaljšan čas zadrževanja vode. Posledično se zato oblikujejo manjši infiltracijski bazeni, kar smo potrdili z opazovanjem na terenu (Slika 2). S tem se doseže boljši nadzor nad površinskim tokom vode, preko česar se ublaži proces erozije, koreninski splet vinske trte pa se obogati s potrebno zalogo vode.



Slika 15 : Urne meritve vsebnosti vode v tleh (m^3/m^3) glede na način upravljanja medvrstnega prostora (golo obdelana tla - rumeni odtenki; trajno ozelenjena tla - zeleni odtenki) in globino (20, 40 in 60 cm) za obdobje od 1. 4. 2022 do 21. 9. 2022 v vinogradu Purissima (Zrnec-Drobnjak, 2021).

2.6 Kakovost tal

Na izbranih primerih smo ugotavljali razlike v kakovosti tal pod različnimi načini obdelave (organska snov, porazdelitev v profilu, vodozadrževalne lastnosti tal, infiltracija, struktura tal). Organska snov v tleh vzdržuje v ravnovesju različne kemijske in biološke procese ter talne parametre znotraj optimalnega nivoja (Goldammer, 2018; Rice in sod., 2021; Jakšič in sod., 2021). V vinogradnih tleh je običajno vsebnost organske mase pod priporočeno mejo.

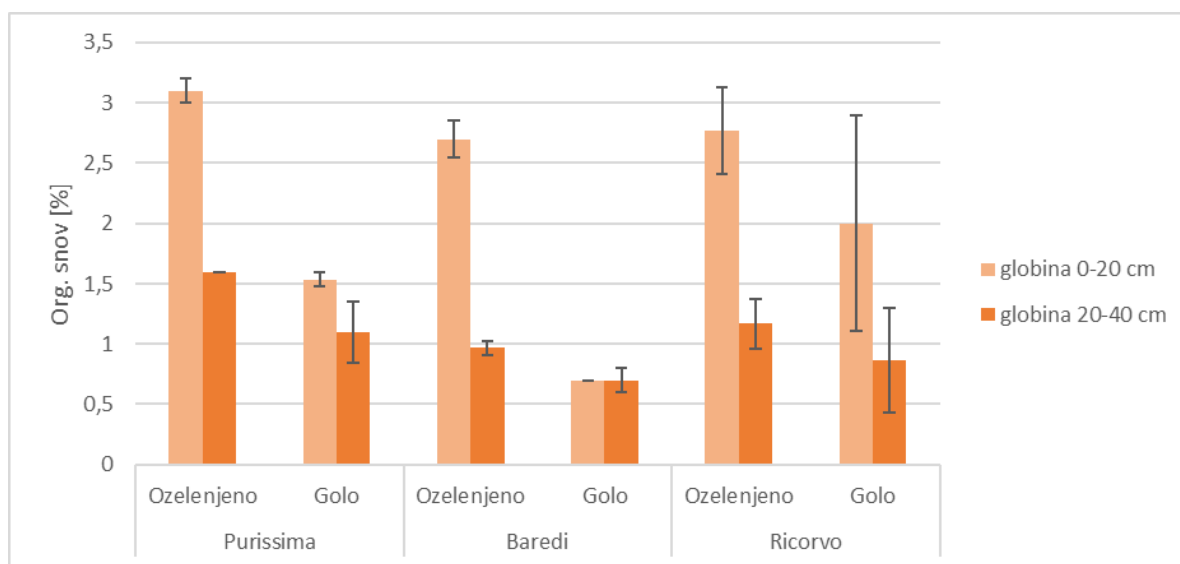
V vinogradih na lahkih tleh je tako spodnja meja priporočene vsebnost organske mase vsaj 1,5 %, na srednje težkih tleh 2,5 % in na težkih tleh vsaj 3 %. Pri vsebnostih organske snovi pod 1,5 %, posebno v sušnih obdobjih, so količine dušika za oskrbo trte premajhne (Tehnološka navodila za ekološko pridelavo grozdja, 2017; Tehnološka navodila za integrirano pridelavo grozdja, 2022). Do velikih izgub organske mase pride zaradi pospešene degradacije tal v aridnih območjih in pospešene mineralizacije.

Zaradi prevelike intenzivnosti izvajanja agrotehničnih ukrepov (najpogostejše so to prepogosti hodi s težko mehanizacijo) so degradacijski procesi še intenzivnejši. Pri obdelanih tleh pride do večjih por med talnimi delci, zaradi česar se eksponentno poveča mikrobiološka aktivnost, ki pomeni pospešeno razgradnjo organske mase (Belmonte in sod., 2018; Novara in sod., 2018; Virto in sod., 2018; Marti-Roura in sod., 2019). Večja vsebnost talnih koloidov v dobro humificiranih tleh doprinese k povečani specifični površini s površinskim nabojem, kar pomeni boljšo sposobnost zadrževanja kationov in anionov ter dipolnih molekul vode. To pomeni boljšo kationsko izmenjevalno kapaciteto tal in sposobnost tal za zadrževanje vode. Posledično se poveča tudi sama dostopnost vodotopnih hranil rastlinam, ter topnost nekoliko slabše dostopnih hranil z vezavo le teh na produkte razgradnje organske mase (Yaalon, 1995; Rawls in sod., 2003).

Na vodozadrževalne lastnosti tal ima poleg vsebnosti organskega ogljika velik vpliv tudi sama tekstura tal. Tla ne glede na teksturni razred dosežejo kasneje poljsko kapaciteto z večjo vsebnostjo organskega ogljika. Finejša struktura tal pomeni manjši vpliv vsebnosti organske mase na vodozadrževalne lastnosti tal, vendar se sposobnost zadrževanja prav tako izboljša (Rawls in sod., 2003; Novara in sod., 2018). Zato je še posebej v vinogradnih tleh aridnih in semi-aridnih območij z manjšo vsebnostjo gline ključno zagotoviti čim večjo vsebnost organske mase. Za povečevanje ter vzdrževanje vsebnosti le te se je kot najuspešnejše v vinogradih izkazala trajna ozelenitev medvrstnega prostora (Monteiro in sod. 2006; Delpuech in sod., 2018; Novara in sod. 2018; Buesa in sod., 2020). Te lastnosti obravnavamo v posameznih poglavjih.

2.6.1 Organska snov

Eden poglavitnih kazalnikov dobre kakovosti tal je vsebnost organske snovi. Ta je ključna za dobre kemijske in fizikalne lastnosti tal (Zrnec Drobniak, 2020). Na vseh treh obravnavanih vinogradih smo izmerili največjo vsebnost organske snovi v trajno ozelenjenih tleh medvrstnega prostora, in sicer na globini 0-20 cm 3,1 %. Organska snov v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora je na enaki globini znašala 1,53 %. V vinogradu Baredi je na globini 0-20 cm organske snovi za 0,4 % manj in vinogradu Ricorvo za 0,33 % manj kot na lokaciji Purissima. V povprečju je bilo v tleh medvrstnega prostora v vinogradu Purissima na globini 0-20 cm za $\pm 0,4$ % organske snovi več kot na ostalih dveh lokacijah in na globini 20-40 cm v povprečju za $\pm 0,2$ % več. Najmanj organske snovi je bilo v vinogradu Baredi tako v tleh ozelenjenim medvrstnim prostorom in v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora (Slika 16). Priporočena vsebnost organske mase v vinogradih je v povprečju nad 1,5 % za lahka oziroma 3 % za težka tla. Meritve vsebnosti skupnega organskega ogljika v tleh so rezultate vsebnosti organske snovi potrdile. V povprečju je bilo v tleh medvrstnega prostora v vinogradu Purissima na globini 0-20 cm skupnega organskega ogljika za $\pm 0,2$ % več in na globini 20-40 cm v povprečju za $\pm 0,1$ % več kot na ostalih dveh lokacijah.



Slika 16: Povprečna vsebnost organske snovi v tleh [%] glede na vinograd, način upravljanja medvrstnega prostora (trajno ozelenjena in golo obdelana tla) in globino (0-20 cm in 20-40 cm) s standardnim odklonom

2.6.2 Vodo zadrževalne lastnosti

Vodozadrževalne lastnosti tal smo opisali z intervalom rastlinam dostopne vode (RDV). Le-tega smo izračunali z meritvijo poljske kapacitete (PK) in točke venenja (TV) vseh šest obravnavanih medvrstnih prostorov na obeh globinah. Za točko PK smo količino zadržane vode (masni %) izmerili pri 2,5 pF (nadtlak 0,33 bar) in za TV pri 4,2 pF (nadtlak 15 bar) z Richardovo tlačno komoro na homogeniziranih združenih vzorcih frakcije 2 mm (ISO 11274, 2019). Rastlinam dostopno vodo (RDV) smo nato izračunali kot razliko med količino vode pri poljski kapaciteti (pF 2,54 oziroma 0,33 bar) in točki venenja (pF 4,2).

Na ta način smo določili širino intervala rastlinam dostopne vode (RDV) za vse tri vinograde. Masni odstotek vode smo določili pri poljski kapaciteti 2,5 pF (0,33 bar) in točki venenja 4,2 pF (15 bar) na globini 0-20 cm in 20-40 cm, iz katerih smo nato izračunali povprečno širino intervala RDV (Tabela 9) v trajno ozelenjenih tleh medvrstnega prostora ter v tleh golo obdelanega

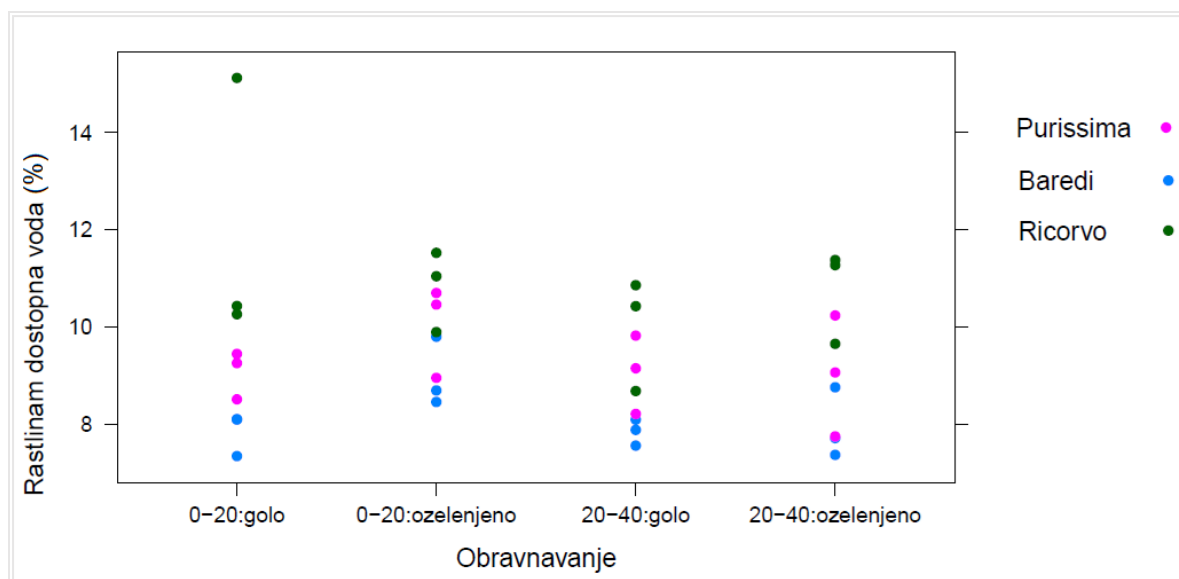
medvrstnega prostora. Najširši interval rastlinam dostopne vode je na lokaciji Ricorvo pri obeh načinih upravljanja medvrstnega prostora vinograda (Tabela 9). Na dveh lokacijah je bil interval RDV v povprečju večji v trajno ozelenjenih tleh medvrstnega prostora na globini 0-20 cm in na globini 20-40 cm (Slika 17), in sicer Purissima za 0,46 % ter Baredi 0,62 %. V vinogradu Ricorvo, je bil povprečen interval rastlinam dostopne vode največji v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora medvrstnem prostoru na globini 0-20 cm, kjer je bil tudi delež organske snovi večji v primerjavi z ostalima lokacijama pri istim načinom obdelave. Razlika v količini RDV v istem medvrstnem prostoru na globini 20-40 cm je bila 1,95 % (Tabela 9).

Tabela 9: Vodozadrževalne lastnosti (masni % vode pri pF 4,2 in pF 2,5) (n=3) in interval rastlinam dostopne vode (RDV*, masni %) s standardnim odklonom (SD-RDV) za vse tri vinograde (Purissima, Baredi, Ricorvo) na dveh globinah v ozelenjenem medvrstnem prostoru ter v golo obdelanem medvrstnem prostoru (n=3).

Vinograd	Način upravljanja	Globina	4,2 pF [%]	2,5 pF [%]	RDV [%]	SD-RDV
Purissima	Ozelenjeno	0 - 20 cm	13,75	23,79	10,04	0,17
		20 - 40 cm	12,61	21,63	9,02	1,35
	Golo	0 - 20 cm	11,09	20,16	9,07	0,66
		20 - 40 cm	11,51	20,57	9,06	0,15
Baredi	Ozelenjeno	0 - 20 cm	15,44	24,42	8,98	0,37
		20 - 40 cm	13,69	21,64	7,95	0,08
	Golo	0 - 20 cm	13,00	20,85	7,85	0,07
		20 - 40 cm	14,02	21,87	7,85	0,68
Ricorvo	Ozelenjeno	0 - 20 cm	18,05	28,87	10,82	0,22
		20 - 40 cm	18,83	29,60	10,77	0,14
	Golo	0 - 20 cm	16,75	28,69	11,94	0,49
		20 - 40 cm	18,35	28,34	9,99	0,27

*interval rastlinam dostopne vode

Najširši interval RDV je v vinogradu Ricorvo, kjer so tudi najtežja tla (povprečna vsebnost gline 44,2 %) (Tabela 5, Tabela 9). Tu je interval za 14 % večji od intervala RDV tal v vinogradu na lokaciji Purissima in za 11,7 % več kot v Baredih. Vsebnost gline je bila na vseh treh lokacijah večja na trajno ozelenjenem delu. Glede na globino je bila le ta večja na 20-40 cm. Izjema so golo obdelana tla v vinogradu Ricorvo, kjer je bila vsebnost gline za 4,3 % manjša na spodnji globini v primerjavi z združenim vzorcem odvzetim na globini 0-20 cm.



Slika 17: Prikaz povprečij intervala RDV (masni odstotek) za vinograde Purissima, Baredi in Ricorvo pri različnih načinih upravljanja medvrstnega prostora (ozelenjena tla in golo obdelana) na globini 0-20 cm in 20-40 cm

2.6.3 Infiltracija

Stopnja infiltracije nam pove, kako hitro voda preide površino tal in se vpije v tla ter obogati zaloge vode v tleh. Kako hitro se voda infiltrira, lahko izmerimo z infiltrometri. Parameter, ki nam opiše gibanje vode v tleh, je hidravlična prevodnost tal. Pri infiltraciji merimo hidravlično prevodnost tal pod vplivom gravitacije. Večja kot je hidravlična prevodnost, prepustnejša so tla, preko katerih voda prehaja (Bear, 1972). Tudi oblika terena vpliva na samo infiltracijo vode. Z manjšanjem nagiba terena se upočasni tok vode in s tem omogoči daljše časovno obdobje za infiltracijo vode v tla.

Meritve infiltracije v času z mini disk infiltrometrom smo opravili na terenu (Slika 18). V vseh treh vinogradih za vsako obravnavano vrsto opravili po tri ponovitve v letu 2022 ter po tri leta 2023. Sami rezultati izračunov infiltracije (cm/h) so neznčilni in jih med seboj kot take ne moremo natančno primerjati. Večje razlike v hitrosti pronicanja vode lahko pripišemo sami razporeditvi talnih por oziroma por, ki so jih vzpostavili talni organizmi. Glede na povprečne meritve infiltracije na vseh treh obravnavanih lokacijah lahko zaključimo, da je najpočasnejša infiltracija v vinogradu Baredi, kjer ta v povprečju znašala leta 2022 19,17 cm/h ter leta 2023 23,77 cm/h., in sicer glede na zbrane podatke je le ta za polovico manjša od infiltracije v vinogradu Purissima in Ricorvo, kjer je bila leta 2022 v povprečju 39,75 cm/h (Tabela 10, Tabela 11).



Slika 18: Merjenje infiltracije na medvrstnem prostoru brez rastlinskega pokrova in ozelenjenem medvrstnem prostoru

Leta 2023 je bila infiltracija v povprečju ob merjenju nekoliko večja, in sicer 43,49 cm/h v vinogradu Purissima in kar 98,39 cm/h v vinogradu Ricorvo. Najbolj homogena izmerjena infiltracija medvrstnega prostora je v vinogradu Baredi v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora oziroma leta 2023 pri obeh načinih upravljanja medvrstnega prostora v istem vinogradu (preglednici 11 in 12). Največje razlike v izmerjeni infiltraciji so v tleh s trajno ozelenjenim medvrstnim prostorom v vinogradu Ricorvo v obeh letih. Tu je infiltracija v primerjavi z drugima dvema vinogradoma znatno večja v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora, kjer je razlika v povprečju znašala 31,64 cm/h.

V vinogradu Purissima in vinogradu Baredi je bila povprečna infiltracija nekoliko večja v tleh s trajno ozelenjenim medvrstnim prostorom. Povprečna razlika v infiltraciji je tu znašala le 1,74 cm/h (s standardnim odklonom 1,68). Rezultati t-testa hitrosti infiltracije so statistično neznačilni za vse tri vinograde pri obeh načinih upravljanja medvrstnega prostora v letu 2022 in v letu 2023, kar pomeni, da razlik ni.

Tabela 10: Povprečna infiltracija [cm/h] leta 2022 s standardnim odklonom (SD-I) za posamezno obravnavano vrsto in povprečna izračunana infiltracija medvrstnih prostorov [cm/h] za posamezen način upravljanja le tega na vseh treh lokacijah pri golo obdelanem medvrstnem prostoru ter pri ozelenjenem medvrstnem prostoru (n=3).

Vinograd	Način upravljanja	Oznaka vrste	Povp. infiltracija [cm/h]	SD-I	Povp. infiltracija m. p. [cm/h]
Purissima	Ozelenjeno	P5/3	33,73	13,95	
		P3/2	36,11	23,10	40,09
		P1/1	50,43	54,81	
	Golo	P4/2	49,71	31,72	
		P2/1	24,10	9,90	39,39
		P6/3	44,36	13,11	
Baredi	Ozelenjeno	B5/3	18,88	3,37	
		B3/2	22,62	17,69	20,67
		B1/1	20,51	4,17	
	Golo	B4/2	14,37	8,51	
		B2/1	21,31	7,47	17,68
		B6/3	17,35	7,10	
Ricorvo	Ozelenjeno	R5/3	17,32	8,70	
		R3/2	14,85	6,26	28,81
		R1/1	54,27	71,62	
	Golo	R4/2	41,81	10,61	
		R2/1	64,12	28,21	50,74
		R6/3	46,28	17,36	

Tabela 11: Povprečna infiltracija [cm/h] leta 2023 s standardnim odklonom (SD-I) za posamezno obravnavano vrsto in povprečna izračunana infiltracija medvrstnih prostorov [cm/h] za posamezen način upravljanja le tega na vseh treh lokacijah pri golo obdelanem medvrstnem prostoru ter pri ozelenjenem medvrstnem prostoru (n=3).

Vinograd	Način upravljanja	Oznaka vrste	Povp. infiltracija [cm/h]	SD-I	Povp. infiltracija m. p. [cm/h]
Purissima	Ozelenjeno	P5/3	24,48	7,58	45,16
		P3/2	70,57	49,73	
		P1/1	40,44	43,97	
	Golo	P4/2	38,72	18,68	41,83
		P2/1	37,48	27,64	
		P6/3	49,30	27,73	
Baredi	Ozelenjeno	B5/3	19,81	9,91	23,74
		B3/2	28,85	10,79	
		B1/1	22,55	12,65	
	Golo	B4/2	30,66	3,77	23,80
		B2/1	18,60	6,74	
		B6/3	22,13	7,36	
Ricorvo	Ozelenjeno	R5/3	74,74	56,77	77,71
		R3/2	80,46	61,87	
		R1/1	77,93	52,84	
	Golo	R4/2	143,22	43,75	119,07
		R2/1	125,87	3,26	
		R6/3	88,12	47,23	

2.6.4 Struktura tal

Struktura tal se razvije s povezovanjem osnovnih talnih delcev in organske snovi v med seboj jasno ločljive skupke (Grčman in Zupan, 2010). Povezovanje talnih delcev v večje skupke, ki jih imenujemo strukturni agregati, izboljša kakovost tal. Dobra struktura tal izboljša poroznost in omogoča boljše razrast korenin, izboljša vodno zračni režim, poveča zmožnost infiltracije vode in s tem manjšo erozijo. Pozitivno na obstojnost strukturnih agregatov delujejo glineni delci, železovi oksidi in različne organske snovi (Tisdall in Oades, 1982; Grčman in Zupan, 2010). Struktura tal ni trajna lastnost in je pod velikim vplivom človekovega ravnanja s tlemi (Bronick in Lal, 2005).

