

Утицај климатских промјена на штетне организме у пољопривреди

Синиша Митрић¹, Бранимир Њежић¹, Биљана Келечевић¹,
Милица Ђорђевић², Дејан Супић²

¹Универзитет у Бањој Луци, Пољопривредни факултет,

²Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде,
Републички хидро-метеоролошки завод

Сажетак. Појава, бројност, динамика ширења штетних организама у пољопривреди значајно је условљена еколошким факторима, прије свега, температуром ваздуха и земљишта, количином падавина, дужином безмразног периода и влажношћу земљишта. Климатске промјене су несумњиве и огледају се, између осталог, у повећању температуре копна и океана, повећању појаве екстремних временских прилика, као и повећању концентрације стакленичких гасова, порасту нивоа мора, повећању топљења леда и смањењу ледењака. Те климатске промјене између осталог утичу на социо-економски развој, миграције и расељавање, на копнене и морске екосистеме, али и на сигурност у производњи хране. Повећање температуре може утицати на убрзање развоја штеточина због бржег достизања суме температуре у функцији броја дана потребних за појаву одређеног животног стадија штеточина („number of degree-days“). То може довести до ширења

Цитирање: Митрић С, Њежић Б, Келечевић Б, Ђорђевић М, Супић Д (2023) Утицај климатских промјена на штетне организме у пољопривреди. У: Јакуповић Е, Говедар З (уредници) Значај климатских промјена за животну средину. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Зборник радова: 153–173

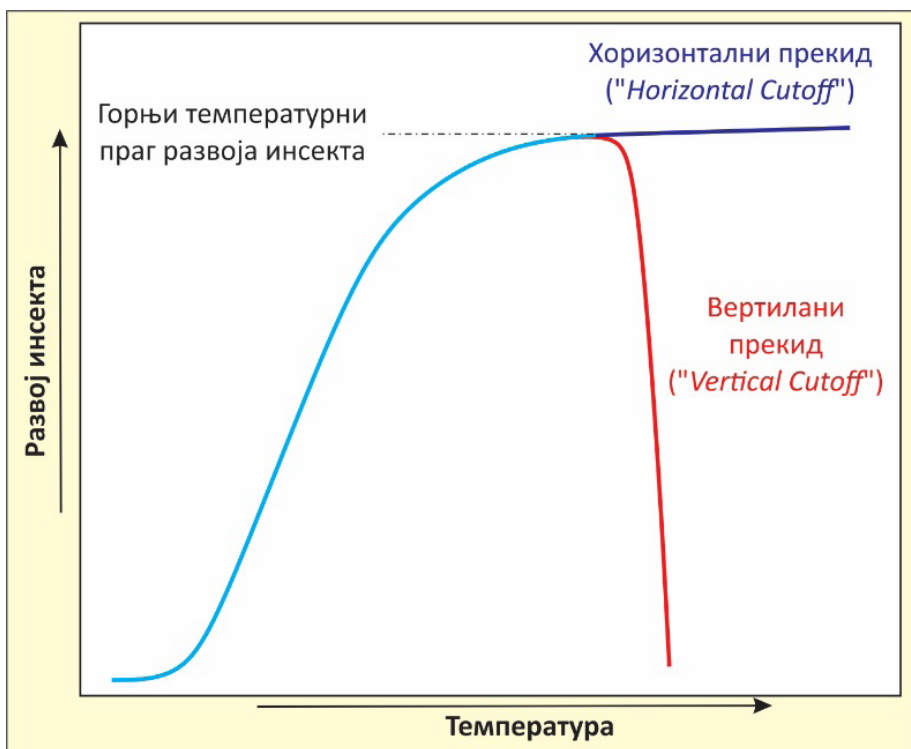
Cite as: Mitrić S, Nježić B, Kelečević B, Đorđević M, Supić D (2023) The impact of climate change on harmful organisms in agriculture. In: Jakupović E, Govedar Z (eds) Significance of forest ecosystems for the environment. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Proceedings: 153–173

