

# Analiza fenoloških karakteristika vinove loze primjenom statističkih modela i modelom razvoja biljaka u sadašnjim i budućim klimatskim uvjetima

---

**Meštrić, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:486370>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

Josip Meštrić

Analiza fenoloških karakteristika vinove loze  
primjenom statističkih modela i modelom  
razvoja biljaka u sadašnjim i budućim  
klimatskim uvjetima

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ FIZIKA-GEOFIZIKA  
SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOLOGRAFIJA

Josip Meštrić

Diplomski rad

**Analiza fenoloških karakteristika vinove loze  
primjenom statističkih modela i modelom  
razvoja biljaka u sadašnjim i budućim  
klimatskim uvjetima**

Voditelj diplomskog rada: izv. prof. dr. sc. Maja Telišman Prtenjak

Suvoditelj diplomskog rada: mag. phys.-geophys. Branimir Omazić

Zagreb, 2022.

Ponajprije želim zahvaliti svim profesorima i nastavnicima u cijelom razdoblju školovanja koji su me učili svom potrebnom znanju da bih ostvario svoju želju, postati meteorolog. Istaknuta zahvala ide profesorici, ujedno i mentorici Maji Telišman Prtenjak što mi je namijenila ovako zanimljivu temu diplomske radnje. Zahvaljujem doktorandu Branimiru Omaziću na svakoj pomoći pri izradi ovog rada i brzom odgovaranju na sva moja pitanja. Također, zahvaljujem i kolegi Marku Kvakiću na nesebičnoj pomoći u radu sa STICS modelom te što je izdvojio mnogo slobodnog vremena za to.

Zahvaljujem svim prijateljima i kolegama na svakoj pomoći, razumijevanju i savjetima bez kojih ne bih uspio. Hvala i tebi, Barbara, što si bila uz mene i što ćeš uvijek biti.

Najveća zahvala ipak ide onima koji su me podržavali i vjerovali u moje sposobnosti od samih početaka, svojoj obitelji. Hvala na svom strpljenju i razumijevanju. Uz tako dobre ljude teško je odustati od svojih snova.

Ovim putem htio bih se zahvaliti Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim opaženim meteorološkim i fenološkim podacima. Ovaj rad djelomično je financiran u okviru Hrvatsko-Švicarskog istraživačkog programa Hrvatske zaklade za znanost i Švicarske nacionalne zaklade za znanost putem sredstava švicarsko-hrvatskog programa suradnje zahvaljujući projektu Severe weather over the Alpine-Adriatic region in a changing climate; SWALDRIC (br. IZHRZO-180587).

## Sažetak

Ovaj rad bavi se proučavanjem utjecaja meteoroloških uvjeta na trendove početka određenih fenoloških faza vinove loze. U tu svrhu koristili su se osnovni agroklimatološki indeksi GDD i GST. Također, upotrebom statističkih modela simulirali su se nastupi fenoloških faza pupanja, cvatnje, šare i berbe. Statistički pristup kombiniran je i primjenom modela za rast biljaka (model STICS). Sam model STICS testiran je na mjerenjima za dvije sorte vinove loze ('Graševina' i 'Plavac mali') i na četiri lokacije; dvije smještene u unutrašnjosti Hrvatske (Daruvar i Križevci) te na dvijema uz obalu Jadrana (Hvar i Lastovo). Uspješnost statističkog modela na temelju akumulirane topline pokazala se vrlo dobrom za sve postaje za berbu kao i za cvatnju, osim postaje Hvar. Lošiji rezultati dobili su se za šaru na gotovo svim postajama te za pupanje izuzev postaje Daruvar. Višestruka linearna regresija pokazala je manju uspješnost. Prilikom mjerenja model STICS pokazao je zadovoljavajuće rezultate na tri od četiri promatrane postaje. Model STICS primijenjen je i na izlazne rezultate klimatskog modela koji je dao rezultate u dva razdoblja: 1999.-2009. godine te 2043.-2053. godine. Navedeni model pokazao se učinkovitim i samim time primjenjivim za simulaciju nastupa fenoloških faza. Uz navedeno, simulirao je i raniji nastup fenofaza u budućoj klimi za gotovo sve postaje.

**Ključne riječi:** Agroklimatologija, Agroklimatološki indeks, STICS model, COSMO model, vinova loza, fenološke faze.

# Analysis of the grapevine phenological characteristics by statistical models and a plant model in present and future climate

## Abstract

This paper deals with analyzing the influence of meteorological conditions on the starting trends of certain phenological phases of grapevine. For this purpose, the basic agroclimatic indexes GDD and GST were used. In addition, the occurrences of different phenological phases, that being budding, flowering, veraisoning and harvesting, were also simulated using statistical models. This statistical approach is also combined with the application of a plant growth model (STICS model). The STICS model itself was tested on measurements for two grapevine varieties ('Graševina' and 'Plavac mali') and on four locations; two of which were located in the interior of Croatia (Daruvar and Križevci), while the other two were on the Adriatic coast (Hvar and Lastovo). The success of the statistical model based on accumulated heat was proven to be very good for all harvesting and flowering stations, except for the Hvar station. Worse results were obtained for chara at almost all stations, as well as for budding, with the exception of the Daruvar station. Multiple linear regression showed less success. During the measuring process, the STICS model showed satisfactory results at three of the four observed stations. The STICS model was also applied to the output results of the climate model, which produced results in two periods: 1999-2009. and 2043-2053. The mentioned model was proven to be effective and therefore applicable for simulations of the performance of different phenological phases. In addition, it simulated the earlier occurrence of phenophases in the future climate for almost all stations.

**Keywords:** Agroclimatology, Agroclimatic index, STICS model, COSMO model, vine, phenological stages

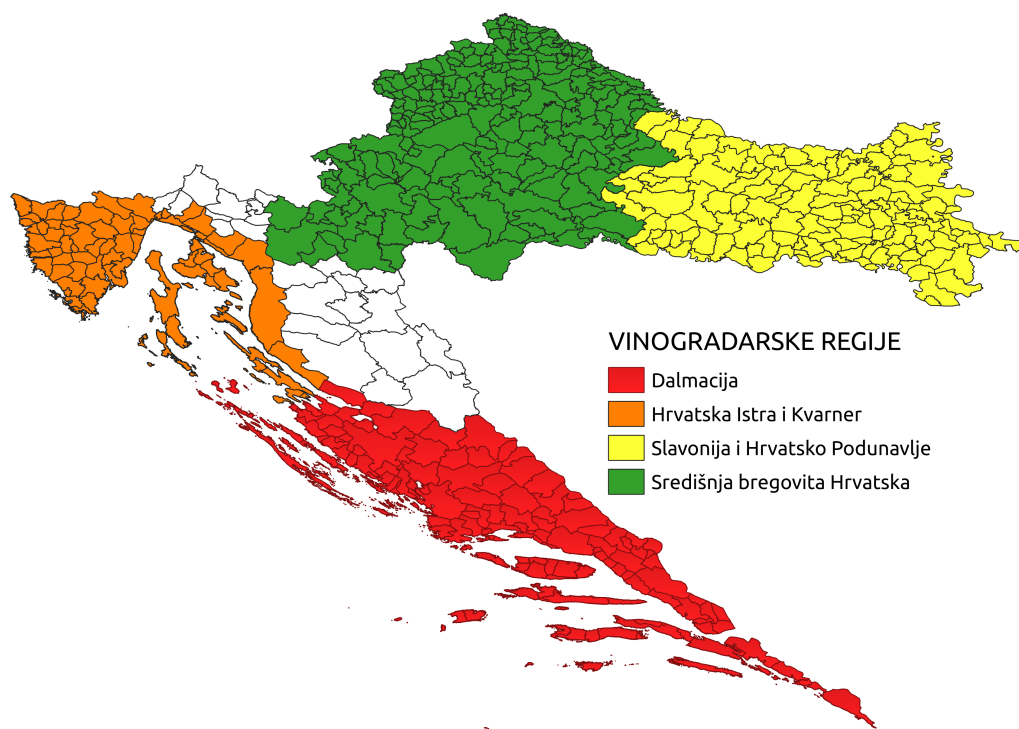
# Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Osnovni opis fenologije vinove loze</i>	2
1.2. <i>Pregled istraživanja do danas</i>	4
<b>2. Podaci i metode</b>	<b>6</b>
2.1. <i>Lokacije postaja</i>	6
2.2. <i>Meteorološki podaci</i>	6
2.3. <i>Fenološki podaci</i>	8
2.4. <i>Osnovna statistika</i>	8
2.5. <i>Agroklimatološki indeksi</i>	9
2.6. <i>Statistički modeli analize i statistički modeli</i>	10
2.7. <i>STICS</i>	11
2.8. <i>COSMO model</i>	14
<b>3. Rezultati i diskusija</b>	<b>15</b>
3.1. <i>Statistika fenologije</i>	15
3.2. <i>Fenološki trendovi</i>	17
3.3. <i>Temperaturni trendovi</i>	22
3.4. <i>GDD indeks i statistički modeli</i>	25
3.5. <i>Višestruka linearna regresija</i>	30
3.6. <i>COSMO klimatski model</i>	31
3.7. <i>Model STICS</i>	33
<b>4. Zaključak</b>	<b>41</b>
<b>Literatura</b>	<b>43</b>
<b>Popis kratica</b>	<b>47</b>
<b>Dodatak A</b>	<b>48</b>

# 1. Uvod

Klimatske promjene utječu na cjelokupni klimatski sustav Zemlje. Najosjetljivija komponenta jest biosfera u koju spadaju i biljke. S obzirom na to da su cijeli životni vijek vezane za određeno mjesto, teško se prilagođavaju promjenama te na njih prve reagiraju; osobito na promjene temperature i vlažnosti atmosfere i tla.

Vinova loza (*lat. Vitis vinifera*) stalni je pratitelj civilizacije. Neophodna je u brojnim kulturama i značajno doprinosi poljoprivredi. O njezinoj starosti dovoljno govori priča o biblijskom potopu gdje je Noa, izašavši iz lađe, prvo zasadio vinograd. Stari Grci i Rimljani rado su pili vino pa su se tako, zbog pogodnosti podneblja, nad cijelim Sredozemljem, uzgoj i kvaliteta zadržali sve do danas.



Slika 1.1. Trenutna podjela Hrvatske prema vinskim regijama.

Prema podacima Državnog zavoda za statistiku (2021), u Hrvatskoj su 2020. godine vinogradi zauzimali površinu od 21 000 ha te je količina proizvedenog vina iznosila oko 800 000 hL. Vinogradarska područja Republike Hrvatske dijelimo na četiri regije: Slavonija i Hrvatsko Podunavlje, Središnja bregovita Hrvatska, Hrvatska Istra i Kvarner te Dalmacija, a svaka regija podijeljena je na podregije, vinogorja i vinogradarske položaje. Zbog različitih klimatskih i pedoloških uvjeta te administrativnih podjela, u Hrvatskoj su u zadnjih desetak godina dominirali tri vinogradarske zone, tzv. B, C1 i C2 te određivali i putem zakonodavstva limite uzgoja grožđa po zonama (maksimalni



udjeli šećera i alkohola, količina grožđa po trsu itd.). Međutim, kako se klimatski uvjeti mijenjaju, od nedavno je ponovo uvedena C3 zona (Slika 1.1.) na samom jugu Hrvatske uz jadransku obalu. Ponovnim uvođenjem C3 zone priznate su promjene u uzgoju grožđa koje su rezultat između ostalog i povećanja temperature, a time i povećanja količine šećera u bobicama grožđa te alkohola u vinu.

Vinova loza značajno doprinosi ekonomiji svake mediteranske države, ali i užitku u umjerenom konzumiranju krajnjih produkata. Također, zakoni o proizvodnji vina reguliraju udio alkohola u njima te penaliziraju one vinare koji imaju više od dozvoljenog s obrazloženjem da se vršila predestilacija. Međutim, s višim temperaturama prirodno će biti i više alkohola u vinu.

### 1.1. Osnovni opis fenologije vinove loze

Fenologija je znanost koja proučava periodične biološke pojave u vezi s vremenom. Biljna fenologija naziva se još i fitofenologija, koja je u agrometeorologiji razvijenija od zoofenologije (životinjska fenologija), stoga se fenološkim opažanjima smatraju faze razvoja biljaka (Bonan, 2016). Fenološko opažanje jest bilježenje datuma kad je nastupio pojedini stupanj u razvoju određene biljne vrste. Važno je dobro definirati kriterije nastupa faza kako bi podaci bili prostorno i vremenski usporedivi. Tijekom posljednja dva desetljeća fenologija je privukla veliku pozornost javnosti, posebice jer je postalo jasno kako se klima mijenja i da se učinci primijećuju na biljkama (DHMZ-Državni hidrometeorološki zavod, 2022).

Prema Preiner (2013), godišnji odnosno mali biološki ciklus vinove loze može se opisati pomoću sedam osnovnih fenofaza. Ovaj rad proučavat će četiri od njih, a to su: pupanje (engl. *budburst*), cvatnja (engl. *flowering*), šara (engl. *verasion*) i berba (engl. *harvest*).



Slika 1.2. Pupanje (Albourne Estate, 2021).

Početak faze pupanja smatra se pojavom listića iz pupa (Slika 1.2.). Prema svom izgledu naziva se još i „faza mišjih ušiju“. Traje 40-60 dana, a završava početkom

cvatnje. U tom periodu mladica naraste do 60% od svoje ukupne dužine.

Cvatnja započinje odvajanjem cvjetne kapice i njezinim odbacivanjem (Slika 1.3.). Optimalna temperatura cvatnje iznosi između 20 °C i 30 °C. Kiša u tom periodu nije poželjna jer uzrokuje sporo odvajanje kapica što rezultira nemogućnošću otvaranja cvjetova do kraja. Također, niska relativna vlažnost zraka dovodi do sušenja njuške tučka što rezultira slabijom oplodnjom. Cvatnja cijelog trsa u prosjeku traje 10-20 dana.



Slika 1.3. Cvatnja (Government of Western Australia, 2022).

Nakon rasta bobica počinje dozrijevanje koje se ponajviše očituje promjenom boje bobice. Iz tog razloga ova fenofaza naziva se šara (Slika 1.4.). U tom razdoblju, smanjuje se udio kiselina, a povećava udio šećera. Za tu fazu važna je dovoljna količina vlage i hranjivih tvari.



Slika 1.4. Šara (promjena boje bobice grožđa, koja prati udjele kiseline i šećera u bobici; Estate at Saralee's Vineyard, 2014).

Grožđe dostiže punu zrelost i spremno je za berbu (Slika 1.5.) u trenutku kada sadržaj šećera prestane rasti, a kiseline padati.

Prema BBCH skali, kojom su detaljno označene sve fenofaze, gore navedene faze odgovaraju kodovima 7, 60, 81 te 87. Kratica BBCH proizlazi iz početnih slova imena izvorno sudjelujućih dionika: "Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie". Neslužbeno se smatra kako ta kratica ujedno predstavlja četiri tvrtke



Slika 1.5. Berba (tehnološka zrelost; Concha y Toro, 2022).

koje su inicijalno sponzorirale razvoj skale: Bayer, BASF, Ciba-Geigy i Hoechst. Razvijena je s namjerom da se omogući kodiranje sličnih razvojnih faza jednostupnica i dvostupnica (Meier, 2018). Za vinovu lozu modificirali su je Lorenz i sur. (1995). Brojčano je prikazana kodovima od 00 do 99 gdje kod 00 prikazuje kraj mirovanja, a kod 99 početak. Iako postoje i druge skale, navedena skala prihvaćena je u Europskoj Uniji.

## 1.2. Pregled istraživanja do danas

Brojnim radovima dokazana je povezanost meteoroloških parametara s nastupom fenoloških faza. Jelić (2011) ukazuje na to kako raniji nastupi fenofaza običnog jorgovana nisu lokalnoga karaktera, već su vidljivi na području cijele zemlje. Obični jorgovan pogodna je biljka za takva proučavanja zbog prisutnosti u većini klimatskih zona te se koristi uz jabuku, kukuruz i maslinu kao kontrolne (poljoprivredne) kulture za usporedbu u Europi i šire.

Santos i sur. (2012) analizirali su promjenu Winklerovog indeksa (definiran formulom 2.1 te se zove još i GDD indeks<sup>1</sup>; Winkler, 1974) nad Europom u drugoj polovici 20. stoljeća (Slika 1.6.). Ustanovili su kako nad Sredozemljem postoji značajan pozitivan trend GDD-a; od 100 °C do 300 °C.

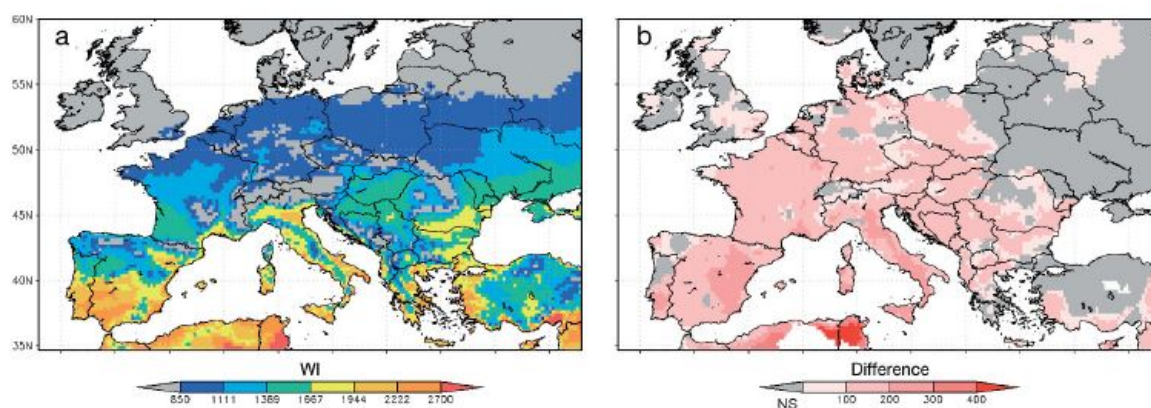
Čiček (2011) pokazuje kako se pupanje i cvatnja događaju ranije uslijed viših proljetnih temperatura, posebice na kontinentalnim postajama. Razdoblje između šare i berbe također se skraćuje što utječe na kvalitetu vina. Međutim, jači raniji trendovi berbe u odnosu na pupanje dovodi do skraćivanja vegetacijskog razdoblja. Jedino na postaji u Hvaru se ne uočava spomenuto skraćivanje. Također, ukazuje i na mogućnost uzgoja novih sorti u Slavoniji zbog veće akumulirane topline kao i mogućnošću uzgoja

---

<sup>1</sup>GDD = engl. *Growing Degree-Day* daje procjenu stadija rasta biljke, kukca ili mikroorganizma. Što je temperatura veća, GDD se brže akumulira dok se ne postigne maksimalna granična temperatura. Osnovna temperatura korištena u GDD jednadžbi može varirati ovisno o biologiji organizma (Andrade i sur., 2015).

vinove loze na nižim nadmorskim visinama u gorskim krajevima Republike Hrvatske.

S obzirom na to da vinova loza ima veliku socioekonomsku ulogu na Sredozemlju kao i jedinstvenosti svake vrste, veći se naglasak stavlja na istraživanje njezinih promjena. Usljed klimatskih promjena i povećanja temperatura, istraživanjima se ukazalo na buduće zahtjevne prilagodbe novim sortama i lokacijama vinograda u Portugalu (Fraga i sur., 2016), Grčkoj (Koufos i sur., 2013), Srbiji (Vuković i sur., 2018), Sloveniji (Vršič i sur., 2014) i Hrvatskoj (Omazić i sur., 2020). Određene sorte vinove loze još uvijek će pozitivno reagirati na promjene, ali samo do određenog trenutka (Vršič i sur., 2014). Također, Droulia (2021) navodi kako će zagrijavanje i češće suše rezultirati gubitcima nad Sredozemljem, ali će Središnja i Sjeverna Europa i dalje ostvarivati dobit od uzgoja vinove loze.



Slika 1.6. Srednja vrijednost GDD (ili WI) indeksa u razdoblju 1950.-2009. (lijevo) te razlika u medijanima istoga indeksa između razdoblja 1980.-2009. i 1950.-1979. (Santos i sur., 2012).

Potrebno je utvrditi značajne meteorološke parametre svakog razdoblja kako bi se omogućilo prognoziranje nastupa fenofaza. Ruml i sur. (2017) istraživanjima su utvrdili jaku korelaciju temperatura s razdobljem između cvatnje i šare te nešto manju između pupanja i cvatnje. Raniji nastup berbe također značajno korelira s temperaturama i GDD indeksom, ali samo za određene postaje u Grčkoj (Koufos i sur., 2013). Vrijeme između faza značajno varira u ovisnosti o vrsti vinove loze, klimi i geografskoj poziciji (Jones i Davis, 2000a).