Na strukturne agregate neposredno vpliva obdelava tal, ki zaradi mehanskih posegov pospeši razpadanje teh agregatov. Zaradi večje razdrobljenosti strukturnih agregatov vrhnjega sloja, je ta bolj občutljiv na delovanje vetra in vode, kar povečuje nevarnost vetrne in vodne erozije (Bronick in Lal, 2005). Obdelava tal mora biti prilagojena tipu tal in lokalnim mikroklimatskim razmeram.

Za določitev strukture tal smo najprej naredili suho sejanje združenih vzorcev za vsako lokacijo na globini 0-20 cm in 20-40 cm. Na vseh treh lokacijah so bili v povprečju talni agregati v trajno ozelenjenih tleh nekoliko večji kot v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora. V odvzetem vzorcu v trajno ozelenjenih tleh vinograda Purissima je bilo za 11,07 % manj 1-2 mm frakcije v primerjavi z 2-4 mm frakcijo ter 4,25 % v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora. V trajno ozelenjenih tleh je bilo za 3,33 % več 2-4 mm frakcije in 3,49 % manj 1-2 mm frakcije v primerjavi v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora.

V vinogradu Baredi je bilo za 8,35 % manj 1-2 mm talne frakcije v primerjavi z 2-4 mm frakcijo v trajno ozelenjenih tleh ter 5,94 % v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora. V medvrstnem prostoru v trajno ozelenjenih tleh je bilo za 0,61 % več 2-4 mm frakcije in 1,8 % manj 1-2 mm frakcije v primerjavi v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora. Trajno ozelenjena tla vinograda Ricorvo imajo za 10,72 % manj 1-2 mm frakcije v primerjavi z 2-4 mm frakcijo ter 5,2 % v tleh v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora. V medvrstnem prostoru trajno ozelenjenih tal je bilo za 0,31 % manj 2-4 mm frakcije in 5,83 % manj 1-2 mm frakcije v primerjavi z v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora. Nato smo naredili mokro sejanje v $(\text{NaPO}_3)_6$ frakcije 2-4 mm in 1-2 mm ter glede na ostanek izračunali delež obstojne frakcije (preglednica 9). Pri vseh treh obravnavanih lokacijah je večji delež obstojne frakcije v tleh trajno ozelenjenega medvrstnega prostora.

Najmanjši delež obstojne frakcije na vseh treh lokacijah je v golih obdelanih tleh na globini 0-20 cm. V povprečju znaša razlika v deležu obstojne frakcije v vinogradu Purissima 52,77 % med tlemi medvrstnega prostora v trajno ozelenjenih tleh in v tleh golo obdelanega medvrstnega prostora ter v vinogradu Baredi 66,97 %. Najmanjša razlika v deležu obstojne frakcije je vinogradu Ricorvo, in sicer 38,68 % več v trajno ozelenjenih tleh (Tabela 12).

Tabela 12: Povprečni delež obstojne frakcije [%] s standardnim odklonom (SD–OF) v vseh treh vinogradih (Purissima, Baredi in Ricorvo) glede na način upravljanja medvrstnega prostora (trajna ozelenitev in golo obdelana tla) in globino (0-20 in 20-40 cm) (n=3).

Vinograd	Način upravljanja	Globina	Povp. delež	
			obstojne frakcije [%]	SD-OF
Purissima	Ozelenjeno	0 - 20 cm	71,72	13,36
		20 - 40 cm	64,17	12,83
	Golo	0 - 20 cm	8,71	2,49
		20 - 40 cm	21,63	10,37
Baredi	Ozelenjeno	0 - 20 cm	53,48	9,18
		20 - 40 cm	98,01	81,15
	Golo	0 - 20 cm	4,91	1,27
		20 - 40 cm	12,67	1,96
Ricorvo	Ozelenjeno	0 - 20 cm	81,46	7,30
		20 - 40 cm	78,50	7,53
	Golo	0 - 20 cm	37,20	10,50
		20 - 40 cm	45,39	8,16

Na vsebnost obstojne frakcije strukturnih agregatov v tleh vplivajo tudi kemijske lastnosti tal, predvsem vsebnost bazičnih kationov (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}) oziroma vsebnost kalcija (Virto in sod., 2018; Marti-Ruora in sod., 2019) (slika 22). Kemijska analiza opravljena na odvzetih vzorcih tal obravnavanih vinogradov je pokazala, da je bila značilno največja vsebnost kalcija v tleh vinograda Ricorvo (preglednica 10). Ta je bila v povprečju večja od vsebnost Ca na ostalih dveh lokacijah za $7 \pm 0,25$ mmolc/100g. Posledično je bila tudi vsota vseh bazičnih kationov največja na lokaciji vinograda Ricorvo (preglednica 10), in sicer v vinogradu Purissima znaša ta v povprečju 41,56 %, v vinogradu Baredi 42,27 % in v vinogradu Ricorvo 60,64 % kar je za $18,7 \pm 0,7$ % več od ostalih dveh lokacij.

2.7 Sklepi ter priporočila

Vinogradna tla so osnova za doseganje želene produktivnosti trt ter kakovosti grozdja. Še posebej v mediteranski klimi, kmetijska tla hitro izgubljajo vsebnost organske snovi in s tem rodovitnost. Zato, je poleg korektnega izvajanja ampelotehničnih ukrepov, ključna primerna obdelava medvrstnega prostora vinograda glede na potrebe in naravne danosti. Ker lahko vinska trta daje zeleno količino pridelka tudi več desetletij, je potrebno ohranjati trto v optimalni kondiciji, ne glede na morebitne škodljivce, bolezni in spremembe v tleh. Raziskava je nastala z namenom ugotovitve razlike v kakovosti tal medvrstnega prostora vinogradov, ki so pod redno obdelavo tal brez rastlinskega pokrova in medvrstnega prostora, pokritega z nizkim avtohtonim travinjem čez celo leto ter kako taka obdelava vpliva na vodno bilanco.

Izkušnje pretekle dekade kažejo, da bodo tudi na Primorskem padavine v obliki intenzivnih nalivov. V primeru intenzivnih padavin je infiltracija vode v tla na nagnjenih pobočjih nizka, v primeru intenzivnih padavin na gola, presušena tla pa skoraj nična. Zato je smiselno, da se obdelavo rodovitnih nagnjenih pobočij prilagodi tako, da se v času intenzivnih padavin vodo čimdalj zadrži. Terasa so najstarejši agrotehnični ukrep, ki je znan že iz pradavnine, ki omogoča lažjo obdelavo na nagnjenih območjih. S terasiranjem pridobimo bolj ali manj ravno ploskev, ki poveča obseg obdelovalne površine, olajša – predvsem mehansko – obdelavo tal. Z zmanjšanjem nagiba se zaustavi hitrost toka vode po pobočju, podaljša se čas, ko se voda lahko vpije v pod površje tal. S tem zmanjšamo procese erozije oz. odnašanja tal, poveča se zaloga vode v globini tal, kjer jo lahko rastline koristijo. Vendar so terase tehnično in tudi finančno zahteven ukrep. Blažji, a tudi učinkovit ukrep je obdelava vzdolž plastnic. S primerno medvrstno razdaljo in ustrezno obdelavo lahko upočasnimo površinski tok vode in povečamo infiltracijo vode v tla, s tem pa količino vode v tleh.

Z namenom preverbe vpliva obdelave medvrstnega prostora na kakovost tal in vodno bilanco smo izbrali tri vinograde postavljene vzdolž plastnic s trajno izmenično obdelavo medvrstnega prostora in s tem karseda zmanjšali vpliv nekaterih ne obravnavanih dejavnikov. Za čim večjo izenačitev smo izbrali tri vinograde v lasti Vinakoper d.o.o., kjer se izvaja trajna izmenična pokritost medvrstnega prostora z rastlinsko odejo kot način upravljanja več kot deset let in so postavljeni na evtričnih rjavih tleh na karbonatnem flišu. Kot vzorčno območje smo v posameznem vinogradu izbrali 20 m dolg pas, vsaj 20 m oddaljen od začetka vinogradne vrste, ki obsega po šest vrst z izmenjujočo obdelavo medvrstnega prostora.

Z raziskavo kakovosti tal na izbranih vinogradih smo potrdili, da imajo trajno ozelenjena tla medvrstnega prostora vinograda v povprečju večjo vsebnost organske mase in tudi večjo encimsko aktivnost, boljšo obstojnost strukturnih agregatov. Privzamemo lahko, da to pozitivno vpliva na druge lastnosti tal, ki so odvisne od strukture (infiltracijska sposobnost, zadrževanje vode). V obdelanem medvrstnem prostoru brez rastlinskega pokrova z obdelavo prekinemo kapilarni dvig ter tako zmanjšamo izhlapevanje vode. V vinogradu z največjo gostoto tal, kjer so se izsledki najbolj razlikovali od ostalih dveh obravnavanih vinogradov, smo ugotovili, da imajo tla brez rastlinskega pokrova boljšo infiltracijo. Opazovanja tal v času izdatnejših padavin so pokazala, da se zaradi izmenične stalne obdelave medvrstnih prostorov z leti na delu, ki je brez rastlinskega pokrova, oblikujejo blage terase. Zaradi tako spremenjene oblike terena je na površini golo obdelanih tal medvrstnega prostora podaljšán čas zadrževanja vode. Voda ima tako čas, da pronica v profil tal. Tako oblikovani medvrstni prostori imajo funkcijo manjših infiltracijskih bazenov. S

tem se doseže boljši nadzor nad površinskim tokom vode ob večjih padavinskih dogodkih, preko česar se ublaži proces erozije, koreninski splet vinske trte se obogati s potrebno zalogo vode

Glede na dobljene rezultate lahko zaključimo, da je v primeru zasaditve vinskih trt vzdolž plastnic priporočena izmenična obdelava medvrstnih prostorov. Na pasu, kjer imamo trajno ozelenitev v medvrstnem prostoru vinogradov, z ozelenitvijo ohranjamo kakovostna tla z večjo vsebnostjo organske snovi in dobro strukturo. Na medvrstnem prostoru z golo obdelavo v vsaki drugi vrsti zagotovimo večjo dostopnost vode vinski trti.

Zelo smiselno bi bilo študijo razširiti in preveriti učinek tovrstnih praks (t.j. izmenična obdelava medvrstnih pasov) na kakovost tal in vodno bilanco v vinogradih v severovzhodnem in jugovzhodnem delu Slovenije. Dodatno bi lahko povezali indikatorje kakovosti tal in izračune vodne bilance z večletnimi podatki o količini in kakovosti pridelka grozdja pri različnih načinih upravljanja vinogradnih tal.

2.8 Literatura

- Adetunji, A. T., Lewu, F. B., Mulidzi, R., & Ncube, B. 2017. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17, 3: 794–807
- Alaoui A., Lipiec J., Gerke H.H. 2011. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. *Soil & Tillage Research* 115–116, 1–15, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.06.002>
- Atlas okolja. Agencija RS za okolje http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (20.7. 2023)
- Ball B.C., Campbell D.J., Douglas J.T., Henshall K., O'Sullivan M.F. 1997. Soil structural quality, compaction and land management. *European Journal of Soil Science*, 48: 593–601
- Batey T. 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use & Management*, 25: 335–345
- Bear J. 1972. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. American Elsevier Publishing Company. 764 str.
- Belmonte S. A., Celi L., Stahel R. J., Bonifacio E., Novello V., Zanini E., Steenwerth K. L. 2018. Effect of Long-Term Soil Management on the Mutual Interaction Among Soil Organic Matter, Microbial Activity and Aggregate Stability in a Vineyard. *Pedosphere* 28(2): 288–298, doi:10.1016/S1002-0160(18)60015-3
- Blanco-Canqui H., Wortmann C. S. 2020. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. *Soil and Tillage Research*, 198:104534, doi: 10.1016/j.still.2019.104534: 14 str.
- Briche, É., Quéno, H., Beltrando, G. 2011, Changement climatique dans le vignoble champenois. *L'espace Geogr.* 40, 164–175.
- Bronick C. J., Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3–22
- Bordoni M., Vercesi A., Maerker M., Ganimede C., Reguzzi M. C., Capelli E., Wei X., Mazzoni E., Simoni S., Gagnarli E., Meisina C. 2019. Effects of vineyard soil management on the characteristics of soils and roots in the lower Oltrepò Apennines (Lombardy, Italy). *Science of the Total Environment*, 693, 133390, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.196: 23 str.
- Buesa I., Miras-Avalos J. M., De Paz J. M., Visconti F., Sanz F., Yeves A., Guerra D., Intrigliolo D. S. 2020. Soil management in semi-arid vineyards: Combined effects of organic mulching and no-tillage under different water regimes. *European Journal of Agronomy*, Volume 123, 126198, doi: 10.1016/j.eja.2020.126198
- Butterly C. R., Baldock J. A., Tang C. 2012. The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions. *Plant Soil* (2013) 366:185–198, doi: 10.1007/s11104-012-1422-1
- Capó-Bauçà S., Marqués A., Llopis-Vidal N., Bota J., Baraza E. 2018. Long-term establishment of natural green cover provides agroecosystem services by improving soil quality in a Mediterranean vineyard. *Ecological Engineering*, 127: 285–291, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.008>

- Cataldo E., Salvi L., Sbraci S., Storch P., Battista Matti G. 2020. Sustainable Viticulture: Effects of Soil Management in *Vitis vinifera*. *Agronomy*, 10(12), 1949, doi: 10.3390/agronomy10121949
- Cataldo E., Fucile M., Mattii G.B. 2021. A Review: Soil Management, Sustainable Strategies and Approaches to Improve the Quality of Modern Viticulture. *Agronomy*. 11(11):2359. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112359>
- Celette F., Gary C. 2012. Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 45: 142–152, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.001>
- Coll P., Le Cadre E., Blanchart E., Hinsinger P., Villenave C. 2011. Organic viticulture and soil quality: A long-term study in Southern France. *Applied Soil Ecology*, 50: 37–44, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.07.013>
- Colnarič J., Vrabl S. 1991. Vinogradništvo. Ljubljana, Kmečki glas: 327 str. Corino L., Gambino E., Di Stefano R., Pigella P. 1999. Importanza della gestione del suolo e del portinnesto nel controllo della produzione, in un ambiente viticolo dell'Italia nord occidentale. *Rivista di Viticoltura e di Enologia*, 1: 3–32
- Dane J.H., Hopmans J.W. 2002. Water retention and storage – Laboratory. V: *Methods of Soil Analysis. Part 4 - Physical Methods*. SSSA Book Series. Dane J.H. in Topp G.C. (ur.), Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America Book Series: 675–720 str.
- Delpuech X., Metay A. 2018. Adapting cover crop soil coverage to soil depth to limit competition for water in a Mediterranean vineyard. *European Journal of Agronomy*, 97: 60–69, doi: 10.1016/j.eja.2018.04.013
- Dexter A.R. 2003. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120, 201–214, doi: 10.1016/j.geodermaa.2003.09.005
- Dhaliwal S. S., Naresh R. K., Gupta R. K., Panwar A. S., Mahajan N. C., Singh R., Mandal A. 2019. Effect of tillage and straw return on carbon footprints, soil organic carbon fractions and soil microbial community in different textured soils under rice–wheat rotation: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19: 103–115
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 20, 601–606.
- European Environment Agency. 2019 The European environment - state and outlook 2020. Luxembourg, Publications Office of the European Union, doi: 10.2800/96749 <https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020> (3.10.2022)
- Ferrero A., Lipiec J., Turski M., Nosalewicz A. 2007. Stability and sorptivity of soil aggregates in grassed and cultivated sloping vineyards. *Polish Journal of Soil Science Vol. XL/1*, PL ISSN 0079-2985
- Ferreira C.S.S., Keizer J.J., Santos L.M.B., Serpa D., Silva V., Cerqueira M., Ferreira A.J.D., Abrantes N. 2018. Runoff, sediment and nutrient exports from a Mediterranean vineyard

- under integrated production: An experiment at plot scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256: 184–193
- Gmach M. R., Cherubin M. R., Kaiser K., Cerri C. E. P. 2020. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. *Scientia Agricola*, 3: 77-88
- Grčman H., Zupan M. 2010. *Praktična pedologija*. Ljubljana, Center za pedologijo in varstvo okolja: 53 str.
- Gianfreda, L. 2015. Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15, 2: 283-306
- Goldammer T. 2018. *Grape Grower's Handbook; A Guide to Viticulture for Wine Production*. 3rd edition. U.S.A., Apex Publishers: 482 str., ISBN (13): 978-0-9675212-5-1, <https://www.wine-grape-growing.com/>
- Griesser M., Steiner M., Pingel M., Uzman D., Preda C., Giffard B., Tolle P., Memedemin D., Forneck A., Reineke A., Leyer I., Bacher S. 2022. General trends of different inter-row vegetation management affecting vine vigor and grape quality across European vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 338, 108073, doi:10.1016/j.agee.2022.108073
- Hall, A., Jones, G.V. 2009, Effect of potential atmospheric warming on temperature-based indices describing Australian winegrape growing conditions. *Aust. J. Grape Wine Res.* 15, 97–119.
- Hauptman S., Mojca Mavrič Štrukelj M., Škvarč A., Martinčič J., Torič M., Breznik M. 2023. Slovenski vinogradi. V: 6. slovenski vinogradniško-vinarski kongres : zbornik prispevkov : Ptuj, 21.–22. april 2023 / [urednik Stanko Vršič ; organizatorji kongresa Kmetijsko gozdarski zavod Ptuj [in] Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede [in] Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano]. - Ptuj : Kmetijsko gozdarski zavod, 2023, ISBN: 978-961-91422-7-1
- Helgason B. L., Walley F. L., Germida J. J. 2010. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. *Applied Soil Ecology*, 46: 390-397
- Hillel D. 1998. *Environmental Soil Physics*. San Diego, Accademic Press: 771 str.
- ISO 10390. Soil, treated biowaste and sludge - Determination of Ph. 2021
- ISO 10693. Soil quality - Determination of carbonate content - Volumetric method. 1995
- ISO 10694. Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). 1995
- ISO 11272. Soil quality - Determination of dry bulk density. 2017
- ISO 11274. Soil quality - Determination of the water-retention characteristic–Laboratory methods. 2019
- ISO 11464. Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. 2006
- Jakšić S., Ninkov J., Milić S., Vasin J., Banjac D., Jakšić D., Živanov M. 2021. The State of Soil Organic Carbon in Vineyards as Affected by Soil Types and Fertilization Strategies (Tri

- Morave Region, Serbia). *Agronomy*, 11(1): 9 <https://doi.org/10.3390/agronomy11010009> (20.7. 2023)
- Kajfež Bogataj L. (2009). Climate change and future adaptation. *Economic and business review*, 11(1), 9-27.
- Kemper W. D., Rosenau R. C. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. In: Klute A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, pp. 425-442, <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>
- Kraut-Cohen J., Zolti A., Shaltiel-Herpaz L., Argaman E., Rabinovich R., Green S. J., Minz D. 2020. Effects of tillage practices on soil microbiome and agricultural parameters. *Science of the Total Environment*, 705:135791, doi: 10.1016 /j.scitotenv.2019.135791: 13 str
- Leštan D. 2002. Ekopedologija: Študijsko gradivo za študente opredelilnega izbirnega študija Ekopedologije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 267 str.
- Lieskovský, J., Kenderessy, P. 2012. Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: A case study in Vráble (Slovakia) using watem/sedem. *Land Degradation & Development*, 25(3), 288–296, doi:10.1002/ldr.2162
- Lipiec J., Kus´ J., Slowin´ska-Jurkiewicz A., Nosalewicz A. 2005. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil & Tillage Research* 89 (2006) 210–220, doi:10.1016/j.still.2005.07.012
- Malheiro A.C., Santos J.A., Fraga H., Pinto J.G. (2010). Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research*, 43, 163-177. doi:10.3354/cr00918
- Martí-Roura M., Hagedorn F., Rovira P., Romanyà J. 2019. Effect of land use and carbonates on organic matter stabilization and microbial communities in Mediterranean soils. *Geoderma*, 351: 103–115, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.021>
- Mcauley A., Jones C., Olson-Rutz K. 2017. Soil pH and Organic Matter. *Nutrient management*, module no. 8 (marec 2017): 4449-8, doi: 10.4236/jep.2013.46071
- McDowell, N.G. 2011, Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Plant. Physiol.* 155, 1051–1059. Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V., Shaw M.R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R.J. (2013). Climate change, wine and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(17), 6907-6912. doi:10.1073/pnas.1210127110
- Mihelič R., Čop J., Jakše M., Štampar F., Majer D., Tojnko S., Vršič S. 2010. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 182 str., ISBN 978-961-6761-09-3
- Mikoš, M., Zupanc, V., 2000. Erozijska tal na kmetijskih površinah. *Sodobno kmetijstvo*, 33, 10: 419–423, ISSN - 0350-1655
- Monteiro A., Lopes C. M. 2006. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121: 336–342, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.11.016>

