

# Primer uporabe Griffiths-Taylorjevih diagramov za prikaz podnebnih sprememb, pomembnih za kmetijstvo

Tjaša POGAČAR<sup>1,2</sup>, Zoja GAŠPARIČ<sup>1</sup>, Lučka KAJFEŽ BOGATAJ<sup>1</sup>, Zalika ČREPINŠEK<sup>1</sup>

Received July 14, 2021; accepted January 24, 2022.  
Delo je prispelo 14. julija 2021, sprejeto 24. januarja 2022

## An example of the analysis of climate change in agriculture using Griffiths-Taylor diagrams

**Abstract:** The climate clearly determines the characteristics of agriculture in terms of favourable conditions for the development of plants and animals. Climate change has a major impact on agriculture, and we need at least its analysis for past decades for effective adaptation. The annual scale of meteorological variables is quite rough, much more information is obtained from the monthly scale, for example when using bioclimatic indices and diagrams. Using Griffiths-Taylor diagrams, where each point shows the average monthly value of temperature and relative humidity or precipitation, we showed the change of 30-year averages (1961 to 2020) for six climate stations. Climate change can be seen from the shape of the diagram, an increase in average monthly air temperatures, a decrease in average relative humidity and changed precipitation patterns are visible. With the plot of favourable conditions for a certain plant / animal species, the diagram acquires ecological value. We have shown changes in the conditions for the development of the fruit fly (*Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824)) and the growth of sweet potatoes (*Ipomoea batata* L.). For the fruit fly, conditions improved due to higher temperatures, especially in colder locations. In Murska Sobota, which has the only suitable conditions for the growth of sweet potatoes, the period with favourable conditions is extended, in the last two periods in July and August, ideal conditions also appear. In further research, we recommend an analysis of weather-extreme years, which provides additional information on the variability of the conditions.

**Key words:** climate change; Griffiths-Taylor diagram; air temperature; precipitation; relative humidity; fruit fly; sweet potato

## Primer uporabe Griffiths-Taylorjevih diagramov za prikaz podnebnih sprememb, pomembnih za kmetijstvo

**Izvleček:** Podnebje izrazito določa značilnosti kmetijstva glede na ugodne razmere za razvoj rastlin in živali. Podnebne spremembe imajo na kmetijstvo velik vpliv, za učinkovito prilagajanje pa potrebujemo vsaj analizo dosedanjih podnebnih sprememb. Pri tem je letna skala meteoroloških spremenljivk precej groba, veliko več informacij dobimo iz mesečne skale, na primer pri uporabi bioklimatskih indeksov in diagramov. Z Griffiths-Taylorjevimi diagrami, kjer posamezna točka prikazuje povprečno mesečno vrednost temperature in relativne vlage ali padavin, smo prikazali časovne spremembe 30-letnih povprečij (od 1961 do 2020) za šest podnebnih postaj. Podnebne spremembe vidimo iz oblike diagrama, vidno je povišanje povprečnih mesečnih temperatur zraka, zmanjšanje povprečne relativne vlage in spremenjeni vzorci padavin. Z vrisanimi ugodnimi razmerami za določeno rastlinsko/živalsko vrsto pridobi diagram ekološko vrednost. Prikazali smo spremembe razmer za razvoj breskove muhe (*Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824)) in rast sladkega krompirja (*Ipomoea batata* L.). Za breskovo muho so se razmere zaradi višjih temperatur izboljšale predvsem na hladnejših lokacijah. V Murski Soboti, ki ima edina primerne razmere za rast sladkega krompirja, se obdobje z ugodnimi razmerami podaljšuje, v zadnjih dveh obdobjih se julija in avgusta pojavijo tudi idealne razmere. V nadaljnjih raziskavah priporočamo analizo vremensko ekstremnih let, ki podajo dodatne informacije o variabilnosti razmer.

**Ključne besede:** podnebne spremembe; Griffiths-Taylorjev diagram; temperatura zraka; padavine; zračna vlaga; breskova muha; sladki krompir

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Korespondenčni avtor, e-naslov: tjasa.pogacar@bf.uni-lj.si

## 1 UVOD

Kmetijstvo je v veliki meri prilagojeno podnebnju na določenem območju, saj so zaradi velike izpostavljenosti vremenskim razmeram infrastruktura in izbor poljščin pa tudi pojavnost škodljivcev in invazivnih rastlin odvisni od povprečnih značilnosti lokalnega podnebja (Gornall in sod., 2010). Projekcije kažejo, da bodo v zmernih geografskih širinah višje temperature tekom vegetacijske dobe pomenile povečanje produktivnosti in ustreznosti poljščin, še posebej žit in semenskih posevkov v jesensko-zimskem času (ARSO, 2017; Olesen in sod., 2007). Pri tem pa se spreminja tudi razširjenost in številčnost plevelov, škodljivcev in oprashačevalcev (Bocci in Smanis, 2019). Vplivi podnebnih sprememb bodo pozitivni in negativni, v vsakem primeru pa se kaže potreba po vlaganju v prilagoditvene strategije in tehnologije (Knox in sod., 2010).

Tako kmetijske kot tudi ostale rastline in živali se na podnebne spremembe različno odzivajo (Gornall in sod., 2010), predvsem v odvisnosti od za njih specifičnih idealnih in ugodnih razmer za razvoj. S podnebnimi spremembami povprečna letna temperatura zraka v Sloveniji narašča hitreje od evropskega in globalnega povprečja (ARSO, 2017). Od leta 1961 se je temperatura zraka v letnem povprečju za celo Slovenijo dvignila za 2 °C, hkrati pa nam povprečne vrednosti za celo Slovenijo in na letni skali zelo malo povedo o porazdelitvi sprememb tekom leta. V večjo pomoč so nam sezonske vrednosti, še bolj primerne za kmetijstvo pa so analize mesečnih odstopanj. Analiza preteklih sprememb je pomembna z vidika poznavanja odzivov rastlin in živali, tako si namreč lažje predstavljamo, kaj bodo pomenile spremembe v prihodnosti, pri katerih lahko glede temperature zraka z veliko gotovostjo rečemo, da se bo dvig nadaljeval. Glede spremembe količine padavin je negotovost večja, vsekakor pa gre za spremenjene vzorce (ARSO, 2017).

Za prikaz povezanosti sistema rastlina-ozračje uporabljamo številne bioklimatske indekse, s katerimi lahko na osnovi različnih vremenskih spremenljivk (temperatura zraka in tal, padavine, sončno obsevanje, veter, zračna vlaga) ocenimo primernost določenega pridelovalnega območja za posamezne kmetijske rastline (Noce in sod., 2020; Rivas-Martinez in sod., 2011). Številne vrste kmetijskih rastlin uspevajo na širših geografskih in podnebnih območjih, nekatere pa lahko gojimo v razmeroma ozkih geografsko-podnebnih pasovih (Karoglan in sod., 2018). Ustrezni bioklimatski indeksi so na primer v vinogradništvu pomembna osnova za ocenjevanje splošne primernosti te panoge v določeni regiji (Rusjan in Koruza-Korošec, 2003). Bioklimatske indekse uporabljamo v kmetijstvu tudi za primerjavo med posameznimi regijami, za agroklimatske rajonizacije (Badr in sod.,

2018; Rusjan in Koruza-Korošec, 2003) ter pomoč pri načrtovanju uvajanja primernih sort v sedanjih in napovedanih, spremenjenih podnebnih razmerah (Ceglar in sod., 2019). Bioklimatski indeksi navadno temeljijo le na povprečnih večmesečnih temperaturah zraka in njihovih razponih ter povprečnih količinah padavin: Ellenbergov kvocient je razmerje med temperaturo najtoplejšega meseca v letu in letno količino padavin ( $^{\circ}\text{C mm}^{-1}$ ), ombrotermični indeks je razmerje med povprečno količino padavin za mesece s pozitivnim povprečjem dnevne temperature in vsoto povprečne temperature za iste mesece ( $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) (Noce in sod., 2020) ipd. Biota dane regije je prilagojena, ne toliko skupnim padavinam ali skupnim akumuliranim temperaturam lokalnega podnebja, ampak bolj podnebnemu ritmu oziroma interakciji temperaturnih in padavinskih razmer (Tarman, 1992).