Navedena istraživanja pokazuju utjecaj klimatskih promjena na biljke s detaljnijim osvrtom na vinovu lozu. Globalni trendovi ranijih nastupa fenofaza ne koreliraju s istim parametrima, a postoji i razlika u prostoru. Ovaj rad proučavat će fenološke faze vinove loze za četiri različite postaje u Hrvatskoj te utvrditi njihova svojstva i odgovore na klimatske uvjete. Također, nastojat će se pronaći statističke veze te primijeniti numeričke modele kojima bi se, temeljem meteoroloških parametara, pružila mogućnost prognoziranja nastupa fenofaza.

## 2. Podaci i metode

### 2.1. Lokacije postaja

U ovom radu uzete su četiri postaje; dvije kontinentalne te dvije maritimne. To su Daruvar, Križevci, Hvar i Lastovo. Tablicom 2.1. prikazani su osnovni geografski parametri koji opisuju navedene postaje.

Tablica 2.1. Geografske koordinate, nadmorska visina meteoroloških postaja te udaljenost od pripadajuće fenološke postaje.

Postaja	Geog. širina [° E]	Geog. dužina [° N]	Nadmorska visina [m]	Udaljenost [m]
Daruvar	45,59139	17,23380	161	1857
Križevci	46,02839	16,55361	155	56
Hvar	43,17314	16,43931	20	295
Lastovo	42,76414	16,89497	186	623

Geografski položaj vinograda gdje su izvršena fenološka opažanja s njihovim fotografijama prikazan je na Slici 2.1. Iz fotografija je moguće uočiti kako je teren u pravilu ravan ili blago nakošen što je potvrđeno i analizom terena u programu QGIS (Geografski informacijski sustav). Sve postaje okrenute su blago južno što pogoduje razvoju vinove loze. Vinogradi se nalaze u bližem krugu od meteorološke postaje (Tablica 2.1.).

### 2.2. Meteorološki podaci

Klimatski podaci preuzeti su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) koji ih je prikupio i kvalitativno provjerio. Promatrane postaje ujedno su i glavne meteorološke postaje s kontinuiranim mjerenjima od 1961.godine. Postaja Hvar bilježi mjerenja čak od 1911. godine. Za potrebe ovog istraživanja uzeto je razdoblje od zadnje dvije klimatske normale, odnosno 1961.-2020. godine. Klimatski elementi uzeti za potrebe istraživanja su: minimalna ( $T_{min}$ , °C), maksimalna ( $T_{max}$ , °C) i srednja dnevna temperatura ( $T_{sr}$ , °C), dnevna akumulirana oborina ( $P$ , mm), relativna vlažnost zraka ( $RH$ , %) te prosječna dnevna brzina vjetra ( $W$ ,  $\text{ms}^{-1}$ ). Podaci o relativnoj vlažnosti i brzina vjetra potrebni su za model razvoja biljaka, o kome će biti riječi kasnije, te nisu promatrani u osnovnoj statistici. Zbog neprekinutosti nizova nije se javila potreba za interpolacijama i ostalim metodama aproksimativnog popunjavanja podataka.



Slika 2.1. Karta geografskog položaja fenoloških postaja te slike vinograda na kojima su se vršila opažanja.

### 2.3. Fenološki podaci

Fenološki podaci također su prikupljeni od DHMZ-a, ali nisu opaženi na fenološkim postajama već u obližnjim vinogradima (Slika 2.1.). Najveća udaljenost od pripadajuće meteorološke postaje manja je od 2 km. Podaci su dostupni od 1961. godine, uz određene prekide koji nisu interpolirani već jednostavno izuzeti iz statistike i daljnjih računanja. Na postajama Daruvar i Križevci promatrana je sorta 'Graševina', a na Hvaru i Lastovu 'Plavac mali'.

Sorta 'Graševina' (još se naziva i Talijanski ili Laški rizling) uzgaja se u kontinentalnoj Hrvatskoj više od 200 godina, ali nema status autohtone kao ni udomaćene ili domaće sorte. Najbolje rezultate daje u Slavoniji i hrvatskom Podunavlju gdje u prosjeku čini gotovo svaki peti trs. Zbog toga se i proglašava "kraljicom vinograda". Točno podrijetlo još uvijek je nepoznato (Maletić, 2021), tipična je za srednju Europu, a vinski stručnjaci diljem svijeta za njenu domovinu smatraju područje Podunavlja u koje je vinovu lozu donio rimski car Probus. Može je se naći u Hrvatskoj, Mađarskoj, Sloveniji, Srbiji i Italiji.

'Plavac mali' autohtona je sorta srednje i južne Dalmacije. Nastala je križanjem također dviju autohtonih sorti; Kaštelanski crljenak i Dobričić. Izuzetno je dobro prilagođen vreloj mediteranskoj klimi te daje vina odlične kvalitete. Neki ga još nazivaju i "kraljem crnih vina u Hrvata" (vinacroatia.hr, 2017).

### 2.4. Osnovna statistika

U osnovnoj statistici promatrani su srednja vrijednost, medijan, standardna devijacija, minimalna i maksimalna vrijednost te koeficijent simetrije opaženih vrijednosti. Osim tablično, statistika je prikazana i pomoću kutijastih dijagrama (*box plot*). Takav prikaz omogućava brzu vizualizaciju osnovnih vrijednosti kao što su minimalna i maksimalna vrijednost, srednjak i medijan te 1. i 3. kvartil koji čine interkvartilni raspon. Duljine crta ne obuhvaćaju minimalnu i maksimalnu vrijednost već su postavljene na način da su maksimalno 1,5 puta veće od interkvartilnog raspona. Razlog tomu je što se na taj način s lakoćom vide ekstremne vrijednosti te koliko jako odstupaju od ostalih podataka.

U analizi trendova nizova podataka korištena je obična linearna regresija, a signifikantnost je utvrđena Mann-Kendallovim testom na razini signifikantnosti od 5% (Sneyers, 1990).

Od mjera pogrešaka još se računala pristranost modela (BIAS) i korijen srednje kvadratne pogreške (eng. *Root Mean Square Error*, RMSE). Pristranost modela se računala kao zбој svih odstupanja od linearne regresije dok srednja kvadratna pogreška kao kvadrat svih odstupanja. Tako RMSE prikazuje kolika je raspršenost podataka, odnosno koliko podaci odstupaju od regresije, a BIAS na koji način se to odstupanje

Tablica 2.2. Poveznica između vinogradarskih zona i vrijednosti GDD indeksa [°C].

vinogradarska zona	iznos GDD indeksa
A	1111 - 1389
B	1389 - 1667
C1	1667 - 1944
C2	1994 - 2222
C3	2222 - 2700

dogada.

## 2.5. Agroklimatološki indeksi

Iz meteoroloških parametara računali su se osnovni agroklimatološki indeksi. To su *Growing Degree Day* (GDD), poznatiji i kao Winklerov indeks (WI) te srednja temperatura u sezoni rasta (*Growing Season Temperature*, GST).

Winklerov indeks pokazatelj je akumulirane topline iznad određenog temperaturnog praga. Temperaturni prag ili vegetacijska nulta točka jest ona temperatura na kojoj biljka počinje akumulirati toplinu za potrebe razvoja. Ispod te temperature biljka prestaje rasti. Za voćke se uzima temperaturni prag od 5 °C, dok za vinovu lozu on iznosi 10 °C. Računa se prema fomuli:

$$GDD = \sum_{i=1.4}^{31.10.} \frac{T_{max,i} + T_{min,i}}{2} - T_p, \quad (2.1.)$$

gdje je  $T_{max}$  maksimalna dnevna temperatura,  $T_{min}$  minimalna dnevna temperatura, a  $T_p$  spomenuti temperaturni prag. U sumi,  $i$  označava dane u godini u određenom razdoblju koji se zbrajaju. Ako je srednja dnevna temperatura manja od temperaturnog praga, tada se uzima da je akumulirana topline toga dana jednaka nuli. Temeljem spomenutih temperaturnih suma moguće je predvidjeti početak neke fenološke faze na način da se zbroji akumulirana topline do dana nastupa fenofaze.

GST indeks označava temperaturu, odnosno srednju vrijednost srednjih mjesečnih vrijednosti u vegetativnom dijelu godine. Njime se jednostavno mogu odrediti temperaturne prilike te odrediti koje poljoprivredne kulture bi mogle uspijevati na određenom području. Računa se kao:

$$GST = \frac{\sum_{i=4}^{10} T_i}{7}, \quad (2.2.)$$

pri čemu je  $T_i$  srednja mjesečna temperatura, a  $i$  promatrani mjesec.



## 2.6. Statistički modeli analize i statistički modeli

Kako bi se pronašli modeli kojima bi se, pomoću meteoroloških elemenata, najbolje simulirali i prognozirali nastupi fenoloških faza, korišten je GDD indeks kao i metoda višestruke linearne regresije.

GDD model bazira se na temelju akumulirane topline do dana nastupa određene fenofaze (Formula 2.1., ali s promjenjenim granicama sume). Na primjer, ukoliko se pupanje opazilo 10. travnja, temperaturna suma računala se od 1. ožujka do 10. travnja. Nakon što se za svaku godinu izračunao indeks, uzeo se medijan tog niza. Smatra se da ta vrijednost predstavlja potrebnu toplinu kako bi se pokrenula promatrana fenofaza. Nakon toga, za svaku godinu računalo se do kojeg će se datuma nakupljati toplina kako bi zadovoljili uvjet medijana. Promatralo se zasebno za postaje, ali i ukupno za određenu sortu vinove loze (npr. Daruvar i Križevci zajedno za sortu 'Graševina'). Iako je opće prihvaćeno kako je temperaturni prag za vinovu lozu 10 °C, također se u obzir uzimao i prag od 5 °C. Šezdesetogodišnje razdoblje rastavilo se na dva po trideset godina gdje je prvo razdoblje služilo za kalibraciju statističkog modela, a drugo razdoblje za njegovu verifikaciju. Tako se za svaku postaju definiraju četiri GDD statistička modela: (1) GDD medijan za postaju za temperaturni prag od 10 °C (GDD 10) te (2) za prag od 5 °C (GDD 5), (3) GDD medijan obiju postaja u kojima je promatrana ista sorta za temperaturni prag od 10 °C (GDD Med 10) te (4) za prag od 5 °C (GDD Med 5). Rezultati su prikazani na slikama 3.9.-3.12. Histogramima odstupanja od opaženih vrijednosti nastojao se pružiti uvid u to koliko statistički modeli prate normalnu razdiobu te jesu li centrirani oko nule ili postoji pristranost (BIAS).

Agroklimatske indekse odlikuju jednostavnost i mali broj potrebnih osnovnih meteoroloških elemenata. Ti elementi mjere se na gotovo svakoj postaji te mjerenja imaju duge nizove. Međutim, oborina također ima veliku ulogu u rastu i razvoju biljaka. Iz tog razloga, u analizi je korištena i metoda višestruke linearne regresije. Navedenom metodom nastojalo se odrediti koji su elementi najznačajniji u određenoj vegetacijskoj fazi. Za njihovo određivanje korišten je prilagođeni koeficijent korelacije koji indirektno ukazuje na to u kojoj mjeri nova varijabla zaista pomaže u regresiji. Prilagođeni koeficijent korelacije računa se prema formuli:

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - r^2)(N - 1)}{N - p - 1}. \quad (2.3.)$$

$R^2$  u gornjoj jednadžbi predstavlja običan  $r$  kvadrat koeficijent,  $N$  ukupan broj podataka, a  $p$  broj ovisnih varijabli. Višestruka linearna regresija računala se za sve moguće kombinacije parametara ( $T_{min}$ ,  $T_{sr}$ ,  $T_{max}$  i oborina). Promatrane meteorološke vrijednosti uzimale su se na sljedeći način: ukoliko se nastup fenofaze dogodio 14. u mjesecu, tada se taj mjesec nije uzimao u obzir, a ako se dogodio 15. i kasnije, tada je cijeli taj mjesec ušao u izračun. Ona regresija, koja ima najveći prilagođeni koefici-

jent korelacije, smatrala se valjanom te se s njezinim koeficijentima radila verifikacija modela. Također, i ovdje je kalibracija bila u razdoblju 1961.-1990. godine, a verifikacija 1991.-2020. godine. U ovom radu koristila su se dva statistička modela višestruke linearne regresije, jedan koji se bazirao samo na temperaturama, a u drugom se, uz temperaturu, još nadodala i oborina.

## 2.7. STICS

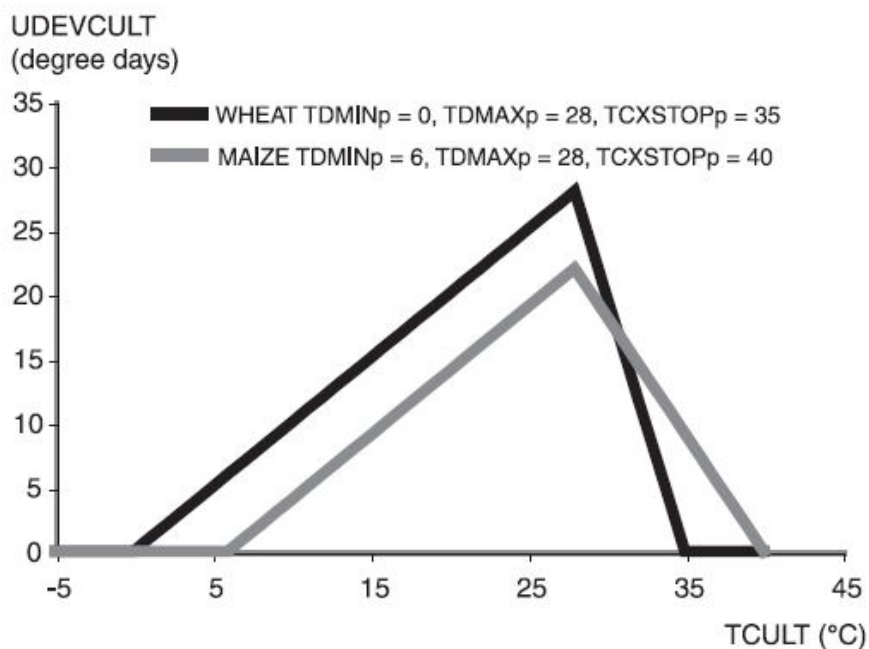
Osim statističkih modela, postoje i modeli razvoja biljaka koji na temelju agronomskih, pedoloških i meteoroloških parametara simuliraju količinu prinosa i nastupe fenofaza. Jedan od takvih je i STICS model razvijen u Francuskoj (*Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard*, Brisson i sur., 2003). STICS je model koji simulira odnose tlo-biljka-atmosfera na temelju ravnoteže vode, ugljika i dušika potrebnih kod rasta različitih vrsta usjeva bilo jednogodišnjih i/ili višegodišnjih, zeljastih i/ili drvenastih. Simulacije modelom STICS pokazuju funkcioniranje usjeva u dnevnom vremenskom koraku na razini polja za prosječnu biljku, s ulaznim varijablama koje se odnose na klimu, tlo te upravljanje usjevima. Model je prvotno namijenjen kulturama poput pšenice i kukuruza, a kasnije je proširen i na vinovu lozu (De Cortázar Atauri, 2006). Potrebno je naglasiti kako je model implementiran za svega nekoliko sorti vinove loze koje su ponajviše internacionalne. Neke od njih su 'Sauvignon', 'Merlot', 'Chardonnay' i 'Pinot'.

Meteorološki dio baziran je na temelju akumulirane topline. Međutim, temperatura zraka na 2 metra visine nije jednaka temperaturi biljke stoga se umjesto GDD indeksa koristila formula:

$$\begin{aligned}
 &za\ TCULT \leq TDMIN_p : UDEVCULT = 0 \\
 &za\ TDMIN_p < TCULT < TDMAX_p : UDEVCULT = TCULT - TDMIN_p \\
 &za\ TDMAX \leq TCULT < TCXSTOP_p := \frac{TDMAX_p - TDMIN_p}{TDMAX_p - TCXSTOP_p}(TCULT - TCXSTOP_p) \\
 &za\ TCULT \geq TCXSTOP_p : UDEVCULT = 0.
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Parametar  $TDMIN_p$  predstavlja vegetacijsku nultu točku (isto kao i temperaturni prag u GDD indeksu),  $TDMAX_p$  temperatura pri kojoj je razvoj biljke maksimalan, a  $TCXSTOP_p$  maksimalna temperatura iznad koje razvoj biljke staje.  $TCULT$  je srednja dnevna temperatura biljke, a  $UDEVCULT$  efektivna temperatura potrebna za razvoj biljke (Slika 2.2.).

Ulazni podaci mogu se podijeliti u četiri osnovne skupine/četiri modula (Brisson i sur, 2003). Prva skupina opisuje ekofiziologiju biljke i njezine dijelove iznad tla. Tu spadaju razvojne faze, rast i formiranje prinosa. Drugi set podataka bavi se tлом i



Slika 2.2. Grafički prikaz Formule 2.4. za efektivnu temperaturu ( $UDEVCULT$ ) u ovisnosti o srednjoj dnevnoj temperaturi biljke ( $TCULT$ ) za parametre svojstvene kukuruzu i pšenici (Brisson i sur., 2008).

njegovim utjecajem na dijelove biljke ispod tla. Treći modul naziva se još i upravljanje usjevom (*crop management*). Tu se u obzir uzimaju agronomske tehnike obrade tla i njegovanje biljke poput navodnjavanja i gnojidbe. Zadnji dio koji ulazi u proračun modela usjeva je mikroklima gdje se na temelju meteoroloških mjerenja računaju evapotranspiracija i radijacija. Navedene veličine imaju važnu ulogu u rastu i razvoju biljke. Važno je istaknuti kako je rast usjeva pokretan ponajviše akumulacijom ugljika i dušika.

Zbog nedostatka agronomskih i pedoloških podataka, ovaj rad uzeo je u obzir samo promjenu meteoroloških parametara dok su ostali bili nepromijenjeni, odnosno uzete su zadane vrijednosti koje STICS posjeduje. Iz meteoroloških vrijednosti računala se akumulirana toplina potrebna za određene razvojne faze biljke.

Početni parametri zadani su za svaku vrstu i sortu. Međutim, proračun modelom bez kvalitetnih vrijednosti ulaznih i parametrizacijskih parametara dovodi do netočnih rezultata. Kako su odabrane sorte 'Graševina' i 'Plavac mali' koje nisu definirane u modelu, iskoristile su se postavke sorata koje su im relativno slične; 'Chardonnay' i 'Merlot'. Iz tog razloga, potrebno je optimizirati parametre modela kako bi se dobili što bolji rezultati. Iako je poželjno optimizirati što više parametara, u stvarnosti se povećanjem parametara komplicira model. Stoga je potrebno pronaći kompromis kao i najmanji broj parametara dovoljan za kvalitetnu optimizaciju. U ovom radu odabrano je 10 parametara. To su parametri koji su zajednički svim unaprijed zadanim sortama, a koji su bili različitih vrijednosti. Prvi od njih je *stdordebour* koji reprezentira aku-

Tablica 2.3. Parametri uzeti u optimizaciji modela

parametar	mjerna jedinica	početna vrijednost
stdordebours	GDD	7000
stdrpnou	GDD	90
deshydbase	$g(\text{vode}) \times g(\text{FM})^{-1} \times \text{°C}^{-1}$	0,0015
stamflax	GDD	1000
stlevdrp	GDD	300
stflodrp	GDD	150
stdrpdess	GDD	100
jvc	N	100
afruitpot	°C/dan	3
dureefruit	GDD	1300

muliranu toplinu između faze mirovanja i pupanja. *Stdrpnou* predstavlja akumuliranu toplinu između početka punjenja bobica biomasom (DRP) i kraju zametanja plodova (NOU) i bitan je za rast usjeva. Parametar *deshydbase* govori u kolikoj mjeri se mijenja udio vode u plodu. Budući da je model za uvjet berbe uzimao količinu vode (vrijednost jednaka počenoj vrijednosti u optimizaciji u Tablici 2.3.), spomenuti parametar izuzetno je bitan u optimizaciji. Sljedeći parametar jest *stamflax*. On je pokazatelj akumulirane topline između maksimalnog rasta lista (AMF) i njegove maksimalne veličine (LAX). Parametar LAX neovisan je o razvoju biljke i može se ostvariti prije fenološke faze DRP, ali i nakon nje. *Stlevdrp* prezentira akumuliranu toplinu između pupanja (LEV) i početka punjenja bobica biomasom, tj. u našem slučaju između pupanja i kraja cvatnje. *Stflodrp* govori koliko je potrebno akumulirane topline između početka cvatnje i kraja cvatnje. Sljedeći bitan parametar je *stdebdes*. On govori koliko je potrebno akumulirane topline između početka punjenja bobica biomasom i početka dinamike vode u bobicama. Parametar *jvc* označava koliko je minimalno potrebno dana vernalizacije<sup>2</sup>. *Afruitpot* je maksimalan broj zametnutih plodova u jedinici GDD-a dok *dureefruit* prezentira koliko je potrebno akumulirane topline da se završi vegetacijski ciklus. Tablicom 2.3. prikazani su mjerne jedinice svih navedenih parametara i njihovih početnih vrijednosti u optimizaciji. Bitno je ponoviti kako se ovdje nije promatrala šara, već kraj cvatnje (u vegetativnom razvoju) zato što STICS ne daje dan nastupa šare.