- Novara A., Artemio Cerdà A., Gristina L. 2018. Sustainable vineyard floor management: An equilibrium between water consumption and soil conservation. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5: 33–37, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.005>
- Novara A., Minacapilli M., Santoro A., Rodrigo-Comino J., Carrubba A., Sarno M., Venezia G., Gristina L. 2018. Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard. *Science of the Total Environment*, 652: 300–306, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.247>
- Novara A., Stallone G., Cerdà A., Gristina L. 2019. The Effect of Shallow Tillage on Soil Erosion in a Semi-Arid Vineyard. *Agronomy*; 9(5):257. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050257>
- OECD. 2008. Environmental Performance of Agriculture at a Glance. Paris, OECD Publications: 126 str., <http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/40953155.pdf> (28.9.2022)
- OIV (The International Organisation of Vine and Wine). <http://www.oiv.int/en/statistiques/> (28.9.2022) Register pridelovalcev grozdja in vina (RPGV). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Dostopno na: <https://podatki.gov.si/dataset/register-pridelovalcev-grozdja-in-vina> (25.8.2023)
- Rice C. W., Pires C. B., Lin J., Sarto M. V. M. 2021. Soil Organic Carbon Assessment Methods. Soil Health Series: Volume 2 Laboratory Methods for Soil Health Analysis. Soil Science Society of America: 38-51, doi: 10.2136/soilhealth.vol2
- Ruiz-Colmenero M., Bienes R., Marques M. J. 2011. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil & Tillage Research*, 117: 211–223, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.004>
- Rusjan Denis. 2020. Tehnologije pridelave grozdja: namizno grozdje. Biotehniška fakulteta UL, Oddelek za agronomijo: 400 str., ISBN: 9789616275545
- Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M., Bloodworth H. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116, 61–76, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6)
- Rohoškova M., Valla M. 2004. Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review. *Plant soil environment*, 50: 379 – 382, doi: 10.17221/4047-PSE
- Seguin, B. 2003, Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique. *C. R. Geosci.* 335, 569–575.
- Schulze, E.D. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 1986, 37, 247–274.
- Schütte R., Plaas E., Gómez J. A., Guzmán G. 2020. Profitability of erosion control with cover crops in European vineyards under consideration of environmental costs. *Environmental Development*, Vol.35, 100521, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100521>
- Simončič J., Mavrič Štrukelj M., Brdnik M., Štabuc R., Novak E. 2017. Slovenski vinogradi. V: Zbornik prispevkov. 5. slovenski vinogradniško-vinarski kongres, Šentjernej, Slovenija, 12. maj 2017. Čuš F., Košmerl T., Vanzo A. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 2-36

- SI-STAT (Statistični urad Republike Slovenije). https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/30_Okolje/30_Okolje__15_kmetijstvo_ribistvo__04_rastlinska_pridelava__06_15283_popis_vinogradov/1528309S.px/ (6.10.2022)
- Tehnološka navodila za ekološko pridelavo grozdja. 2017. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije: 47 str. <https://www.kgzs.si/kgzs/kmetijsko-svetovanje/e-knjiznica/e-knjiznica-zapis/tehnoloska-navodila-za-ekolosko-pridelavo-grozdja> (20.7. 2023)
- Strack T., Stoll M. 2022 Soil water dynamics and drought stress response of *Vitis vinifera* L. in steep slope vineyard systems *Agricultural Water Management*. 274, 1, 107967 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107967>
- Stritar A. 1973. Pedologija (Kompendij). Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za agronomijo, Katedra za tla in prehrano rastlin: 126 str.
- Sturman, A., Quénol, H. 2013, Changes in atmospheric circulation and temperature trends in major vineyard regions of New Zealand. *Int. J. Clim.* 33, 2609–2621.
- Thompson L. M., Troeh F. R. 1952. Soils and soil fertility. Third edition. USA, McGraw-Hill: 495 str.
- Tisdall J. M., Oades J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science*, 33: 141-163
- Turniški R., Prus T., Zupan M. 2019. Praktikum nauk o tleh. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo: 1 zv. Tehnološka navodila za integrirano pridelavo grozdja. 2022. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije: 40 str. http://www.mkgp.gov.si/si/delovna_podrocja/kmetijstvo/integrirana_pridelava/tehnoloska_navodila/ (3.10.2022)
- Vazzani M. F., Anderson C., Meenken E., Gillespie R., Peterson M., Beare M. H. 2018. The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. *Soil and Tillage Research*, 175: 139-149
- Vidic N.J., Prus T., Grčman H., Zupan M., Lisec A., Kralj T., Vrščaj B., Ruprecht J., Šporar M., Suhadolc M., Mihelič R., Lobnik F., Montanarella L. 2015. Tla Slovenije s pedološko karto v merilu 1:250000. Luxembourg, European Commission, Skupni raziskovalni center: 152 str., doi: 10.2788/88750
- Virto I., Antón R., Apesteguía M., Plante A. 2018. Chapter 9 - Role of Carbonates in the Physical Stabilization of Soil Organic Matter in Agricultural Mediterranean Soils. *Soil Management and Climate Change; Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions*: 121-136 str., <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812128-3.00009-4>
- Virto I., Imaz M. J., Fernández-Ugalde O., Urrutia I., Enrique A., Bescansa P. 2012. Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10, 4: 1121-1132, <https://doi.org/10.5424/sjar/2012104-613-11>
- Vršič S., Lešnik M. 2010. Vinogradništvo. Ljubljana, Kmečki glas: 403 str., ISBN: 9789612033637

- Webb, L.B., Whetton, P.H., Barlow, E.W.R. 2008, Climate change and winegrape quality in Australia. *Clim. Res.* 36, 99–111.
- Yaalon D. H. 1995. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena*, 28: 157-169, [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00035-5)
- Zhao Y., Hu X., Li X. 2020. Analysis of the intra-aggregate pore structures in three soil types using X-ray computed tomography. *Catena*, 193, 104622, doi:10.1016/j.catena.2020.104622: 9 str.
- Zhang R. 1997. Determination of Soil Sorptivity and Hydraulic Conductivity from the Disk Infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4: 1024-1030, <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.036159950006100040005x>
- Zang L., Dawes W. R., Walker G. R. 2001. *Water Reseources Research*, 37, 3: 701–708
- Zhao, J., Hartmann, H., Trumbore, S., Ziegler, W., Zhang, Y. 2013, High temperature causes negative whole-plant carbon balance under mild drought. *New Phytol.* 200, 330–339.
- Zrnec Drobnjak T. 2020. Učinek ozelenitve tal v vinogradih na lastnosti tal, izpiranje hranil in erozijo tal v mediteranski klimi. Dipl. delo (UN). Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=119803>
- Zrnec Drobnjak T., Brvar T., Potisek A., Ščuka M. 2022. Analiza talnega tipa, klasifikacija tal in bonitiranje izbranega območja Purissima v občini Koper. Seminarska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 26 str.
- Zrnec Drobnjak T., Rusjan D., Zupan M., Grčman H., Zupanc V. 2023. Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na status vode v tleh (Effect of inter-row tillage of challenges in agronomy 2023 : proceedings of symposium): [Laško, 26. in 27. januar 2023] / [uredniki Barbara Čeh ... et al.]. - Laško, Slovensko agronomsko društvo: 60-67, ISBN: 978-961-94613-1-0
- Zrnec Drobnjak T., 2023. Vpliv izmenične obdelave medvrstnega prostora znotraj vinogradov na kakovost tal : magistrsko delo 41 str. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Zupanc V., Kastelec D., Leštan D., Grčman H. 2013. Soil physical characteristics after EDTA washing and amendment with inorganic and organic additives. *Environmental Pollution*, Volume 186, March 2014, Pages 56-62, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.11.027>
- Zupanc V. 2017. Zapiski z vaj Urejanje zemljišč. Ljubljana, Biotehniška fakulteta (neobjavljeno)
- Zupanc V., Podgornik M., Pintar M. 2018. Water balance of coastal region in Slovenia. *Acta hydrologica Slovaca*. 2018, č. 1, ročnik 19, str. 11-16, ilustr. ISSN 1335-6291.

3. Določitev agrometeoroloških kazalnikov

Prehranski sistem postaja pod vplivom podnebnih sprememb in naraščajočega števila prebivalstva vedno bolj ranljiv, zato ima oskrba s hrano še posebej na regionalnem nivoju pomembno vlogo pri razvoju odpornosti sistema. Kot navaja zadnje poročilo Medvladnega panela za podnebne spremembe (IPCC, ang. Intergovernmental Panel on Climate Change), se z dvigovanjem globalne temperature med drugim že spreminjajo vremenski vzorci, povečuje se tveganje za izredne vremenske dogodke, kot so suše, vročinski valovi, poplave ipd., z najvišjo stopnjo do sedaj se zmanjšuje število kopenskih in morskih živalskih in rastlinskih vrst (IPCC, 2014; 2021), vse skupaj pa bodisi neposredno bodisi posredno vpliva tudi na prehranski sistem. Za opredelitev vplivov podnebnih sprememb na kmetijstvo je ključnega pomena opredelitev nabora agroklimatskih kazalnikov, ki učinkovito predstavljajo vplive podnebnih sprememb na rastlinsko pridelavo.

Z vidika ocene sprememb rastnih razmer v Sloveniji do konca 21. stoletja so na Agenciji Republike Slovenije za okolje že izdelali podnebne projekcije sprememb nekaterih osnovnih spremenljivk, ki so pomembne za kmetijstvo, kljub temu pa celovite raziskave in izračuni za Slovenijo do sedaj še niso bili izvedeni. V prvem poglavju poročila tako predstavimo nabor agroklimatskih kazalnikov, primernih za analizo vpliva podnebnih sprememb na kmetijstvo v Sloveniji. Določitev nabora agroklimatskih kazalnikov in metod njihove analize je temeljila tako na pregledu literature tega področja, kot tudi na osnovi individualnih posvet s strokovnjaki z različnih kmetijskih področij v Sloveniji. Za izbrani nabor kazalnikov predstavimo vhodne podatke, t. j. spremenljivke, na katerih temeljijo kazalniki ter knjižnico v programu R, ki je na voljo kot orodje za izračun predstavljenih kazalnikov. V drugem poglavju predstavimo rezultate izračunov za izbrani nabor agroklimatskih kazalnikov za Slovenijo.

3.1 Pregled literature in posveti s strokovnjaki z različnih kmetijskih področij

Določitev primernih agroklimatskih kazalnikov in metod analize s pomočjo natančnega pregleda literature in individualnih posvetov s strokovnjaki z različnih kmetijskih področij v Sloveniji

Raziskovalci na Agenciji Republike Slovenije za okolje so se v okviru proučevanja vpliva podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja na fenološki razvoj (in posledično kmetijstvo ter gozdarstvo) osredotočili na podatke fenološkega monitoringa z dolгими nizi podatkov od leta 1961 dalje. Uporabili so podatke najbolj homogenih in prostorsko razširjenih fenoloških faz, kot so pojav prvih listov (olistanje) divjega kostanja, lipe in bukve (Bertalanič in Dolinar, 2018) ter izdelali projekcije za temperaturo tal, dolžino, začetek in konec rastne dobe, pri čemer je poznavanje temperature tal z vidika kmetijstva najpomembnejše v obdobju rastne dobe med aprilom in septembrom (Bertalanič in Dolinar, 2018).

Za fiziološki razvoj rastline potrebujejo določeno količino toplote, tako je ena od najpreprostejših metod za opisovanje fiziološkega ter fenološkega razvoja rastlin uporaba akumuliranih toplotnih enot. Pri napovedovanju nastopa fenoloških faz rastlin na podlagi meteoroloških podatkov je za ta namen najpogostejše uporabljena metoda temperaturene vsote (ang. growing degree day, GDD) (Coelho in Dale, 1980).

Nekatere najpomembnejše agroklimatske kazalnike fenološkega razvoja in prezimovalnih razmer rastlin, kot jih navaja svetovna literatura, smo zbrali v pregledu literature (Tabela 13). V sklop kazalnikov, ki opisujejo razmere v rastni dobi, vključimo tudi kazalnik razširjenosti vrst, ki temelji

na modeliranju razširjenosti vrst (SDM, ang. Species Distribution Modelling) s pomočjo različnih metod, kot je npr. Metoda maksimalne entropije (Phillips in sod., 2006). Modeli razširjenosti vrst so zlasti uporabni za predstavitev verjetnosti pojava raznih invazivnih živalskih in rastlinskih vrst v različnih pogojih podnebnih sprememb.

Tabela 13: Povzetek pregleda literature na temo agroklimatskih kazalnikov rastne dobe, prezimovalnih razmer in pogojev za pojav škodljivcev

Reference	Kazalnik (avtor)	Definicija kazalnika
Agyeman in sod., 2021; Arnell in Freeman, 2021; Chipanshi, 2021; Rivington in sod., 2013	Temperaturna vsota (GDD, ang. growing degree day) (Coelho in Dale, 1980)	Vsota anomalij povprečne dnevne temperature nad izbrano temperaturo praga T_{prag} , običajno 5 °C (°C-dnevi)
Anandhi in sod., 2013; Arnell in Freeman, 2021; Bertalanič in Dolinar, 2018; Copernicus Climate Change Service, 2019; Frich in sod., 2002; Harding in sod. 2015; Kunkel in sod., 2004; Rivington in sod., 2013; Zhang et al., 2011	Dolžina rastne dobe (GSL, ang. Growing season length) (Bootsma, 1994)	Število dni med začetkom rastne dobe – prvim petdnevni obdobjem z dnevnimi povprečnimi temperaturami nad T_{prag} (5 °C, tudi 5.6 °C) – in koncem rastne dobe – prvim petdnevni obdobjem z dnevnimi povprečnimi temperaturami pod 5 °C (5.6 °C) (št. dni)
Arnell in Freeman, 2021; Bertalanič in Dolinar, 2018; Harding in sod. 2015; Rivington in sod., 2013	Začetek rastne dobe (SGS, ang. Start of growing season) (Bootsma, 1994)	Prvi zaporedni dan vsaj 6 dni dolgega obdobja s povprečno dnevno temperaturo višjo od T_{prag} , po zadnjem vsaj 6 dni dolgem obdobju s povprečno temperaturo zraka, ki je nižja od T_{prag} , v kolikor to obdobje obstaja, začetek rastne dobe nastopi najkasneje 1. julija (ZD)
Copernicus Climate Change Service, 2019	Biološka temperaturna vsota (BEDD, ang. Biologically effective degree days) (Gladstones, 1992)	Vsota anomalij povprečne dnevne temperature nad izbrano T_{prag} , običajno 10 °C, in pod izbrano mejo, običajno 30 °C, v 10 dneh (°C-dnevi)
Bertalanič in Dolinar, 2018	Temperatura tal (Bertalanič in Dolinar, 2018)	Empirični model - linearni model povprečne temperature zraka izbranega dne, dveh predhodnih dni in zaporednega dneva v letu (°C)
Eccel in sod., 2015	Winklerjev indeks (Amerine in Winkler, 1944)	Vsota anomalij povprečne dnevne temperature tekom rastne dobe nad temperaturo praga 10 °C (°C-dnevi)
Eccel in sod., 2015	Hughlinov indeks (Hughlin, 1978)	Kombinacija T_{min} , T_{max} in vsote anomalij povprečne dnevne temperature tekom rastne dobe nad temperaturo praga 10 °C (°C-dnevi)
Bertalanič in Dolinar, 2018; Walsh in sod., 2020	Fenološka faza, npr. Prvi listi (Bertalanič in Dolinar, 2018)	Napoved modela GDD za fenološko fazo Prvi listi na podlagi meteoroloških podatkov (ZD)

Luedeling, 2012; Ruiz, 2007	Model dormance (ang. Chill Portions - Dynamic Model) (Fishman in sod., 1987a, 1987b)	Dvostopenjski model temperaturne vsote v obdobju dormance. Le v primeru dovolj nizkih temperatur tekom dormance so zahteve rastlin izpolnjene (°C-dnevi)
Ritchie in sod., 2019	Temperatura rastle dobe (Jones, 2006)	Temperatura obdobja med aprilom in septembrom (°C)
Phillips in sod., 2006	Razširjenost vrste z Metodo maksimalne entropije (Phillips in sod., 2006)	Modeliranje razširjenosti vrst (kot npr. škodljivcev) s pomočjo Metode maksimalne entropije (MaxEnt) (verjetnost)

Naslednji sklop kazalnikov, ki je v kontekstu podnebnih sprememb ključnega pomena za kmetijstvo v Sloveniji, predstavljajo kazalniki za opisovanje suše in moče. Suša je naraven pojav, ki izhaja iz primanjkljaja količine padavin v določenem časovnem obdobju in se kaže v obliki pomanjkanja vode za različne sektorje, pri čemer je najpomembnejši sektor, na katerega vpliva suša, prav kmetijstvo. Glede na dolžino trajanja obdobja brez padavin lahko pri suši ovrednotimo tri kategorije suše, in sicer meteorološko, hidrološko in kmetijsko sušo. Medtem ko lahko meteorološko sušo razmeroma natančno opišemo s sklopoma kazalnikov SPI (ang. Standardized Precipitation Index) (McKee in sod., 1993) in SPEI (ang. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) (Vicente-Serrano in sod., 2010), je kmetijski vidik suše bolj kompleksen, saj predstavlja nezadostno količino vode v tleh, ki jo rastline potrebujejo za normalen razvoj (ARSO, 2017). Kljub raziskavam trenutno še ni soglasja glede indikatorjev, ki bi najbolje predstavljali pojav suše za poljuben sektor, vključno s kmetijstvom (Hayes in sod., 2011; Pedro-Monzonis in sod., 2014; Zargar in sod., 2011), glavno omejitev pri tem pa predstavlja vrednotenje vplivov suše na kmetijstvo, pri čemer meteorološki kazalniki suše ne zadostujejo predvsem, ker ne upoštevajo ranljivosti posameznih rastlin, sposobnosti zadrževanja vode v tleh, namakanja in drugih praks upravljanja s tlemi (Bachmair in sod., 2017; Hayes in sod., 2011). Na podlagi študij (Bachmair in sod., 2017; Pogačar in sod., 2014; Popova in sod., 2015; ARSO, 2017; ARSO, 2022; Gregorič in Ceglar, 2007) se v preteklosti kot eni od primernejših referenčnih indikatorjev za poletno kmetijsko sušo izkažejo SPI za krajša akumulacijska obdobja (2- do 3-mesece), katerih pomanjkljivost je, da obravnavajo le podatek o količini padavin. Kot merilo za jakost kmetijske suše je v Sloveniji trenutno privzet maksimalni primanjkljaj v površinski vodni bilanci v 60-dnevnem obdobju, ki ga izračunamo kot razliko med vsoto količine padavin in vsoto izgube vode iz površine zaradi evapotranspiracije v tekočem 60-dnevnem obdobju (ARSO, 2017).

Najpreprostejši kazalniki v splošnem vključujejo le meteorološke podatke, medtem ko bolj kompleksni kazalniki zajemajo tudi model vodne bilance v tleh suše (Tabela 14), primer kazalnika takšne vrste je Palmerjev indeks sušnosti (PDSI, ang. Palmer drought severity index) (Palmer, 1965). Tretji pristop vključuje daljinsko zaznavanje, in sicer so tovrstni vegetacijski indikatorji razmeroma zlahka dostopni, hkrati pa omogočajo direktno ocenjevanje vplivov suše na vegetacijo in gozdne ekosisteme z visoko časovno in prostorsko resolucijo. Primer tovrstnega kazalnika predstavlja NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Tucker, 1979).