ареала већ постојећих штеточина на више надморске висине и географску ширину, повећање броја генерација у току године, повећање бројности штеточина или њихову ранију појаву у току године. Промијењени услови у периоду презимљавања могу бити одлучујући фактор за динамику популације штетних организама. Рад је имао за циљ да се израчунају суме активних температура - GDD (growing degree days) изнад 10°C за Бања Луку, Бијељину, Добој, Соколац и Билећу, за период од 1981. до 1990. године, као и за период од 2012. до 2021. године. Сума активних температура је израчуната методом средина. Добијени резултати говоре да је у протеклој декади дошло до статистички значајног повећења суме активних температура за мјесечне периоде 1. јули, 1. август, 1. септембар и 1. октобар, у односу на период од 1981. до 1990. године. Ова статистичка значајност није уочена за период од 1. јуна до 30. јуна за Бијељину, Добој и Соколац, те за Билећу до 1. јуна.

Кључне ријечи: климатске промјене, заштита биљака, сума активних температура, штеточине

1. Прогноза појаве штетних организама у пољопривреди у зависности од температуре ваздуха

Температура ваздуха и земљишта је битан абиотички еколошки фактор који условљава живот штетних организама у пољопривреди, прије свега, штеточина. Инсекти су поикилотермне (хладнокрвне) животиње и температура њиховог тијела варира у зависности од промјене температуре спољашње средине. Стога, температура испољава веома снажан утицај на развиће, раст, дужину живота, животне активности, бројност популације и распрострањеност инсеката (Đimić i sar., 2013). Температура је један од главних фактора потребних за ницање биљних врста, па и коровских врста. Утицај температуре ваздуха на брзину инфекције и инкубације фитопатогених гљива је такође изузетно значајна. У односу штетних организама према температури, може се рећи да су они већим дијелом еуривалентни организми, тј. да имају широку еколошку валенцу у погледу могућности преживљавања на некој температури. Ипак, код већине штетних организама је констатована оптимална температура која се може назвати оптимална зона и унутар које штетни организми испољавају своје штетно дјеловање. Обично при достизању неке максималне температуре успорава се инфекциона способност проузроковача болести, а инкубација продужава. Развој инсекта прати предвидљиву прогресију засновану на температури. Када инсекти достигну свој горњи температурни праг, развој неких врста се успорава (хоризонтални прекид), а код других врста се зауставља (вертилан прекид) (слика 1).



Слика 1. Развој инсеката у зависности од температуре. Када инсекти дођу до свог горњег прага, развој неких врста се успорава (хоризонтални прекид), а код других врста развој се зауставља (вертикални прекид) (Murray, 2008).

Figure 1. An insect's development follows a predictable progression based on temperature. When insects reach their upper threshold, development of some species levels off (horizontal cutoff), and for other species stops (vertical cutoff) (Murray, 2008).

Димић и сар. (2013) указују да је температурна валенца или температурна витална зона доста широка и код инсеката се креће од -40°C до $+48^{\circ}\text{C}$. Витална зона се према истим ауторима дијели на зону привремене укочености, услед ниске, односно високе температуре, а између њих се налази зона активности, унутар које се налази оптимална зона, у чијем температурном интервалу инсекти имају најповољније услове за живот. У зони активности инсект се храни и размножава, док је у зонама привремене укочености у стању анабиозе. Унутар граница оптималне температурне зоне, развиће инсеката у правилу се одвија најбрже, плодност је највиша, а смртност најнижа (Đimić i sar., 2013). Доњу границу темературне зоне активности представља температура на којој развиће инсеката престаје, односно започиње, те се она и назива праг развића. Температура која је изнад прага развића назива се ефективна температура.

Збир ефективних температура представља укупну суму топлотне енергије неопходне за потпуно развиће.

Сума активних температура - GDD (*Growing Degree Days*) или број степени-дана (*Degree Days*), тј. акумулација топлоте може се користити за предвиђање појаве појединих животних стадија инсеката, као и фенологије биљака. Предвиђање појаве штетних организама у пољопривреди коришћењем суме активних температура има велику вриједност за планирање и управљање појавом штетних организама (Crimmins and Crimmins, 2019). Сума активних температура се може израчунати на три начина (Murray, 2008).