Optimizacija radi na temelju Nelder-Mead simplex metode. To je lokalna metoda traženja minimalne vrijednosti funkcije u višedimenzionalnom prostoru. Radi na način da malo promijeni vrijednost jednog parametra, računa tražene vrijednosti i uspoređuje ih s opaženim. Zbog toga je od velike važnosti imati što više opaženih podataka.

<sup>2</sup>Vernalizacija (od latinskog *vernus*, "proljeće") je indukcija procesa cvjetanja biljke izlaganjem dugotrajnoj hladnoći tijekom zime ili umjetnim ekvivalentom. Nakon vernalizacije, biljke su stekle sposobnost cvjetanja (<https://en.wikipedia.org/wiki/Vernalization>, 17.8.2022.)

Ti podaci u ovom radu su fenološke faze pupanje, cvatnja, kraj cvatnje i berba. Fenološka faza DRP, odnosno početak punjenja bobica biomasom, prvi je stadij nakon kraja cvatnje, stoga bi se moglo aproksimirati da je ta faza ekvivalentna kraju cvatnje. Više opaženih podataka i više stupnjeva fenofaza omogućit će točnije i konzistentnije rezultate stoga je spomenuta aproksimacija valjana.

Primjena modela STICS se vršila u nekoliko koraka; (i) usporedba rezultata STICS modela na temelju mjerenja i nastupa fenofaza na sve četiri postaje s mjerenjima; (ii) proračun modelom STICS s rezultatima klimatskog modela COSMO i usporedba s mjerenjima po postajama za razdoblje (1999.-2009.); (iii) primjena modela STICS za izlazne rezultate klimatskog modela za buduće klimatske uvijete (2044.-2053.).

## **2.8. COSMO model**

COSMO model (*CO*nsortium for *S*mall-scale *MO*delling) regionalni je klimatski model razvijen u njemačkoj meteorološkoj zajednici (Njemačka, Švicarska). To je nehidrostatički model koji opisuje atmosferu kao kompresibilni fluid (Ban i sur., 2014). Baziran je na primitivnim termo-hidrodinamičkim jednadžbama u vlažnoj atmosferi. Glavna prednost regionalnih modela u odnosu na globalne je ta što je razlučivost veća. Tako na primjer, duboku konvekciju koja je lokalnog karaktera gotovo je nemoguće uhvatiti globalnim modelom koji imaju razlučivost do 12 km u kojima su procesi male skale nužno parametrizirani. COSMO model ima mrežni korak u rasponu od 1 do 3 km i može eksplicitno razlučiti procese male skale kao što je duboka konvekcija. Može biti u prognostičkom ili kako je slučaj u ovom radu u klimatskom modu. Ograničenja regionalnog klimatskog modela su postavljanje početnih i rubnih uvjeta jer se simulacije rade na limitiranom području nad Europom. Međutim, spomenuti model ima mogućnost komunikacije s globalnim modelima te preuzimanje njegovih produkata za potrebe početnih i rubnih uvjeta. Više o modelu može se naći u Ban i sur. (2014).

Rezultati koje model daje nisu kontinuirani već su podijeljeni u dva razdoblja. Prvo razdoblje od 1999.-2009. godine predstavlja uvjete sadašnje klime. Drugo razdoblje nalazi se na sredini stoljeća, to su godine od 2044.-2053. kao bliža buduća klima. Kratkoća razdoblja je kompromis između velike pohrane podataka klimatskih simulacija, računalnih resursa te velike razlučivosti modela. Podacima iz klimatskih modela COSMO promatralo se kako će se nastupi fenoloških faza ponašati u budućoj klimi.

### 3. Rezultati i diskusija

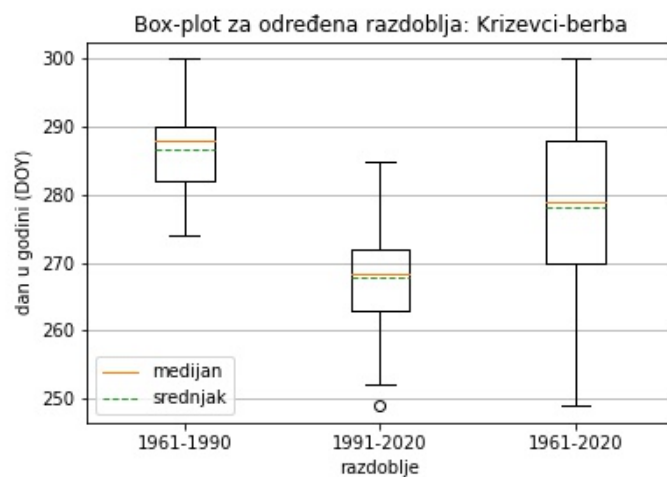
U sljedećim potpoglavljima prvo su se posebno analizirali fenološki i meteorološki podaci, a zatim se razmatrao međusobni utjecaj.

#### 3.1. Statistika fenologije

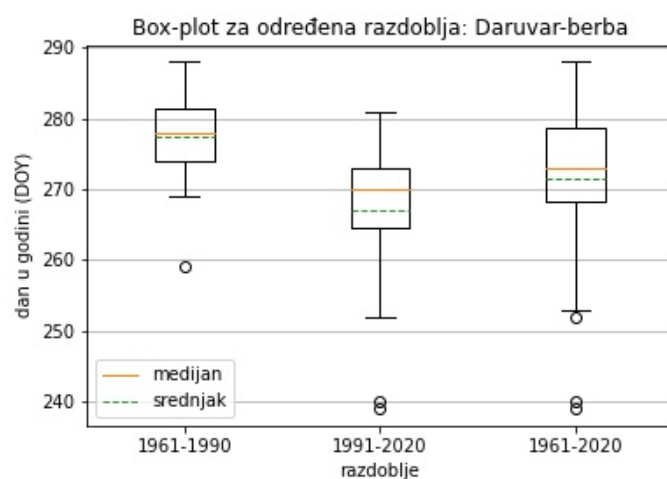
Promatrajući osnovnu statistiku (Tablica 3.1.), srednjak nastupa fenoloških faza na kontinentalnim postajama razlikuje se za maksimalno 4 dana. S druge strane, na otočnim varira u rasponu standardne devijacije. Najveća razlika je između pupanja 'Plavca malog' od dvanaest dana. Medijani su gotovo jednaki srednjim vrijednostima s maksimalnim odstupanjem od dva dana.

Tablica 3.1. Osnovna statistika fenologije. Sred i med predstavljaju srednjak i medijan, min i max minimalnu odnosno maksimalnu vrijednost, q1 i q3 prvi i treći kvartil, std standardnu devijaciju, amp amplitudu, a Cv koeficijent simetrije.

postaja/sorta	faza	sred	med	min	q1	q3	max	std	amp	Cv
	pupanje	112	112	91	106	118	129	8,3	38	0,1
Daruvar	cvatnja	159	158	127	153	164	180	8,7	53	0,1
'Graševina'	šara	236	237	210	231	241	253	8	43	0
	berba	272	273	239	268	279	288	10,1	49	0
	pupanje	115	117	95	109	121	130	8,1	35	0,1
Križevci	cvatnja	159	159	131	156	163	177	8,6	46	0,1
'Graševina'	šara	239	239	225	232	245	263	9,2	38	0
	berba	278	279	249	270	288	300	12,3	51	0
	pupanje	96	98	77	89	104	112	10,1	35	0,1
Hvar	cvatnja	147	146	130	143	153	165	7,8	35	0,1
'Plavac mali'	šara	229	228	215	224	234	253	7,6	38	0
	berba	271	272	253	267	275	286	7,1	33	0
	pupanje	108	108	87	102	115	124	8,4	37	0,1
Lastovo	cvatnja	149	148	134	145	153	171	6,9	37	0
'Plavac mali'	šara	220	218	194	210	230	248	13,2	54	0,1
	berba	271	271	248	265	276	289	8,8	41	0



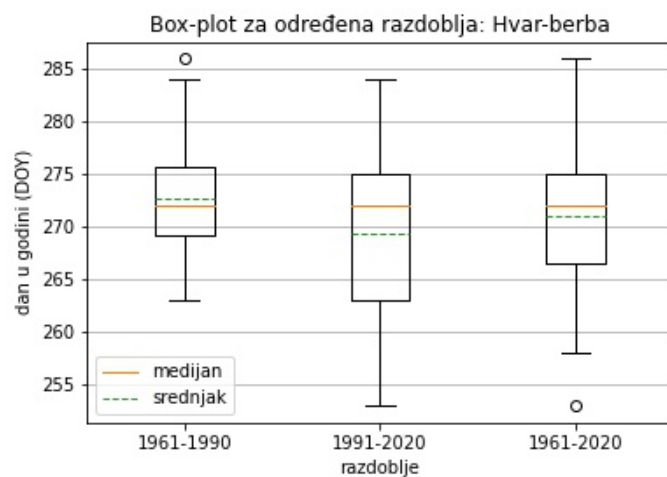
(a) Križevci



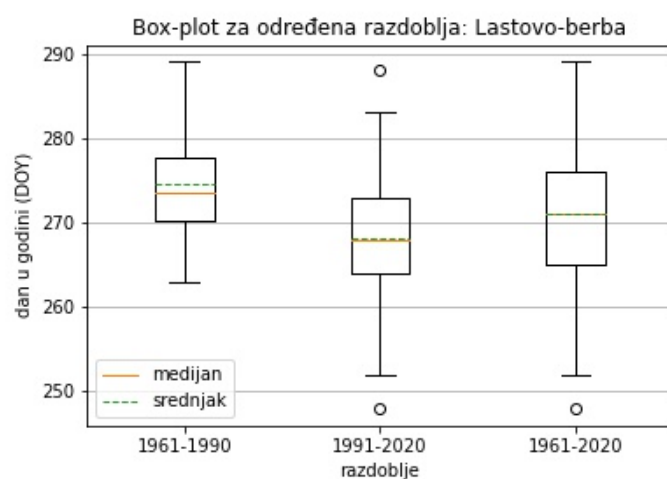
(b) Daruvar

Slika 3.1. Kutijasti dijagrami nastupa berbe za sortu 'Graševina' na postajama Križevci i Daruvar. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.

Na slikama 3.1., 3.2. i 3.3. prikazani su neki od kutijastih dijagrama nastupa fenofaza. Podaci su razdijeljeni u dva razdoblja: 1961.-1990. te 1991.-2020. To su zadnje dvije klimatske normale, a smatra se da se klima u jednoj normali ne mijenja značajno. Vidljivo je kako se u zadnjem razdoblju nastupi faza događaju znatno ranije. Maksimalni pomak je kod berbe u Križevcima (Slika 3.1a.) gdje se medijan razlikuje za čak 20 dana. S druge strane, za istu sortu u Daruvaru (Slika 3.1b.) razlika medijana je 8 dana. Ti trendovi analizirat će se u sljedećim poglavljima. Zanimljivo je kako se na Hvaru medijan nastupa berbe nije promijenio dok na Lastovu postoji pomak za oko tjedan dana (Slika 3.2.). Kružići u dijagramima prikazuju podatke koji znatno odstupaju od ostalih. Uvidom u bazu, ekstremni događaji u pravilu se ne događaju zadnjih godina već su izolirani događaji. Međutim, povezani su s toplijim godinama na način da su se nastupi fenofaza dogodili ranije što već ukazuje na povezanost fenofaza s temperaturom.



(a) Hvar



(b) Lastovo

Slika 3.2. Kutijasti dijagrami nastupa berbe za sortu 'Plavac mali' na postaaama Hvar i Lastovo. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.

Na Slici 3.3. vidljivo je kako pupanje 'Plavca malog' nastupa ranije od 'Graševine', ali berba se odvija u gotovo iste dane. Isto kao i kod pupanja, raniji nastup fenofaza cvatnje i šare vidljiv je kod 'Plavca malog' (Slika A1).

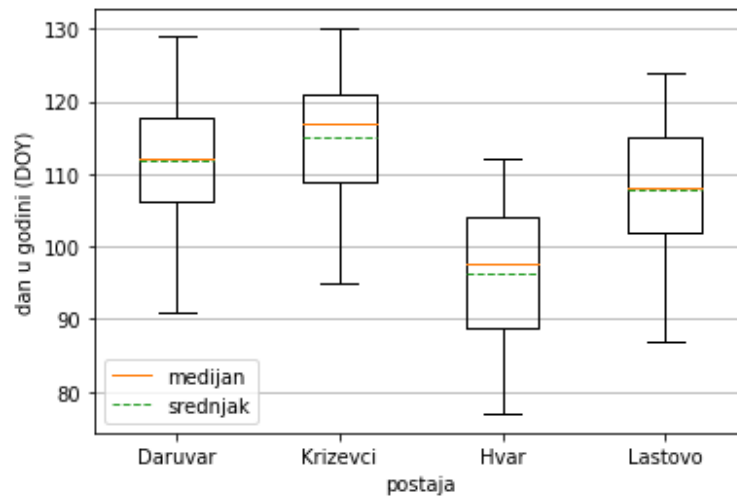
### 3.2. Fenološki trendovi

U prethodnom potpoglavlju pokazalo se kako se nastupi fenoloških faza događaju znatno ranije. Prirodno se nameće pitanje kakav je i koliki trend.

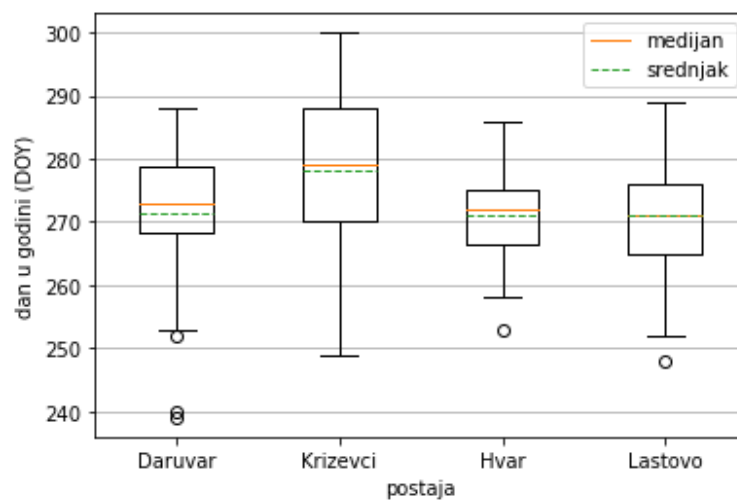
Negativan trend, odnosno sve raniji nastupi fenoloških faza, uočeno je na 3 od 4 promatrane faze, iznimka je šara. Trendovi prema Mann Kendall-u u velikoj većini su značajni na nivou signifikantnosti od 5%.

Ukoliko se podaci rastave u dva zasebna, već prije promatrana razdoblja, može se uočiti kako u zadnjem razdoblju postoji mnogo veći negativan trend na svim posta-





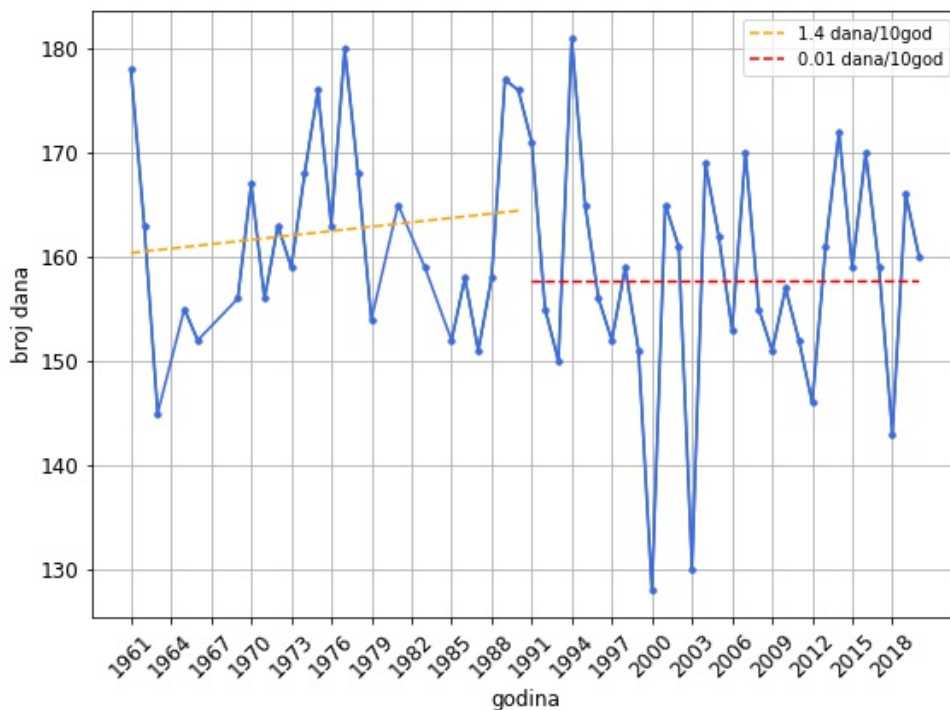
(a) Pupanje



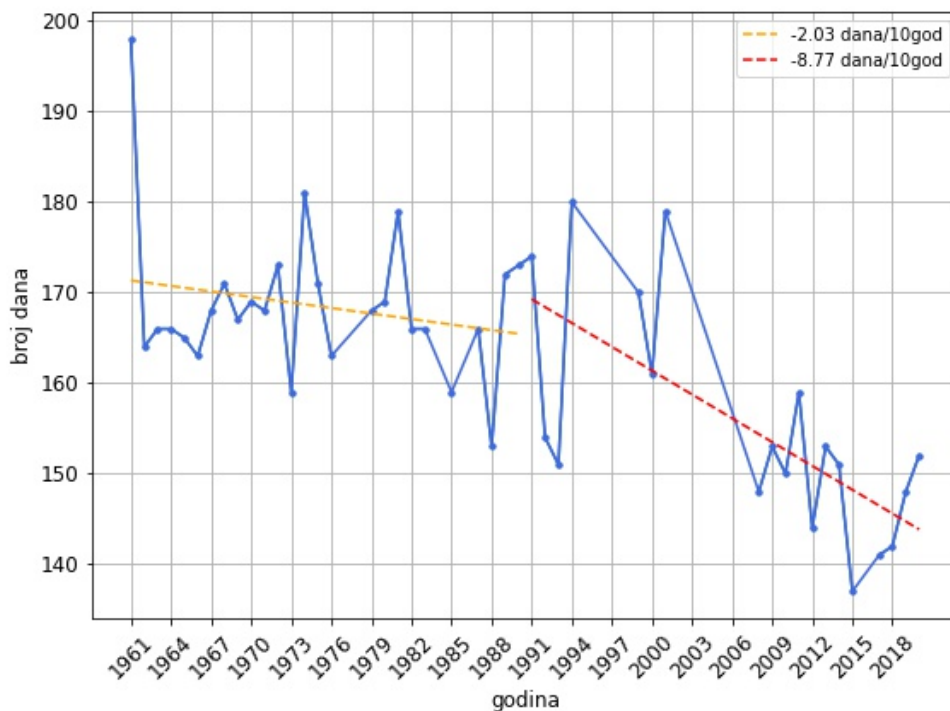
(b) Berba

Slika 3.3. Kutijasti dijagrami nastupa fenološke faze u razdoblju 1961.-2020. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.

jama. Jedino pupanje u Križevcima (Slika A2) ima pozitivnu vrijednost nagiba. Berba na svim postajama ima mnogo jači negativan trend od ostalih faza. Iako u šesdesetogodišnjoj statistici šara pokazuje rastući niz, u zadnjem tridesetogodišnjem razdoblju se gubi te i on postaje negativan.



(a) Daruvar



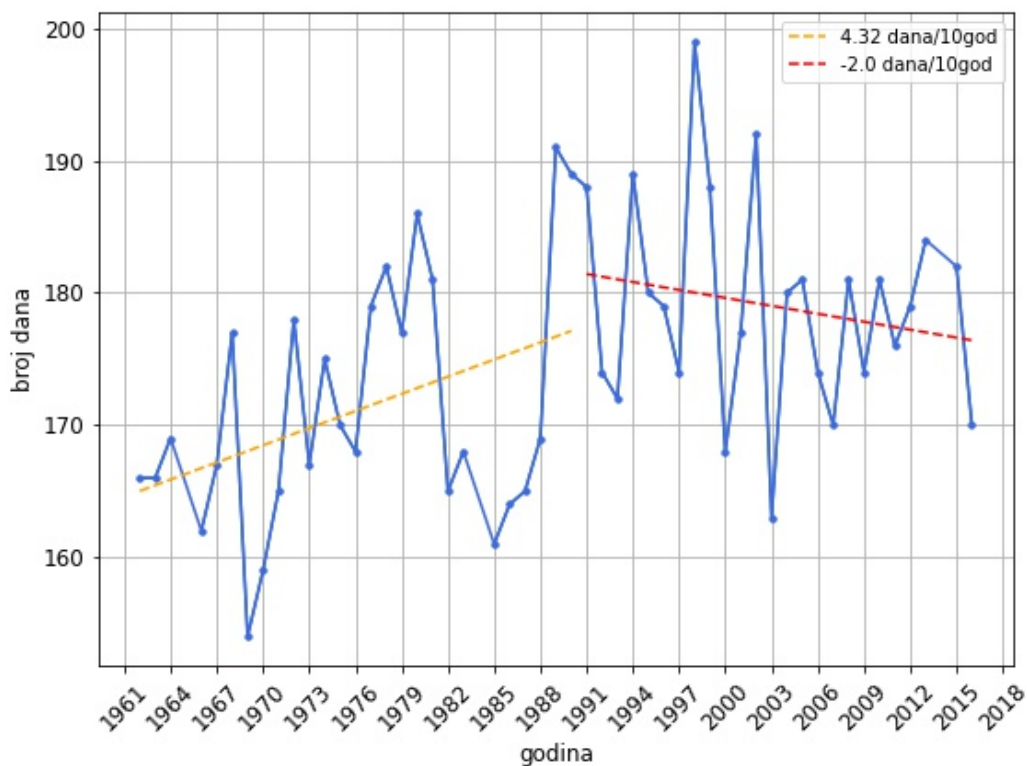
(b) Križevci

Slika 3.4. Grafički prikaz broja dana između pupanja i berbe za kontinentalne postaje za sortu *Graševina* u razdoblju 1961. - 2020. Razlika u nastupima fenofaza (berba-pupanje) se može promatrati kao vegetativni dio ciklusa vinove loze. Godine u kojima nema vrijednosti nisu bile opažene fenološke faze.