Tabela 14: Povzetek pregleda literature na temo agroklimatskih kazalnikov suše in moče

Reference	Kazalnik (avtor)	Definicija kazalnika
Arnell in Freeman, 2021; ARSO, 2017; ARSO, 2022; Bachmair in sod., 2017; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Gregorič in Ceglar, 2007; IDMP, 2016; Parsons in sod., 2019; Pogačar in sod., 2014; Popova in sod., 2015	Standardiziran padavinski indeks (SPI) (McKee in sod., 1993)	Statistično standardiziran odklon količine padavin od dolgoletnega povprečja, računa se za različne časovne skale (SPI-1 označuje kazalnik za en mesec)
Ritchie in sod., 2019	Efektivne padavine (EP, ang. Effective Precipitation)	Razlika med količino padavin in evapotranspiracijo po Penman-Monteithovi metodi (mm)
Arnell in Freeman, 2021; Bachmair in sod., 2017; IDMP, 2016; Parsons in sod., 2019; Pogačar in sod., 2022;	Standardiziran padavinsko-evapotranspiracijski indeks (SPEI) (Vicente-Serrano in sod., 2010)	Razlika med količino padavin in potencialno evapotranspiracijo po Thornthwaitovi metodi (mm)
Agyeman in sod., 2021; Harding in sod., 2014; Rivington in sod., 2013	Število suhih dni (DD, ang. Dry days) (Heim, 2002)	Število dni z dnevno količino padavin nižjo od 0,2 mm (št. dni)
Arnell in Freeman, 2021; Harding in sod. 2015; Parsons in sod., 2019; Pogačar in sod., 2014; Rivington in sod., 2013	Potencialni primanjkljaj vode v tleh (PSMD, ang. Potential soil moisture deficit) (Knox in sod., 1997; Rodriguez Díaz, 2007)	Letni maksimum primanjkljaja vode v tleh, izračunanega kot razlike med potencialnim izhlapevanjem in količino padavin. (mm)
Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; IDMP, 2016	Palmerjev indeks sušnosti (PDSI, ang. Palmer drought severity index) (Palmer, 1965)	Temelji na podatkih o količini padavin, temperaturi zraka in dostopni vodi v tleh. PDSI spremlja obdobja suš in moče na daljši časovni skali.
Hayes in sod., 2011; IDMP, 2016; Pogačar in sod., 2014; Weier in Herring, 2000	Normaliziran vegetacijski indeks (NDVI, ang. Normalized difference vegetation index) (Tucker, 1979)	Razmerje odbojnosti signalov v bližnjem infrardečem spektru (NIR) in rdečem spektru svetlobe, ocenjuje stanje vegetacije na podlagi njene fotosintetske aktivnosti
Bachmair in sod., 2018; IDMP, 2016	Vegetation Condition Index (VCI) (Kogan, 1995)	Indeks, sestavljen iz razmerja zgledjenega povprečnega, minimalnega in maksimalnega NDVI
Bachmair in sod., 2018	Vegetation Health Index (VHI) (Kogan, 1995)	Linearna kombinacija VCI in NDVI.
Agyeman in sod., 2021;	Primanjkljaj padavin (PD, ang. Precipitation deficit) (Qian in sod., 2010)	Kumulativna vrednost razlike med potencialno evapotranspiracijo in količino padavin (mm)
IDMP, 2016; Palmer, 1968	Kazalnik vlažnosti poljščin (CMI, ang. Crop Moisture Index) (Palmer, 1968)	Temelji na povprečni temperaturi zraka in količini padavin, za ocene razmer na krajši časovni skali za večja območja
CGLS, 2017; IDMP, 2016; Pogačar in sod., 2014	Kazalnik vsebnosti vode v vegetaciji (NDWI, ang.	Razmerje odbojnosti signalov v bližnjem infrardečem spektru (NIR) in kratkovalovnega infrardečega kanala (SWIR).

	Normalized difference water index) (Gao, 1996)	
Copernicus Climate Change Service, 2019; Klein Tank, 2007; Rivington in sod., 2013	Maksimalno število zaporednih suhih dni (ang. dry spell, drought spell) (Frich et al., 2002)	Najdaljše obdobje z izpolnjenim pogojem količine padavin < 1 mm, tudi 0,2 mm (št. dni)
Copernicus Climate Change Service, 2019	Padavinska vsota (ang. Precipitation sum) (Klein Tank, 2007)	Vsota dnevne količine padavin znotraj obdobja 10 dni (mm)
Bertalanč in Dolinar, 2018; Copernicus Climate Change Service, 2019; Klein Tank, 2007; Zhang et al., 2011	Intenzivne padavine (R10/R20/R50) (Frich et al., 2002)	Število dni z vsoto dnevne količine padavin nad 10 mm/20 mm/50 mm (srednje intenzivne/intenzivne/zelo intenzivne padavine) (št. dni)
Copernicus Climate Change Service, 2019; Zhang et al., 2011	Kazalnik intenzitete padavin (SDII, ang. Simple daily intensity index) (Frich et al., 2002)	Razmerje med količino padavin v določenem obdobju in številom dni s količino padavin nad 1 mm (mm/dan)
Ritchie in sod., 2019	Količina padavin v rastni dobi	Količina padavin v obdobju med aprilom in septembrom (mm)
Ritchie in sod., 2019	Količina padavin izven rastne dobe	Količina padavin v obdobju med oktobrom in marcem (mm)

Spomladanska pozeba se v Sloveniji v zadnjih desetletjih pojavlja vse pogostejše in povzroča vedno večjo škodo tako v sadjarstvu kot tudi v drugih panogah. Do pozebe pri rastlini oziroma sadni vrsti lahko pride v primeru, da je ob padcu temperature pod 0 °C rastlina v občutljivi fenološki fazi, kot sta npr. brstenje in cvetenje, zaradi višanja temperatur pa spomladi prihaja do zgodnejšega fenološkega razvoja rastlin ter posledično večje občutljivosti rastlin za spomladanske pozebe (Soršak in sod., 2018).

Za modeliranje tveganja za pozebo se v osnovi za izračun zaporednega dne cvetenja, brstenja ali druge izbrane fenološke faze najpogostejše uporablja klasični model temperaturnih vsot (GDD, ang. growing degree days) (Lhotka in Brönnimann, 2020; Sgubin, 2018, Vitasse in sod., 2018), za numerično oceno tveganja za pozebo pa se med avtorji pojavlja veliko različnih pristopov (

Tabela 15). Vitasse in sod. (2018) tveganje za pozebo ocenjujejo s pomočjo izračuna varnostne rezerve, ki predstavlja časovni zamik med napovedanim dnem cvetenja in zadnjim datumom spomladanske zmrzali, medtem ko drugi avtorji pri oceni tveganja uporabijo tudi bolj napredne ter nekonvencionalne pristope, kot sta strojno učenje (Diniz in sod., 2021) ter sklopljeni stohastični model (Rigby in Porporato, 2008).

Tabela 15: Povzetek pregleda literature na temo ocenjevanja tveganja za pojav pozebe

Reference	Kazalnik (avtor)	Definicija kazalnika
Agyeman in sod., 2021; Arnell in Freeman, 2021; Bertalanč in Dolinar, 2018; Frich et al., 2002; Kunkel, 2004; Zhang et al., 2011	Pozeba (Fd, ang. Frost days) (Bootsma, 1994)	Število dni v letu z izpolnjenim pogojem dnevne najnižje temperature $T_{\min}$ nižje od kritične temperature, (običajno 0 °C ali -2 °C) (št. dni)
Miranda (2023)	Indeks hladnih noči (Tonietto, 1999)	Povprečna minimalna temperatura tekom obdobja dozorevanja grozdja, tipično v septembru (°C)
Arnell in Freeman, 2021; Harding in sod., 2015; Lhotka in Brönnimann, 2020; Rivington in sod., 2013	Indeks pozebe (ang. Accumulated frost, Frost index) (Rivington in sod., 2013)	Kumulativna vsota anomalij dnevnih najnižjih temperatur pod izbrano mejo (običajno 0 °C) med začetkom pomladi in 30. junijem, $\Sigma(T_{\min} < 0 \text{ °C})$, (°C-dnevi)
Vitasse, 2018	Varnostna rezerva (ang. Safety margin against frost) (Vitasse, 2018)	Število dni med zadnjo spomladansko zmrzaljo ($T < 0 \text{ °C}$) in začetkom rastne dobe (fazi Cvetenje ali Prvi listi) (št. dni)
Anandhi in sod., 2013; Cooter in Leduc, 1995; Meier in sod., 2018; Rivington in sod., 2013	Zadnji dan zmrzali (ang. Last day of frost) (Anandhi in sod., 2013; Rivington in sod., 2013)	Zadnji zaporedni dan v letu z izpolnjenim pogojem $T_{\min} < 0 \text{ °C}$ (tudi -2 °C) (ZD)
Harkness in sod., 2020; Pullens in sod., 2019	Pozna pozeba (ang. Late frost) (Trnka in sod., 2014)	Pogoj $T_{\min} \leq -2 \text{ °C}$ po začetku vsaj 5 dni dolgega obdobja s povprečno dnevno temperaturo $T > 10 \text{ °C}$
Sgubin in sod., 2018	Verjetnost za spomladansko pozebo (ang. Probability of spring frost) (Sgubin in sod., 2018)	Izračun verjetnosti za pojav pozebe kot presek verjetnosti, da se dogodek zadnje spomladanske zmrzali (P_{zz}) pojavi pred dogodkom brstenja (P_b) (verjetnost)
Copernicus Climate Change Service, 2019; Frich et al., 2002; Zhang et al., 2011	Indeks trajanja hladnega vala (CSDI, ang. Cold spell duration index) (Klein Tank, 2007)	Obdobje z najmanj 6 zaporednimi dnevi, ko je $T_{\min} < T_{\min}^{10th}$, kjer je $T_{\min}^{10th}$ 10. percentil ZD za obdobje 1981–2010 (št. dni)
Anandhi in sod., 2013; Copernicus Climate Change Service, 2019	Dnevi s škodo zaradi pozebe (ang. Frost days – damage) (Klein Tank, 2007)	Število dni znotraj obdobja 10 dni, z izpolnjenim pogojem $T_{\min} < 0 \text{ °C}$ (št. dni)
Copernicus Climate Change Service, 2019	Maksimalno število zaporednih dni s pozebo (ang. cold spell) (Klein Tank, 2007)	Najdaljše obdobje ZD z izpolnjenim pogojem $T_{\min} < 0 \text{ °C}$ (št. dni)

3.2 Nabor, analiza in izračun agroklimatskih kazalnikov na dosegljivih podatkih

Analizirati kazalnike, izvesti izračune na dosegljivih podatkih, (proučiti ekstremne vrednosti in njihove povratne dobe ter pripraviti projekcije do konca stoletja po različnih scenarijih podnebnih sprememb)

V okviru analize tega projekta smo želeli izračunati vse relevantne agroklimatske kazalnike, za katere so na voljo že obstoječe knjižnice v programu R. Pri pregledu knjižnic, ki so znotraj programa R na voljo za obravnavo agroklimatskih kazalnikov, smo obravnavali knjižnice *agroclim* (Serrano-Notivoli in sod., 2022), *ClimClass* (Eccel in sod., 2015), *fructlimadapt* (Miranda, 2023) in *ClimInd* (Reig-Gracia in sod., 2021). Najbolj celovit nabor kazalnikov je vsebovala knjižnica *ClimInd*, in sicer so v omenjeni knjižnici kazalniki razdeljeni v skupine, ki temeljijo na različnih vhodnih klimatskih spremenljivkah - temperaturi, količini padavin, hitrosti vetra, aridnosti, višini snežne odeje ali oblačnosti, prav tako pa so v knjižnico vključeni sklopi bioklimatskih kazalnikov, sušnih kazalnikov, kazalnikov požarne ogroženosti in kazalnikov za potrebe turizma.

Kljub obsežnemu naboru agroklimatskih kazalnikov, ki ga je knjižnica *agroclim* vsebovala, smo glede omenjene knjižnice ugotovili, da je bila aprila 2023 odstranjena iz repozitorija knjižnic CRAN ter je tako ni mogoče več uporabljati. Podobno smo pri preizkušanju knjižnice *ClimClass* ugotovili, da posamezni deli programske kode niso bili ustrezno posodobljeni in tako paket ni uporaben za našo analizo v okviru projekta. Pri pregledu dokumentacije knjižnice *fructlimadapt* smo ugotovili, da se v knjižnici vsebovani agroklimatski kazalniki delijo v pet različnih sklopov, in sicer za izračun urnih vrednosti meteoroloških spremenljivk iz dnevnih vrednosti vhodnih podatkov, oceno akumuliranih prispevkov ohlajanja in segrevanja, izračun napovedi fenoloških faz, izračun kazalnikov z vremenom povezanih bolezni sadnega drevja in podobno (Miranda, 2023).

Kot najbolj zanimivi so se za izračun izkazali tisti kazalniki knjižnice *fructlimadapt*, ki se nanašajo na napovedovanje zdravja vinske trte in jablane. Izmed teh kazalnikov smo za izračun izbrali kazalnike, kot so Hughlinov indeks (HI) temperaturnih vsot nad 10 °C, slednji upošteva tudi geografsko širino izbrane lokacije, Biološko temperaturno vsoto (BEDD) temperatur med 10 in 19 °C, Indeks hladnih noči (CI), ki upošteva minimalne temperature v obdobju dozorevanja grozdja, in podobno (Tabela 16).

Na podlagi podrobnega pregleda dokumentacije vseh knjižnic smo tako za nadaljnjo analizo izbrali knjižnici *ClimInd* (Reig-Gracia in sod., 2021) ter *fructlimadapt* (Miranda, 2023). V nadaljevanju (Tabela 16) povzemamo pregled agroklimatskih kazalnikov, ki so na voljo v knjižnicah *ClimInd* in *fructlimadapt* programa R ter smo jih vključili v našo analizo. Pri obravnavi kazalnikov smo se osredotočali tudi na zahteve vhodnih podatkov posameznega kazalnika. V analizo smo vključili kazalnike, ki zahtevajo vhodne podatke na dnevni skali, saj so naši vhodni podatki zajemali dnevne vrednosti klimatskih spremenljivk za Slovenijo.

Omenimo še, da lahko agroklimatske kazalnike, ki predstavljajo vpliv različnih klimatskih dejavnikov na razmere za pridelavo hrane, razdelimo v več skupin glede na meteorološke spremenljivke, na kateri temeljijo (Tabela 16). Agroklimatski kazalniki, ki smo jih vključili v analizo, temeljijo na meteorološki spremenljivki temperaturi (bodisi povprečni dnevni, bodisi maksimalni ali minimalni dnevni temperaturi), na dnevni količini padavin ali na dnevni evapotranspiraciji. Čeprav izbrani knjižnici *ClimInd* in *fructlimadapt* vsebujeta tudi manj kompleksne kazalnike, smo

zaradi celostnega pristopa v sklopu projekta izračunali vse kazalnike, ki so kakorkoli relevantni za kmetijsko pridelavo (Tabela 16).

Tabela 16: Nabor agroklimatskih kazalnikov, ki so bili uporabljeni v analizi in so na voljo v knjižnicah ClimInd (Reig-Gracia in sod., 2021) ter fructimadapt (Miranda, 2023)

Ime	Dolgo ime kazalnika	Vhodni podatki, na katerih temelji kazalnik	Knjižnica v R
ta_o	Temperatura rastne dobe	Povprečna dnevna temperatura	ClimInd
bio10	Temperatura najtoplejše četrtine leta	Povprečna dnevna temperatura	ClimInd
bio11	Temperatura najhladnejše četrtine leta	Povprečna dnevna temperatura	ClimInd
stn10	Vsota minimalnih temperatur pod -10 °C	Minimalna dnevna temperatura	ClimInd
stn15	Vsota minimalnih temperatur pod -15 °C	Minimalna dnevna temperatura	ClimInd
d32	Število dni z maksimalno temperaturo nad 32 °C	Maksimalna dnevna temperatura	ClimInd
stx32	Vsota maksimalnih temperatur nad 32 °C	Maksimalna dnevna temperatura	ClimInd
dtr	Dnevni temperaturni razpon	Maksimalna dnevna temperatura, minimalna dnevna temperatura	ClimInd
dd	Število suhih dni	Količina padavin	ClimInd
bio13	Količina padavin v najbolj mokrem mesecu leta	Količina padavin	ClimInd
bio14	Količina padavin v najbolj suhem mesecu leta	Količina padavin	ClimInd
d50mm	Število dni s količino padavin nad 50 mm	Količina padavin	ClimInd
d95p	95. percentil mokrih dni (ang. Very wet days)	Količina padavin	ClimInd
gsr	Količina padavin v rastni dobi	Količina padavin	ClimInd
ngsr	Količina padavin izven rastne dobe	Količina padavin	ClimInd
bio18	Količina padavin v najtoplejši četrtini leta	Povprečna dnevna temperatura, količina padavin	ClimInd
bio19	Količina padavin v najhladnejši četrtini leta	Povprečna dnevna temperatura, količina padavin	ClimInd
ep	Efektivne padavine	Povprečna dnevna temperatura, dnevna evapotranspiracija	ClimInd
WI	Winklerjev indeks	Maksimalna dnevna temperatura, minimalna dnevna temperatura	fructimadapt

(bioclim_thermal)			
HI	Huglinov indeks	Maksimalna dnevna temperatura, minimalna dnevna temperatura	frucлимadapt (bioclim_thermal)
BEDD	Biološka temperaturna vsota	Maksimalna dnevna temperatura, minimalna dnevna temperatura	frucлимadapt (bioclim_thermal)
CI	Indeks hladnih noči	Maksimalna dnevna temperatura, minimalna dnevna temperatura	frucлимadapt (bioclim_thermal)

V nadaljevanju predstavimo vhodne podatke, ki smo jih uporabili za izračun agroklimatskih kazalnikov ter zatem rezultate analize.

3.2.1 Klimatološki podatki

Za izračun agroklimatskih kazalnikov smo uporabili več sklopov klimatoloških podatkov, in sicer podatke o povprečni dnevni temperaturi, minimalni dnevni temperaturi, maksimalni dnevni temperaturi, dnevni količini padavin in referenčni evapotranspiraciji. Podatke smo pridobili s strani portala Odprti Podatki Slovenije (OPSI), in sicer zajemajo časovno vrsto dnevni podatkov meritev povprečne, najvišje in najnižje temperature ter višine padavin in referenčne evapotranspiracije v obdobju 1981–2010 nad Slovenijo v pravilni mreži in ločljivosti 12 km (0,125°) (MNVP ARSO, 2023).

3.3 Rezultati analize

(Analizirati kazalnike, izvesti izračune na dosegljivih podatkih,) proučiti ekstremne vrednosti in njihove povratne dobe ter pripraviti projekcije do konca stoletja po različnih scenarijih podnebnih sprememb

S kombinacijo različnih analiz meteoroloških in fenoloških podatkov ter izpeljanih kazalnikov pripraviti za posamezne produkte v obliki preglednic, grafov in kart, ki bodo uporabni na različnih področjih kmetijstva.

Določitev ranljivih območij, ki so pomembna za razvoj ustreznih strategij prilagajanja kmetijstva v Sloveniji.

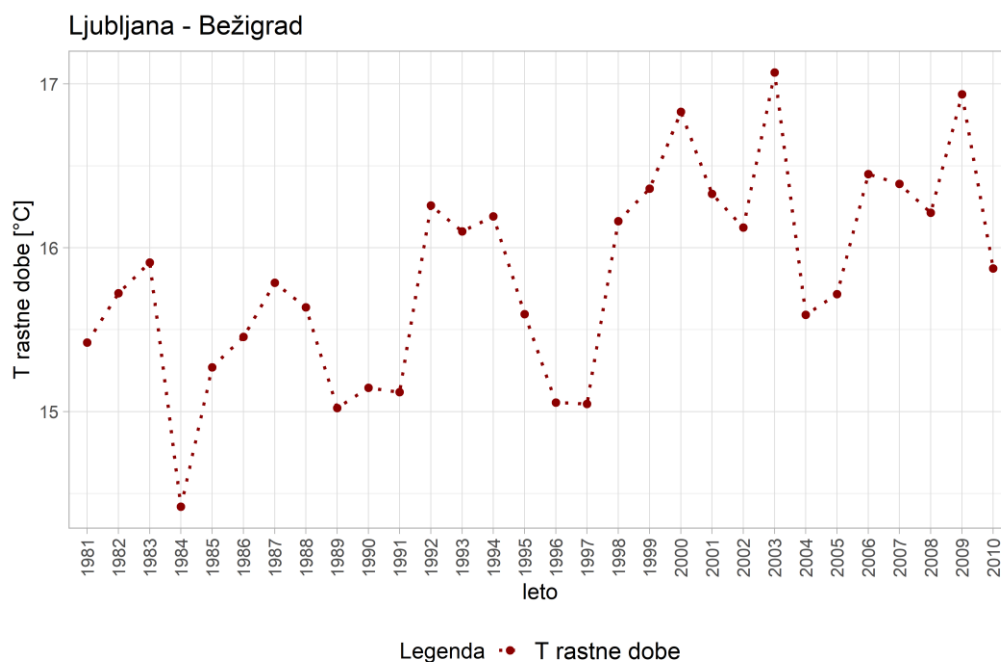
Kot je opisano v predhodnem delu poročila, smo za izračun izbranih agroklimatskih kazalnikov iz nabora uporabili knjižnico programa R *ClimInd*. Natančneje je knjižnica opisana in predstavljena v Reig-Gracia in sod. (2021). Poleg *ClimInd* smo prav tako uporabili knjižnico *frucлимadapt*, opisano v Miranda (2023). Rezultati izbranega širokega nabora agroklimatskih kazalnikov, ki so primerni za različna področja kmetijstva, so v obliki preglednice prikazani v tabeli 4.