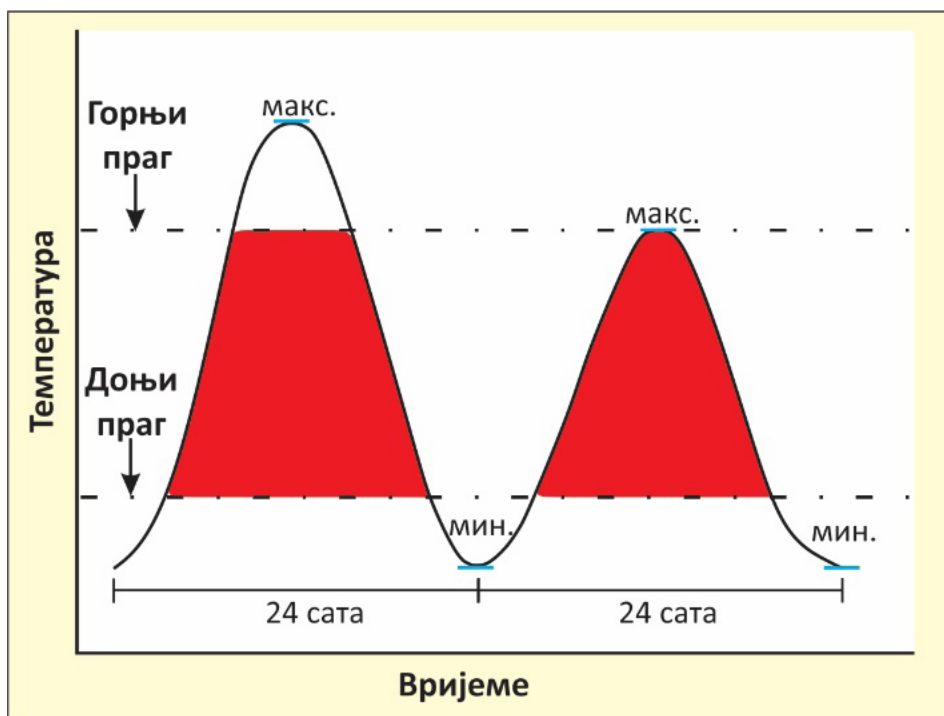
Први и најједноставнији и најчешће примјењивани метод је метод средина (*Average Method*), приказан у једначини 1. Рачуна се тако да се збир максималне и минималне дневне температуре подијели са два, а потом од тог количника се одузме базна температура која, ако није другачије дефинисано, за инсекте и корове износи 10°C, ($T_{base} = 10^\circ\text{C}$). Ако је GDD израчуната на овај начин, мања од нуле ($GDD < 0^\circ\text{C}$), онда се за тај дан узима да је $GDD = 0$. Сума активних температура се рачуна од 1. јануара.

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base} \right) \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{једначина 1})$$

Други начин рачунања GDD је модификовани метод средина (*Modified Average Method*) приказан у једначини 2. Наиме, када дневна температура флукутира изнад и испод основне температуре (као што се често дешава у прољеће), онда метода средина може потцијенити број степени-дана којима је заиста изложена биљка или инсект. То је из разлога што се развој дешава чак и током кратких периода када је температура изнад основне температуре, без обзира колико хладно може бити током остатка дана. У овој ситуацији, модификована метода средина ће израчунати већи број степен-дана и стога може бити тачнија за предвиђање активности штеточина од просјечне методе.