Grafični prikazi podnebnih razmer, podnebni diagrami, ki prikazujejo povezanost temperaturnih in padavinskih (vlažnostnih) razmer, imajo zato velik pomen pri prikazu podnebnih značilnosti z biološkega stališča, saj prikazujejo podnebni ritem in ne le skupne vrednosti meteoroloških spremenljivk (Rivas-Martinez in sod., 2011). Primer takega grafičnega prikaza je Griffiths-Taylorjev podnebni diagram (Christie, 1993; O'Brien, 2015; Winlow, 2009). Taylorjeva uporaba izolinij (temperature, padavin/vlažnosti) je bila razširjena v prikazih povezave med podnebjem in razširjenostjo rastlinskih vrst, izdelani so bili podnebni diagrami, ki prikazujejo kritične vrednosti padavin in temperature za rast nekaterih pomembnih kmetijskih rastlin (za pšenico, riž, kavo in čaj) (Taylor Griffith, 2021).

V primeru Griffiths-Taylorjevega diagrama absciso (x os) predstavlja količina padavin, ordinato pa temperatura zraka. Za vsak mesec označimo točko, ki ustreza njegovi povprečni mesečni temperaturi zraka in mesečni količini padavin, ter točke medsebojno povežemo v zaporedju 1, 2, ..., 12, 1. Na ta način dobimo mnogokotnik z dvanajstimi stranicami. Čim bolj so Griffiths-Taylorjevi diagrami različnih krajev med seboj podobni, tem bolj je podobno njihovo podnebje. Nekaj informacije o podnebjem posameznega kraja pa dobimo tudi iz oblike – podnebni diagrami krajev z bolj maritimnim podnebjem imajo bolj okroglo obliko kot kraji z bolj kontinentalnim, ki imajo bolj ozko (tudi prekrizano), pokončno obliko. Podnebni diagram pridobi ekološko vrednost, ko vanj vrišemo ugodne oziroma idealne toplotne in vlažnostne razmere za določeno vrsto (Tarman, 1992).

Za primer aplikativne uporabe Griffiths-Taylorjevih diagramov smo uporabili primer sadne muhe, ki spada med svetovno razširjene in gospodarsko pomembne škodljivce, na velikost in dinamiko populacije v posameznem letu pa zelo vplivajo vremenske razmere (Rot in sod., 2015), in sladkega krompirja, ki izvira iz toplej-

ših krajev (Paneque Ramirez, 2021). V Sloveniji poznamo več vrst gospodarsko pomembnih sadnih muh, med njimi breskovo muho (*Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824)), pri kateri je glavna gostiteljska rastlina vedno bolj razširjen kaki, ki ga sadimo tudi izven Primorske in s tem omogočamo breskovi muhi širjenje v druge regije (Žežlina, 2018). S spreminjanjem temperaturnih in vlažnostnih razmer zaradi podnebnih sprememb je torej pomembno spremljati, kako se spreminjajo ugodne razmere za razvoj toplotno zahtevnejših kultur in hkrati škodljivcev (Šlosár in sod., 2020). Namen prispevka je prikazati možnost uporabe Griffiths-Taylorjevih diagramov za analizo podnebnih sprememb na mesečni skali, primerjati diagrame za podnebno različne predele Slovenije in štiri različna obdobja ter hkrati preveriti, ali spremenjene podnebne razmere vplivajo na ugodnost/neugodnost rastnih razmer za izbrana primera (breskova muha, sladek krompir).

## 2 MATERIAL IN METODE DELA

Griffiths-Taylorjevi diagrami grafično predstavljajo dolgoletna mesečna povprečja temperature zraka in relativne vlage ali padavin. Obravnavali smo štiri 30-letna obdobja, in sicer 1961–1990, 1971–2000, 1981–2010 ter 1991–2020, po vrsti smo jih poimenovali kar prvo, drugo, tretje ter četrto obdobje. Diagrame smo pripravili za šest krajev v Sloveniji: Bilje (13°38', 45°54', 55 m n.m.v.), Kočevje (14°51', 45°39', 467 m n.m.v.), Ljubljano (14°31', 46°04', 299 m n.m.v.), Mursko Soboto (16°12', 46°39', 188 m n.m.v.), Rateče (13°43', 46°30', 864 m n.m.v.) in Šmartno pri Slovenj Gradcu (15°07', 46°29', 455 m n.m.v.). Za vsako postajo smo za vsako 30-letno obdobje izračunali povprečne mesečne vrednosti spremenljivk in njihove standardne napake, podatke za izračune pa smo pridobili z Agencije RS za okolje (ARSO, 2021). V besedilu so standardne napake prikazane ob vrednostih povprečij za znakom  $\pm$ .

Za drugi del analize smo upoštevali pogoje za razvoj breskove muhe in rast sladkega krompirja. Po Tarmanu (1992) veljajo za breskovo muho naslednje mejne vrednosti povprečnih mesečnih temperatur in relativne vlažnosti:

- idealne razmere: 16-32 °C, 75-85 mm;
- zelo ugodne razmere: 10-35 °C, 60-90 mm;
- ugodne razmere: 3-38 °C, 40-100 mm.

Za sladki krompir (Valenzuela in sod., 2020; Paneque Ramirez, 2021) so mejne sledeče vrednosti povprečnih mesečnih temperatur in količin padavin:

- idealne razmere: 20-25 °C, letno\* 900-1300 mm;
- ugodne razmere: 15-33 °C, letno\* 500-1330 mm.

\*Opomba: V virih je določena le letna količina pa-

davin. Kot prvi približek za nadaljnje računanje smo za mesečno količino vzeli dvanajstino količine letnih padavin, kar sicer ne velja nujno po posameznih mesecih.

Higrotermična mesečna povprečja posameznih lokacij so pokazala, da razen Murske Sobote noben kraj ne izpolnjuje pogojev za doseganje ugodnih ali idealnih razmer za rast sladkega krompirja, zato smo graf pripravili le za Mursko Soboto.

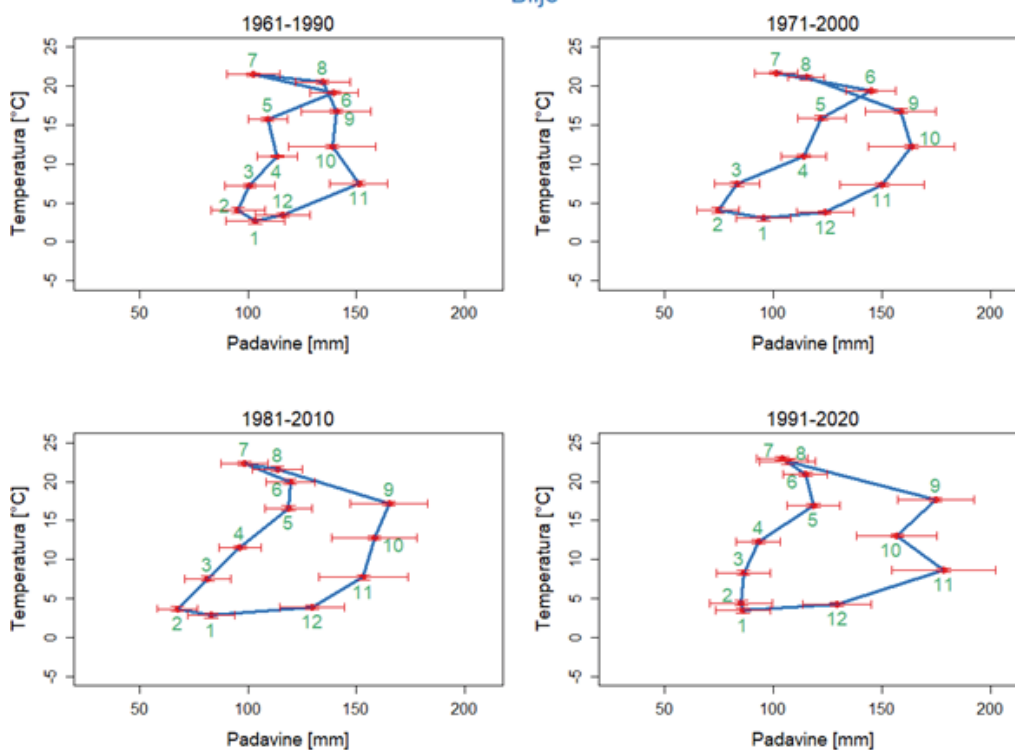
## 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Meteorološka postaja v Biljah (Slika 1 zgoraj) se nahaja na 55 metrih nadmorske višine. Vse povprečne zimske temperature so pozitivne in z leti naraščajo – povprečna januarska temperatura v obdobju 1961–1990 je bila  $2,7 \pm 0,3$  °C, v obdobju 1991–2020 pa  $3,5 \pm 0,3$  °C. Sprememba povprečne temperature med obdobjema močno presega standardno napako povprečij. Zelo alarmantna za že tako sušno Goriško je povprečna količina padavin v juniju, ki se z leti občutno zmanjša: v prvem obdobju je povprečno padlo  $140 \pm 11$  mm padavin, v četrtem obdobju pa le  $115 \pm 10$  mm. Tudi pri padavinah je sprememba precej večja od standardne napake. September, oktober in november so v zaporednih obdobjih postali rahlo bolj namočeni, za dvakratnik standardne napake (34 mm) le september, ostala dva znotraj ranga napake.