V nadaljevanju v obliki grafov in kart predstavimo rezultate izračuna in analize predstavljenih agroklimatskih kazalnikov. V prvem delu rezultatov se osredotočimo na časovne vrste obravnavanih kazalnikov za primer tipične meteorološke postaje v Sloveniji, sledi predstavitev rezultatov agroklimatskih kazalnikov za celotno mrežo Slovenije (karte). Zatem predstavimo še analizo ekstremnih vrednosti in povratnih dob teh podnebne projekcije nekaterih agroklimatskih kazalnikov.

3.3.1 Časovna vrsta za posamezno lokacijo

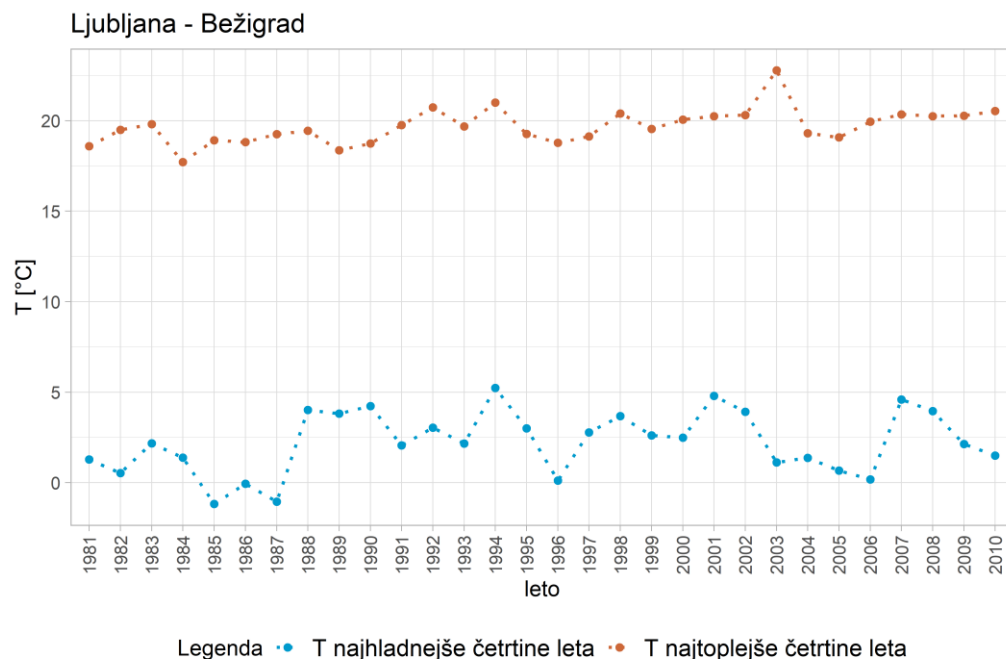
Za lažji pregled časovnega poteka glavnih agroklimatskih kazalnikov v nadaljevanju za mrežno točko, ki vsebuje postajo Ljubljana – Bežigrad, prikažemo časovno vrsto za spremenljivke temperatura rastne dobe (Slika 19), temperatura najtoplejše in temperatura najhladnejše četrtine

leta (Slika 20), padavine v obdobju rastne dobe in padavine izven rastne dobe (Slika 21) in efektivne padavine (Slika 22). Kot je prikazano v rezultatih (Slika 19), se povprečna temperatura obdobja rastne dobe med aprilom in septembrom v obdobju 1981–2010 kontinuirano zvišuje, kljub zmerni medletni variabilnosti. Z drugimi besedami zviševanje temperature v obdobju najbolj aktivnega razvoja rastlin pomeni spremenjeno tveganje za izpostavljenost rastlin temperaturam izven optimalnega intervala, t. j. intervala med bazno temperaturo, pri kateri se začne vegetativna rast rastlin in mejno temperaturo, nad katero vrednost pridelka pade na 0.



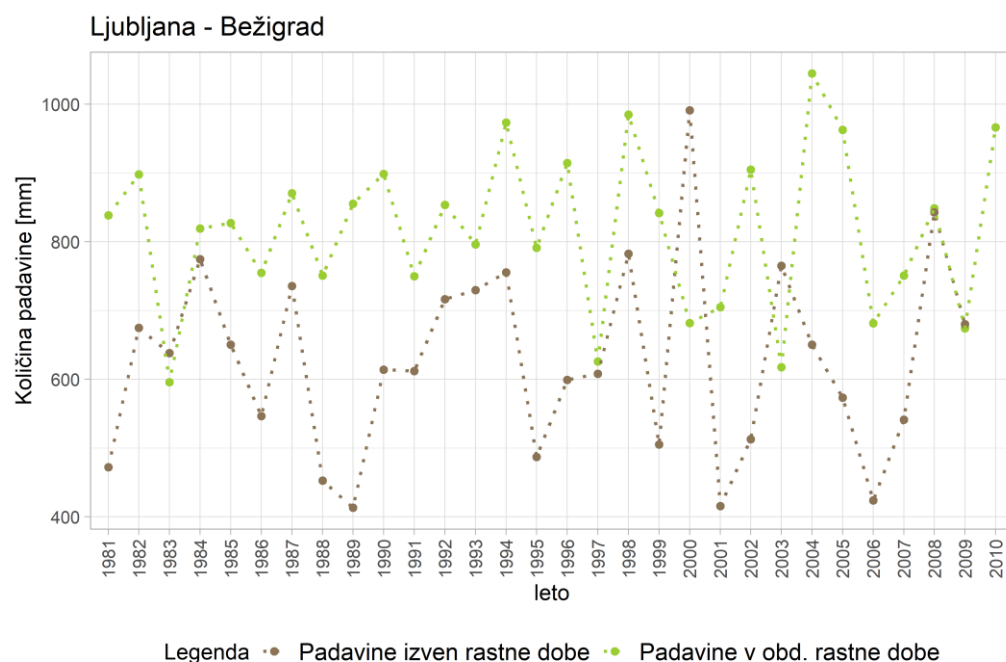
Slika 19: Primer izračunanih vrednosti kazalnika temperatura rastne dobe s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad

Podobno kot pri temperaturi rastne dobe opazimo, da se temperatura najtoplejše četrtnine leta postopoma povečuje, kljub medletnim fluktuacijam, ki so še bolj izrazite v primeru temperature najhladnejše četrtnine leta (Slika 20).



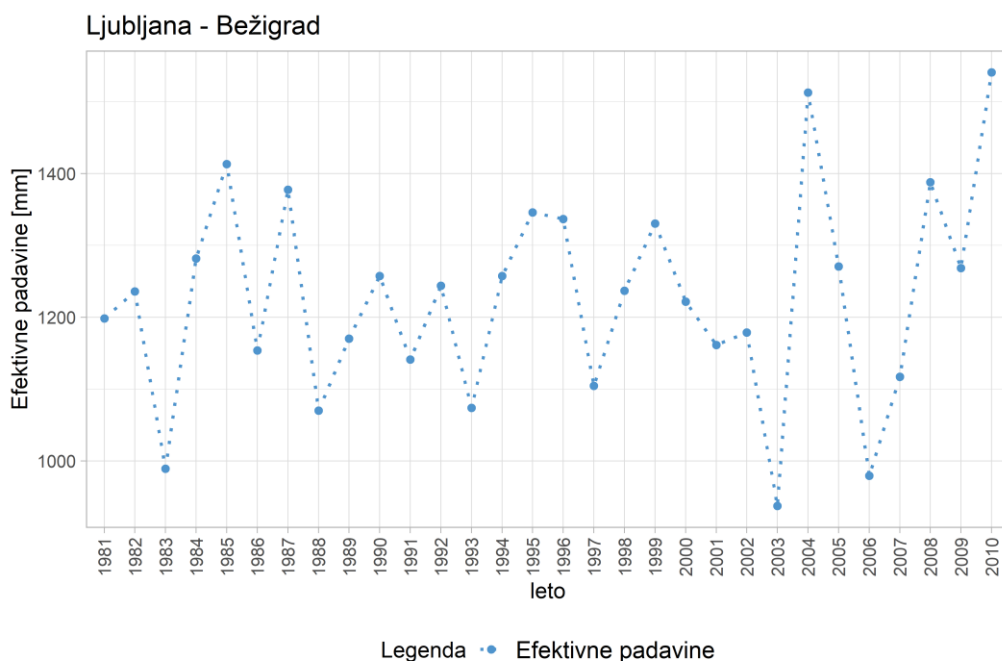
Slika 20: Primer izračunanih vrednosti kazalnikov temperatura najtoplejše in temperatura najhladnejše četrtine leta s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad

V primeru kazalnikov količine padavin v obdobju rastne dobe ter količine padavin izven rastne dobe podatki kažejo na izrazito medletno variabilnost količine padavin (Slika 21).



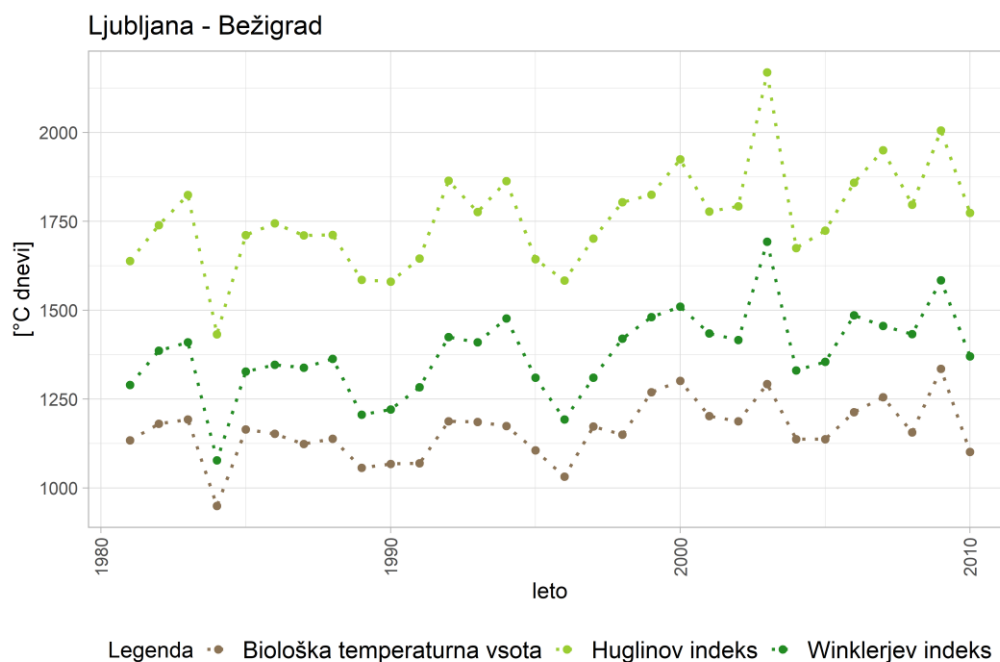
Slika 21: Primer izračunanih vrednosti kazalnikov padavine v obdobju rastne dobe in padavine izven rastne dobe s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad

Količina učinkovitih padavin se na podlagi rezultatov časovne vrste na lokaciji Ljubljana – Bežigrad v obdobju 1981–2010 ni spreminjala znatno (Slika 22), medletna variabilnost v podatkih je visoka, podobno kot pri količini padavin tekom in izven obdobja rastne dobe.



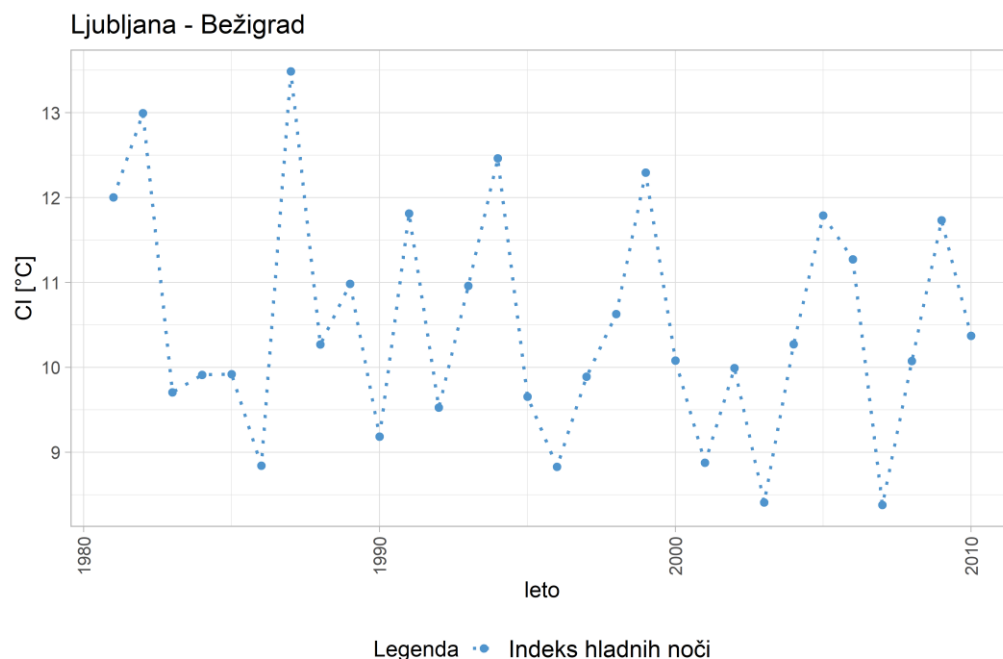
Slika 22: Primer izračunanih vrednosti kazalnika efektivne padavine s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad

Ker tako Biološka temperaturna vsota, Hughlinov indeks in Winklerjev indeks v svoji osnovi predstavljajo različico temperaturne vsote v obdobju rastne dobe med aprilom in septembrom, z različnimi temperaturami praga, je časovni potek vseh treh kazalnikov zelo podoben (Slika 23). Opazimo blago naraščanje doseženih vrednost BEDD, HI in WI tekom rastne dobe v obravnavanem 30-letnem obdobju. Temperaturne vsote v obdobju rastne dobe se podaljšujejo, z drugimi besedami, količina akumulirane toplote tekom rastne dobe se povečuje.



Slika 23: Primer izračunanih vrednosti kazalnikov Biološka temperaturna vsota, Hughlinov indeks in Winklerjev indeks s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad

Rezultati Indeksa hladnih noči za Ljubljano kažejo na medletno variabilnost tega kazalnika v višini nekaj °C v obdobju 1981–2010 (Slika 24). Rezultati nakazujejo na morebiten padajoči trend kazalnika, t. j. v višini minimalnih temperatur tekom dozorevanja grozdja (mesec september).

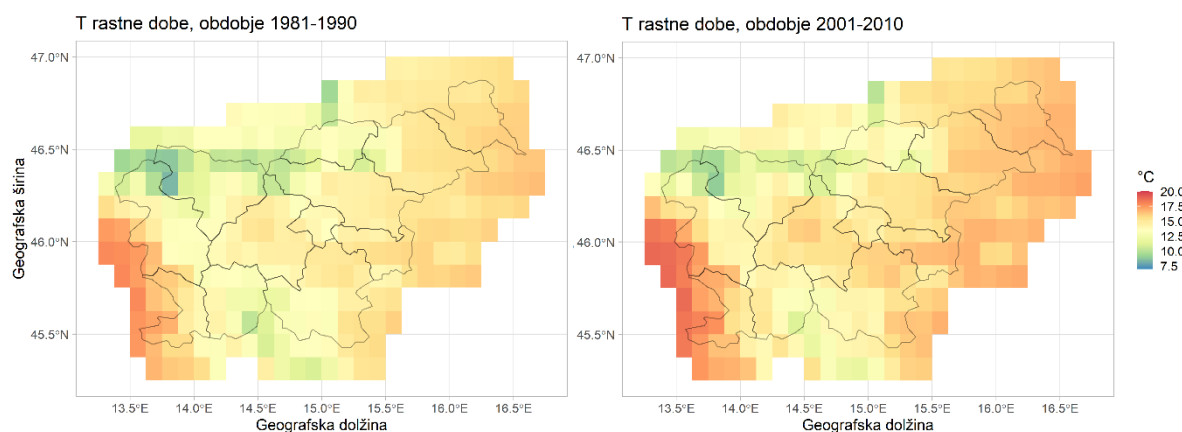


Slika 24: Primer izračunanih vrednosti kazalnika Indeks hladnih noči s pomočjo knjižnice ClimInd za postajo Ljubljana Bežigrad

Nadaljujemo z rezultati prostorske analize izbranih agroklimatskih kazalnikov.

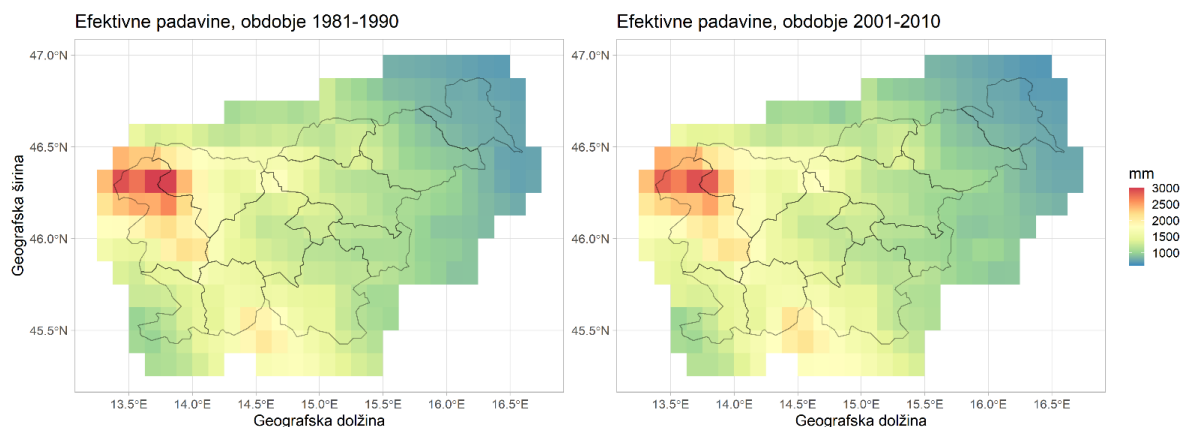
3.3.2 Rezultati agroklimatskih kazalnikov na celotni mreži Slovenije

V nadaljevanju prikažemo rezultate obravnavanih agroklimatskih kazalnikov na celotni mreži Slovenije za dve desetletji znotraj preučevanega obdobja 1981–2010, t. j. za začetek obdobja 1981–1990 in konec obdobja 2001–2010. Za temperaturo rastne dobe ugotovimo razlike med obdobjema za večino Slovenije (Slika 25). Največje zvišanje povprečne temperature rastne dobe med aprilom in septembrom je značilno za Primorsko, Posavje, Osrednjo Slovenijo, večji del Štajerske in Prekmurje, medtem ko so za S Slovenijo in Notranjsko spremembe manj izrazite.



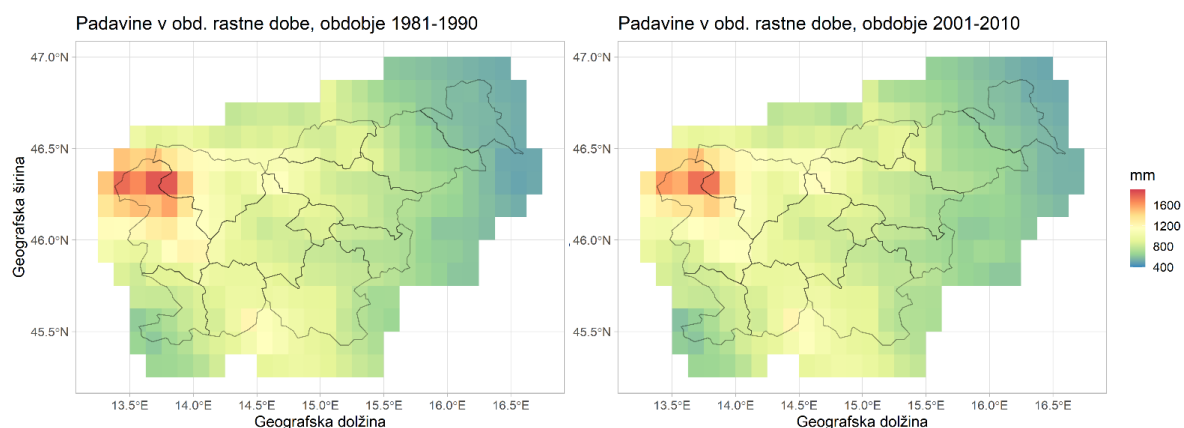
Slika 25: Rezultati kazalnika temperatura rastne dobe za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Kazalnik učinkovitih padavin, ki ponazarja razliko med količino padavin in evapotranspiracijo po Penman-Monteithovi metodi, za obe predstavljeni obdobji podaja višjo vrednost učinkovitih padavin za SZ del Slovenije ter nižje vrednosti učinkovitih padavin za celotno celinsko V polovico Slovenije, za katero je značilno višje izhlapevanje. Znatnih razlik med obdobjema ni, največjo spremembo predstavlja manjše znižanje vrednosti učinkovitih padavin za območje Julijskih Alp (Slika 26).