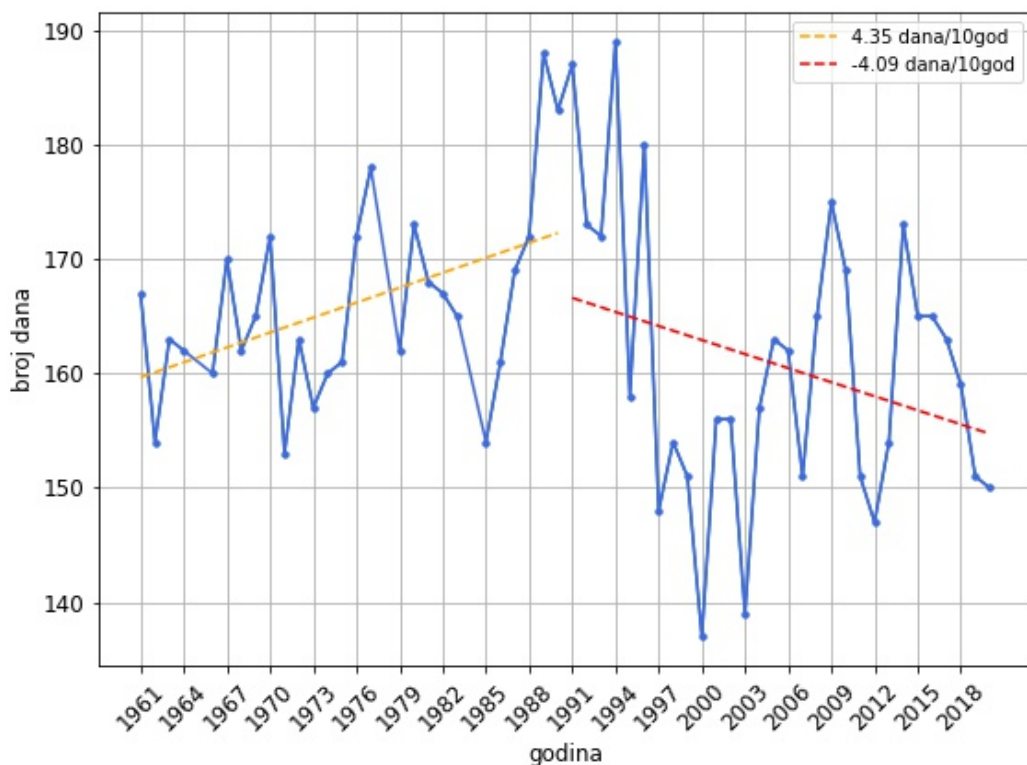
Zbog razlike u nagibu linearne regresije između faza također postoje trendovi i

unutar njih. Vremensko razdoblje između pupanja i berbe (Slika 3.4. i 3.5.) smanjuje se ponajviše u Križevcima što upućuje na kraći vegetativni ciklus vinove loze. Na ostalim postajama to nije toliko izraženo. Važno je istaknuti kako se na Hvaru to razdoblje značajno povećava za 0,26 dana godišnje ukoliko se promatra cjelokupnih 60 godina. Isto tako, Lastovo je jedina postaja na kojoj se ne uočavaju trendovi, niti su značajni. Međutim, promatrajući samo zadnjih 30 godina, jedino postaja Daruvar ne smanjuje broj dana vegetativnog ciklusa (Slika 3.4a.).

Rezultati trendova nastupa fenofaza po postajama nisu međusobno ujednačeni, ponekad niti za istu sortu. Za 'Plavac mali' može se reći da su trendovi konzistentni, s time da su na Hvaru linearni trendovi nešto blažeg nagiba (Slika 3.5.). Razlog tomu mogao bi biti u tome što se postaja Hvar nalazi na obalnoj strani blizu mora dok je vinograd na Lastovu smješten više u unutrašnjosti. Maritimni utjecaj daje blažu klimu s manje temperaturnih ekstrema, a ti ekstremi uzrokuju značajna odstupanja od srednje vrijednosti i lošije procjene trendova. S druge strane, za 'Graševinu' postoje značajne razlike (Slika 3.4.). Lošija procjena trenda u periodu 1991.-2020. mogla bi biti zbog toga što u Križevcima, od tih 30 godina, 9 ih je bez opažanja što čini čak 30% nedostajajućih podataka.



(a) Hvar



(b) Lastovo

Slika 3.5. Grafički prikaz broja dana između pupanja i berbe za sortu 'Plavac mali' za maritimne postaje (Hvar i Lastovo) u razdoblju 1961.-2020. Razlika u nastupima fenofaza (berba-pupanje) može se promatrati kao vegetativni dio ciklusa vinove loze.

Tablica 3.2. Osnovna statistika meteoroloških parametara za sve postaje u razdoblju 1991.-2020. Sred i med predstavljaju srednjak i medijan, min i max minimalnu odnosno maksimalnu vrijednost, q1 i q3 prvi i treći kvartil, std standardnu devijaciju, amp amplitudu, a Cv koeficijent simetrije.

postaja/sorta	parametar	sred	med	min	q1	q3	max	std	amp	Cv
	$T_{max}$ [°C]	17,1	18	-11,7	9,5	25	40,0	9,8	51,7	0,6
Daruvar	$T_{sr}$ [°C]	11,2	11,8	-14,8	4,6	18,1	30,9	8,4	45,7	0,7
'Graševina'	$T_{min}$ [°C]	6,3	6,8	-22,4	0,4	12,4	22,5	7,4	44,9	1,2
	<i>oborina</i> [mm]	2,5	0	0	0	1,5	111,6	6,2	111,6	2,5
	$T_{max}$ [°C]	15,6	16,6	-11,9	8	23,4	38,5	9,6	50,4	0,6
Križevci	$T_{sr}$ [°C]	10,5	11,2	-18,4	3,8	17,2	29,2	8,3	47,6	0,8
'Graševina'	$T_{min}$ [°C]	5,7	6	-25,5	-0,1	11,7	22,1	7,4	47,6	1,3
	<i>oborina</i> [mm]	2,2	0	0	0	1	71,3	5,6	71,3	2,6
	$T_{max}$ [°C]	20,2	19,8	-1,8	14,7	26	37,7	6,8	39,5	0,3
Hvar	$T_{sr}$ [°C]	16,6	16,2	-6,2	11,4	22,1	32,8	6,4	39	0,4
'Plavac mali'	$T_{min}$ [°C]	13,1	13,1	-7	8,2	18,4	29,4	6,3	36,4	0,5
	<i>oborina</i> [mm]	2	0	0	0	0,3	159	6,4	159	3,2
	$T_{max}$ [°C]	19,1	18,8	-3,5	13,3	25,1	38,3	7,2	41,8	0,4
Lastovo	$T_{sr}$ [°C]	15,9	15,4	-4,9	10,9	21,2	32,6	6,3	37,5	0,4
'Plavac mali'	$T_{min}$ [°C]	13,5	13,2	-6,8	9	18,5	29,6	5,9	36,4	0,4
	<i>oborina</i> [mm]	1,8	0	0	0	0,2	169,8	6,1	169,8	3,4

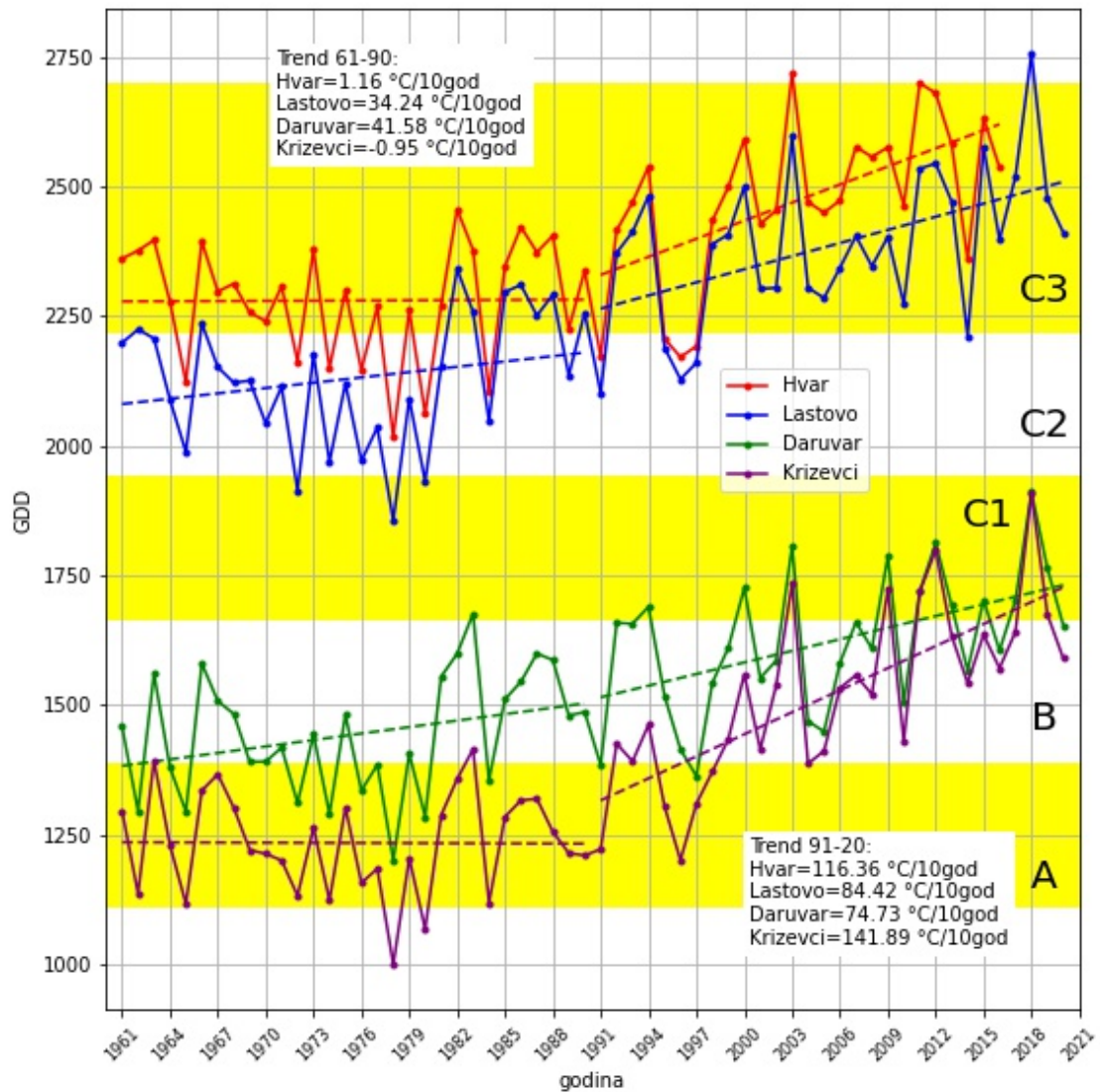
### 3.3. Temperaturni trendovi

Osnovna statistika meteoroloških parametara prikazana je u Tablici 3.2. Statistika se vršila na dnevnim podacima. Maksimalne vrijednosti maksimalnih temperatura nalaze se u intervalu između 38 °C i 40 °C. Takve temperature negativno utječu na vinovu lozu jer tada fotosinteza staje (za temperature > 35 °C; Penzar i Penzar, 2000). Minimalne temperature pokazuju veće razlike između kontinentalnih i obalnih postaja. U skladu s maritimnim utjecajem na Hvaru i Lastovu minimalne temperature su puno više od onih zabilježenih na kontinentu. Standardna devijacija najveća je za maksimalne temperature dok je najmanja za minimalne. Koeficijent simetrije za temperature je blago pozitivan. Na kontinentalnim postajama nešto je veća. S druge pak strane, za oborinu je koeficijent simetrije znan. Pozitivni koeficijent simetrije ukazuje na gama raspodjelu, odnosno da su podaci više pomaknuti prema manjim vrijednostima.

Za promatrane četiri postaje na temelju meteoroloških mjerenja izračunati su indeksi koji kvalitetno reprezentiraju temperaturne trendove i akumuliranu toplinu u agrometeorologiji. Ponajviše su to GDD i GST.

Godišnje vrijednosti GDD-a za temperaturni prag od 10 °C za sve postaje prikazane su na Slici 3.6. Linearna regresija rastavljena je u dva razdoblja zbog vidljivog jačeg trenda u posljednjem klimatskom razdoblju. Maksimalna razlika je u Križevcima gdje

je u prvom razdoblju blago negativan trend dok u drugom raste za čak 141,89 °C u 10 godina. Daruvar je u razdoblju 1961.-1990. imao konstantno veću akumuliranu toplinu od Križevaca za oko 150 °C, no posljednjih godina imaju gotovo jednake vrijednosti. Otočne postaje također pokazuju rastući trend od 116 °C/10god, odnosno 84 °C/10god.



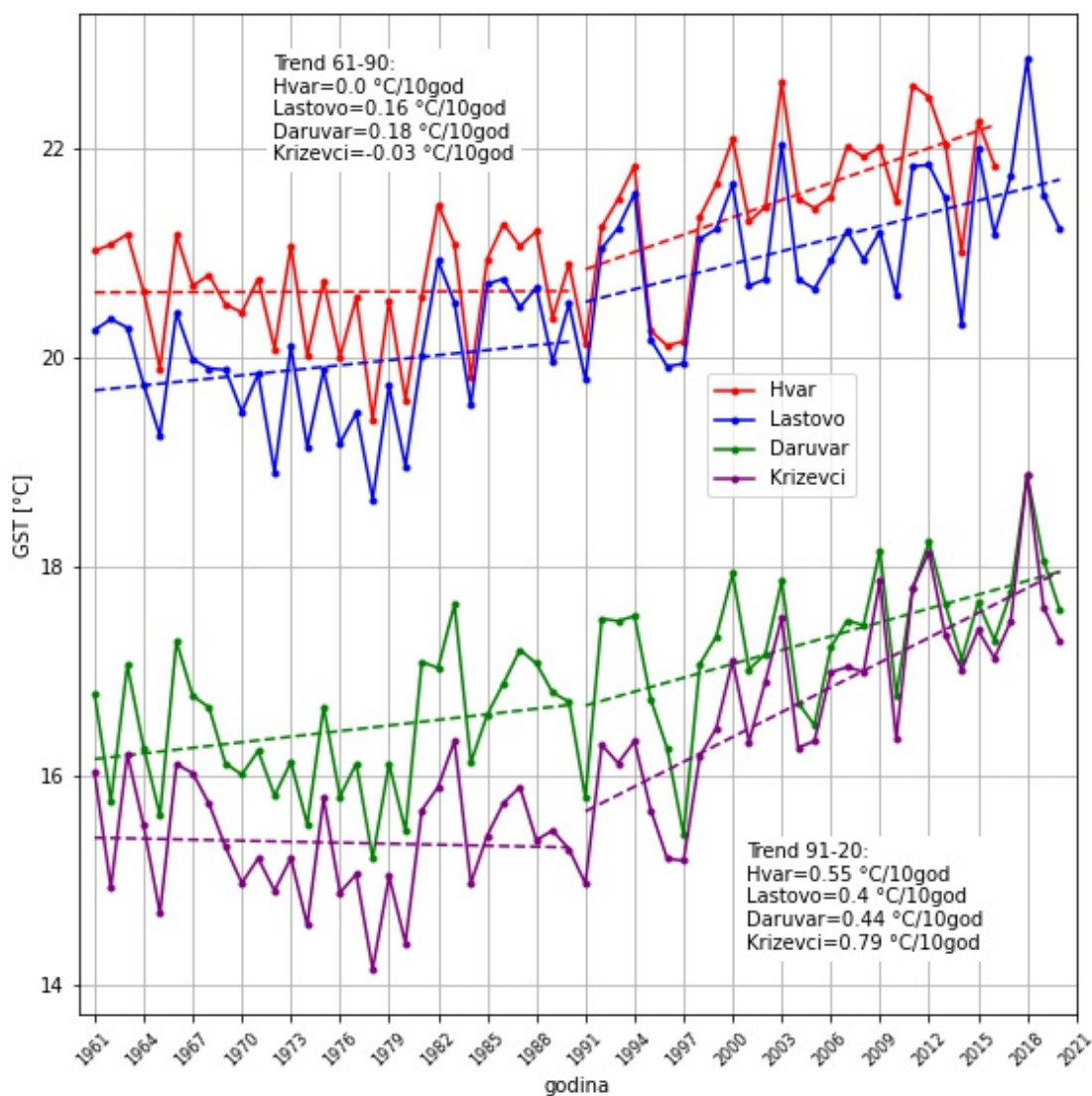
Slika 3.6. GDD indeks izračunat za vegetativni dio godine (1.4.-31.10). Linearni trendovi rastavljeni su u dva razdoblja zbog vidljivog jačeg rasta posljednjih 30 godina. Žuto-bijele pruge predstavljaju vinogradarske zone na temelju danog indeksa te su povezane sa oznakama A-C3.

Žuto-bijela područja predstavljaju vinogradarske zone (A, B, C1, C2, C3) određene na temelju GDD indeksa. Vidljivo je kako je jedino postaja Hvar u zadnjih 60 godina zadržala svoju zonu dok su ostale porasle. Postaja Križevci, s već spomenutim velikim porastom, u posljednjih 30 godina promijenila je čak 3 zone. Takve promjene izazivaju izuzetno velike stresove biljkama zbog čega je prilagodba vrlo otežana.

Za razliku od pupanja, cvatnje i šare, jedino berba pokazuje velike promjene. Treba

napomenuti kako je berba vrlo subjektivna faza te uvelike ovisi o čovjeku i nizu tehničkih mogućnosti provođenja same berbe; od zahtjeva za određenim udjelom šećera i kiselina u grožđu i željenom tipu vina, do meteoroloških uvjeta i/ili organizacije berbe. Postaja Križevci posljednjih godina prema klasifikaciji GDD ulaze u topliju vinogradarsku zonu C1.

Drugi promatrani indeks bio je GST. Trendovi su gotovo jednaki kao i za GDD. Slika 3.7. prikazuje godišnje vrijednosti i trendove. Vidljivo je kako se sve promatrane postaje zagrijavaju. Povećanje temperature posebice se očitava od sredine 90-ih godina, a jasno se vidi kako na maritimni postajama od 1997. godine GST indeks nije bio ispod 20 °C. Također, 70-ih godina vidljiv je pad indeksa, a početkom 80-ih početak neprekinutog pozitivnog trenda.



Slika 3.7. GST indeks po godinama za sve četiri promatrane postaje (Križevci, Daruvar, Hvar, Lastovo). Linearni trendovi također su rastavljeni u dva razdoblja.

### 3.4. GDD indeks i statistički modeli

Medijani akumulirane topline prema GDD indeksu za svaku fenofazu prikazani su na slici 3.8. Promatrani su temperaturni pragovi od 10 °C i 5 °C.

Za *Graševinu* su medijani nešto veći u Daruvaru, dok su za 'Plavac mali' veći na Hvaru, osim za pupanje gdje je razlika neznatna.

MEDIJAN GDD	PUPANJE		CVATNJA		ŠARA		BERBA	
	GDD 10	GDD 5	GDD 10	GDD 5	GDD 10	GDD 5	GDD 10	GDD 5
DARUVAR 1961-1990	81,1	305,95	378,1	849,4	1091,3	1917,1	1401	2397,1
KRIŽEVCI 1961-1990	49,1	233,3	278,3	674,5	978,8	1740,6	1229,1	2239,2
GRAŠEVINA TOT 1961-2020	68	269,7	334,05	764	1163,35	1979	1408,7	2405,7
HVAR 1961-1990	145,9	559,4	488,7	1149,9	1538	2590,8	2144,9	3394,8
LASTOVO 1961-1990	148,2	569	416,7	1025,2	1377,6	2411,4	1979	3235,7
PLAVAC TOT 1961-2020	132,7	550,7	452,2	1101,9	1512	2546,3	2165,9	3427,5

Slika 3.8. Medijani GDD indeksa [°C] za određene fenološke faze i postaje. 'Graševina tot' i 'Plavac tot' predstavljaju medijane kada se objedine podaci s postaja Daruvar i Križevci, odnosno postaja Lastovo i Hvar.