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{base}}{2} - T_{base} \right) \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{једначина 2})$$

Трећи начин рачунања GDD је метод синусоидног таласа (*Sine Wave Method*), који је приказан на слици 2. Овај метод је још прецизнији када минимална температура падне испод базне (основне) температуре. Овај метод користи чињеницу да обрасци дневних температура веома личе на синусоидну функцију. У овом методу ће се активне дневне температуре (степен-дани) израчунавати интегрисањем температура испод горњег прага температурне криве и температура изнад доњег прага температурне криве (црвено осјенчени дио слике 2). У данима када минимална температура остаје изнад базне (основне) температуре, овај метод даје исти резултат као и метода средина. Већина стручњака сматра да је метод синусоидног таласа превише сложен за израчунавање без рачунара.



Слика 2. Визуелни приказ активних температура (степен дана) коришћењем методе синусног таласа прорачуна, са хоризонталним пресеком. Бојено подручје испод криве представља суму активних температура (степен дана) који се налазе између доњег и горњег прага, за сваки 24-часовни период (Murray, 2008).

Figure 2. Visual representation of degree days using the sine wave method of calculation, with a horizontal cutoff. The area in black under the curve represents the number of degree days that fall between a lower and upper threshold, for each 24-hour period (Murray, 2008).

Примјер коришћења суме активних температура за прогнозу појаве штетних организама у пољопривреди у зависности од температуре ваздуха биће представљен за смотавца или савијача јабуке (*Cydia pomonella* L.). Смотавац јабуке (*Cydia pomonella* L.) презими као одрасла гусјеница у кокону испод коре и у пукотинама на деблу и дебљим гранама. У априлу прелази у стадиј лутке на мјесту презимљавања. Излијетање лептира почиње крајем априла, а у мају је лет још интензивнији и траје до краја јуна мјесеца. У почетку периода еклозије преовлађују мужјаци, а касније женке. Дужина живота, зависно од температуре ваздуха траје 1 до 2 недеље, а ако су ниже температуре, од 23 до 30 дана. Лептир је активан по заласку сунца. Ако је температура ваздуха два дана узастопно виша од 18 °C, већ дан након еклозије лептира, долази до

њихове копулације, обично у касним вечерњим сатима, на температурама од 14 до 20°C. Овипозиција почиње на температури од 14 до 16°C, а максимална је на 22-30°C. Највећи број јаја, женка положи другог до петог дана, од почетка овипозиције. Фекундитет женки презимљујуће генерације је 17-23 јајета, а љетне 76-83 јајета. Женка полаже јаја појединачно, на глатку површину плода или оближњег листа или младара. Ембрионално развиће, зависно од температуре траје од 6 до 12 дана, а по пиљењу, ларве се крећу и убушују у плод, обично на мјесту додира два плода, листа и плода, поред чашице или петељке. Гусјенице првог ступња L_1 хране се испод епидермиса плода недељу дана, а послје пресвлачења убушују се у месо плода. Гусјенице изгризу тамномрки ходник испуњен изметом. Ходник се пружа све до сјемене кућице јер се гусјенице хране и сјеменом. Оштећени плодови опадају. Развој гусјенице траје од 30 до 40 дана, и за то вријеме се пресвлачи 4 пута, односно има 5 ступњева развоја (Алмаши и сар., 2004). Одрасла гусјеница, L_5 напушта плод и прелази на стабло, гдје прави бијели запредак - кокон, а затим се одмах у њему трансформише у лутку. Лептири друге генерације се јављају почетком јула, с тим што долази до преклапања генерација, па се у то вријеме могу наћи истовремено лептири и прве и друге (љетње) генерације.

Развијени су многобројни модели за праћење смотавца јабуке (Pickel et al, 1986, Pitcairn et al, 1992, Murray, 2008). Модел који је развијен на Државном универзитету Јуте у Сједињеним Америчким Државама (Murray, 2008), предвиђа да доњи температурни праг за смотавца јабуке износи 10°C, а горњи температурни праг 31°C. Сума активних температура се рачуна коришћењем методе синусоидног таласа, са хоризонталним температурним прекидима. Модел предвиђа да се феромонске клопке поставе када се акумулира $GDD=38^\circ\text{C}$ након 1. марта, а посебан опрез у вези са праћењем штеточине се обично узима када се у феромонске клопке ухвате лептири двије ноћи узастопно, а да су при томе температуре ваздуха при заласку сунца изнад 16,7°C. Сума активних температура за поједине развојне стадије смотавца јабуке приказана је у табели 1. (Murray, 2008).