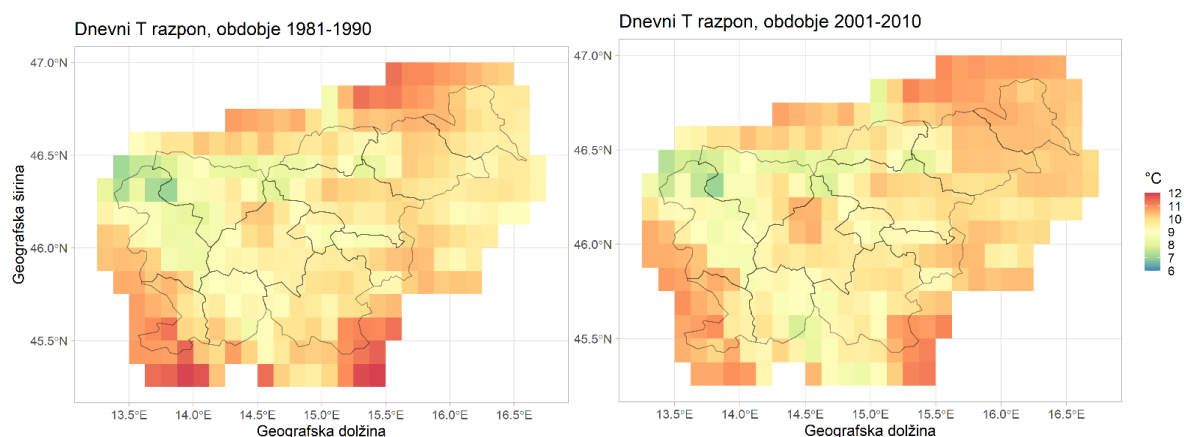
Slika 26: Rezultati kazalnika učinkovita količina padavin za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Podobno kot pri kazalniku Efektivne padavine tudi pri količini padavin v obdobju rastne dobe največje razlike med obdobjema 1981–1990 in 2001–2010 zabeležimo za gorati del SZ Slovenije (Slika 27).



Slika 27: Rezultati kazalnika količina padavin tekom rastne dobe za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

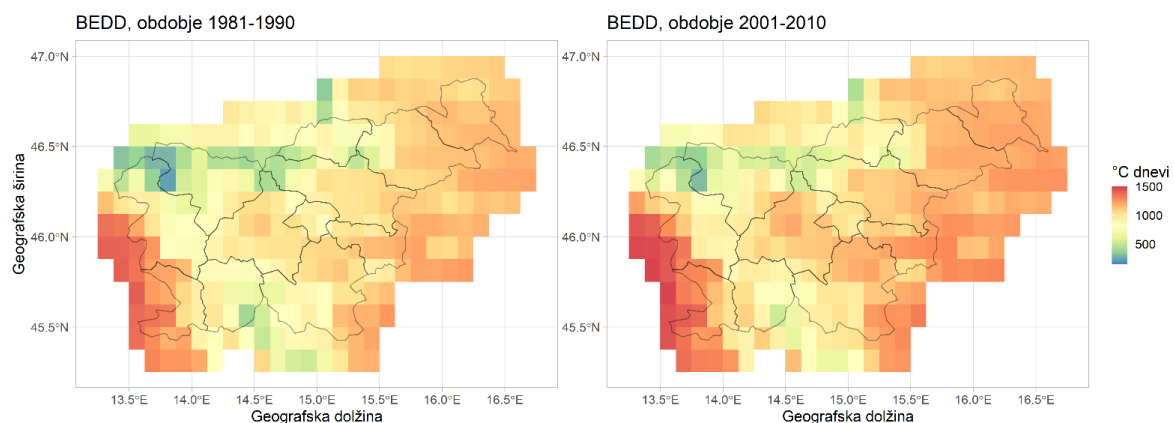
Primerjava dnevnega temperaturnega razpona v obdobju 1981–1990 in 2001–2010 pokaže premik proti manjšim razlikam med maksimalno in minimalno dnevno temperaturo za Primorsko in Notranjsko. Po drugi strani za Osrednjo Slovenijo, Štajersko in Prekmurje ugotovimo, da se je med obema obdobjema dnevni temperaturni razpon povečal (Slika 28).



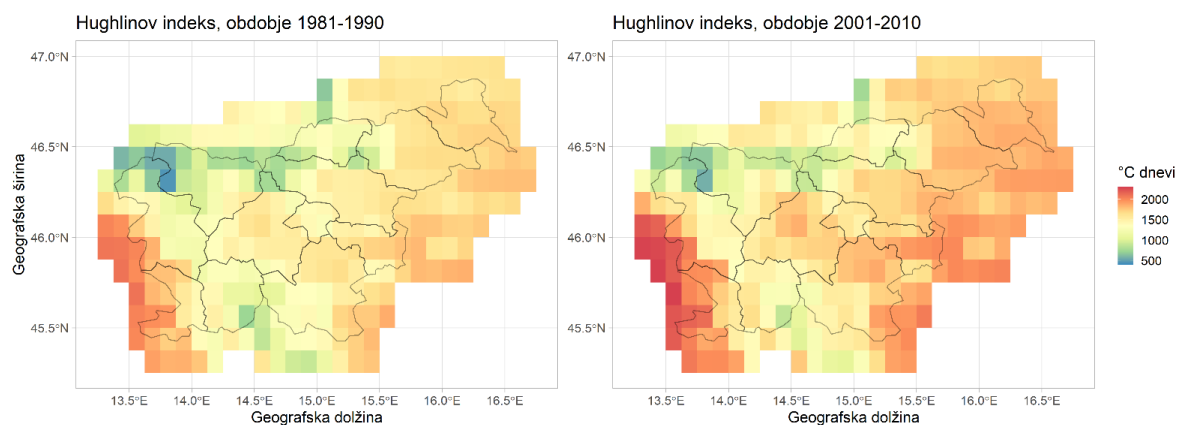
Slika 28: Rezultati kazalnika dnevni temperaturni razpon za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Poleg povprečne temperature tekom rastne dobe so kazalniki, ki temeljijo na temperaturi in so pomembni za vinogradništvo, tudi Biološka temperaturna vsota (BEDD), Hughlinov heliotermični indeks (HI), Winkerjev indeks (WI) in indeks hladnih noči (CI). Njihove rezultate predstavimo v nadaljevanju. Podobno kot smo pri povprečni temperaturi ugotovili, da se je med obdobjema 1981–1990 in 2001–2010 povečala, tudi pri vseh treh različicah kazalnikov temperaturnih vsot (BEDD, HI in WI) v vinogradništvu ugotovimo, da so tekom rastne dobe dosežene vsote višje (Slika 29, Slika 30, Slika 31).

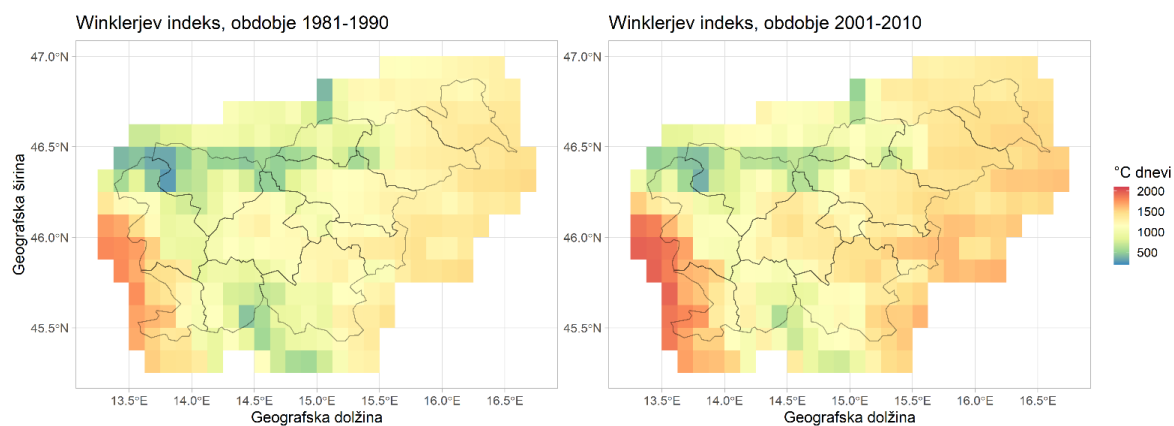
Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco in določitev agrometeoroloških kazalnikov



Slika 29: Rezultati kazalnika Biološka temperatura vsota (BEDD) za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)



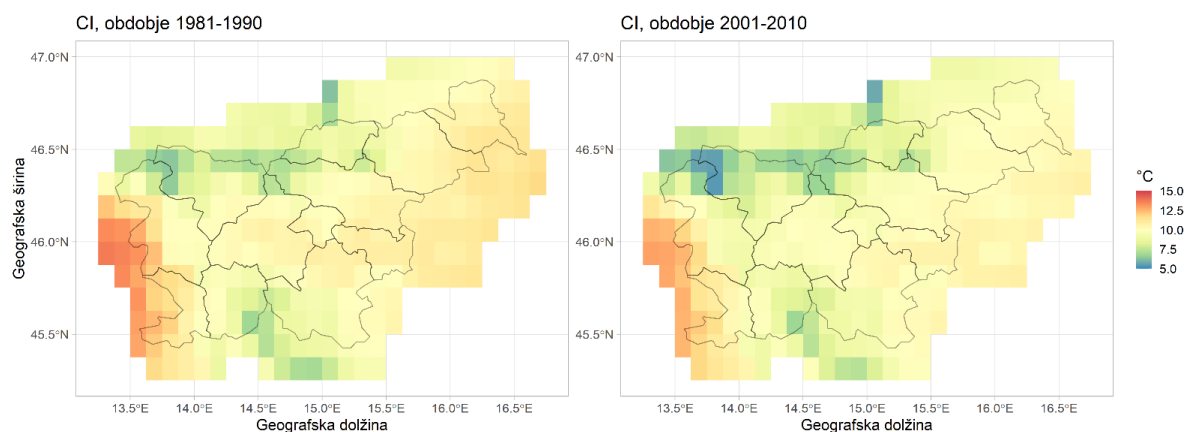
Slika 30: Rezultati kazalnika Hughlinov indeks (HI) za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)



Slika 31: Rezultati kazalnika Winklerjev indeks (WI) za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Na podlagi rezultatov kazalnika hladnih noči ugotovimo, da so se v obdobju 2001–2010 glede na 1981–1990 minimalne temperature septembra, ki so najbolj relevantne za dozorevanje grozdja, v

goratem delu SZ in S Slovenije ter na skrajnem JZ delno znižale. Drugod razlika med obdobjema
ni zelo velika (Slika 32).

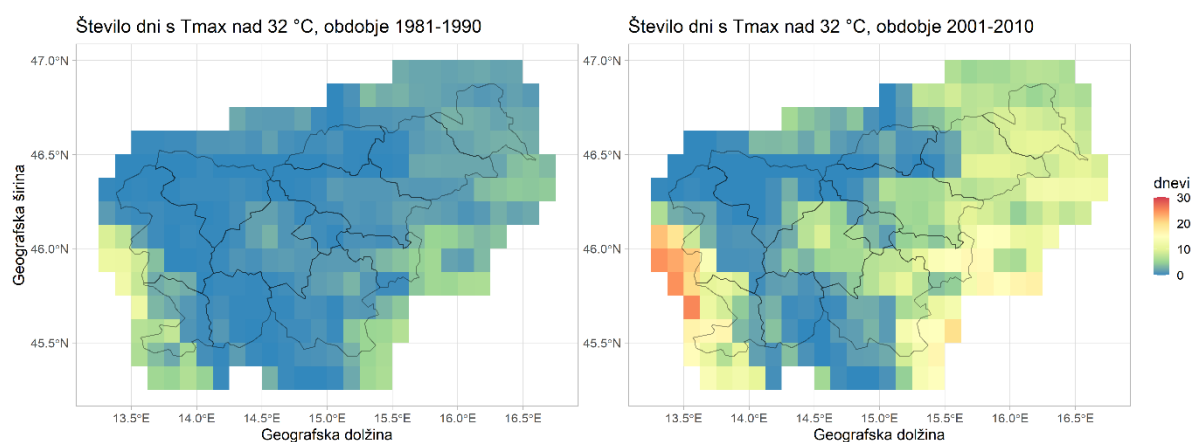


Slika 32: Rezultati kazalnika Indeks hladnih noči (CI) za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

3.3.3 Ekstremne vrednosti in povratne dobe

V nadaljevanju se osredotočimo na ekstremne vremenske dogodke, s poudarkom na dogodkih, ki temeljijo na naših temeljnih vhodnih podatkih o temperaturi in padavinah v obdobju 1981–2010. S temperaturnimi ekstremi opisujemo temperaturne dogodke, kot so vroči dnevi (dnevna najvišja temperatura preseže 30 °C), zelo vroči dnevi (dnevna najvišja temperatura preseže 35 °C), tropske noči (dnevna najnižja temperatura ne pade pod 20 °C). Prav tako so ekstremne vrednosti temperaturnih dogodkov predstavljene tudi s temperaturnimi minimumi, kot so mrzli (dnevna najnižja temperatura pade pod -10 °C) in ledeni dnevi (dnevna najvišja temperatura pod 0 °C). Predstavimo naš sklop kazalnikov, ki zajemajo ekstremne vrednosti temperature, to so kazalniki Število dni s $T_{\max}$ nad 32 °C (

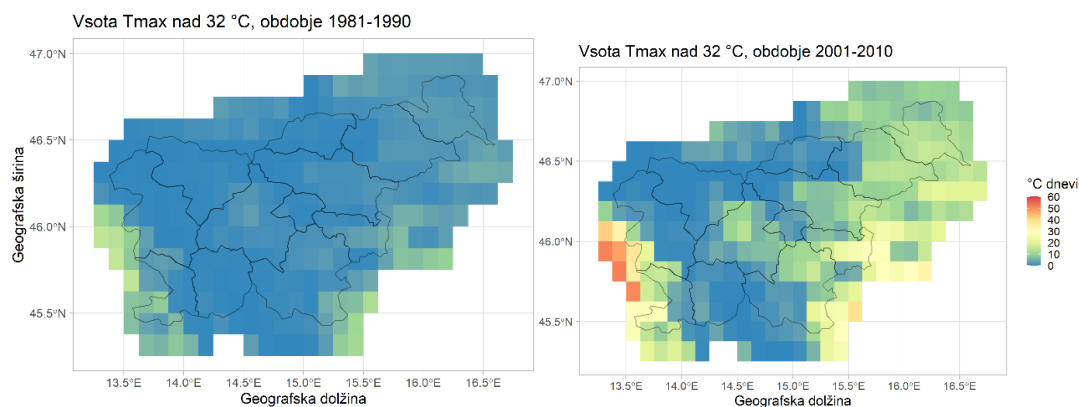
Slika 33), Vsota anomalij $T_{\max}$ nad 32 °C (Slika 34), Vsota anomalij $T_{\min}$ pod -10 °C (Slika 35) in Vsota anomalij $T_{\min}$ pod -15 °C (Slika 36).



Slika 33: Rezultati kazalnika Število dni z maksimalno dnevno temperaturo nad 32 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

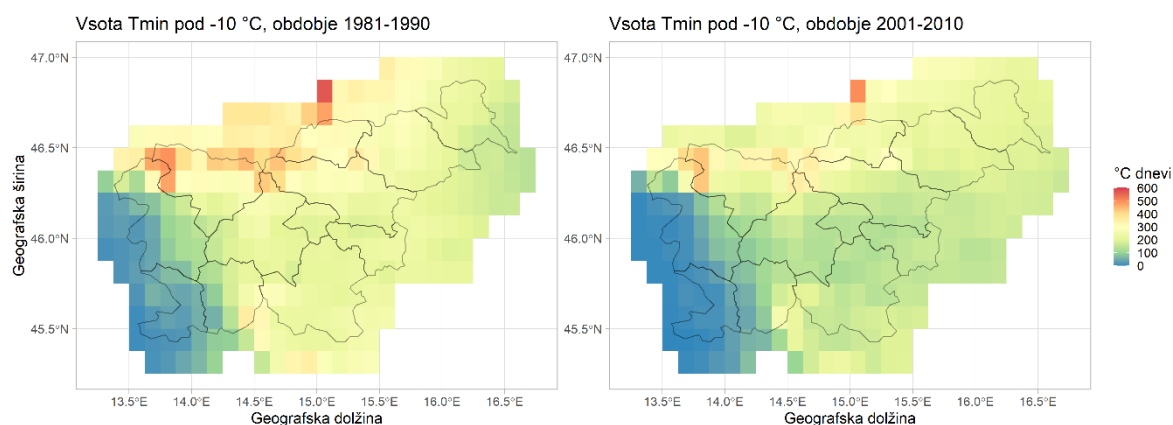
Opazimo lahko povečano število dni s $T_{\max}$ nad 32 °C glede na obe obdobji, in sicer za večji del Slovenije, razen v hribovitih predelih (celotna Gorenjska, S in V del S Primorske, Notranjska). Opozorimo, da je za obdobje 1981–1990 povprečno število dni s $T_{\max}$ nad 32 °C za celotni del Slovenije kvečjemu 5 dni na leto (Slika 33). V skladu z rezultati za število dni s $T_{\max}$ nad 32 °C je tudi vsota anomalij temperature nad omenjeno mejo (Slika 34).

Vpliv obdelave medvrstnega prostora v vinogradu na kakovost tal in vodno bilanco in določitev agrometeoroloških kazalnikov

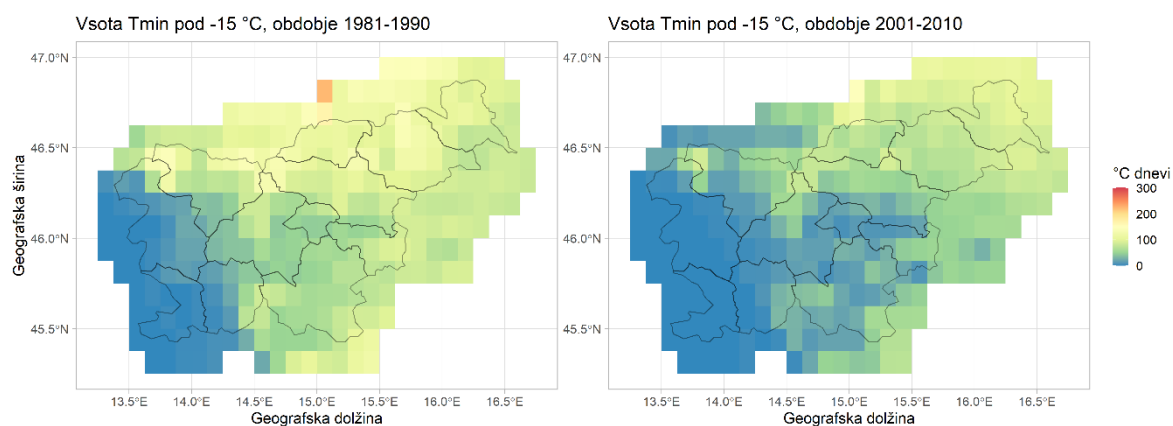


Slika 34: Rezultati kazalnika Vsota $T_{\max}$ nad 32 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Podobno, kot se dvigujejo maksimalne letne temperature, velja tudi za minimalne temperature. Vsota anomalij minimalne temperature pod -10 °C (Slika 35) oziroma -15 °C (Slika 36) je v zadnjem desetletju preučevanega 30-letnega obdobja manjša kot v prvem desetletju. Z drugimi besedami to pomeni, da so minimalni temperaturni ekstremi manj pogosti.