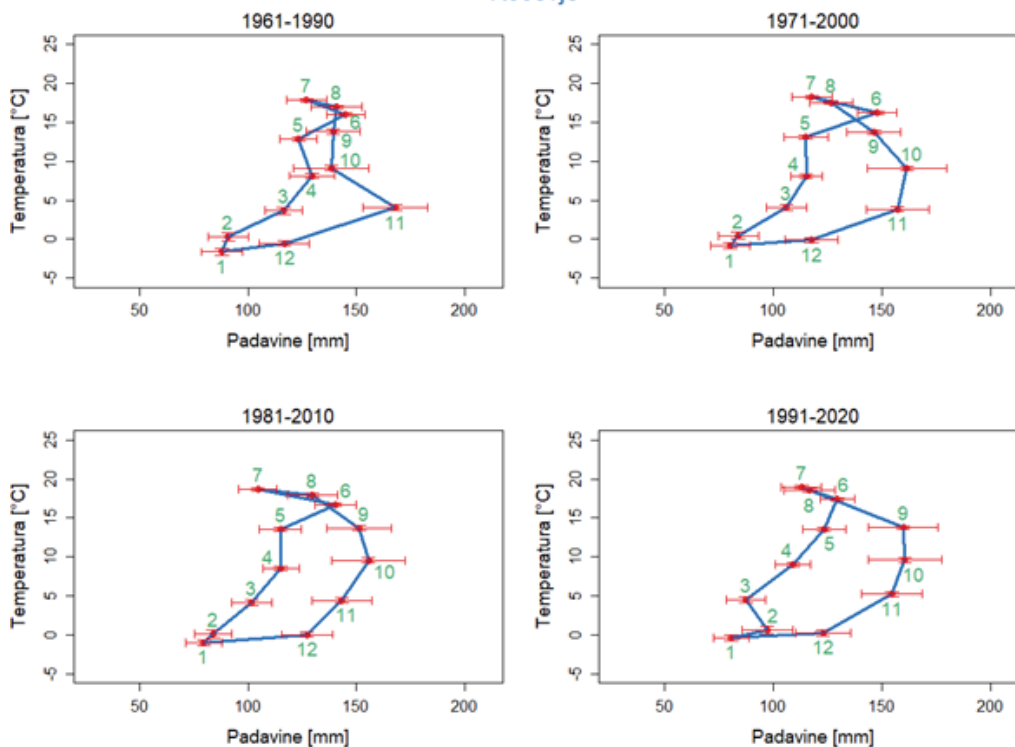
Meteorološka postaja Kočevje (Slika 1 spodaj) se nahaja na nadmorski višini 467 metrov. V obravnavanem časovnem obdobju se je razporeditev količine padavin delno spremenila. Januar je postal nekoliko bolj suh v drugem obdobju glede na prvega, količina padavin v spomladanskih mesecih pa se je manjšala iz obdobja v obdobje (največ marca, za trikratnik standardne napake, 29 mm), z izjemo maja v četrtem obdobju. Manj je bilo tudi junijskih padavin, a je ta razlika precej manjša kot v ostalih krajih. Več padavin je padlo v septembru in oktobru: v obdobju 1961–1990 je bil najbolj namočen mesec november z  $168 \pm 15$  mm padavin, v obdobju 1991–2020 pa oktober z  $161 \pm 17$  mm. Novembrsko zmanjšanje količine padavin za 13 mm je znotraj standardne napake. Povprečna januarska temperatura je ostala negativna, a se je z  $-1,6 \pm 0,5$  °C zvišala na  $-0,4 \pm 0,4$  °C, julijska pa se je zvišala za  $1,1$  °C (s  $17,9 \pm 0,2$  °C na  $19 \pm 0,2$  °C).

Meteorološka postaja Ljubljana – Bežigrad (Slika 2 zgoraj) se nahaja na 299 metrih nadmorske višine. Podnebje se je iz prvega v četrto obdobje spremenilo: podnebne značilnosti aprila in oktobra ter maja in septembra so si bile v preteklosti precej podobne, sedaj pa so jesenski meseci precej bolj namočeni. Zelo opazna je zmanjšana junijska količina padavin, ki je bila v obdobju 1961–1990  $155 \pm 10$  mm, v obdobju 1991–2020 pa le  $125 \pm 7$  mm. V istem časovnem razponu se je zvišala