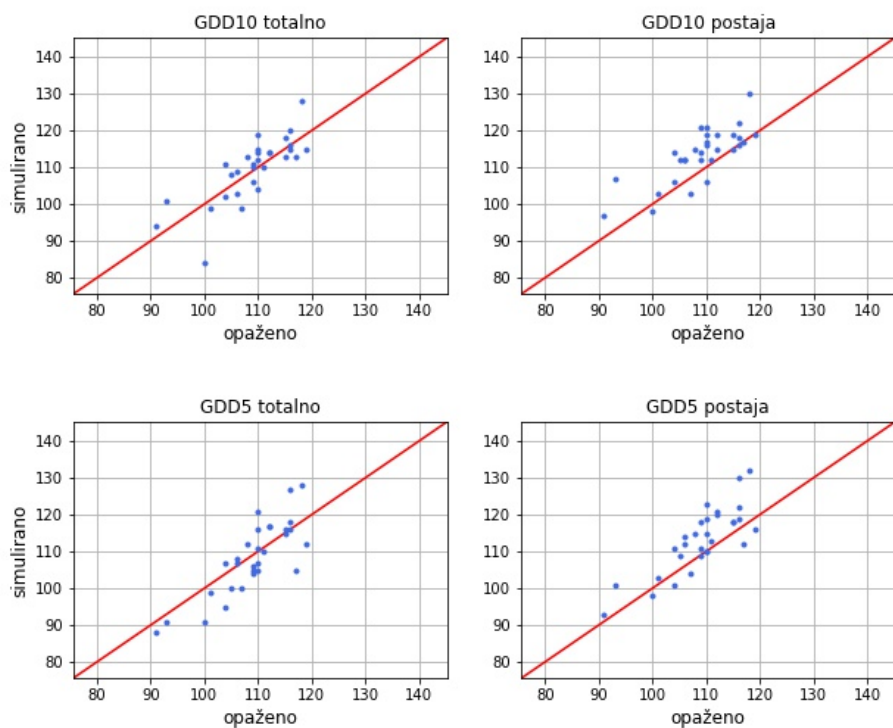
Prema vrijednostima iz Slike 3.8. u razdoblju 1991.-2020. godine rađena je verifikacija modela, točnije, promatrala se njegova uspješnost.

Za Daruvar, pupanje (Slika 3.9.) i cvatnja pokazuju jaku pozitivnu korelaciju, dok za šaru i berbu statistički modeli podcjenjuju vrijednosti s nešto manjom korelacijom. U Križevcima pupanje (Slika 3.10.) ima veliko odstupanje i raspršenost ( $r^2=0,002$ ,  $RMSE=11,58$ ), cvatnja je nešto bolja ( $r^2=0,22$ ,  $RMSE=10,46$ ), a berba je izuzetno jako korelirana ( $r^2=0,68$ ), ali ima pristranost ( $BIAS=-7,05$ ), odnosno modeli sustavno podcjenjuju vrijednosti (Tablica A1). Za šaru se ne može reći da su modeli prihvatljivi zbog velike raspršenosti i niskog koeficijenta korelacije. Modeli za postaju Hvar (Slika 3.11.) imaju velika odstupanja za gotovo sve fenološke faze. Jedino berba pokazuje određenu stopu korelacije ( $r^2=0,51$ ) s također podcjenjivanjem vrijednosti. Na Lastovu za cvatnju i berbu 'Plavca malog' modeli daju zadovoljavajuće rezultate dok pupanje (Slika 3.13.) i šara ( $BIAS=5,76$ ) ponovno pokazuju raspršenost podataka.

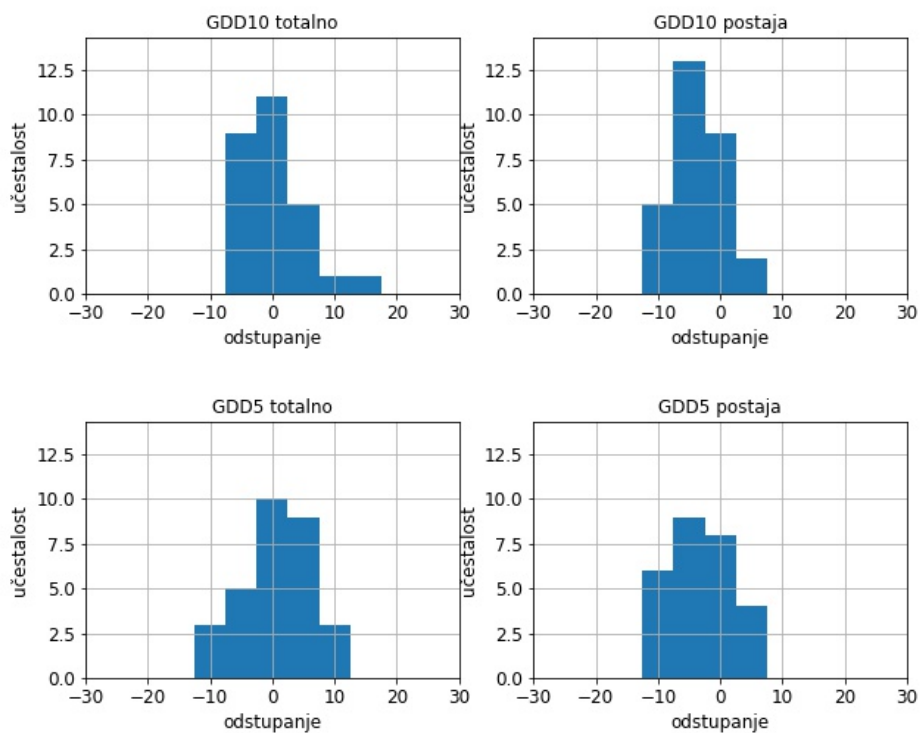
Promatrajući sve postaje zajedno (Tablica A1) lako se može uočiti kako je berba na svim postajama dobro korelirana s manjom pristranošću, odnosno podcjenjivanjem. Cvatnja se dobro modelira na tri od četiri promatrane postaje. Šara ne pokazuje znakove dobrog modeliranja na temelju akumulirane topline na temelju GDD indeksa.

Sva četiri modela daju slične rezultate. Ukoliko GDD10 ima veći BIAS, GDD5 model će ga smanjiti. Međutim, sustavno su bolji modeli "totalno" koji uzimaju medijan objiju postaja s istom sortom.



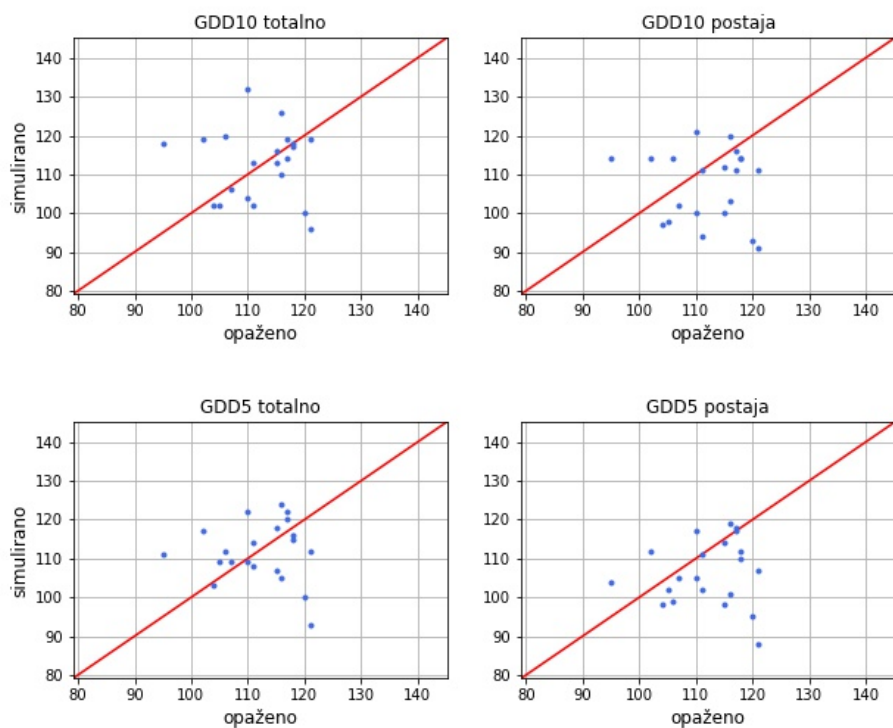


(a)

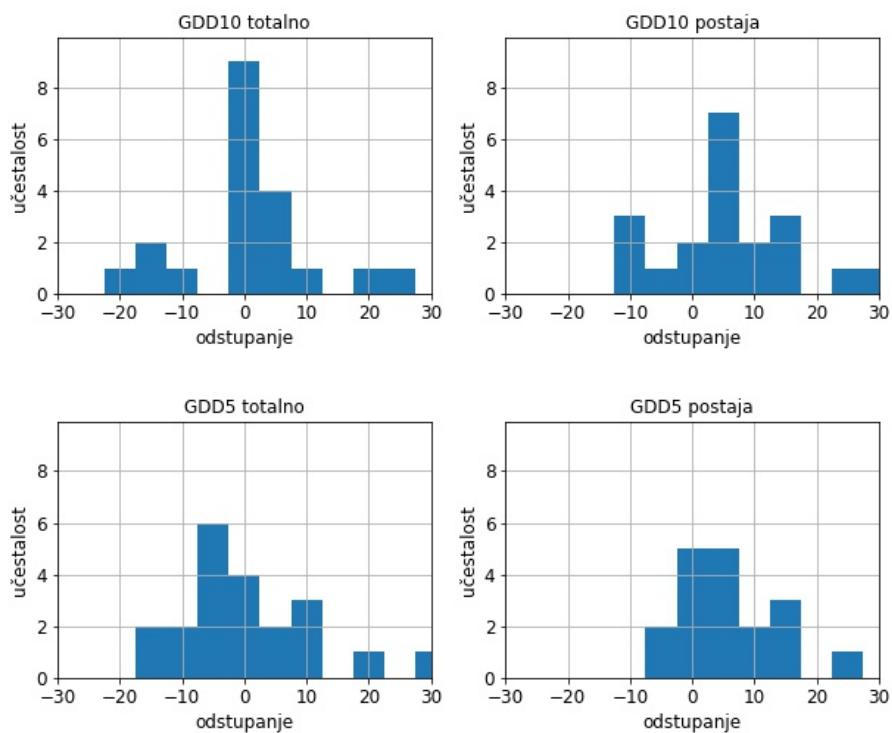


(b)

Slika 3.9. Odnos opaženih i simuliranih vrijednosti (gore) i histogram odstupanja (dolje) pupanja za postaju Daruvar. Model tipa *postaja* korespondira modelima GDD 10 i GDD 5, a *totalno* odgovara modelima GDD Med 10 i GDD Med 5.

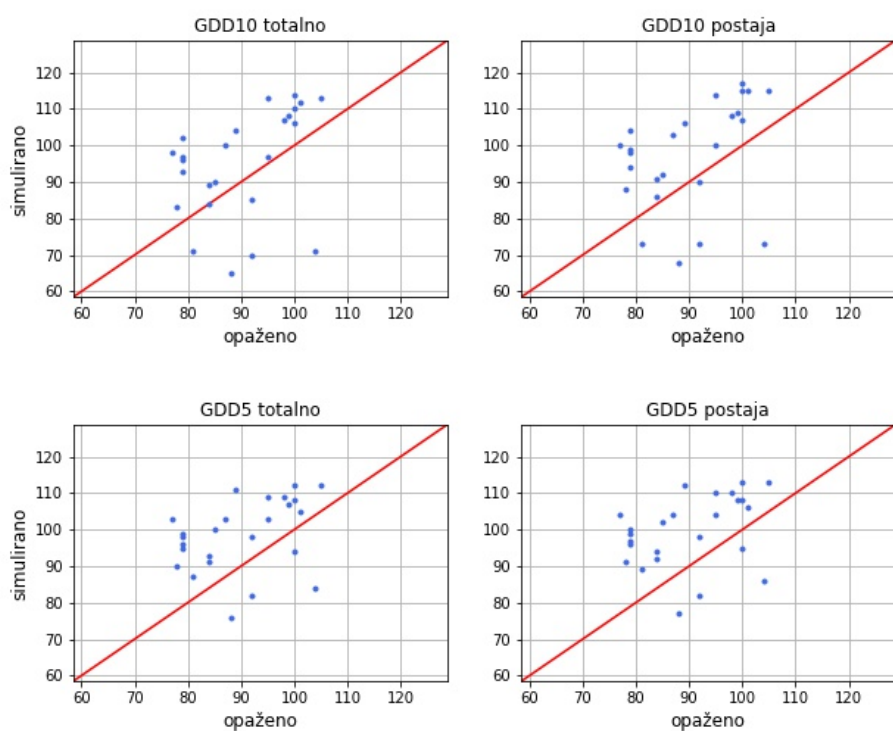


(a)

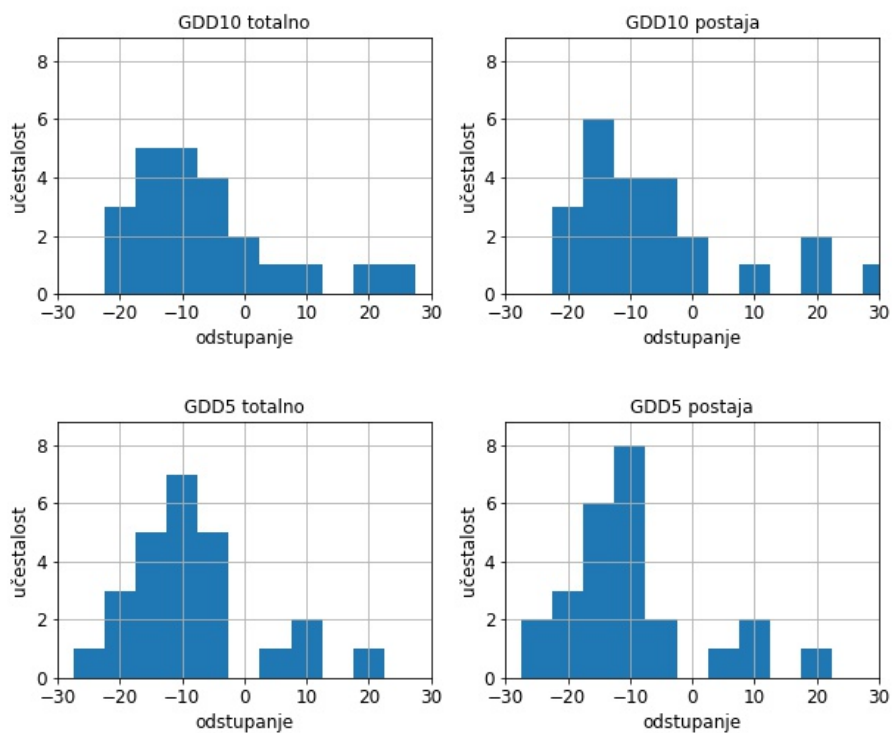


(b)

Slika 3.10. Odnos opaženih i simuliranih vrijednosti (gore) i histogram odstupanja (dolje) pupanja za postaju Križevci. Model tipa *postaja* korespondira modelima GDD 10 i GDD 5, a *totalno* odgovara modelima GDD Med 10 i GDD Med 5.

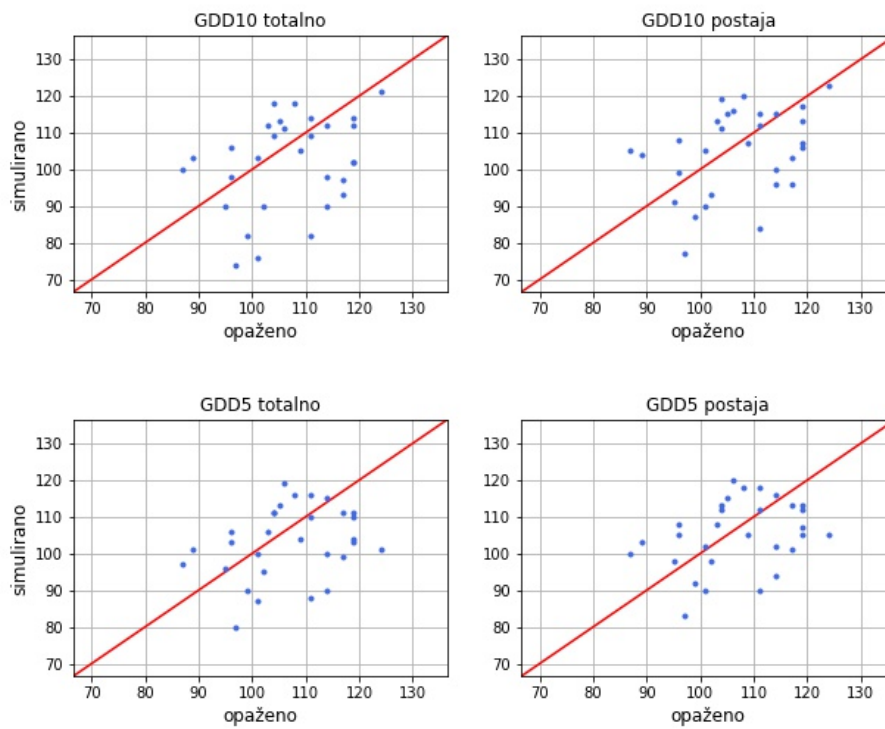


(a)

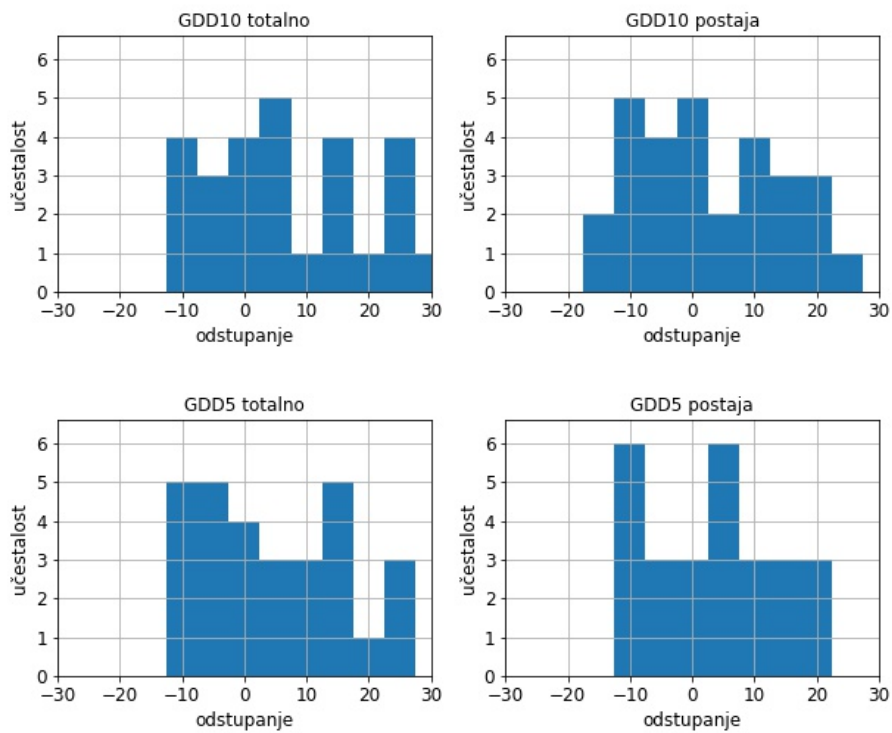


(b)

Slika 3.11. Odnos opaženih i simuliranih vrijednosti (gore) i histogram odstupanja (dolje) pupanja za postaju Hvar. Model tipa *postaja* korespondira modelima GDD 10 i GDD 5, a *totalno* odgovara modelima GDD Med 10 i GDD Med 5.



(a)



(b)

Slika 3.12. Odnos opaženih i simuliranih vrijednosti (gore) i histogram odstupanja (dolje) pupanja za postaju Lastovo. Model tipa *postaja* korespondira modelima GDD 10 i GDD 5, a *totalno* odgovara modelima GDD Med 10 i GDD Med 5.