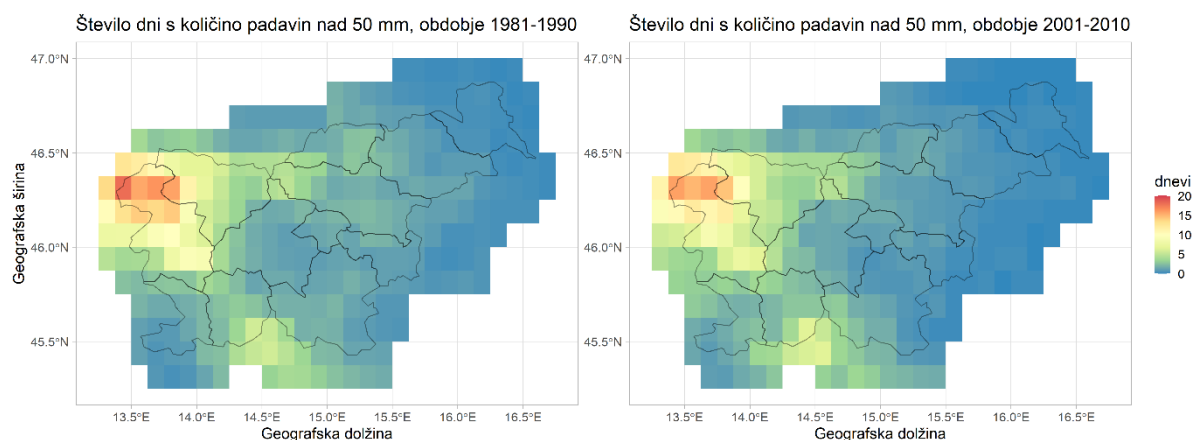


Slika 35: Rezultati kazalnika Vsota $T_{\min}$ pod -10 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)



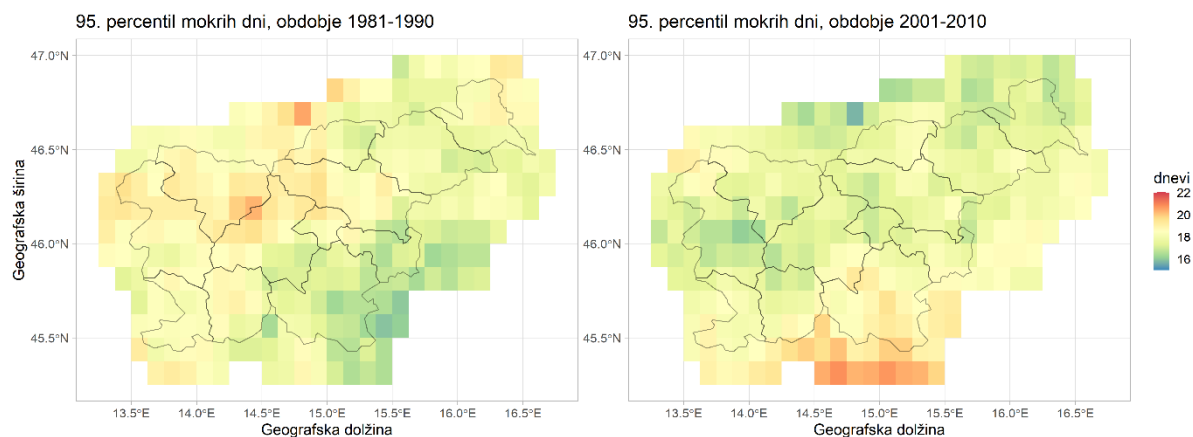
Slika 36: Rezultati kazalnika Vsota $T_{\min}$ pod -15 °C za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Pri padavinah smo v naboru kazalnikov ekstremnih padavin predstavili kazalnika Število dni s količino padavin nad 50 mm (Slika 37) in 95. percentil mokrih dni (ang. Very wet days) (Slika 38). Ugotovimo, da je povprečno število dni s količino padavin nad 50 mm za 2001–2010 precej podobno kot za 1981–1990, z izjemo goratega skrajnega SZ Slovenije.



Slika 37: Rezultati kazalnika Število dni s količino padavin nad 50 mm za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

Za obdobje 1981–1990 je število dni v 95. percentilu mokrih dni, ki predstavlja 5 % dni v letu z najvišjo količino padavin, malenkost večje (okoli 20 dni na leto) za JZ, SZ in SV del Slovenije, kot za JV del Slovenije (okoli 16–18 dni na leto). Situacija je ravno obratna za obdobje 2001–2010 (Slika 38).



Slika 38: Rezultati kazalnika 95. percentil mokrih dni za izbrani desetletni obdobji 1981–1990 (levo) in 2001–2010 (desno)

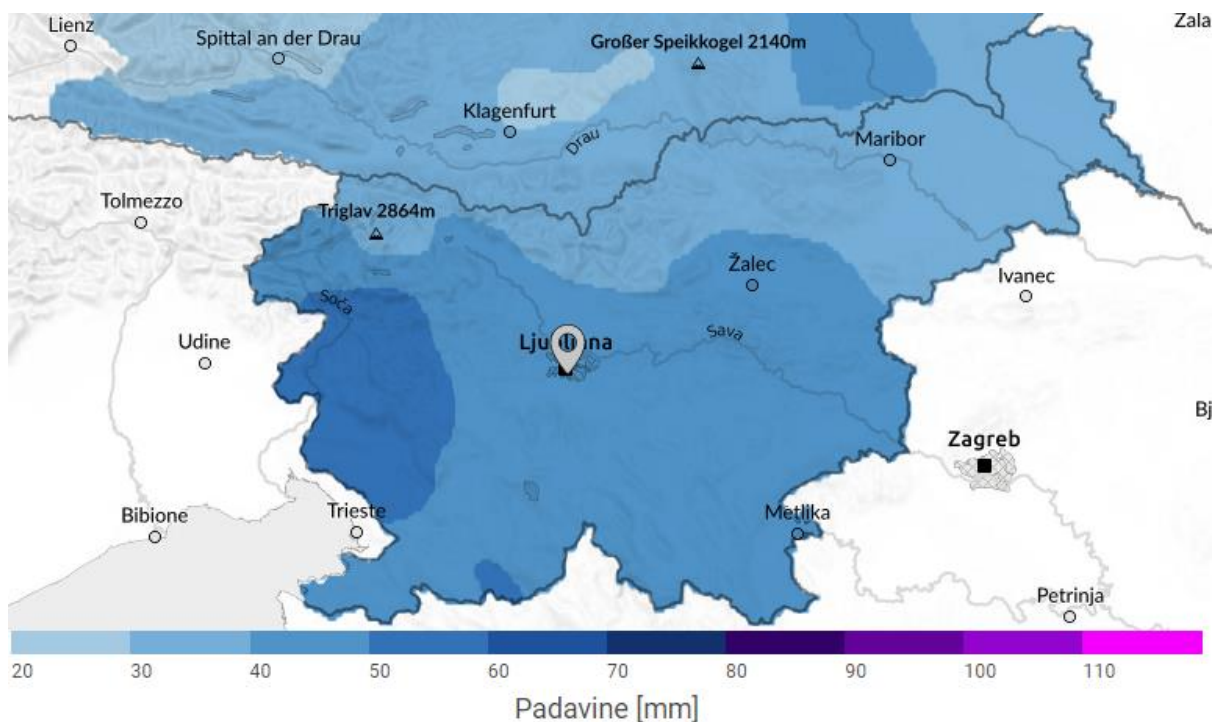
Oglejmo si še pojem povratne dobe v povezavi z ekstremnimi dogodki. Povratna doba dogodka je povprečni interval časa, znotraj katerega je vrednost tega dogodka vsaj enkrat dosežena ali presežena. Za primer povratne dobe 10 let in višine padavin v naliveu z izbranim trajanjem se tovrsten pojav pripeti v povprečju enkrat na vsakih 10 let. Pri povratnih dobah in povratnih vrednostih za ekstreme upoštevamo dejstvo, da porazdelitve ekstremnih vrednosti običajno ustrezajo teoretični verjetnostni porazdelitvi, kot je npr. Gumbelova porazdelitev. Prikažemo vrednosti povratnih dob za primer lokacije Ljubljana – Bežigrad in obdobje 1948–2008 (Tabela 17), ki smo jih povzeli z uradne spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO,

2009). Povratna doba 10 let za dogodek z enodnevnimi padavinami (1440 min) ustreza količini 106 mm padavin, medtem ko je za približno enako količino padavin 107 mm v 9 h povratna doba kar 100 let. Za količino padavin 50 mm v 45 minutah je za referenčno obdobje 1948–2008 v Ljubljani značilna povratna doba povprečno 25 let (Tabela 17).

Tabela 17: Povratne dobe za ekstremno višino padavin v obdobju 1948–2008 za postajo Ljubljana–Bežigrad. Povzeto po: Agencija Republike Slovenije za okolje (2009)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA							
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let
5 min	4	9	12	14	17	19	21	23 mm
10 min	7	13	18	21	25	28	31	35 mm
15 min	8	16	23	27	32	36	40	45 mm
20 min	9	19	26	30	36	40	45	50 mm
30 min	10	22	31	36	44	49	54	61 mm
45 min	10	25	35	42	50	56	62	70 mm
60 min	14	28	38	45	54	60	67	75 mm
90 min	17	32	43	51	61	69	76	86 mm
120 min	18	34	47	55	66	74	82	92 mm
180 min	23	38	52	60	72	80	88	99 mm
240 min	25	42	56	65	76	85	93	104 mm
300 min	27	45	59	68	80	89	97	109 mm
360 min	28	48	62	71	83	91	100	111 mm
540 min	28	54	68	78	90	98	107	118 mm
720 min	31	59	74	85	97	107	116	128 mm
900 min	36	64	79	89	102	112	121	134 mm
1080 min	37	67	84	95	108	119	129	142 mm
1440 min	39	75	94	106	122	133	145	160 mm

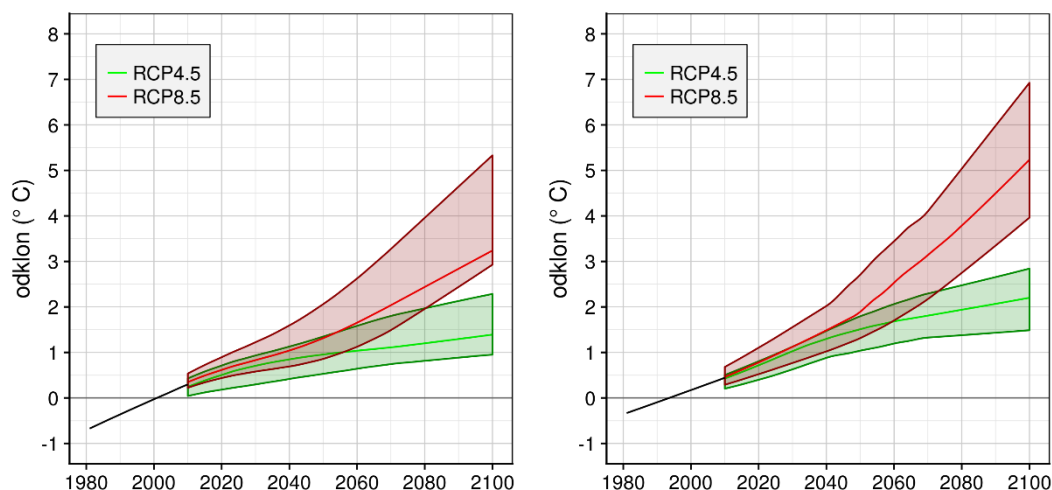
Ekstremne padavinske dogodke in izpostavljenost nevarnostim, ki jih povzročata dež in sneg na območju Slovenije in Avstrije, je med letoma 2019 in 2021 obravnaval projekt CROSSRISK (2023). Eden od produktov projekta je portal povratnih dob za ekstremne padavine, ki vsebuje zemljevid prostorske porazdelitve povratnih nivojev (višine padavin) za ekstremne nalive za izbrano povratno dobo in trajanje padavin (časovni interval) (Slika 39).



Slika 39: Povratni nivoji (višina padavin) za 1-urne nalive za povratno dobo 10 let. Povzeto po: CROSSRISK (2023)

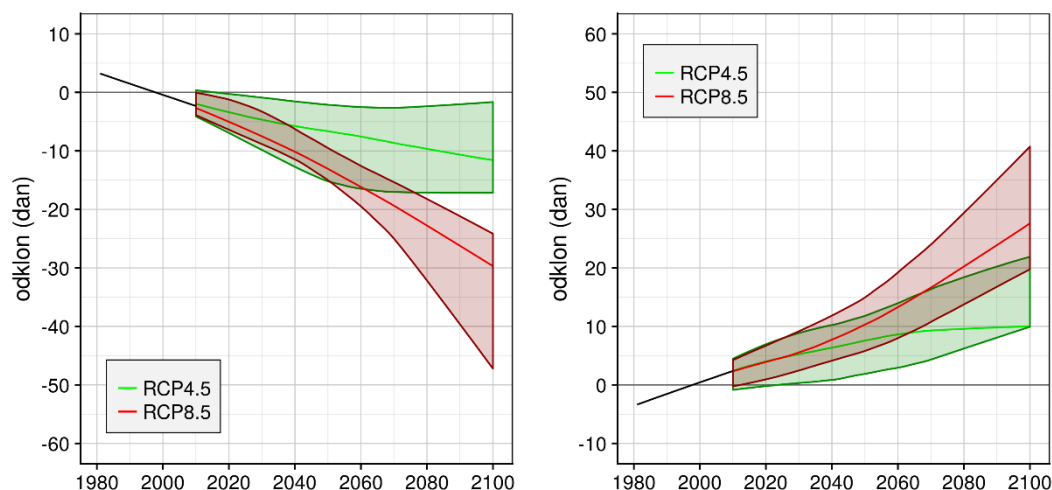
3.3.4 Podnebne projekcije za posamezno lokacijo

Kot predstavljeno v predhodnem delu poročila, so z vidika ocene sprememb rastnih razmer v Sloveniji do konca 21. stoletja na Agenciji Republike Slovenije za okolje že izdelali podnebne projekcije sprememb nekaterih osnovnih spremenljivk, ki so pomembne za kmetijstvo (Bertalanč, 2018). Seznam vseh spremenljivk, za katere so pripravljene projekcije do konca 21. stoletja, je dostopen na spletu (ARSO, 2023). Izmed kazalnikov, najpomembnejših za kmetijstvo, izpostavimo kazalnike temperaturnih razmer za rast rastlin, kot so povprečna temperatura tal, začetek, dolžina in konec rastne dobe za različne temperaturne pragove, zadnja spomladanska in prva jesenska varnostna pozeba ter varnostna rezerva pred spomladansko oziroma jesensko pozebo. Projekcije omenjenih kazalnikov so v trenutni obliki na voljo za posamezne lokacije v Sloveniji. Za primer lokacije postaje v Ljubljani podnebne projekcije agroklimatskega kazalnika povprečne temperature tal na globini 5 cm kažejo na naraščanje temperature tal na cm tekom 21. stoletja glede na obdobje 1981–2010, tako za spomladansko obdobje april–junij, kot tudi za poletno obdobje julij–september (Slika 40).



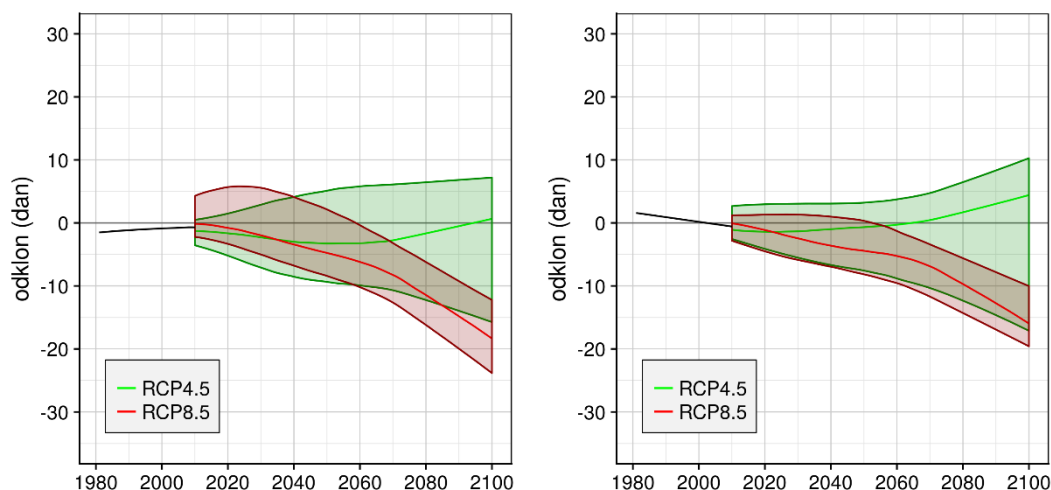
Slika 40: Podnebne projekcije povprečne temperature na globini 5 cm v obdobju april–junij (levo) in julij–september (desno) za Ljubljano. Povzeto po: Bertalanič (2018)

Projekcije začetka in konca rastne dobe pri temperaturnem pragu 5 °C za postajo v Ljubljani nakazujejo na prehitevanje začetka rastne dobe glede na referenčno obdobje 1981–2010, kot tudi podaljševanje konca rastne dobe glede na referenčno obdobje (Slika 41).



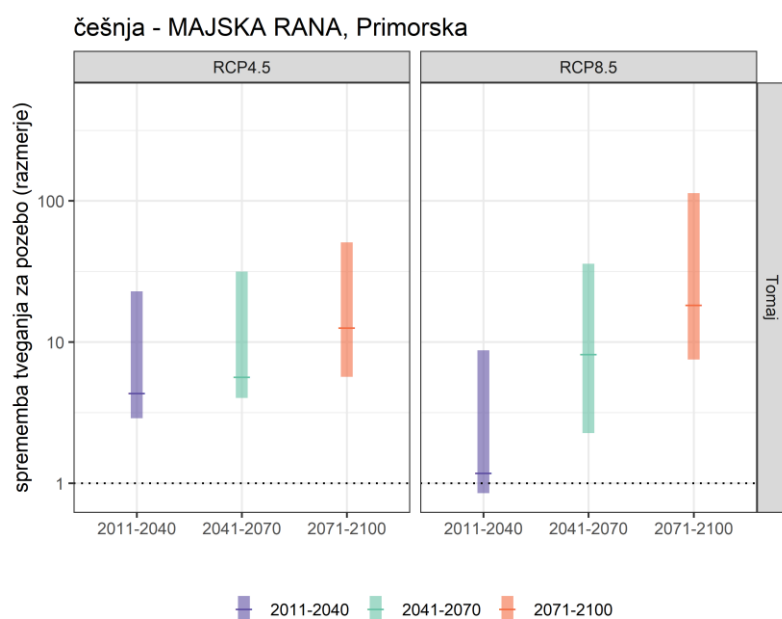
Slika 41: Podnebne projekcije začetka (levo) in konca rastne dobe (desno) pri temperaturnem pragu 5 °C za Ljubljano. Povzeto po: Bertalanič (2018)

Opozorimo tudi, da niso prav vsi kazalniki dovolj dobro reprezentativni za opis posameznega pojava. Primer takšnega pojava je zadnja spomladanska pozeba, ki predstavlja veliko tveganje za sadjarstvo v Sloveniji. Pri obravnavi spomladanske pozebe sta do nedavnega glavno metodologijo zajemala kazalnik zadnje spomladanske pozebe s pogojem temperature pod določeno mejo (0 ali –2 °C) in kazalnik varnostne rezerve pred spomladansko pozebo (Slika 42). Na osnovi opazovanj spomladanske pozebe na fenoloških postajah se je v zadnjem desetletju izkazalo, da omenjena agroklimatska kazalnika tveganja za pozebo nista ocenila dovolj natančno ter sta omenjeno tveganje podcenjevala. Kazalnik varnostne rezerve pred pozebo je za 21. stoletje predstavil predvidoma nespremenjeno oziroma v primeru scenarija RCP8.5 celo zmanjšano tveganje za pozebo glede na referenčno obdobje 1981–2010.