Bilje



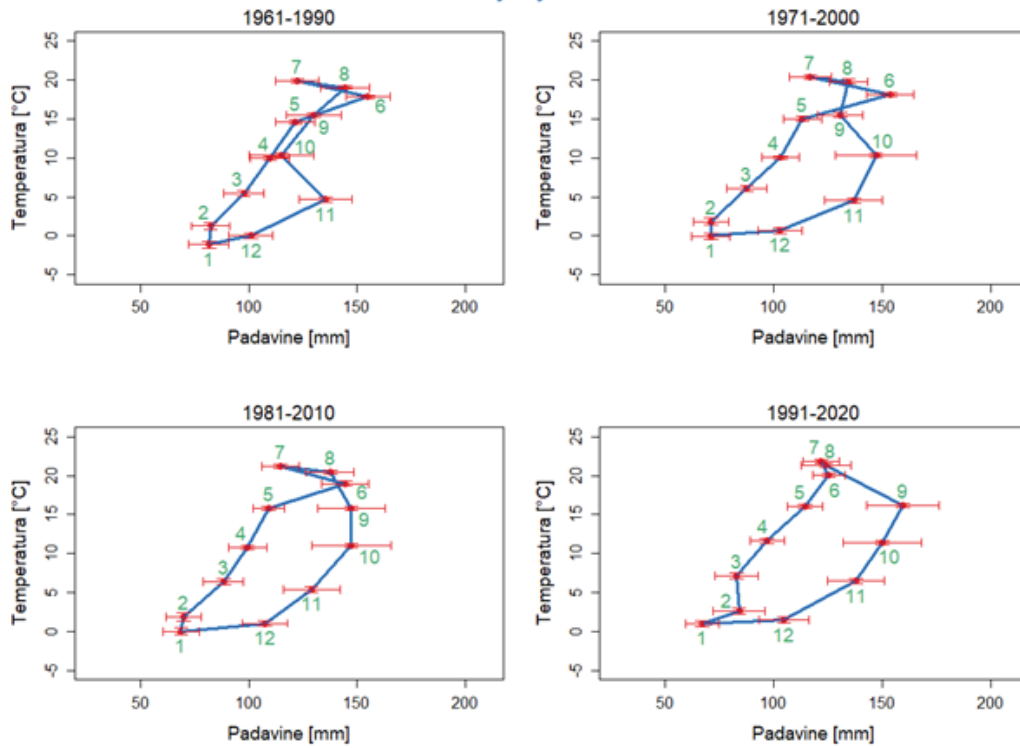
Kočevje



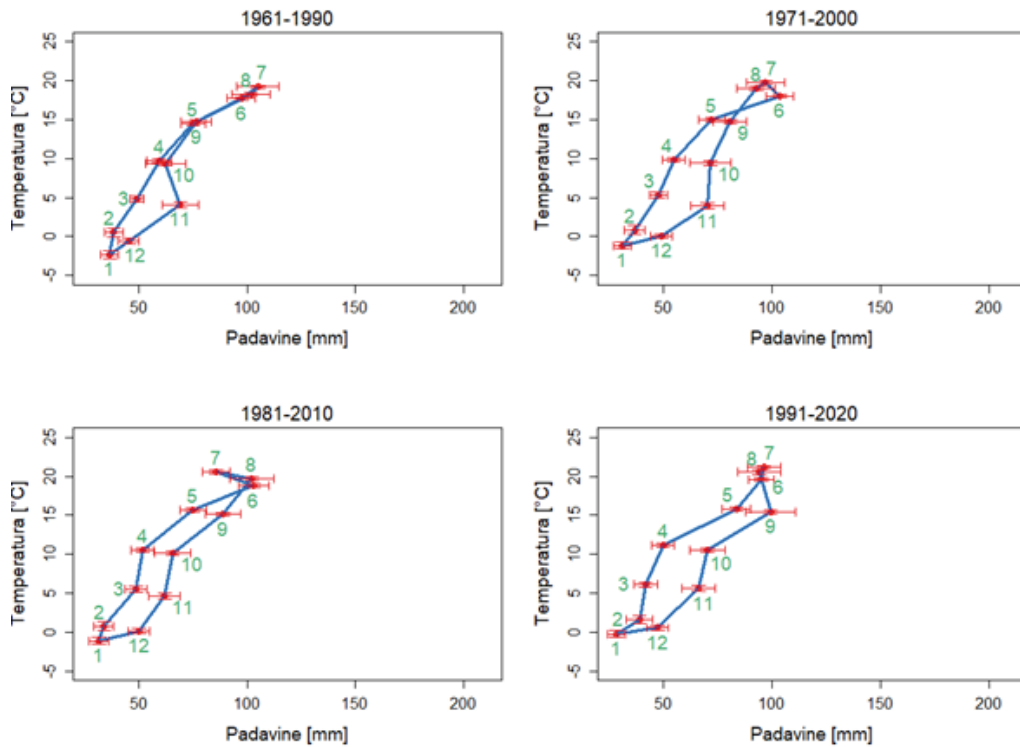
**Slika 1:** Griffiths-Taylorjev diagram povprečnih mesečnih temperatur in padavin s standardnimi napakami za štiri obdobja v Biljah (zgoraj) in Kočevju (spodaj)

**Figure 1:** The Griffiths-Taylor diagram of average monthly temperatures and precipitation with standard errors in four periods in Bilje (upper) and Kočevje (lower)

### Ljubljana



### Murska Sobota



**Slika 2:** Griffiths-Taylorjev diagram povprečnih mesečnih temperatur in padavin s standardnimi napakami za štiri obdobja v Ljubljani (zgoraj) in Murski Soboti (spodaj)

**Figure 2:** The Griffiths-Taylor diagram of average monthly temperatures and precipitation with standard errors in four periods in Ljubljana (upper) and Murska Sobota (lower)

povprečna januarska temperatura, ki je bila sprva še negativna, in sicer  $-1,1 \pm 0,4$  °C, v zadnjem obdobju pa je dosegla vrednost  $1 \pm 0,4$  °C.

V primerjavi z drugimi kraji po Sloveniji je Murska Sobota (Slika 2 spodaj) precej bolj suha, njen razpon dolgoletnih povprečnih mesečnih količin padavin znaša okoli 40-110 mm, medtem ko je razpon v Ljubljani okoli 70-160 mm. Najbolj suh mesec je bil in ostaja januar, najbolj moker pa je bil v prvem obdobju julij s  $105 \pm 10$  mm, a se je v kasnejših obdobjih julijska količina padavin začela zmanjševati, tako da je v drugem in tretjem obdobju to značilnost prevzel junij s približno  $103 \pm 7$  mm padavin, v četrtem obdobju pa je bil najbolj namočen september, čeprav le z  $99 \pm 12$  mm povprečnih padavin. Spremembe niso velike glede na standardno napako. Povprečna januarska temperatura je bila v obdobju 1961–1991  $2,3 \pm 0,5$  °C, v obdobju 1991–2020 pa se je povišala na  $0,2 \pm 0,4$  °C. Najtoplejši mesec ostaja julij, tudi ta se je ogrel, in sicer se je povprečna temperatura zvišala kar za  $1,9$  °C (z  $19,3 \pm 0,2$  °C na  $21,2 \pm 0,2$  °C).

Meteorološka postaja Rateče (Slika 3 zgoraj) leži višje, na 864 m nadmorske višine. Zelo zanimivo je, da so si bile v prvem obdobju značilnosti aprila in oktobra zelo podobne. V oktobru je v povprečju zapadlo za Rateče malo padavin ( $135 \pm 20$  mm), kar pa se spremeni že v naslednjem obdobju, ko je oktober s  $167 \pm 22$  mm postal najbolj namočen mesec in to tudi ostal do zadnjega obdobja, ko je največ padavin padlo novembra ( $184 \pm 26$  mm), a so spremembe večinoma znotraj standardne napake. Od obdobja 1961–1990 do 1991–2020 se je očitno zmanjšala povprečna količina padavin v oktobru (za 44 mm pri standardni napaki obeh povprečij okoli 20 mm), aprilu (za 30 mm pri standardni napaki okoli 11 mm) in maju (za 25 mm pri standardni napaki okoli 9 mm), v juniju pa le za 10 mm (kar je rang standardne napake). Količina padavin v juliju je ostala praktično nespremenjena. Ker se Rateče nahajajo na precej večji nadmorski višini kot ostali izbrani kraji, so povprečne mesečne temperature zraka precej nižje, povprečna mesečna temperatura pa se spusti pod ničlo za četrtno leta v vseh izbranih obdobjih. Povprečna januarska in julijska temperatura sta bili v obdobju 1961–1990  $4,7 \pm 0,4$  °C oziroma  $15,7 \pm 0,2$  °C, v obdobju 1991–2020 pa  $3,2 \pm 0,3$  °C in  $17,4 \pm 0,2$  °C. O spremembah temperature lahko govorimo bolj zanesljivo kot o spremembah padavin.

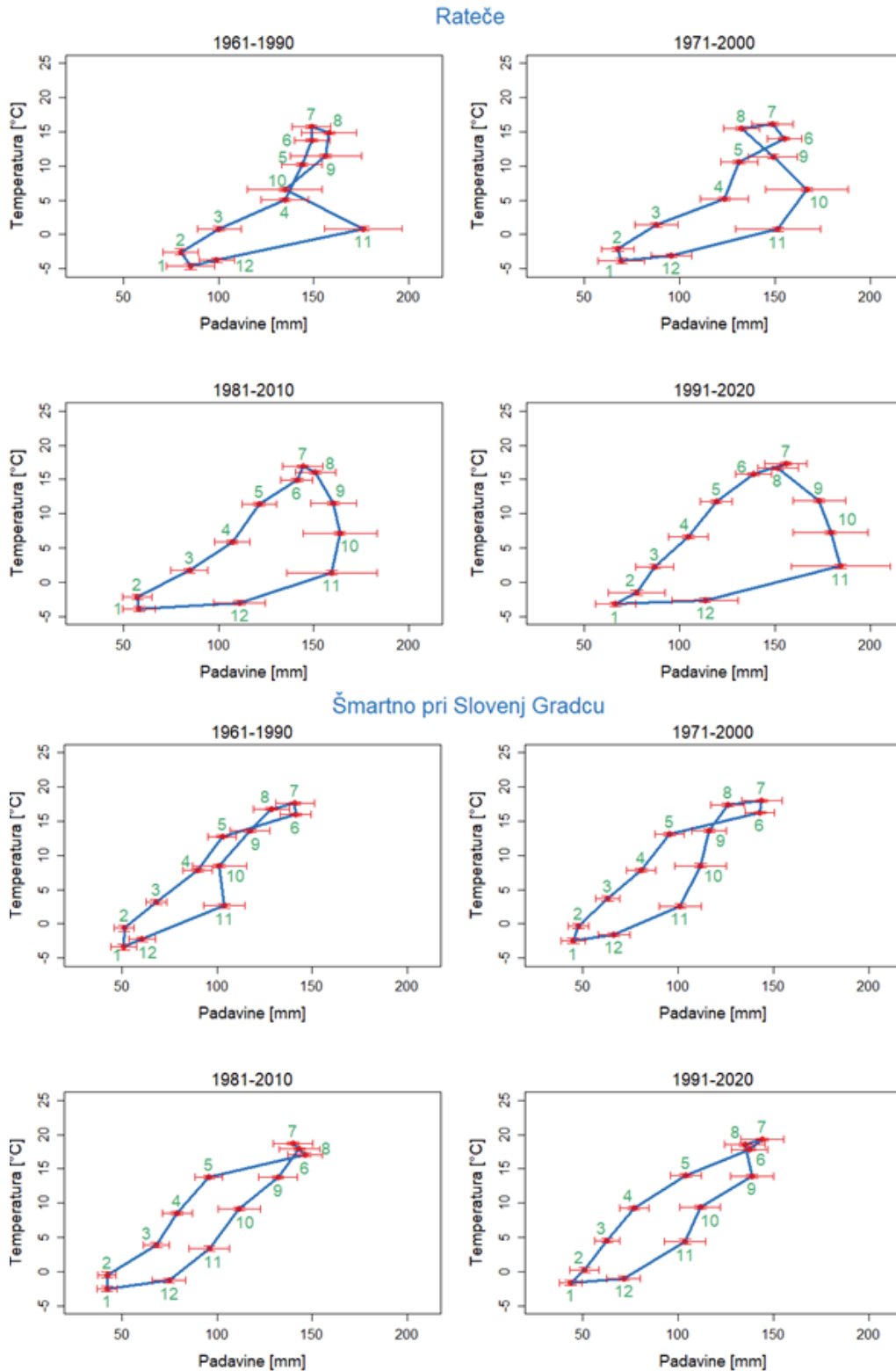
Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu (Slika 3 spodaj) leži na nadmorski višini 455 m. V prvem obdobju so imeli negativno povprečno temperaturo zraka vsi zimski meseci, z najnižjim povprečjem v januarju ( $-3,4 \pm 0,4$  °C). V zadnjem obdobju sta imela negativno povprečno temperaturo le še januar in december, januarska temperatura pa se je zvišala na  $1,6 \pm 0,4$  °C. Povprečna julijska temperatura se je zelo občutno zviša-