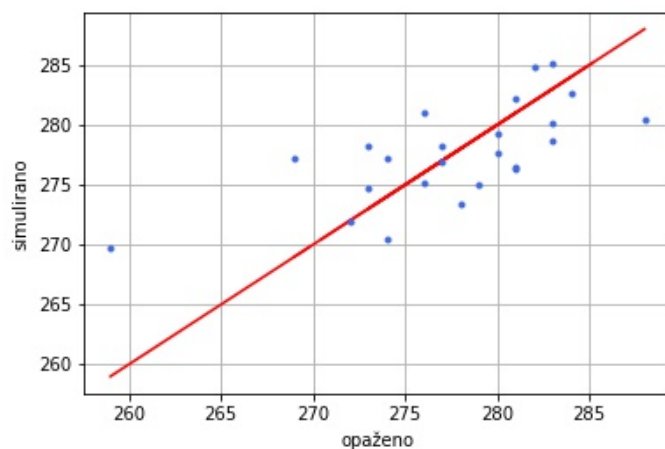
### 3.5. Višestruka linearna regresija

Jedan od mnogih načina statističkog pristupa jest metoda višestruke linearne regresije. U ovom radu ulazni parametri su maksimalna, minimalna i srednja dnevna temperatura, te oborina. Posebno se vršila i regresija samo na temperaturama. Uvjet najbolje regresije bio je prilagođeni koeficijent korelacije.

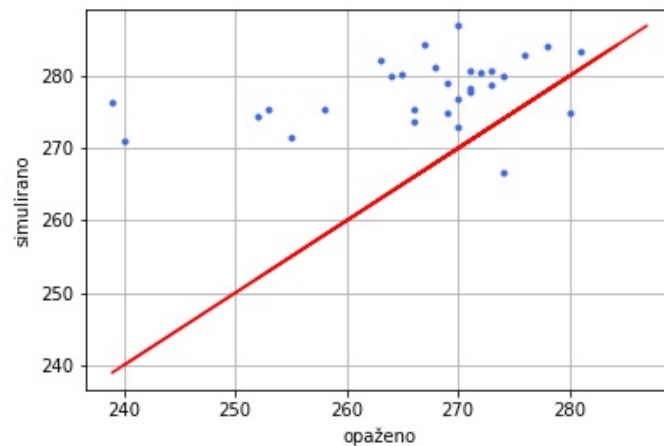
Rezultati ne pokazuju dobru povezanost i mogućnost predikcije nastupa fenoloških faza na način opisan u metodama. Iako u kalibracijskom razdoblju (Tablica A2) koeficijent korelacije pokazuje umjerenu pa čak i jaku korelaciju ( $r^2_{max}=0,67$ ), u verificiranom razdoblju (Tablica A3) model ne uspijeva reproducirati zadovoljavajuće nastupe fenofaza. Koeficijent korelacije je u skoro svim slučajevima vrlo blizu nule.

Neki od rezultata prikazani su na Slikama 3.13. i 3.14. Model koji u obzir uzima i oborinu ne daje gotovo nikakve bolje rezultate.

Kako bi primjena statističkog pristupa bilo što bolje učinkovito, važno je imati što dulji niz podataka. Moguće da odabrani vremenski raspon od 30 godina nije dovoljan niz za prihvatljive rezultate. Također, postoji mogućnost da veza promatranih meteoroloških parametara s nastupom fenoloških faza nije linearna. Također, postoji i mogućnost kako veza nastupa fenofaza s temperaturama i oborinom nije linearna.



Slika 3.13. Grafički odnos simuliranih i opaženih vrijednosti nastupa berbe u kalibracijskom razdoblju u Daruvaru.



Slika 3.14. Grafički odnos simuliranih i opaženih vrijednosti nastupa berbe u verifikacijskom razdoblju u Daruvaru.

### 3.6. COSMO klimatski model

Uspoređujući srednje godišnje vrijednosti temperatura za određene postaje, uočava se pristranost modela na svakoj postaji (Slike 3.15. i 3.16.). U Daruvaru (Slika 3.15.) simulirane maksimalne temperature podcjenjuju stvarne vrijednosti, dok minimalne precijenjuju. Križevci (Slika A3) pokazuju određenu pravilnost u maksimalnim temperaturama, ali model ponovno precijenjuje minimalne. Slično ponašanje modela već je uočeno i u izlaznim rezultatima drugih numeričkih modela najčešće zbog utjecaja visine izgladene topografije u modelima i primjene shema graničnog sloja koje ne mogu u potpunosti obuhvatiti procese male skale kao što je turbulencija (Poljak i sur., 2014; Kehler-Poljak i sur., 2017). Budući da se minimalne temperature više precijenjuju nego što maksimalne podcijenjuju, simulirana srednja dnevna temperatura također će pokazivati više vrijednosti od stvarnih. Maksimalna temperatura na Hvaru (Slika 3.16.) pokazuje razliku od čak 1,5 °C na stranu podcjenjivanja mjerenja, dok na Lastovu (Slika A4) je oko 1 °C. Također, klimatski model za minimalne temperature na Lastovu daje za oko 1 °C više vrijednosti od stvarnih dok na Hvaru je nešto manja razlika. Treba naglasiti da je simuliranje meteoroloških varijabli duž obalne linije osobito zahtjevno jer je potrebno unutar postavki modela jako dobro razlučiti granicu kopno-more što je često problem zbog ograničenja odabranog mrežnog koraka (Pielke, 2002).

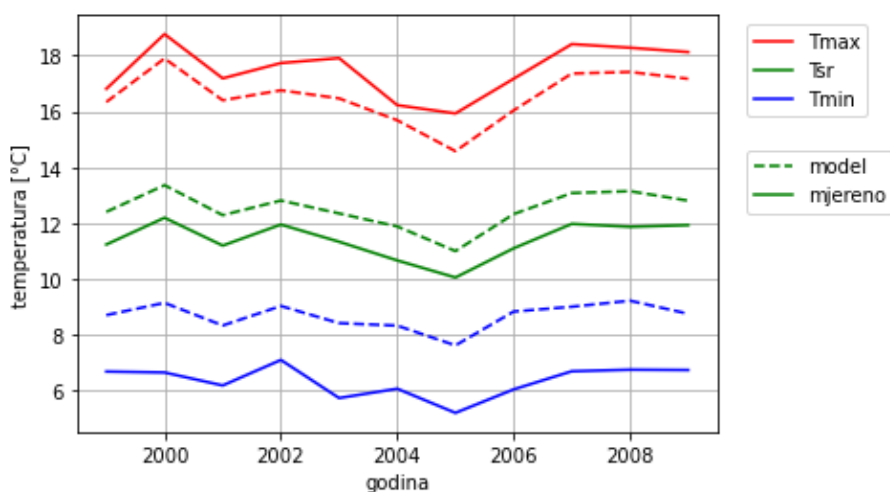
Spomenuti klimatski model slabije prikazuje ekstremne vrijednosti poput maksimalne i minimalne temperature zraka, ali korelacija je zadovoljavajuća. S tako simuliranim vrijednostima izračunali su se agroklimatološki indeksi. Iako se vidi kako na kontinentalnim postajama sustavno postoji trend precjenjivanja, a na maritimnim podcjenjivanja. Međutim, korelacija iznosi između 0,7 i 0,9 što označava vrlo veliko slaganje. U Tablici 3.3. prikazane su vrijednosti indeksa s opaženim i simuliranim vri-

Tablica 3.3. Usporedba agrometeoroloških indeksa GDD (GDD i GDD sim) i GST (GST i GST sim) na temelju COSMO modela sa stvarnim mjerenjima te projekcija u budućnosti (GDD bud) oko sredine stoljeća. *Sim* označava simulirane vrijednosti za sadašnje klimatske uvjete (razdoblje 1999.-2009.), a *bud* vrijednosti indeksa u budućim klimatskim uvjetima (razdoblje 2044.-2053.).

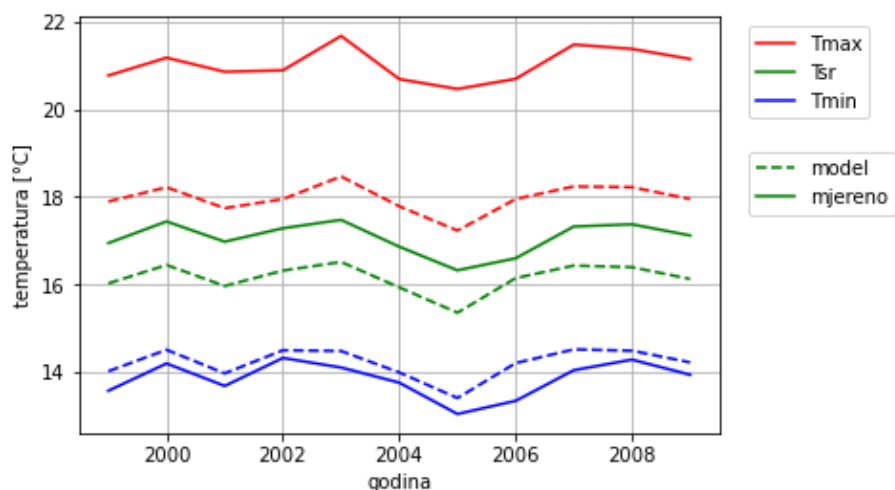
postaja	GDD	GDD sim	$r^2$	GDD bud	GST	GST sim	r2	GST bud
Daruvar	1621	1784	0,907	2038	17,34	18,07	0,895	19,36
Križevci	1528	1812	0,709	2048	16,89	18,11	0,681	19,31
Hvar	2527	2228	0,811	2570	21,78	20,51	0,764	22,05
Lastovo	2382	2308	0,829	2584	21,1	20,73	0,851	22,02

jednostima, njihova korelacija kao i iznosi indeksa u budućnosti. Pri simulaciji budućih klimatskih uvjeta mora se uzeti u obzir spomenuta pristranost te ju dodatno uračunati u izlazne vrijednosti kako bi rezultati bili konzistentniji.

U Tablici 3.3. također je vidljiv porast GDD indeksa za oko 300 °C dok GST indeks pokazuje porast za oko 2 °C. Takvi rezultati prate trend koji prikazuju Santos i sur. (2012).



Slika 3.15. Prikaz simuliranih i opaženih srednjih godišnjih temperatura prema modelu COSMO za postaju Daruvar za razdoblje 1999.-2009.



Slika 3.16. Prikaz simuliranih i opaženih srednjih godišnjih temperatura prema modelu COSMO za postaju Hvar za razdoblje 1999.-2009.

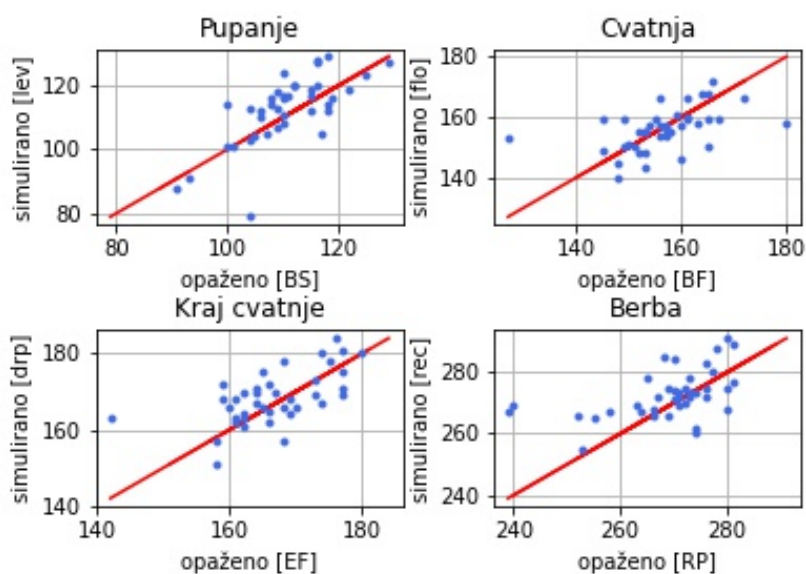
### 3.7. Model STICS

Optimizacija je vršena više puta u koraku (i) opisanom u STICS metodologiji. Budući da je Nelder-Meadov simplex metoda lokalna, događalo se da rezultati nisu bili prihvatljivi. Prvi puta ulazni parametri bili su svi navedeni osim *deshydbase*. Korelacija je bila je zadovoljavajuća ( $r^2=0,2-0,6$  bez postaje Hvar), ali postojala je velika pristranost na svim postajama. To se događalo jer je uvjet za berbu postavljen na temelju količine vode u bobicama. Zato se nadodao i spomenuti parametar u optimizaciju. Nakon toga pristranost se uvelike smanjila (maksimalna apsolutna promjena pristranosti iznosi 9,73), a koeficijent korelacije i dalje ostao umjeren, ponegdje čak i vrlo velik ( $r^2=0,685$ ). Parametri pogreške za sve fenofaze i postaje nalaze se u Tablici 3.4.

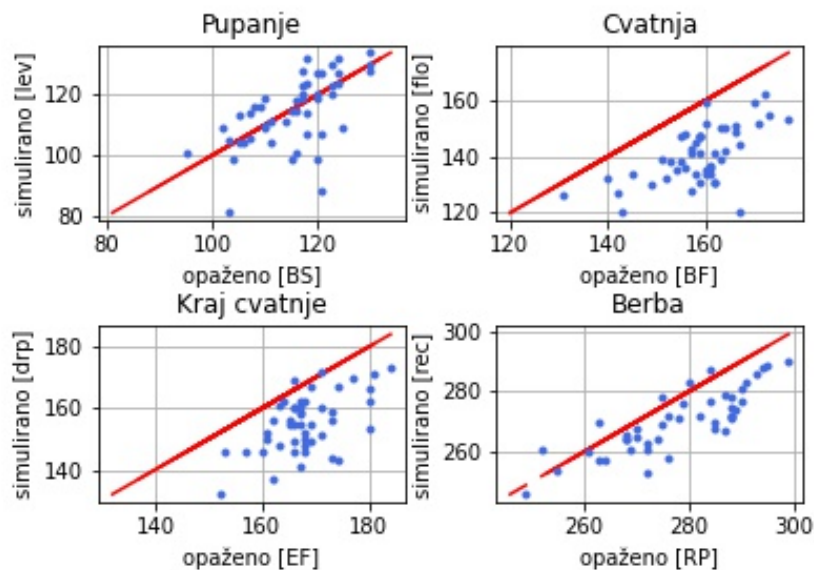


Tablica 3.4. Osnovni pokazatelji pogreške za STICS model po postajama i fenofazama.

Postaja	Faza	$r^2$	$BIAS$	$RMSE$
Daruvar	pupanje	0,515	2,102	7,642
Daruvar	cvatnja	0,24434	-0,53846	8,07179
Daruvar	kraj cvatnje	0,36473	1,87179	6,63904
Daruvar	berba	0,25411	3,897435	9,7796
Križevci	pupanje	0,361259	-0,95833	9,36972
Križevci	cvatnja	0,382935	-18,17021	19,92966
Križevci	kraj cvatnje	0,31901	-12,70213	14,90181
Križevci	berba	0,68472	-7,43182	10,01929
Hvar	pupanje	0,023516	3,61538	13,26649
Hvar	cvatnja	0,09508	-3,09615	8,78701
Hvar	kraj cvatnje	0,19319	-2,21153	6,59399
Hvar	berba	0,086123	5,05769	10,05848
Lastovo	pupanje	0,14374	1,80357	9,136856
Lastovo	cvatnja	0,42833	-1,73214	5,65212
Lastovo	kraj cvatnje	0,39055	1,83928	5,62043
Lastovo	berba	0,24315	-1,1964	8,2364



Slika 3.17. Odnos simuliranih vrijednosti nastupa fenofaza STICS modelom nakon optimizacije i opaženih vrijednosti za postaju Daruvar u razdoblju 1961.-2020.

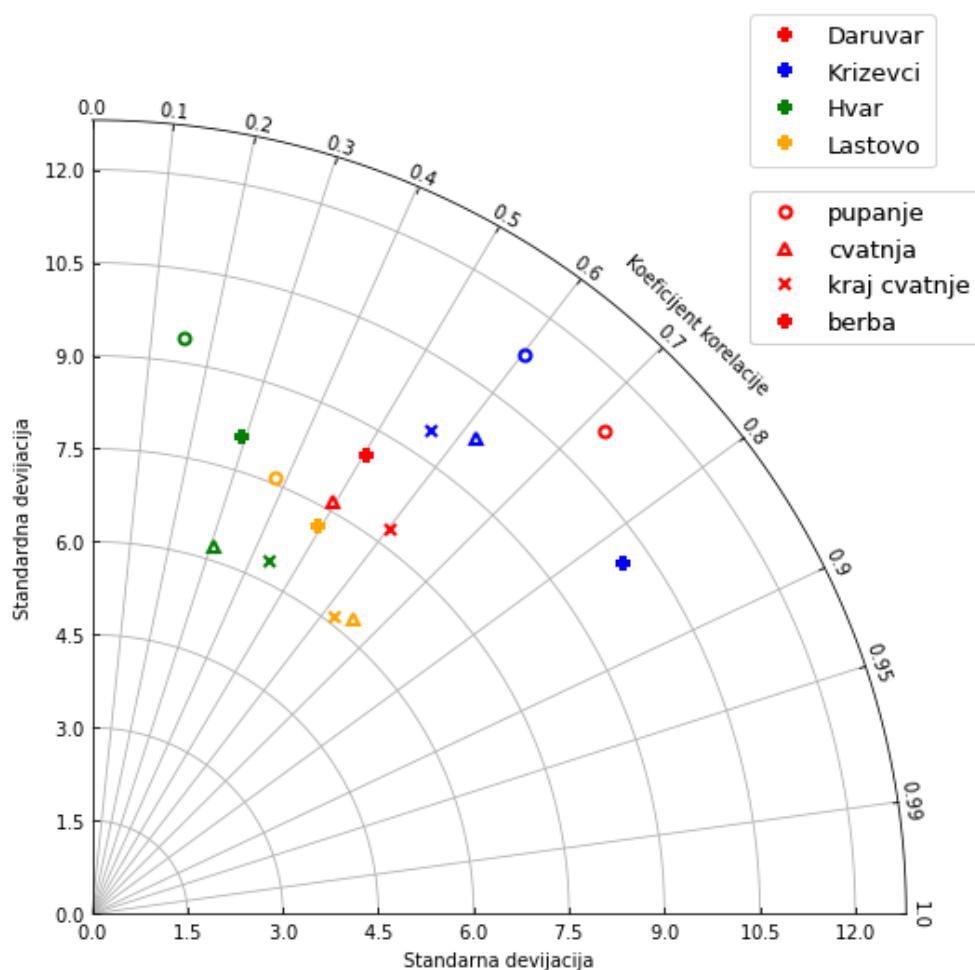


Slika 3.18. Odnos simuliranih vrijednosti nastupa fenofaza STICS modelom nakon optimizacije i opaženih vrijednosti za postaju Križevci u razdoblju 1961.-2020.

'Graševina' na postaji Daruvar ima veliku korelaciju za pupanje, te umjerenu za ostale fenofaze. Pristranost je blizu nule što znači da je vrlo dobar pokazatelj modela. Raspršenje je najveće za cvatnju ( $RMSE=8,07$ ) koja ujedno ima i najmanji iznos korelacije. Križevci također imaju umjerenu korelaciju za prve tri faze dok je za berbu velika te iznosi 0,68. Međutim, pristranost je velika za cvatnju ( $BIAS=-18,17$ ) i kraj cvatnje ( $BIAS=-12,70$ ). Križevci su bili jedina postaja gdje su se početne vrijednosti u parametrizaciji morali promijeniti i više puta ponoviti zbog loših rezultata. Iako je na Hvaru pristranost mnogo manja, korelacija je slaba ili čak ne postoji. Iz Slika 3.17. i 3.18. također je vidljivo i veliko raspršenje. Zbog dobivanja lošijih rezultata postavilo se pitanje je li problem u promatranoj sorti 'Merlot' koja se koristila kod simuliranja podataka za 'Plavac mali'. Stoga se optimizacija ponovila i za crnu sortu 'Grenache' koja je parametrizirana u modelu jer spada u Sredozemne sorte. Međutim, model nije dao bolje rezultate (Tablica A4). Lastovo također ima slabu korelaciju s velikom raspršenošću (npr. za pupanje  $r^2=0,14$ , a  $RMSE=9,14$ ). Rezultati pokazuju da bi se trebalo dalje raditi na parametrizaciji lokalne sorte 'Plavac mali' u modelu te da primjena parametrizacija internacionalnih crnih sorata i primjena na lokalne sorte nije u potpunosti zadovoljavajuće.