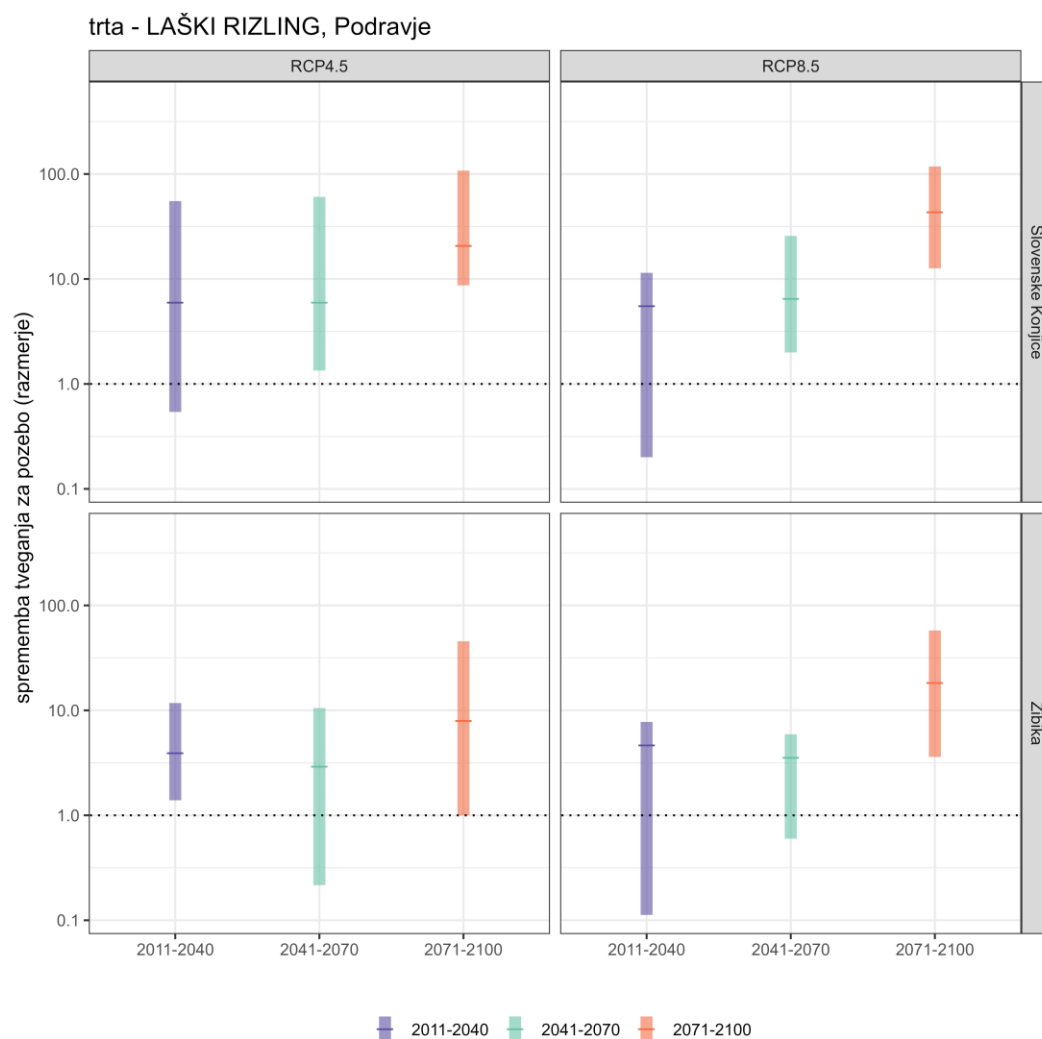
Slika 42: Podnebne projekcije varnostne rezerve pred pozebo pri pogoju 0 °C (levo) in -2 °C (desno) za Ljubljano. Povzeto po: Bertalanič (2018)

Primer alternativnega kazalnika za pozebo tako predstavlja kazalnik, ki smo ga v študiji za Agencijo Republike Slovenije za okolje razvili po metodologiji Sgubin in sod. (2018), katerega rezultati so za primer češnje, jabolane in trte prikazani v nadaljevanju. Za primer postaje na Primorskem in sorte češnje Majska rana se tveganje za pozebo tekom 21. stoletja povečuje glede na referenčno obdobje 1981–2010, in sicer je za oba scenarija RCP4.5 in RCP8.5 za konec stoletja več kot 20-krat višje kot v primeru obdobja 1981–2010 (Slika 43).



Slika 43: Podnebne projekcije tveganja za pozebo za sorto češnje Majska rana in primer postaje na Primorskem

Za dva primera postaj vinorodne dežele Podravje in sorto vinske trte Laški Rizling je rezultat projekcij tveganja za pozebo prikazan v nadaljevanju (Slika 44). Glede na referenčno obdobje 1981–2010 je povprečno tveganje za pozebo za oba scenarija podnebnih sprememb povečano, in sicer se tekom stoletja postopoma povečuje.



Slika 44: Podnebne projekcije tveganja za pozebo za sorto trte Laški Rizling in primer dveh postaj v Podravju

Za vse predstavljene agroklimatske kazalnike, relevantne za kmetijstvo, so projekcije trenutno pripravljene za posamezne lokacije v Sloveniji. V prihodnosti bi bilo za izbrane agroklimatske kazalnike potrebno pripraviti tudi podnebne projekcije za Slovenijo na celotni mreži, kar bi zaradi obsežnosti naloge predstavljalo povsem ločeno študijo.

Po osnovni definiciji IPCC pomeni pojem ranljivost kombinacijo izpostavljenosti podnebnim značilnostim in podnebnim spremembam, občutljivosti in sposobnosti prilagajanja. Agroklimatski kazalniki lahko predstavljajo del analize, v katerem se ukvarjamo z izpostavljenostjo. Ponazorili smo nekatera bolj izpostavljena območja pri posameznih kazalnikih, kjer vidimo večje trende sprememb.

3.4 Sklepi ter priporočilo za nadaljnje analize agroklimatskih kazalnikov

Pod vplivom podnebnih sprememb postaja prehranski sistem vedno bolj ranljiv. Izpostavljenost temperaturnim spremembam na rastline različno vpliva zaradi njihovega edinstvenega temperaturnega odziva, poleg tega pričakujemo večjo verjetnost za izpostavljenost rastlin temperaturnim ekstremom. Zanimivo je, da so, na primer, raziskave za koruzo pokazale, da imajo lokacije z relativno nizko temperaturo tekom rastne sezone (interval 18,0–19,8 °C) znatno večji donos od lokacij, kjer je tekom rastne sezone temperatura višja (21,5–24,0 °C) ali lokacij v tropih (26,3–28,9 °C) (Muchow in sod., 1990). Dodatno bodo v prihodnosti periodične spremembe temperature, ki presegajo mejne vrednosti med fazo opravevanja v razvojnem ciklu rastline, imele negativne učinke na pridelavo hrane zaradi občutljivosti poljščin na temperaturne ekstreme v tej fazi. Skupaj s spremenljivimi padavinskimi režimi (nalivi, poplave in suša), ki rastlini povzročajo vodni stres, pa bi se lahko učinki toplotnega stresa še poslabšali. Prav tako bodo višje temperature ponoči, zlasti med reproduktivno fazo, zaradi spodbujanja hitrosti razvoja rastline in povečevanja evapotranspiracije lahko povzročile zmanjšano velikost plodov ali zrnja (Descampcs in sod., 2017; Hatfield in Prueger, 2015; Hathfield in sod., 2011). Različni kazalniki za ponazoritev akumulirane toplote so pokazali, da so temperaturne vsote, dosežene v obdobju rastne dobe, vedno višje. Po drugi strani lahko za 21. stoletje v Sloveniji pričakujemo povečevanje tveganja za spomladansko pozebo za tipične sadjarske in vinogradniške regije. Rezultati so pokazali, da so se v preteklem obdobju 1981–2010 zmanjšale tudi vsote minimalnih temperatur pod -10 °C (ter tudi pod -15 °C) v obdobju zimske dormance med decembrom in februarjem, kar bi lahko negativno vplivalo na zahteve rastlin po dovolj nizkih temperaturah v obdobju mirovanja.

V okviru analize tega projekta je bilo predstavljenih več kot 20 agroklimatskih kazalnikov, ki so med seboj različno pomembni za različna področja pridelave hrane, rezultate posameznih sklopov agroklimatskih kazalnikov pa lahko s pomočjo strokovnjakov posameznih področij (npr. poljedelstva, travništva, botanike, sadjarstva in vinogradništva) prenesemo tudi v prakso. Tovrstni kazalniki omogočajo lažje načrtovanje nasadov, vpeljavo različnih metod prilagajanja na ekstremne vremenske dogodke ter so lahko v pomoč pri oblikovanju novih politik in zakonodaj. Poleg analize agroklimatskih kazalnikov knjižnic *frucimadapt* in *ClimInd* za historične podatke, kot je predstavljeno v tem poročilu, za nadaljnje raziskave priporočamo analizo predstavljenih agroklimatskih kazalnikov na osnovi podatkov podnebnih projekcij za 21. stoletje. Predstavljena analiza je bila izvedena na prosto dostopnih meteoroloških podatkih za obdobje 1981–2010 na mreži z ločljivostjo 12 km ter na podatkih podnebnih projekcij za 21. stoletje za posamezne lokacije meteoroloških postaj. Za dodaten vpogled v izbrane agroklimatske kazalnike za nadaljnje analize priporočamo izračun podnebnih projekcij za celotno Slovenijo, ki bi smiselno dopolnil rezultate za posamezne lokacije, ki so predstavljeni v tem poročilu. Za posamezno kulturo lahko nato po strokovni oceni združimo več pomembnih agroklimatskih kazalnikov in ugotovimo njihove trende ter projekcije, kar nam predstavlja stopnjo izpostavljenosti. Za celotno oceno ranljivosti je potrebno vključiti strokovnjake drugih področij in izpostavljenost združiti z občutljivostjo in sposobnostjo prilagajanja, kar ponovno pomeni nadaljnjo študijo. Agroklimatski kazalniki torej postavljajo podlago za nadaljnje delo na tem področju, v naslednjem koraku moramo posamezne izbrane kazalnike podrobneje preučiti in pripraviti za njih podnebne projekcije, nato pa upoštevati različne vplive na istem področju.

3.5 Literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2017). Ocena tveganja za sušo. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/OT/Ocena_tveganja_Susa_DOPO_LNJENA_PS.pdf
- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2009). Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi. https://www.meteo.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf
- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2022). Standardiziran padavinski indeks (SPI). https://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/indeks_spi/.
- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2023). Seznam spremenljivk, za katere so pripravljene podnebne projekcije v projektu Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. Stoletja (OPS21). <https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Seznam%20spremenljivk%20OPS21.pdf>
- Agyeman, R. Y. K., Huo, F., Li, Z., & Li, Y. (2021). Modelled changes in selected agroclimatic indices over the croplands of western Canada under the RCP8.5 scenario. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(741), 4454–4467. <https://doi.org/10.1002/qj.4188>
- Amerine, M.A., & Winkler, A.J. (1944). Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*. 15(6): 493-673.
- Anandhi, A., Perumal, S., Gowda, P. H., Knapp, M., Hutchinson, S., Harrington, J., Murray, L., Kirkham, M. B., & Rice, C. W. (2013). Long-term spatial and temporal trends in frost indices in Kansas, USA. *Climatic Change*, 120(1), 169–181. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0794-4>
- Arnell, N. W., & Freeman, A. (2021). The effect of climate change on agro-climatic indicators in the UK. *Climatic Change*, 165(1), 40. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03054-8>
- Bachmair, S., Tanguy, M., Hannaford, J., & Stahl, K. (2018). How well do meteorological indicators represent agricultural and forest drought across Europe? *Environmental Research Letters*, 13(3), 034042. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaafda>
- Bertalanč, R., & Dolinar, M. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Sintezno poročilo*. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Bootsma, A. (1994). Long term (100 yr) climatic trends for agriculture at selected locations in Canada. *Climatic Change*, 26(1), 65–88. <https://doi.org/10.1007/BF01094009>
- Ceglar, A., & Kajfež-Bogataj, L. (2008). Obravnava meteorološke suše z različnimi indikatorji. *Acta agriculturae Slovenica*, 91(Št. 2), 407–425. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=58060>
- CGLS - Copernicus Global Land Service. (2016). *NDVI index*. <https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi>
- Chipanshi, A., Berry, M., Zhang, Y., Qian, B., & Steier, G. (2022). Agroclimatic indices across the Canadian Prairies under a changing climate and their implications for agriculture. *International Journal of Climatology*, 42(4), 2351–2367. <https://doi.org/10.1002/joc.7369>

- Coelho, D. T., & Dale, R. F. (1980). An Energy-Crop Growth Variable and Temperature Function for Predicting Corn Growth and Development: Planting to Silking¹. *Agronomy Journal*, 72(3), 503–510. <https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200030023x>
- Cooter, E. J., & Leduc, S. K. (1995). Recent frost date trends in the north-eastern USA. *International Journal of Climatology*, 15(1), 65–75. <https://doi.org/10.1002/joc.3370150108>
- Copernicus Climate Change Service. (2019). *Agroclimatic indicators from 1951 to 2099 derived from climate projections* [Data set]. ECMWF. <https://doi.org/10.24381/CDS.DAD6E055>
- CROSSRISK. Povratne dobe za ekstremne padavine. Pridobljeno 26. oktober 2023, s <https://crossrisk.eu/sl/climate>
- Descamps, C., Quinet, M., Baijot, A., & Jacquemart, A. (2018). Temperature and water stress affect plant–pollinator interactions in *Borago officinalis* (Boraginaceae). *Ecology and Evolution*, 8(6), 3443–3456. <https://doi.org/10.1002/ece3.3914>
- Diniz, É. S., Lorenzon, A. S., de Castro, N. L. M., Marcatti, G. E., dos Santos, O. P., de Deus Júnior, J. C., Cavalcante, R. B. L., Fernandes-Filho, E. I., & Hummeldo Amaral, C. (2021). Forecasting frost risk in forest plantations by the combination of spatial data and machine learning algorithms. *Agricultural and Forest Meteorology*, 306, 108450. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108450>
- Eccel, E., Cordano, E. & Toller, G. (2015). *ClimClass: Climate Classification According to Several Indices* (2.1.0). <https://search.r-project.org/CRAN/refmans/ClimClass/html/ClimClass.html>
- Fishman, S., Erez, A., & Couvillon, G. A. (1987a). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *Journal of Theoretical Biology*, 124(4), 473–483. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80221-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80221-7)
- Fishman, S., Erez, A., & Couvillon, G. A. (1987b). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *Journal of Theoretical Biology*, 126(3), 309–321. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80237-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80237-0)
- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193–212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gladstones, J. S. (1992). *Viticulture and environment: A study of the effects of environment on grapegrowing and wine qualities, with emphasis on present and future areas for growing winegrapes in Australia*. Winetitles.
- Gregorič, Gregor, A., & Ceglar, A. (2007). *Monitoring suše—Regionalni aspekt*. 18. Mišičev vodarski dan, Maribor.
- Harding, A. E., Rivington, M., Mineter, M. J., & Tett, S. F. B. (2015). “Agro-meteorological indices and climate model uncertainty over the UK”. *Climatic Change*, 128(1), 113–126. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1296-8>
- Harkness, C., Semenov, M. A., Areal, F., Senapati, N., Trnka, M., Balek, J., & Bishop, J. (2020). Adverse weather conditions for UK wheat production under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 282–283, 107862. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107862>

- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurrealde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103(2), 351–370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>
- Hatfield, J. L., Kistner-Thomas, E., & Dold, C. (2018). Biological Linkages to Climatology. V *Agroclimatology* (str. 153–171). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2016.0004>
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., & Widhalm, M. (2011). The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), 485–488. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1>
- Heim, R. R. (2002). A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149–1166. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149>
- Huglin, M.P. (1978). Nouveau mode d'evaluation des possibilites heliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes Rendus de l'Academie de l'Agriculture de France*. 64: 1117-1126.
- Integrated Drought Management Programme (IDMP). (2016). *Handbook of Drought Indicators and Indices – Integrated Drought Management Programme* (Št. 1173). <https://www.droughtmanagement.info/find/guidelines-tools/handbook-drought-indicators-and-indices/>
- IPCC, (2014). Synthesis Report. In: *Climate Change 2014: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].
- Jones, G. V. (2006). Climate in terroir: Impacts of climate variability in change on wine. V R. W. Macqueen & L. D. Meinert, *Fine Wine in Terroir: The Geoscience Perspective* (str. 203–216). Geological Association of Canada.
- Klein Tank, A. (2007). *EUMETNET/ECSN optional programme: European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*, 4. Verzija (Št. EPJ029135).
- Knox, J. W., Weatherhead, E. K., & Bradley, R. I. (1997). Mapping the total volumetric irrigation water requirements in England and Wales. *Agricultural Water Management*, 33(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01285-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01285-1)
- Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91–100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)

- Kunkel, K. E., Easterling, D. R., Hubbard, K., & Redmond, K. (2004). Temporal variations in frost-free season in the United States: 1895–2000. *Geophysical Research Letters*, 31(3). <https://doi.org/10.1029/2003GL018624>
- Lhotka, O., & Brönnimann, S. (2020). Possible Increase of Vegetation Exposure to Spring Frost under Climate Change in Switzerland. *Atmosphere*, 11(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3390/atmos11040391>
- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*, 144, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.011>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration of Time Scales. *Eighth Conference on Applied Climatology, January, Anaheim, California, 1993*, 17–22.
- Meier, M., Fuhrer, J., & Holzkämper, A. (2018). Changing risk of spring frost damage in grapevines due to climate change? A case study in the Swiss Rhone Valley. *International Journal of Biometeorology*, 62(6), 991–1002. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1501-y>
- Ministrstvo za naravne vire in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. *Podnebne spremembe: Meritve 1981-2010, dnevni podatki, ločljivost 0,125°* Pridobljeno 13. oktober 2023, s <https://podatki.gov.si/dataset/arsopodnebn-spremembe-meritve-1981-2010-dnevni-podatki-locljivost-0-125>
- Miranda, C. (2023). *fruclimadapt: Evaluation Tools for Assessing Climate Adaptation of Fruit Tree Species* (0.4.5) <https://cran.r-project.org/web/packages/fruclimadapt/index.html>
- Palmer, W. C. (1968). Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21(4), 156–161. <https://doi.org/10.1080/00431672.1968.9932814>
- Parsons, D. J., Rey, D., Tanguy, M., & Holman, I. P. (2019). Regional variations in the link between drought indices and reported agricultural impacts of drought. *Agricultural Systems*, 173, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.015>
- Pedro-Monzonis, M., Ferrer, J., Solera, A., Estrela, T., & Paredes-Arquiola, J. (2014). Water Accounts and Water Stress Indexes in the European Context of Water Planning: The Jucar River Basin. *Procedia Engineering*, 89, 1470–1477. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.431>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pogačar, T., Bogataj, L. K., & Črepinšek, Z. (2014). Drought Monitoring in Slovenia and Worldwide. *Ujma*, 28, 85–95.
- Popova, Z., Ivanova, M., Pereira, L., Alexandrov, V., Kercheva, M., Doneva, K., & Martins, D. (2015). Droughts and climate change in Bulgaria: Assessing maize crop risk and irrigation requirements in relation to soil and climate region. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21(1), 35–53.
- Pullens, J. W. M., Sharif, B., Trnka, M., Balek, J., Semenov, M. A., & Olesen, J. E. (2019). Risk factors for European winter oilseed rape production under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 272–273, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.023>
- Qian, B., Zhang, X., Chen, K., Feng, Y., & O'Brien, T. (2010). Observed Long-Term Trends for Agroclimatic Conditions in Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(4), 604–618. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2275.1>

- Reig-Gracia, F., Vicente-Serrano, S. M., Dominguez-Castro, F., in Bedia-Jiménez, J. (2021). *ClimInd: Climate Indices* (0.1-3). <https://cran.r-project.org/web/packages/ClimInd/index.html>
- Rodríguez Díaz, J. A., Weatherhead, E. K., Knox, J. W., & Camacho, E. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change*, 7(3), 149–159. <https://doi.org/10.1007/s10113-007-0035-3>
- Rigby, J. R., & Porporato, A. (2008). Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 35(12). <https://doi.org/10.1029/2008GL033955>
- Ritchie, P. D. L., Harper, A. B., Smith, G. S., Kahana, R., Kendon, E. J., Lewis, H., Fezzi, C., Halleck-Vega, S., Boulton, C. A., Bateman, I. J., & Lenton, T. M. (2019). Large changes in Great Britain's vegetation and agricultural land-use predicted under unmitigated climate change. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab492b>
- Rivington, M., Matthews, K. B., Buchan, K., Miller, D. G., Bellocchi, G., & Russell, G. (2013). Climate change impacts and adaptation scope for agriculture indicated by agro-meteorological metrics. *Agricultural Systems*, 114, 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.08.003>
- Ruiz, D., Campoy, J. A., & Egea, J. (2007). Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.008>
- Sgubin, G., Swingedouw, D., Dayon, G., García de Cortázar-Atauri, I., Ollat, N., Pagé, C., & van Leeuwen, C. (2018). The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 250–251, 226–242. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.253>
- Soršak, A., Kobal, M. Z. G., Kodrič, I., & Koron, D. D. (2018). Tehnološka navodila za zaščito pred spomladansko pozebo v sadjarstvu. KGZS. <https://www.kgzs.si/kgzs/kmetijsko-svetovanje/e-knjiznica/e-knjiznica-zapis/tehnoloska-navodila-za-zascito-pred-spomladansko-pozebo-v-sadjarstvu>
- Trnka, M., Rötter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Žalud, Z., & Semenov, M. A. (2014). Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, 4(7), Art. 7. <https://doi.org/10.1038/nclimate2242>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. Scopus. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., & Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005>
- Walsh, M., Backlund, P., Buja, L., DeGaetano, A., Melnick, R., Prokopy, L., Takle, E., Todey, D., & Ziska, L. (2020). *Climate Indicators for Agriculture*. United States. Department of Agriculture. Climate Change Program Office. <https://doi.org/10.32747/2020.7201760.ch>

- Weier, J., & Herring, D. (2000, avgust 30). *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)* [Text.Article]. NASA Earth Observatory.
https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), 333–349. <https://doi.org/10.1139/a11-013>
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin, B., & Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change*, 2(6), 851–870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>