la s  $17,6 \pm 0,2$  °C na  $19,3 \pm 0,2$  °C. Količina padavin je podobno kot v Murski Soboti manjša kot v ostalih izbranih krajih. Najmanj padavin je v vseh obdobjih padlo v januarju, v obdobju 1961–1990 povprečno  $51 \pm 7$  mm in v obdobju 1991–2020 povprečno  $44 \pm 6$  mm, največ padavin pa je v prvem obdobju zapadlo v juniju ( $141 \pm 10$  mm), v zadnjem pa v juliju ( $144 \pm 11$  mm), a je pri obeh sprememba znotraj standardne napake. September je z leti postal opazno bolj namočen, količina padavin se je s  $117 \pm 10$  mm povečala na  $139 \pm 11$  mm.

Poleg sprememb v povprečni količini padavin v povezavi s temperaturo lahko opazujemo tudi povprečno relativno vlago, ki pomembno vpliva na (ne)ustreznost razmer za razvoj breskove muhe. V Biljah se je relativna vlažnost iz prvega obdobja v četrto v vseh mesecih zmanjšala najmanj za en odstotek, prihajalo pa je tudi do večjih relativnih razlik med relativno vlažnostjo pozimi in poleti: v obdobju 1961–1990 je znašala razlika med januarsko in julijsko relativno vlažnostjo 8,2 % (standardni napaki povprečij 0,9 in 0,5 %), v obdobju 1991–2020 pa kar 11,1 % (standardni napaki 1,1 in 1,0 %). V Kočevju se je povečala razlika med aprilsko in oktobrsko relativno vlažnostjo, ki je bila v prvem obdobju 6,5 % (standardni napaki 0,9 in 0,7 %), v zadnjem pa 9,5 % (standardni napaki 1,0 in 0,7 %). Najbolj vlažen mesec ostaja december, najmanj vlažen mesec april pa je zamenjal maj. Najmanjše razlike v relativni vlagi tekom obdobji so bile v Ljubljani.

V Murski Soboti se je najbolj zmanjšala povprečna relativna vlaga julija in sicer za 4,8 % pri standardnih napakah povprečij 0,9 %. V Ratečah so bile najbolj očitne spremembe v spomladanskih mesecih, povprečja so se zmanjšala tudi za več kot 3 % (standardne napake do 1,2 %). V Šmartnem pri Slovenj Gradcu je bil v prvih treh obdobjih maj zelo očitno najmanj vlažen mesec, v zadnjem obdobju pa so imeli april, maj in junij skoraj enako povprečno relativno vlažnost, in sicer približno 72 ± 0,8 %.

Glede na premike krivulje v Griffiths-Taylorjevem diagramu lahko grafično zelo dobro prikažemo spremembe ugodnih ali idealnih razmer za, na primer, breskovo muho. V Biljah (Slika 4) so bile povprečne razmere za razvoj breskove muhe v vseh mesecih z izjemo januarja 1961–1990 in 1981–2010 vsaj ugodne. Zelo ugodne razmere so trajale od aprila do oktobra. Prvi dve obdobji sta imeli idealne razmere tako avgusta kot septembra, tretje le septembra, zadnje pa ni imelo idealnih razmer v nobenem mesecu. Na spremembe glede ugodnih oziroma neugodnih razmer v Biljah vplivajo bolj kot višje poletne temperature spremembe relativne zračne vlage (Slika 4), ki se v zadnjih obdobjih zmanjšuje. Standardne napake temperaturnih povprečij so velikosti 0,2-0,3 °C, povprečne vrednosti so se med prvim in zadnjim obdobjem



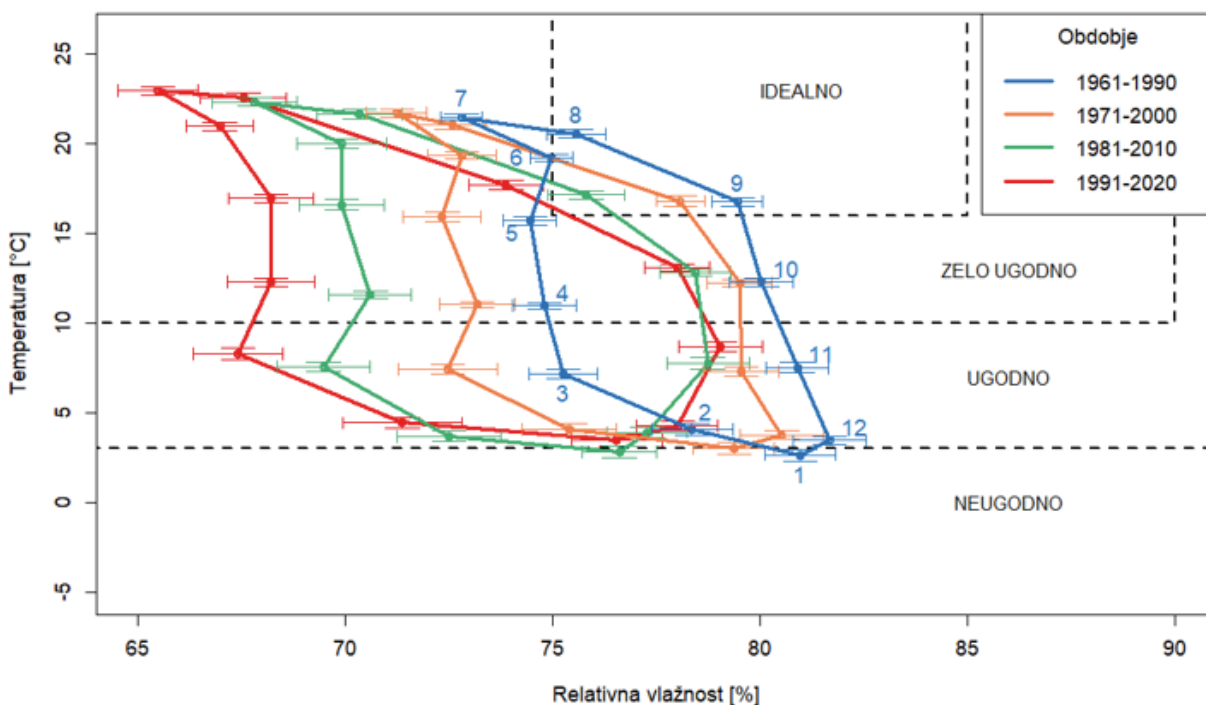
**Slika 3:** Griffiths-Taylorjev diagram povprečnih mesečnih temperatur in padavin s standardnimi napakami za štiri obdobja v Ratečah (zgoraj) in Šmartnem pri Slovenj Gradcu (spodaj)