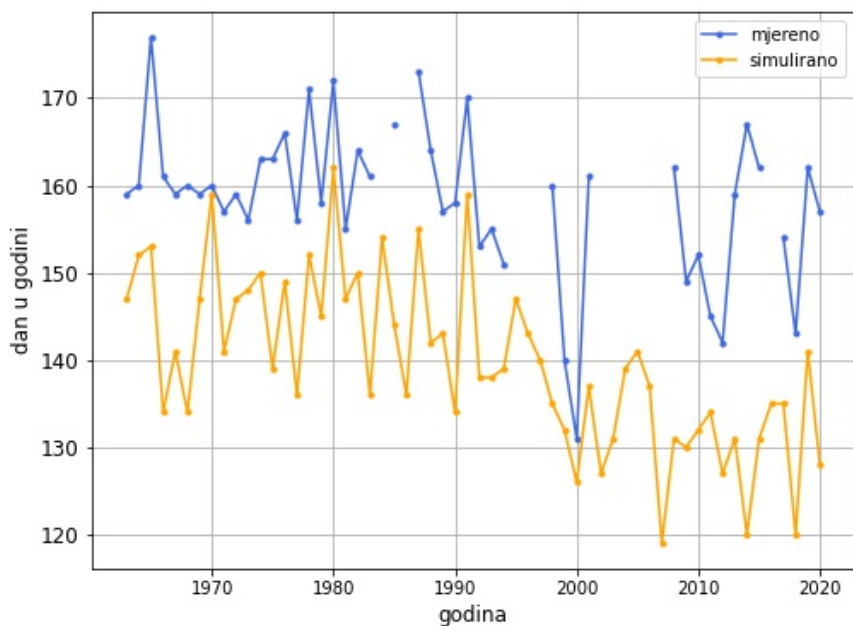
Uspješnost modela može se vizualizirati Taylorovim dijagramom gdje su osi u polarnom koordinatnom sustavu standardna devijacija i koeficijent korelacije. Takav dijagram s vrijednostima svih postaja i fenoloških faza prikazan je na Slici 3.19. Vremensko razdoblje jest od 1961.-2020. Izuzme li se postaja Hvar, može se vidjeti kako se koeficijent korelacije ponajviše kreće između 0,5 i 0,8 što je značajna korelacija. Također, standardna devijacija simuliranih nastupa fenoloških faza u rasponu je između

6 i 11 dana.

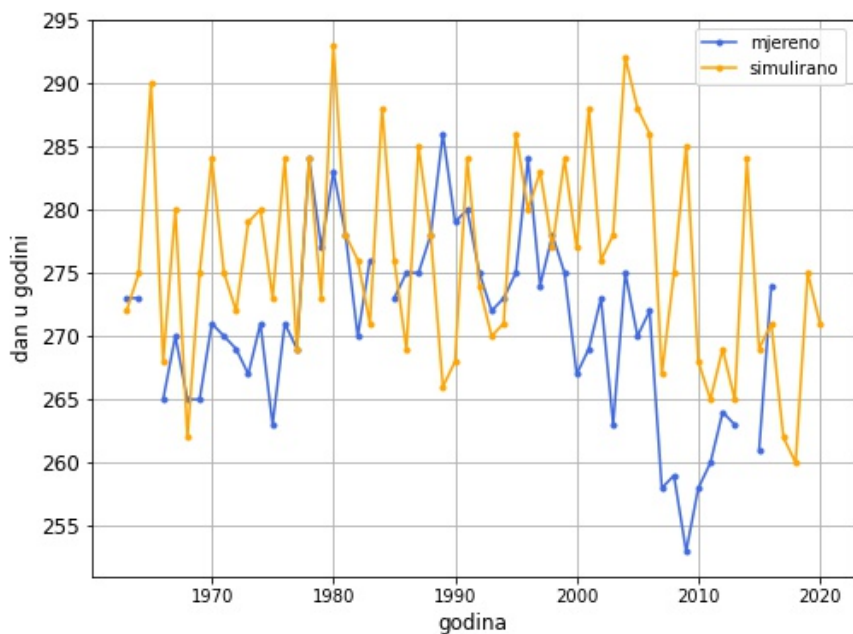


Slika 3.19. Taylorov dijagram za simulirane vrijednosti fenofaza za razdoblje 1961.-2020. godine.

Odnos simuliranih vrijednosti STICS modela na temelju mjerenja u razdoblju 1961.-2020. godine i opaženih vrijednosti vrijedan je iz razloga što se može vidjeti koliko dobro model može pratiti nagle promjene. U zadnjim godinama simulacije puno bolje model prati mjerenja nego u počecima. Vrlo je zanimljiva postaja Križevci gdje je već spomenuti *BIAS* s dobrom korelacijom. U vremenskom nizu to će se očitovati kao pomak krivulja u fazi što se lako vidi iz Slike 3.20.



Slika 3.20. Vremenski niz simuliranih vrijednosti na temelju početnih uvjeta na temelju mjerenja i opaženih vrijednosti cvatnje za postaju Križevci. Na slici je vidljivo podcjenjivanje uz veliku korelaciju.

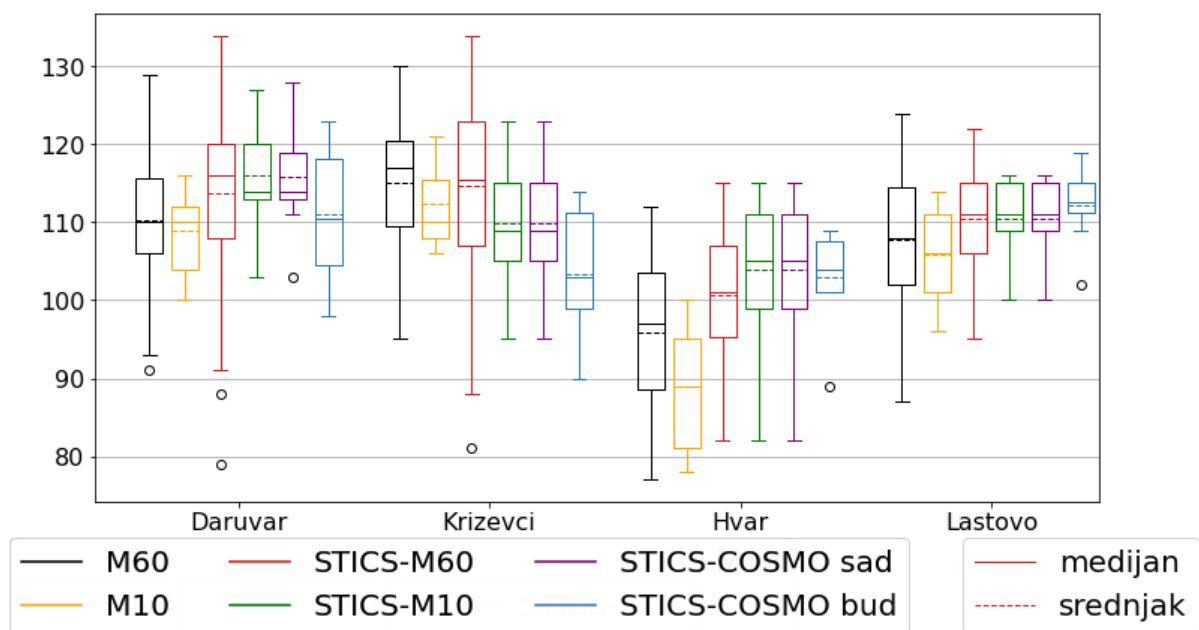


Slika 3.21. Vremenski niz simuliranih i opaženih vrijednosti berbe za postaju Hvar. Model pokazuje veća odstupanja, a osobito lošije (precijenjene) rezultate nastupa berbe nakon 2000. godine.

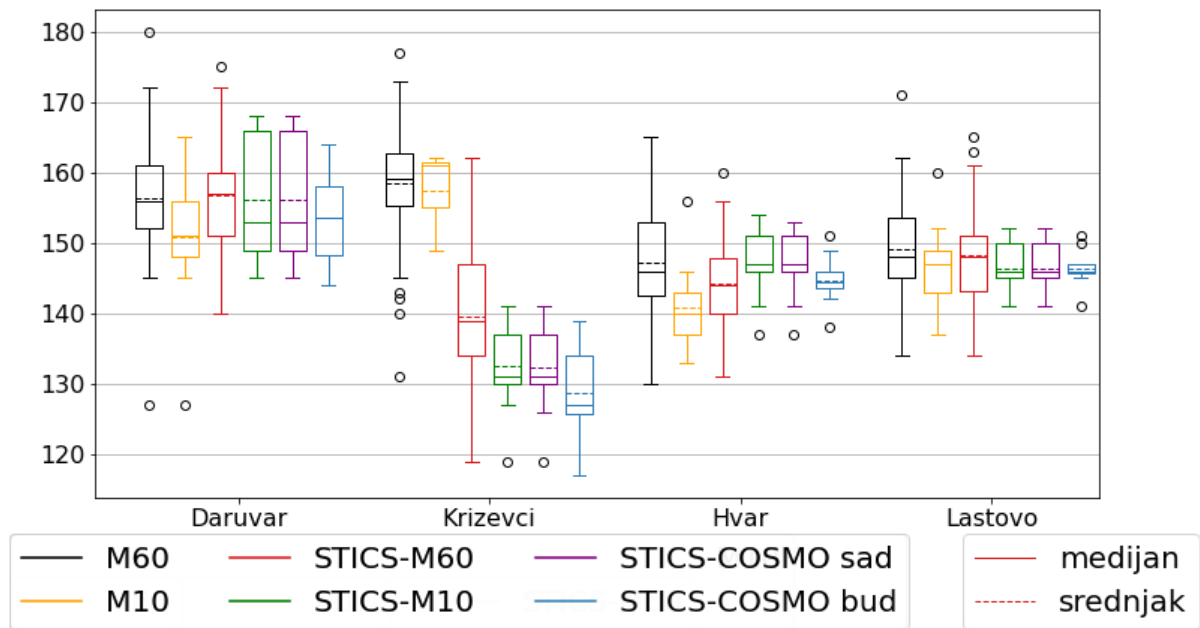
S danim rezultatima i optimiziranim vrijednostima također se radila verifikacija i s klimatskim modelom COSMO. STICS model ponovo se pokrenuo s klimatskim parametrima za svaku postaju. Verificirano razdoblje bilo je 1999.-2009. godine. Prva godina koja je dala rezultate odbacila se zbog tzv. *spin-up time* vremena kada model pokušava riješiti problem nestabilnosti uslijed usklađivanja početnih podataka.

Nakon verifikacije klimatskog modela na svim postajama, STICS model se pokrenuo i s klimatskim parametrima za razdoblje 2043.-2053. godine s ciljem usporedbe i prognoze fenoloških faza u uvjetima buduće klime.

Konačno, grafikon s kutijastim dijagramima (Slika 3.22.-3.25.) prikazuje nastupe fenoloških faza svih mogućih kombinacija opaženih i simuliranih vrijednosti. Verifikacija COSMO modela izrazito je dobra. Razlika između rezultata koje daje STICS s mjerenim podacima desetogodišnjeg razdoblja i COSMO podacima gotovo da i nema (gledajući *box-plotove* na Slikama 3.22.-3.25.). Razlike se najviše uočavaju u berbi. Međutim, ti rezultati se znatno razlikuju od opaženih vrijednosti. S druge strane, za šesdesetogodišnje razdoblje interkvartilni raspon simuliranih vrijednosti uglavnom je približan interkvartilnom rasponu opaženih vrijednosti za isto razdoblje. Najveće odstupanje je u Križevcima za kraj cvatnje gdje modeli svugdje značajno podcjenjuju mjerenja.

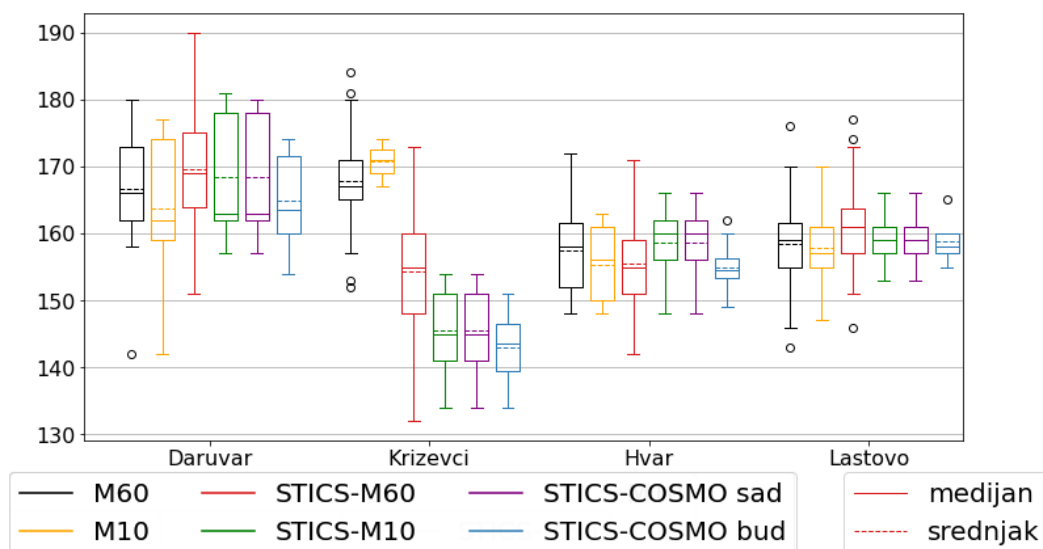


Slika 3.22. Kutijasti dijagrami pupanja gdje M60 uzima u statistiku sve opažene podatke iz razdoblja 1961.-2020. godine dok M10 samo 1999.-2009. godine. STICS-M60 i STICS-10 prikazuju simulirane datume fenofaza na temelju opaženih meteoroloških podataka. STICS-COSMO predstavlja simulirane vrijednosti na temelju klimatskih projekcija gdje sad predstavlja kontrolni period od 1999.-2009. godine, a bud buduću klimu u razdoblju 2043.-2053. godine. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.

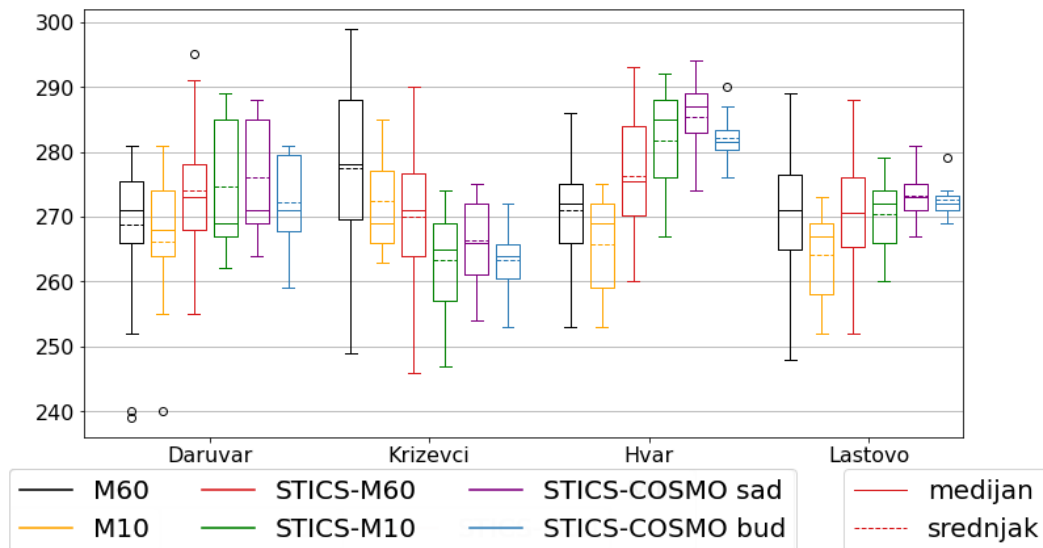


Slika 3.23. Kutijasti dijagrami početka cvatnje gdje M60 uzima u statistiku sve opažene podatke iz razdoblja 1961.-2020. godine dok M10 samo 1999.-2009. godine. STICS-M60 i STICS-10 prikazuju simulirane datume fenofaza na temelju opaženih meteoroloških podataka. STICS-COSMO predstavlja simulirane vrijednosti na temelju klimatskih projekcija gdje sad predstavlja kontrolni period od 1999.-2009. godine, a bud buduću klimu u razdoblju 2043.-2053. godine. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.

Simulacija u budućoj klimi za pupanje (Slika 3.22.) na kontinentalnim postajama vidljiv je raniji nastup medijana za 5-7 dana. Na Hvaru i Lastovu nema tolike promjene. Raniji nastup početka cvatnje (Slika 3.23.) događa se u Križevcima i Hvaru dok Daruvar i Lastovo ne pokazuju promjene. Kao i za početak cvatnje, isto se događa i za kraj cvatnje što je prikazano na Slici 3.24. Ranija berba prema rezultatima modela (Slika 3.25.), ponajviše će se ostvariti na Hvaru. Iako su ponegdje medijani vrlo slični, interkvartilni raspon smanjuje se svugdje i pokazuje tendenciju ranijih nastupa fenofaza. Na maritimnim postajama za 'Plavac mali' za sve fenološke faze interkvartilni raspon vidljivo se smanjuje dok na kontinentalnim postajama to nije toliko uočljivo.



Slika 3.24. Kutijasti dijagrami kraja cvatnje gdje M60 uzima u statistiku sve opažene podatke iz razdoblja 1961.-2020. godine dok M10 samo 1999.-2009. STICS-M60 i STICS-10 prikazuju simulirane datume fenofaza na temelju opaženih meteoroloških podataka. STICS-COSMO predstavlja simulirane vrijednosti na temelju klimatskih projekcija gdje sad predstavlja kontrolni period od 1999.-2009. godine, a bud buduću klimu u razdoblju 2043.-2053. godine. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.



Slika 3.25. Kutijasti dijagrami berbe gdje M60 uzima u statistiku sve opažene podatke iz razdoblja 1961.-2020. godine dok M10 samo 1999.-2009. STICS-M60 i STICS-10 prikazuju simulirane datume fenofaza na temelju opaženih meteoroloških podataka. STICS-COSMO predstavlja simulirane vrijednosti na temelju klimatskih projekcija gdje sad predstavlja kontrolni period od 1999.-2009. godine, a bud buduću klimu u razdoblju 2043.-2053. godine. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.

## 4. Zaključak

Trenutni temperaturni trendovi pokazuju konstantan porast posebice zadnjih 30 godina. Zagrijavanje atmosfere utječe na mnoge elemente. Jedan od njih je i biosfera. Utjecaj temperature na biljke vidljiv je u trendovima nastupa fenoloških faza koji se u pravilu događaju sve ranije.

Provedenim istraživanjem nastojalo se pokazati kako se klima uistinu promijenila unazad 60 godina te kako je od velike važnosti prilagođavati se i djelovati bez kašnjenja. Najveći trendovi ranijih nastupa fenološke faze uočen je upravo u berbi koja je subjektivna te ovisi o antropogenim faktorima. Jedan od najvažnijih indikatora promjene u poljoprivredi jest GDD indeks na temelju kojeg se i baziraju vinogradarske zone.

Također, u ovome radu htjeli su se sveobuhvatnim pristupom, koji uključuje mjerenja, statističke metode, model razvoja biljaka i klimatske simulacije, naći najbolji modeli kojima bi se moglo simulirati nastupe fenoloških faza. Za to se koristilo više modela: (1) GDD model koji traži medijan spomenutog indeksa i smatra da ta vrijednost predstavlja potrebnu akumuliranu toplinu za ostvarivanje željene fenofaze; (2) model višestruke linearne regresije s ulaznim parametrima svih temperatura i oborine te (3) STICS agrometeorološki model razvoja biljaka povezan s mjerenjima i klimatskim simulacijama moela COSMO visoke razlučivosti. Pokazalo se da je jednostavan GDD model znatno precizniji u simuliranju rezultata u odnosu na model višestruke linearne regresije.

Nedostatnost STICS modela je primarno do njegove ograničene mogućnosti opisanja stvarnosti, a što je do aproksimativne naravi procesa koje pokušava simulirati. Jednadžbe koje povezuju indirektnu vezu temperature i fenološkog razvoja biljaka, a ne fundamentalne fiziološke i metaboličke procese koji ih uistinu pogone, proizlaze iz empiričkog pristupa koji je svojstven agronomskom istraživanju (Formula 2.4.). Iako je temperatura glavni faktor u razvoju biljaka, što je razvidno iz opažanja i modeliranih trendova GDD-a, način na koji je implementiran u STICS modelu je vjerojatno glavni uzrok zašto model ne uspijeva u potpunosti reproducirati opažene vrijednosti. Način na koji bi se moglo doskočiti ovom problemu je korištenje više modela biljnog rasta s drugačijim pristupima parametrizacije fenološkog razvoja i izabrati najprikladniji. No, za potrebe ovog rada, gdje se uspoređuju različiti metodološki pristupi modeliranju fenofaza, fokus se dao samo jednom (STICS).

Vezano uz vrijednost parametara modela STICS, metoda koja je korištena za parametrizaciju nije dostatna jer ne osigurava pronalazak najoptimalnijih vrijednosti pošto je iznimno ovisna o početnim vrijednostima. Korištenjem globalnih metoda optimizacije ovo ograničenje moglo bi se riješiti, no zahtijeva kompleksniji metodološki pristup koji za ciljeve ovog istraživanja nije bio najveći prioritet i koje bi se moralo primje-



nuti u budućim naporima. Druga problematična stavka je izbor parametara koji su podvrgnuti optimizaciji. Umjesto proizvoljnog izbora, koji je temeljen na presjeku zajedničkih genetskih parametara različitih sorti koje su već zadane u modelu, bolji pristup bio bi analizirati osjetljivost nastupa fenofaza o svim ulaznim parametrima i izabrati one koji su najutjecajnije. Ovim postupkom bi se objektivnije ocijenila sposobnost raznih parametrizacija modela STICS i potencijalno riješili probleme pristranosti modela (Slike 3.20. i 3.21.)

Postaja Hvar na svim modelima daje veliko raspršenje i neprecizne rezultate te bi trebalo bolje istražiti razlog takvog ponašanja.