**Figure 3:** The Griffiths-Taylor diagram of average monthly temperatures and precipitation with standard errors in four periods in Rateče (upper) and Šmartno pri Slovenj Gradcu (lower)

jem povišale za 0,4 do 2,0 °C. Pri relativni vlagi je razpon negativnih sprememb med 2 in 8 % pri standardnih napakah velikosti 0,5-1,4 %. Kljub temu, da v zadnjem obdobju zaradi tega ni več idealnih razmer za razvoj breskove muhe v Biljah, pa lahko iz diagrama vidimo, da je ploščina lika v območju zelo ugodno/ugodno večja, kar pomeni, da je možnost pojava tega škodljivca v povprečju v zadnjih letih večja. Zaradi višjih zimskih temperatur v Biljah v zadnjem obdobju ni več neugodnih razmer za razvoj breskove muhe, kar pomeni, kot so v svoji raziskavi že poudarili Rot in sod. (2015), da trend globalnega segrevanja ozračja in milejše zime lahko pripomorejo h krepitvi populacije breskove muhe na območju Istre, kot tudi k njeni širitvi na sever v Vipavsko dolino. Žežlina (2018) je preučeval pojavljanje breskove muhe na različnih lokacijah na Primorskem v letih 2016 in 2017. Ugotovil je, da so na pojav in številčnost muhe pomembno vplivali tudi temperatura, padavine in zračna vlaga, za začetek pojava je morala biti relativna zračna vlaga več kot 80 %. Očitni premiki diagramov po obdobjih (Slika 4) zaradi sprememb relativne zračne vlage kažejo na pomen spremljanja tako temperature kot tudi zračne vlage.

Ugodne razmere za razvoj breskove muhe so v Kočevju trajale v povprečju od marca do novembra, zelo ugodne pa od junija do septembra. Prvo obdobje je ime-

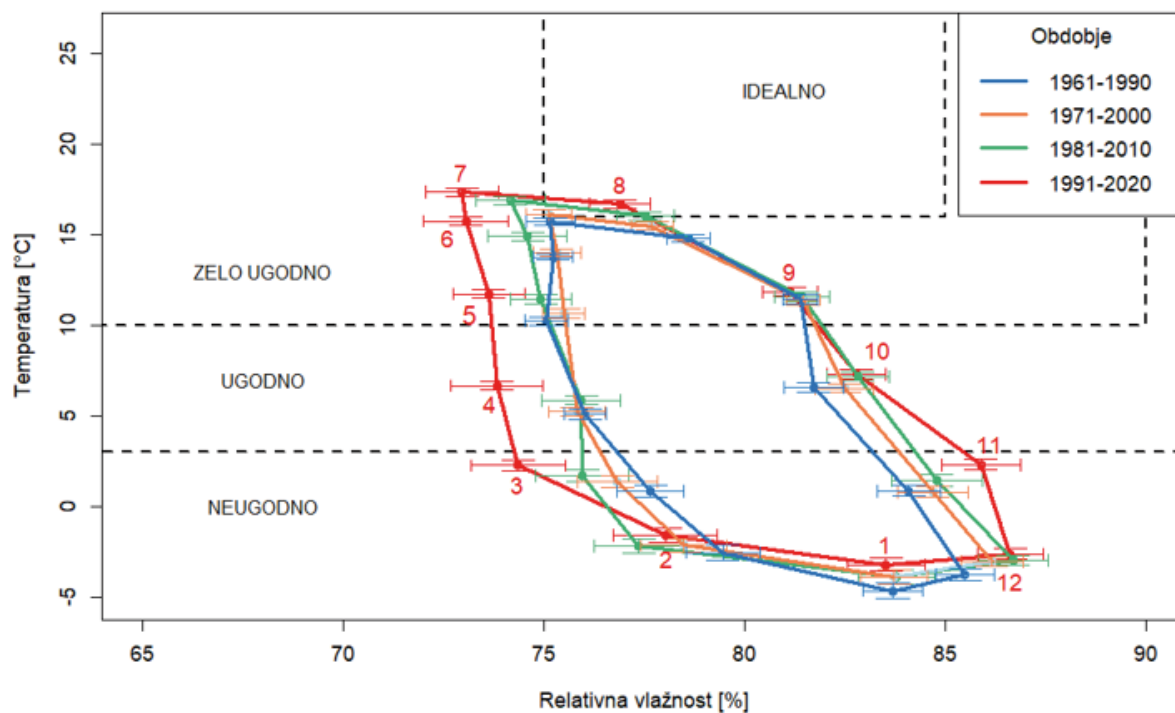
lo idealne razmere od junija do avgusta, drugo le avgusta, ostali dve pa idealnih razmer nista imeli. V poletnih mesecih so se povprečne mesečne temperature od prvega do četrtega obdobja povišale za 0,7 do 1,4 °C (pri standardni napaki vseh povprečij 0,2 °C), relativna vlaga pa se je zmanjšala za 6,5 do 7,4 % (pri standardnih napakah med 0,7 in 1,2 %). V Ljubljani so bile povprečne ugodne razmere za razvoj breskove muhe v vseh obdobjih od marca do novembra, zelo ugodne pa od aprila, z izjemo obdobja 1961–1990 od maja, pa do oktobra. Idealne razmere sta imela le avgust 1961–1990 in september 1991–2020. Podobno je bilo v Murski Soboti - ugodno od marca do novembra, zelo ugodno v prvem in drugem obdobju od maja do septembra, v tretjem in četrtem pa od aprila do oktobra. Idealne razmere za breskovo muho sta imela le avgusta v obdobjih 1961–1990 in 1971–2000. Spremembe v teh dveh primerih niso tako izrazite. Ugodne razmere za razvoj breskove muhe trajajo v Ratečah (Slika 5) povprečno od aprila do oktobra, zelo ugodne pa od maja do septembra v vseh izbranih obdobjih. Idealne razmere so bile dosežene le v juliju 1971–2000 in v avgustu v obdobjih 1981–2010 ter 1991–2020. Višje poletne temperature v Ratečah pomenijo nekoliko daljše obdobje z idealnimi razmerami za breskovo muho. Avgustovska temperatura se je od prvega do četrtega obdobja povišala



**Slika 4:** Griffiths-Taylorjev diagram povprečnih mesečnih temperatur in relativne vlažnosti s standardnimi napakami za štiri obdobja v Biljah z označenimi idealnimi, zelo ugodnimi, ugodnimi in neugodnimi razmerami za breskovo muho

**Figure 4:** The Griffiths-Taylor diagram of average monthly temperatures and relative humidity with standard errors in four periods in Bilje with marked ideal, very favorable, favorable and unfavorable conditions for the Mediterranean fruit fly





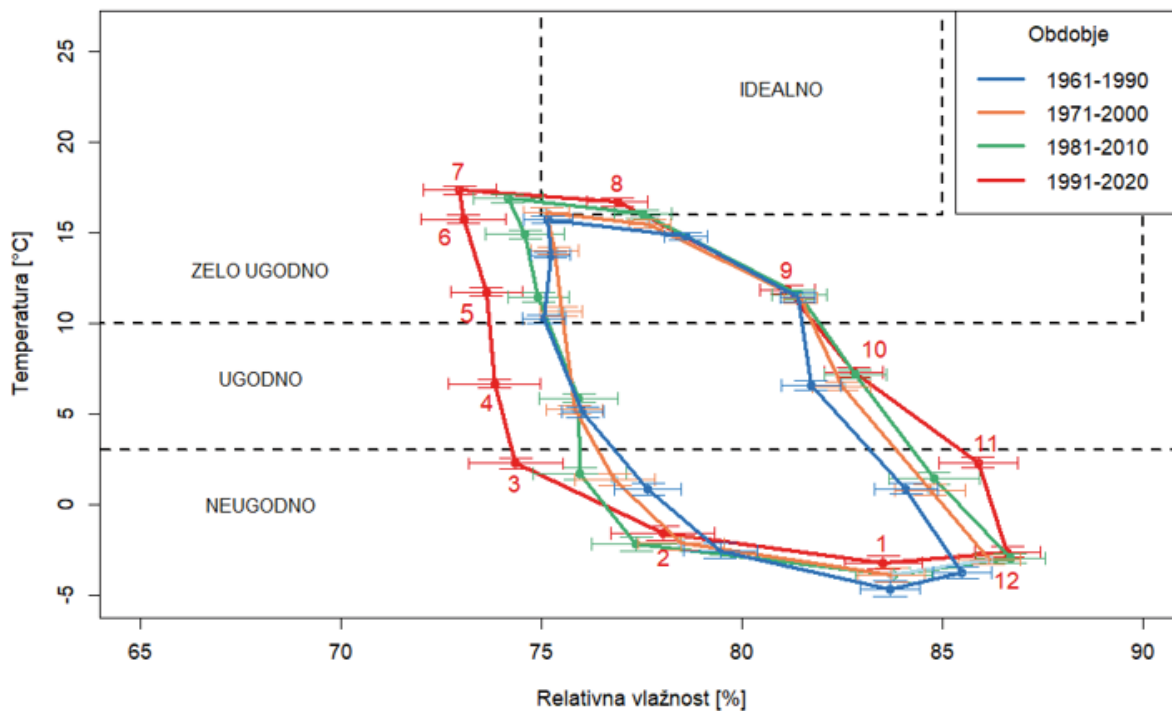
**Slika 5:** Griffiths-Taylorjev diagram povprečnih mesečnih temperatur in relativne vlažnosti s standardnimi napakami za štiri obdobja v Ratečah z označenimi idealnimi, zelo ugodnimi, ugodnimi in neugodnimi razmerami za breskovo muho

**Figure 5:** The Griffiths-Taylor diagram of average monthly temperatures and relative humidity with standard errors in four periods in Rateče with marked ideal, very favorable, favorable and unfavorable conditions for the Mediterranean fruit fly

za 1,9 °C (standardna napaka obeh povprečij je 0,2 °C), razlike v vlagi niso izrazite. Ugodne razmere za razvoj breskove muhe v Šmartnem pri Slovenj Gradcu so trajale povprečno od marca do oktobra oziroma novembra v obdobjih 1981–2010 in 1991–2020. Novembrska temperatura se je od prvega do četrtega obdobja povišala za 1,7 °C (standardna napaka povprečij 0,3 °C), relativna vlaga se ni spremenila. Zelo ugodne razmere so se začele maja in končale septembra. Idealne razmere so bile avgusta v prav vseh obdobjih, poleg tega pa še junija in julija 1961–1990 ter julija 1971–2000.

Ker se močni napadi in pomembne gospodarske škode zaradi breskove muhe pri nas pojavljajo na posameznih območjih le v posameznih letih (Rot in sod., 2015), bi bilo seveda smiselno v nadaljnjih raziskavah preučiti ne le povprečja, ampak tudi vremensko ekstremna leta. Na ta način bi lahko z diagrami za posamezno leto bolj natančno opredelili na primer vpliv ekstremno visokih temperatur, suše ali nadpovprečne količine padavin ter njihovih interakcij na rast in razvoj breskove muhe. Dolgoročno pa se pričakuje širitev vrste proti severu, na večje nadmorske višine in splošno povečanje številčnosti populacije na območjih, ki bi lahko postala primernejša v spreminjajočem se podnebjju (Egartner in sod., 2018; Gilioli in sod., 2021).

Podobno kot za škodljivce lahko opazujemo tudi ustreznost rasti razmer za poljščine. Ugodne razmere za rast sladkega krompirja so bile tako v Murski Soboti (Slika 6) v povprečju v prvem obdobju od junija do avgusta, v drugem od maja do avgusta, v tretjem in četrtem pa od maja do septembra. Idealne razmere so nastopile le v zadnjih dveh obdobjih, in sicer julija in avgusta. Julijska temperatura zraka se je med prvim in zadnjim obdobjem povišala za 1,9 °C in avgustovska za 2,2 °C (standardne napake povprečij so 0,2-0,3 °C), spremembe padavin pa so bile znotraj intervala standardnih napak, vendar spremembo lege krivulje na diagramu v tem primeru določa sprememba temperature. Zaradi podnebnih sprememb in višjih temperatur je v zadnjih letih precej raziskav namenjenih tudi modeliranju sprememb pri gojenju toplotno zahtevnejših rastlin v zmernih širinah, med drugim tudi sladkega krompirja (Gajanayake in sod., 2015; Raymundo in sod., 2014; Somasundaram in Mithra, 2008; Villordon in sod., 2009). Seveda je ob načrtovanju morebitnega uvajanja novih sort potrebno upoštevati še številne druge dejavnike, od vremenskih predvsem še količino in razporejenost padavin (Šlosar in sod., 2020), zračno vlago in vlago v tleh (Belehu in Hammes, 2004) ter temperaturo tal (Brandenberger in sod., 2014). Zelo pomembne so tudi dovolj velike razlike med dnevnimi



**Slika 6:** Griffiths-Taylorjev diagram povprečnih mesečnih temperatur in padavin s standardnimi napakami za štiri obdobja v Murski Soboti z označenimi ugodnimi in idealnimi razmerami za sladki krompir

**Figure 6:** The Griffiths-Taylor diagram of average monthly temperatures and precipitation with standard errors in four periods in Murska Sobota with marked favorable and ideal conditions for the sweet potato

in nočnimi temperaturami zraka (Loretan in sod., 1994; Gajanayake in sod., 2015), saj na tvorbo gomoljev ugodno vplivajo nižje nočne temperature (Kim, 1961; Lencha in sod., 2016). Kljub temu, da v Evropi zaenkrat pridelujejo sladki krompir le štiri države - Portugalska, Španija, Italija in Grčija (Mu in Li, 2019), pa možnosti pridelave te tržno zanimive poljščine proučujejo tudi v hladnejših predelih srednje Evrope (Šlosár in sod., 2020), kjer so klimatske razmere zelo podobne slovenskim. Daljša sezona rasti in višje temperature zraka ponujajo nove priložnosti v kmetijstvu, ki pa bodo močno odvisne od ostalih posledic naraščajočih izzivov pridelave (Arnell in Freeman, 2021).

#### 4 SKLEPI

Kmetijstvo je dejavnost, ki se v veliki meri odvija na prostem in je kot tako močno odvisno kratkoročno od vremena in dolgoročno od podnebja. Zaradi sprememb podnebja, ki se že dogajajo, in projekcij, ki kažejo na stopnjevanje sprememb v prihodnosti, se bo kmetijstvo moralo prilagajati. Pri spremljanju podnebnih sprememb je za kmetijstvo letna skala veliko pregroba za nadaljnje ocene. Eden od načinov spremljanja podnebja

je s podnebnimi diagrami, s katerimi grafično nazorno prikažemo mesečne vrednosti temperature zraka, padavin in zračne vlage.

Z Griffiths-Taylorjevimi diagrami smo prikazali časovne spremembe 30-letnih povprečij temperatur zraka, padavin in relativne vlage za šest podnebnih postaj. Že sama oblika diagrama, ki se pri kombinaciji temperatura-padavine na vseh šestih lokacijah spreminja, govori o podnebnih spremembah. Na vseh lokacijah so jasno vidne spremembe temperatur (povišanje), ponekod tudi relativne zračne vlage (zmanjšanje) ter delno spremenjeni sezonski vzorci padavin. Ozka oblika diagrama (večja razlika mesečnih vrednosti) nakazuje celinsko podnebje posamezne spremenljivke, bolj okrogla oblika (manjša razlika mesečnih vrednosti) pa mediteransko podnebje.

S prikazanimi diagrami so po obdobjih vidne spremenjene razmere za razvoj breskove muhe. Na splošno so se razmere za razvoj tega škodljivca izboljšale zaradi višjih temperatur, sploh na hladnejših lokacijah (Rateče). Na vseh postajah se je sicer zmanjšala relativna vlažnost, vendar v kombinaciji s temperaturo razmere v vseh mesecih ostajajo ugodne ali zelo ugodne za razvoj breskove muhe.

Diagrami z vrisanimi razmerami za rast sladkega

krompirja v Murski Soboti so pokazali, da se obdobje z ugodnimi razmerami v zadnjem obdobju podaljšuje (maj-september) glede na začetno obdobje (junij-avgust). Zaradi višjih temperatur zraka pa v zadnjih dveh obdobjih nastopajo v juliju in avgustu celo idealne razmere za rast sladkega krompirja.