Konačno, s klimatskim modelom nastojao se predvidjeti trend kretanja temperature zraka u budućnosti te samim time i fenološke faze vinove loze. Vidljivo je skraćivanje vegetativnog ciklusa. Također, pruža se mogućnost uzgoja novih sorti na svim promatranim područjima.

U ovome radu korišteni su osnovni meteorološki parametri za simuliranje fenoloških faza. Odlika takvog pristupa leži u tome da ne zahtjeva previše obrade podataka što također pogoduje činjenici kako mnoge meteorološke postaje i ne posjeduju više podataka. Ukoliko bi one postojale, istraživanje se može proširiti na više ulaznih parametara čime bi se mogla povećati uspješnost strojnog učenja. Primjerice, Jones i Davis (2000b) tako koriste sinoptičku klimatologiju u analizi fenoloških faza vinove loze.

Također pokazala se mogućnost uvođenja/prilagodbe novih vinogradarskih sorti u model STICS što podrazumijeva parametrizacije određenih procesa kao i definiranje strukture tla. Navedeni prijedlozi ukazuju na buduće smjerove istraživanja.

## Literatura

- [1] Agroklub.com. (n.d.): *Prof. Edi Maletić: Čija je hrvatska Graševina?* Dostupno na: <https://www.agroklub.com/vinogradarstvo/prof-edi-maletic-cija-je-hrvatska-grasevina/68505/>. Pristup: 24.8.2022.
- [2] Albourne Estate. "Bud-Burst", (n.d.): Dostupno na: <https://albourneestate.co.uk/bud-burst/> Pristup: 24.8.2022.
- [3] Andrade, F. H., Sala, R.G., Pontaroli, A.C., Leon, A., Castro, S. (2015): *Integration of biotechnology, plant breeding and crop physiology. Dealing with complex interactions from a physiological perspective*. Eds. V. O. Sadras and D. F. Calderini in Crop Physiology (Second Edition). Academic Press
- [4] Anon, (2017). Plavac mali - vinacroatia.hr. Dostupno na: <https://vinacroatia.hr/hrvatska-vina/sorte/plavac-mali/>. Pristup: 24.8.2022.
- [5] Ban, N., Schmidli, J. and Schär, C. (2014): Evaluation of the convection-resolving regional climate modeling approach in decade-long simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(13). str.7889–7907.
- [6] Bonan G., (2016): Ecological climatology. Concepts and Applications. Third edition. *Cambridge University Press*. str.692.
- [7] Brisson, N, C Gary, E Justes, R Roche, B Mary, D Ripoche, D Zimmer, J Sierra, P Bertuzzi, P Burger, F Bussièrè, Y.M Cabidoche, P Cellier, P Debaeke, J.P Gaudillère, C Hénault, F Maraux, B Seguin, H Sinoquet, (2003): An overview of the crop model stics. *European Journal of Agronomy*, 18. str.309-332.
- [8] Brisson, N., Launay, M., Mary, B., Beaudoin, N., (2008): *Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model* Versailles: Editions Quae.
- [9] Concha y Toro (n.d.): *It's Wine Grape Harvest Season!*. Dostupno na: [conchaytoro.com/en/blog/its-wine-grape-harvest-season/](http://conchaytoro.com/en/blog/its-wine-grape-harvest-season/). Pristup: 24.8.2022.
- [10] Čiček, P. (2011): *Utjecaj klimatskih promjena na fenološke faze vinove loze i Huglinov indeks u Hrvatskoj*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno-matematički fakultet. Geofizički odsjek.
- [11] De Cortazar-Atauri, I.G. (2006): *Adaptation du modèle STICS à la vigne (Vitis vinifera L.). Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à l'échelle de la France*. PhD thesis. Montpellier, SupAgro.

- [12] Droulia, F. i Charalampopoulos, I. (2021): Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosphere*, 12(4). str.495.
- [13] Državni zavod za statistiku. (2021): *Poljoprivredna proizvodnja u 2020*. Dostupno na: <https://novi-web.dzs.hr/2021/hr/17037>. Pristup: 17.4.2022.
- [14] Estate at Saralee's Vineyard. (n.d.): *Véraison: Winemaking in Full Color*. Dostupno na: [www.lacrema.com/veraison-winemaking-in-full-color/](http://www.lacrema.com/veraison-winemaking-in-full-color/). Pristup: 24.8.2022.
- [15] Fraga, H., Atauri, I.G. de C., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J. i Santos, J.A. (2017): Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *OENO One*. 51(2). str.61–69.
- [16] Government of Western Australia. (n.d.): *Wine Grape Sensitivity to Smoke*. Dostupno na: [www.agric.wa.gov.au/wine-grapes/wine-grape-sensitivity-smoke](http://www.agric.wa.gov.au/wine-grapes/wine-grape-sensitivity-smoke). Pristup: 24.8.2022.
- [17] Jelić, M. (2011): *Opažane promjene fenoloških faza običnog jorgovana u Hrvatskoj*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno-matematički fakultet. Geofizički odsjek.
- [18] Jones, G. i Davis, R. (2000a): Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France. *American Journal of Enology and Viticulture*. 51. str.249-261.
- [19] Jones, G. i Davis, R. (2000b): Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *International Journal of Climatology* 20. str. 813-837.
- [20] Kehler-Poljak, G., Telišman Prtenjak, M., Kvakić, M., Šariri, K., Večenaj, Ž. (2017): Interaction of sea breeze and deep convection over the northeastern Adriatic coast: an analysis of sensitivity experiments using a high-resolution mesoscale model. *Pure and applied geophysics*. 174 (2017). 11; str.4197-4224
- [21] Koufos, G., Mavromatis, T., Koundouras, S., Fyllas, N.M. i Jones, G.V. (2013): Viticulture-climate relationships in Greece: the impacts of recent climate trends on harvest date variation. *International Journal of Climatology*, 34(5). str.1445–1459.
- [22] Lorenz, D.H., Eichhorn, K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U. i Weber, E. (1995): Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2). str.100–103.

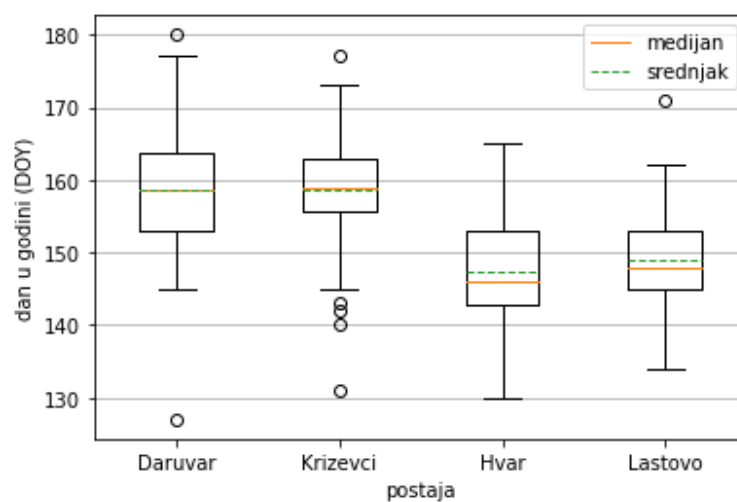
- [23] Meier, U. (2018): *Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen: BBCH Monografie*. Open Agrar Repitorium. Quedlinburg.
- [24] meteo.hr. (n.d.): DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod. [online] Dostupno na: <https://meteo.hr/>. Pristup: 17.4.2022.
- [25] Omazić, B., Telišman Prtenjak, M., Prša, I., Belušić Vozila, A., Vučetić, V., Karoglan, M., Karoglan Kontić, J., Prša, Ž., Anić, M., Šimon, S. i Güttler, I. (2020): Climate change impacts on viticulture in Croatia: Viticultural zoning and future potential. *International Journal of Climatology*, 40(13). str.5634–5655.
- [26] Penzar, I. i Penzar B., (2000): *Agrometeorologija*. Zagreb: Školska knjiga.
- [27] Pielke, R. A. (2002): *Mesoscale meteorological modeling*. New York: Academic Press.
- [28] Poljak, G., Prtenjak, M. T., Kvakić, M., Strelec Mahović, N., and Babić, K. (2014): Wind patterns associated with the development of daytime thunderstorms over Istria. *Ann. Geophys.*, 32. str.401–420.
- [29] Preiner, D. (2013). Godišnji biološki ciklus vinove loze, *Glasnik Zaštite Bilja*, 36(1), str. 70-75. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/162995>. Pristup: 17.4.2022.
- [30] Ruml, M., Korać, N., Vujadinović, M., Vuković, A. i Ivanišević, D. (2015): Response of grapevine phenology to recent temperature change and variability in the wine-producing area of Sremski Karlovci, Serbia. *The Journal of Agricultural Science*, 154(2). str.186–206.
- [31] Santos, J., Malheiro, A., Pinto, J. i Jones, G. (2012): Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Climate Research*. 51(1). str.89–103.
- [32] Sneyers, R., (1990): On the statistical analysis of series of observations. *WMO Technical Note* 143. Geneva, str.1–15.
- [33] Vršič, S., Šuštar, V., Pulko, B. i Šumenjak, T. (2014): Trends in climate parameters affecting winegrape ripening in northeastern Slovenia. *Climate Research*, 58(3), str.257–266.
- [34] Vuković, A., Vujadinović, M., Ruml, M., Ranković-Vasić, Z., Przić, Z., Beslić, Z., Matijasević, S., Vujović, D., Todić, S., Marković, N., Sivcev, B., Zunić, D., Zivotić, L. i Jakšić, D. (2018): Implementation of climate change science in viticulture sustainable development planning in Serbia. *E3S Web of Conferences*, 50. str.01005.

- [35] Winkler A. J., Cook J. A., Kliewer W. M. i Lider L. A. (1974): General Viticulture. *University of California Press: Berkely. CA; Los Angeles, CA.* 63.

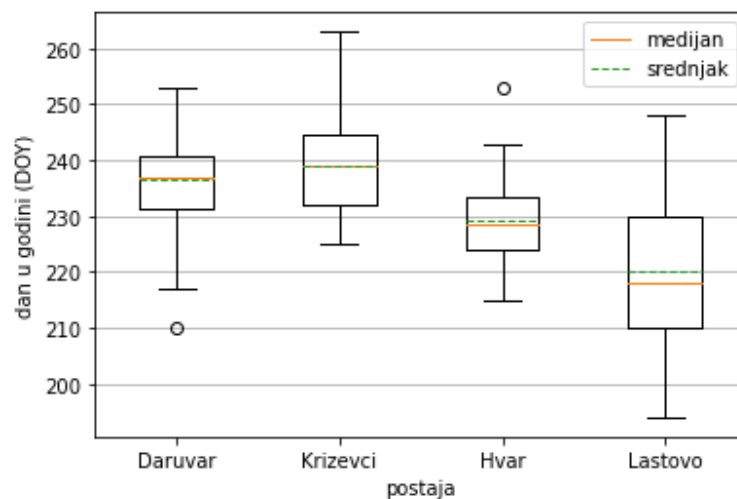
## Popis kratica

BBCH	<i>Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie</i>
COSMO	<i>COnsortium for Small-scale MOdelling</i>
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod
DZS	Državni zavod za statistiku
GDD	<i>growing degree day</i>
GST	<i>growing season temperature</i>
STICS	<i>Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard</i>

## Dodatak A

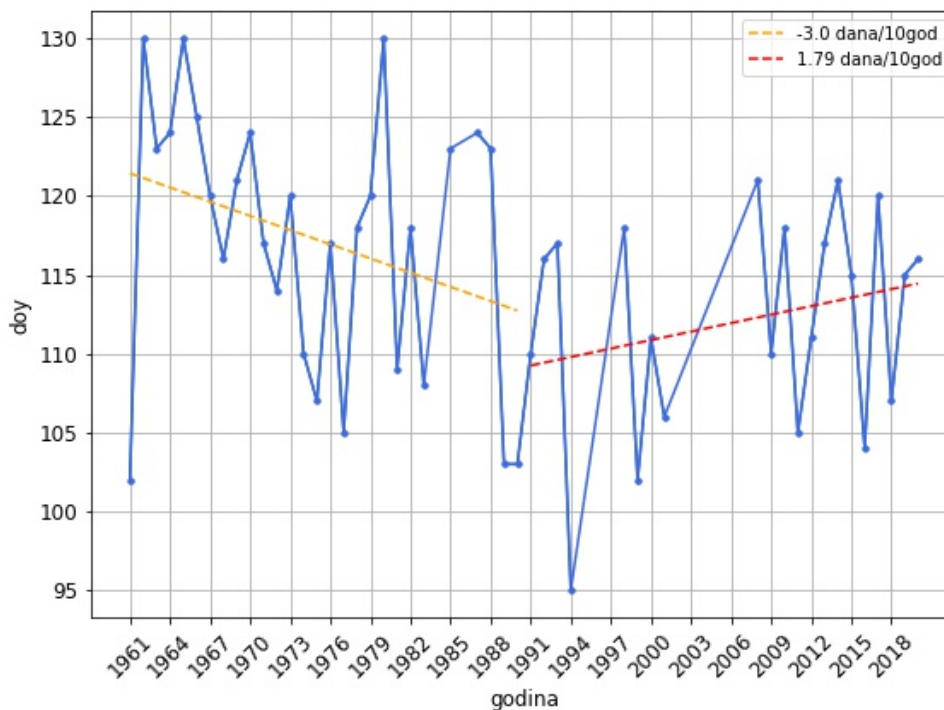


(a) Cvatnja



(b) Šara

Slika A1. Kutijasti dijagrami nastupa fenološke faze u razdoblju 1961.-2020. Medijani su prikazani punom, a srednje vrijednosti crtkanom linijom.



Slika A2. Grafički prikaz dana u godini nastupa pupanja za postaju Križevci.

Tablica A1. Osnovni pokazatelji pogreške za *GDD totalno* model po postajama i fenofazama.

Postaja	Faza	$r^2$	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>
Daruvar	pupanje	0,6179	0,70	5,3197
Daruvar	cvatnja	0,3287	1,1333	7,4833
Daruvar	šara	0,2058	-9,6333	13,5855
Daruvar	berba	0,3396	-11,0333	18,1521
Križevci	pupanje	0,0022	0,5238	11,5820
Križevci	cvatnja	0,2240	5,1500	10,4666
Križevci	šara	0,0273	-8,7368	16,9763
Križevci	berba	0,6796	-7,0526	13,1629
Hvar	pupanje	0,1375	5,1200	14,8404
Hvar	cvatnja	0,0287	0,20	10,6226
Hvar	šara	0,0715	-15,0399	17,3066
Hvar	berba	0,5125	-8,3199	12,8810
Lastovo	pupanje	0,0978	-5,2333	14,0464
Lastovo	cvatnja	0,5655	1,2333	4,7854
Lastovo	šara	0,4139	5,7667	11,4935
Lastovo	berba	0,5803	0,1999	7,9373

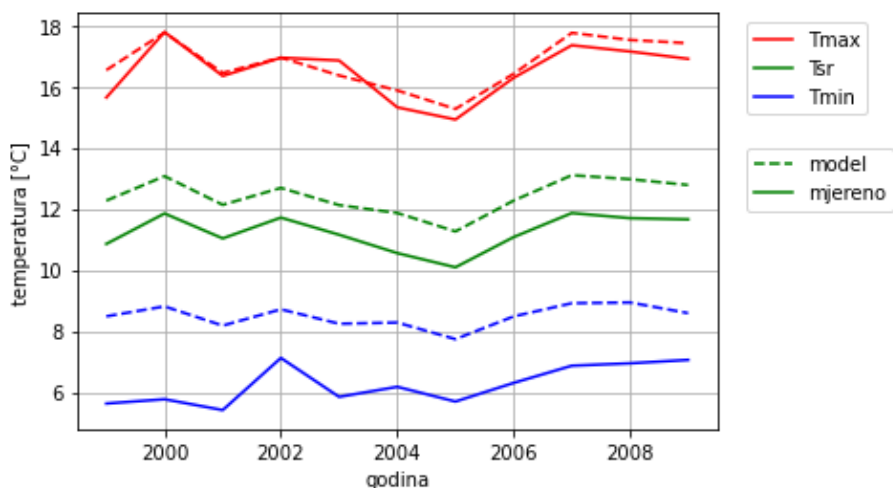


Tablica A2. Osnovni pokazatelji pogreške za višestruku linearnu regresiju (temperatura i oborina) u kalibracijskom razdoblju (1961.-1990.) po postajama i fenofazama.

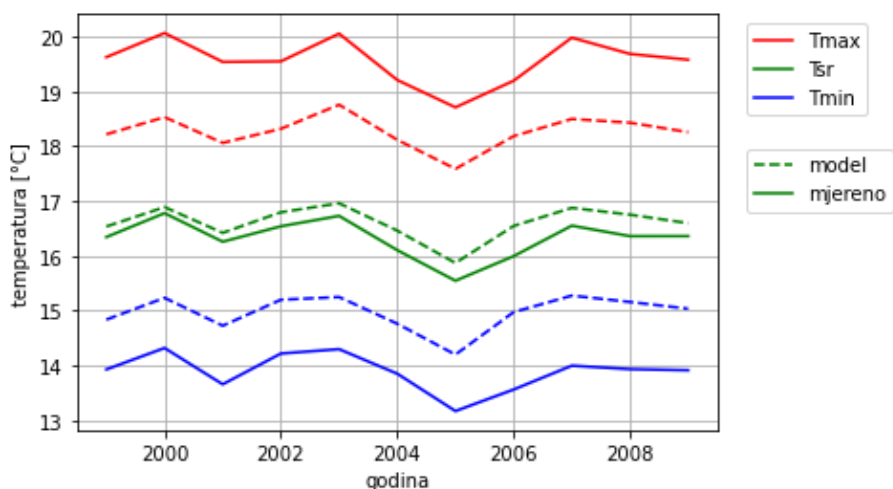
Postaja	Faza	$r^2$	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>
Daruvar	pupanje	0,5979	0,0	5,6085
Daruvar	cvatnja	0,6696	0,0	0,3262
Daruvar	šara	0,3415	0,0	3,9105
Daruvar	berba	0,4538	0,0	4,3454
Križevci	pupanje	0,6246	0,0	5,0918
Križevci	cvatnja	0,4379	0,0	4,1836
Križevci	šara	0,1254	0,0	7,2761
Križevci	berba	0,2601	0,0	6,0345
Hvar	pupanje	0,5511	0,0	4,8683
Hvar	cvatnja	0,5743	0,0	3,4204
Hvar	šara	0,0852	0,0	7,3212
Hvar	berba	0,1507	0,0	5,3469
Lastovo	pupanje	0,4503	0,0	5,0569
Lastovo	cvatnja	0,6366	0,0	4,5741
Lastovo	šara	0,6344	0,0	7,0199
Lastovo	berba	0,4316	0,0	5,3754

Tablica A3. Osnovni pokazatelji pogreške za višestruku linearnu regresiju (temperatura i oborina) u validacijskom razdoblju (1991.-2020.) po postajama i fenofazama.

Postaja	Faza	$r^2$	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>
Daruvar	pupanje	0,2716	-0,6773	6,6114
Daruvar	cvatnja	0,1955	7,2738	10,7085
Daruvar	šara	0,0199	-3,0480	9,9852
Daruvar	berba	0,1616	11,3993	14,6567
Križevci	pupanje	0,0131	-3,2389	8,3313
Križevci	cvatnja	0,3613	3,1438	8,6600
Križevci	šara	0,0108	-14,4672	17,7872
Križevci	berba	0,4007	15,3323	16,9058
Hvar	pupanje	0,0325	8,9699	12,9029
Hvar	cvatnja	0,0002	4,8886	10,1854
Hvar	šara	0,3156	-6,9192	8,7775
Hvar	berba	0,4436	-1,4415	6,0474
Lastovo	pupanje	0,1285	-1,7496	8,9889
Lastovo	cvatnja	0,1116	2,9608	6,5308
Lastovo	šara	0,3599	14,7201	18,0209
Lastovo	berba	0,1921	8,3163	11,5092



Slika A3. Prikaz simuliranih i opaženih srednjih godišnjih temperatura prema modelu COSMO za postaju Križevce za razdoblje 1999.-2009.



Slika A4. Prikaz simuliranih i opaženih srednjih godišnjih temperatura prema modelu COSMO za postaju Lastovo za razdoblje 1999.-2009.

Tablica A4. Usporedba mjera pogreški za dvije različite sorte ('Merlot' i 'Grenache') u STICS modelu za postaju Hvar.

Sorta	Faza	$r^2$	$BIAS$	$RMSE$
'Merlot'	pupanje	0,023516	3,61538	13,26649
'Merlot'	cvatnja	0,09508	-3,09615	8,78701
'Merlot'	kraj cvatnje	0,19319	-2,21153	6,59399
'Merlot'	berba	0,086123	5,05769	10,05848
'Grenache'	pupanje	0,0219	1,11538	12,8871
'Grenache'	cvatnja	0,09295	-4,0769	9,2549
'Grenache'	kraj cvatnje	0,19029	-3,26923	7,08465
'Grenache'	berba	0,08768	-4,153846	9,57159