V nadaljnjih študijah je poleg 30-letnih povprečij, ki nam prikazujejo dolgoročne spremembe, potrebno upoštevati tudi vremensko ekstremna leta (nadpovprečno vroča, suha ali namočena), saj na ta način pridobimo podatke o rastnih razmerah v posameznem letu in možnostih uvajanja novih sort glede na njihove meje razširjenosti zaradi podnebnih razmer. Prav tako pa bi grafi povedali več, če bi dodatno pridobili opis rastnih pogojev sort v posameznih fenofazah in jih ustrezno označili.

## 5 VIRI

- Arnell, N.W., Freeman, A. (2021). The effect of climate change on agro-climatic indicators in the UK. *Climatic Change*, 165, 40. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03054-8>
- ARSO. (2017). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek temperaturnih in padavinskih povprečij*. Pridobljeno s: OPS21\_Porocilo.pdf (gov.si)
- ARSO. (2021). *Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO), izpisi meteoroloških podatkov iz baze podatkov za obdobje 1961-2020*. Pridobljeno s: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate>
- Badr, G., Hoogenboom, G., Abouali, M., Moyer, M., Keller, M. (2018). Analysis of several bioclimatic indices for viticultural zoning in the Pacific Northwest. *Climate Research*, 76, 203–223. <https://doi.org/10.3354/cr01532>
- Belehu, T., Hammes, P.H. (2004). Effect of temperature, soil moisture content and type of cutting on establishment of sweet potato cuttings. *South African Journal of Plant and Soil*, 21, 85–89. <https://doi.org/10.1080/02571862.2004.10635028>
- Bocci, M., Smanis, T. (2019). *Assessment of the impacts of climate change on the agriculture sector in the southern Mediterranean: foreseen developments and policy measures*. Union for the Mediterranean, 35 str. Pridobljeno s: <https://ufmsecretariat.org/wp-content/uploads/2019/04/Climate-Change-impact-on-Agriculture.pdf>
- Brandenberger, L. P., Shrefler, J., Rebek, E. J., Damicone, J. (2014). *Sweet potato production. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources*. Oklahoma Cooperative Extension Service HLA-6022: 1-8.
- Ceglar, A., Zampieri, M., Toreti, A., Dentener, F. (2019). Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. *Earth's Future*, 7, 9, 1088–1101. <https://doi.org/10.1029/2019EF001178>
- Christie, N. J. (1993). „Pioneering for a civilized world:“ Griffith Taylor and the ecology of geography. *Scientia Canadensis*, 17, 1-2, 103–154. <https://doi.org/10.7202/800366ar>
- Egartner, A., Lethmayer, C., Gottsberger, R. A., Blümel, S. (2018). Monitoring activities on invasive fruit flies (Tephritidae, Diptera) in Austria. *XI European Congress of Entomology Naples, Italy*: 02-06 Jul. 2018, str. 153-154. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1606308>
- Gajanayake, B., Reddy, K., Shankle, M. (2015). Quantifying growth and developmental responses of sweetpotato to mid- and late-season temperature. *Agronomy Journal*, 107(5), 1854-1862. <https://doi.org/10.2134/agronj14.05455>
- Gilioli, G., Sperandio, G., Colturato, M., Pasqualis, S., Gervasio, P., Wilstermann, A., Dominic, A.R., Schrader, G. (2021). Non-linear physiological responses to climate change: the case of *Ceratitidis capitata* distribution and abundance in Europe. *Biological Invasions*, <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02639-9>
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., Wiltshire, A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B-Biological sciences*, 365, 2973-2989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>
- Karoglan, M., Telišman Prtenjak, M., Šimon, S. in sod. (2018). Classification of Croatian winegrowing regions based on bioclimatic indices. *E3S Web Conference*, 50, 01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001032>
- Kim, Y.C. (1961). Effects of thermoperiodism on tuber formation in *Ipomoea batatas* under controlled conditions. *Plant Physiology*, 36(5), 680-684. <https://doi.org/10.1104/pp.36.5.680>
- Knox, J., Morris, J., Hess, T. (2010). Identifying future risks to UK agricultural crop production: Putting climate change in context. *Outlook on Agriculture*, 39(4), 249-256. <https://doi.org/10.5367/oa.2010.0016>
- Lencha, B., Birksew, A., Dikale, G. (2016). The evaluation of growth performance of sweet potato (*Ipomoea batatas* ‚Awassa‘) by using different type of vine cuttings. *Food Science and Quality Management*, 54, 55-65.
- Loretan, P.A., Bonsi, C.K., Mortley, D.G., Wheeler, R.M., Mackowiak, C.L., Hill, W.A., David, P.A. (1994). Effects of several environmental factors on sweetpotato growth. *Advances in Space Research*, 14, 277–280. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(94\)90308-5](https://doi.org/10.1016/0273-1177(94)90308-5)
- Marshall, A. (1980). Griffith Taylor's correlative science. *Australian Geographical Studies*, 18, 184–193. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8470.1980.tb00367.x>
- Mu, T.H., Li, P.G. (2019). Sweet potato: origin and production. In Mu T.H., Singh, J. *Sweet potato: Chemistry, Processing and Nutrition*, Academic Press, 5-25. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-05204-X>
- Noce, S., Caporaso, L., Santini, M. (2020). A new global dataset of bioclimatic indicators. *Scientific Data*, 7, 398. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00726-5>
- O'Brien, C. (2015). Governing climate: Griffith Taylor's climographs and contemporary blind spots. *Learning Communities, Special Issue: Objects of Governance*, 15, 26-31. <https://doi.org/10.18793/LCJ2015.15.05>
- Olesen, J.E., Carter, T.R., Díaz-Ambrona, C.H. in sod. (2007). Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic*

- Change*, 81, 123-143. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9216-1>
- Paneque Ramirez, G. (2021). *Cultivation harvesting and storage of sweet potato products*. Pridobljeno s: <http://www.fao.org/3/T0554E/T0554E14.htm>
- Raymundo, R., Asseng, S., Cammarano, D., Quiroz, R. (2014). Potato, sweet potato, and yam models for climate change: a review. *Field Crops Research*, 166, 173–185. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.017>
- Rivas-Martínez, S., Sáenz, S., Penas, A. (2011). Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany*, 1. 1-634+4 Maps, doi:10.5616/gg110001
- Rot, M., Jančar, M., Bjeliš, M. (2015). Razširjenost breskove muhe - *Ceratitis capitata* Wiedemann na območju Slovenije in Hrvaške Istre. V: *Izvečki referatov 12. Slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo* (ur. Trdan S.), Ptuj, 3.-4. marec 2015. Ljubljana, Društvo za varstvo rastlin Slovenije, 69-75.
- Rusjan D., Koruza-Korošec Z. (2003). Mikrorajonizacija vinorodnega okoliša Goriška Brda. *Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani*, 81, 357–367.
- Somasundaram, K., Mithra, V.S.S. (2008). Madhuram: A simulation model for sweet potato growth. *World Journal of Agricultural Research*, 4, 241–254.
- Šlosár, M., Hegedusova, A., Hegedús, O., Mezeyova, I., Timoracká, M. (2020). The effect of cultivar on selected quantitative and qualitative parameters of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) grown in Slovak republic. *Journal of Central European Agriculture*, 21, 344-353. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2684>
- Tarman, K. (1992). *Osnove ekologije in ekologija živali*. Ljubljana, Državna založba Slovenije, 547 str.
- Taylor Griffith, T. (2021). *Professor Griffith Taylor collection, between 1900 and 1960*. Pridobljeno s: <http://nla.gov.au/nla.obj-149708712>
- Valenzuela, H., Fukuda, S., Arakaki, A. (2020). *Sweetpotato Production Guides for Hawaii*. Pridobljeno s: <http://www2.hawaii.edu/~hector/prod%20guides%20fold/swpotato.html>
- Villordon, A., Clark, C., Ferrin, D., LaBonte, D. (2009). Using growing degree days, agrometeorological variables, linear regression, and data mining methods to help improve prediction of sweetpotato harvest date in Louisiana. *Hort-Technology*, 19, 133-144. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.1.133>
- Winlow, H. (2009). Mapping the contours of race: Griffith Taylor's zones and strata theory, *Geographical research*, 47, 4, 390-407. <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2009.00604.x>
- Žežlina, J. (2018). *Pojavljanje breskove muhe (Ceratitis capitata [Wiedemann], Diptera, Tephritidae) na kakiju (Diospyros kaki L.) na štirih lokacijah na Primorskem*. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 51 str.