Табела 1. Примјери модела израчунавања суме активних температура за савијача јабуке (*Cydia pomonella* L.) (Murray, 2008)

Table 1. Examples of the model Degree-day accumulations required for each stage of development for the Codling Mot (*Cydia pomonella* L.) (Murray, 2008)

Модел Murray (2008)	
Догађај	Сума активних температура (°C)
Испиљено 1% јаја прве генерације	104
Испиљено 20% јаја прве генерације	182
Испиљено 50% јаја прве генерације	251

Модел Murray (2008)	
Догађај	Сума активних температура (°C)
Испиљено 75% јаја прве генерације	321
Испиљено о 95% јаја прве генерације	471
Појава 5% лептира друге генерације	537
Испиљено 7% јаја друге генерације	682
Испиљено 30% јаја друге генерације	793
Испиљено 50% јаја друге генерације	860
Испиљено 75% јаја друге генерације	954
Испиљено 95% јаја друге генерације	1094
Генерација (од јајета до јајета)	471

Модел Pickel et al., (1986) предвиђа да доњи температурни праг за смотавца јабуке износи 11,1°C, а горњи температурни праг 34,4°C. Сума активних температура се рачуна коришћењем методом синусоидног таласа, а феромонске клопке се постављају по пуцању пупољака (табела 2).

Табела 2. Примјери модела израчунавања суме активних температура за савијача јабуке (*Cydia pomonella* L.) за сваки развојни стадиј (Pickel et al, 1986)

Table 2. Examples of the model Degree-day accumulations required for each stage of development for the Codling Mot (*Cydia pomonella* L.) (Pickel et al, 1986)

Модел Pickel et al. (1986)	
Преовипозиција + полагање јаја	88,9
Ларве	263,9
Лутке	222,2
Генерација (од јајета до јајета)	575,0

Рајац Živković (2012) је поредила податке о праћењу појаве јабукиног смотавца (савијача) (*Cydia pomonella* L., 1758) за период од 1997. до 1999. год. у односу на период од 2008. до 2010. год., за три иста воћњака у сјеверозападној Хрватској (Белославец, Клоштар Иванић, Неделишће). Резултати њеног истраживања спроведених у периоду од 1997. до 1999. године, показали су да је лет лептира био почетком маја, односно да је почињао касније у односу на посљедње три године истраживања, када је лет лептира био средином априла, односно четири до шест седмица раније у односу на претходни истраживани период. Са друге стране, у периоду од 1997. до 1999. год., лет лептира је завршавао средином августа, док је у периоду од 2008-2010. год. установљено продужење лета лептира до краја августа, или до почетка септембра.

2. Материјал и метод

Урађена је анализа метеоролошких података мјерених на метеоролошким станицама Бања Лука, Бијељина, Добој, Соколац и Билећа, за период од 1981. до 1990. године, као и период од 2012. до 2021. године. Подаци су обрађивани на начин да се израчунају суме активних температура - GDD (*growing degree days*) изнад 10°C, те да се сагледа разлика између суме активних температура протеклих десет година (2012-2021. год.), у односу на период од прије 20 година (1981-1990. год.). Сума активних температура је израчуната методом средина (једначина 1). Сума је рачуната од 1. јануара, а за дане када је дневна сума била мања од нула степени, за тај дан узима да је GDD=0. Подаци о минималној и максималној дневној температури за сваки дан у години за наведене метеоролошке станице су подаци Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске.

3. Резултати

Сума активних температура за Бању Луку, Бијељину, Билећу, Добој и Соколац израчуната методом средина са базном (основном) температуром $t_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ је представљена у табелама од 3 до 12, и графиконима од 1 до 5.

Табела 3. Сума активних температура са базном температуром $t_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ за Бања Луку за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Table 3. Degree-day accumulations for Banja Luka for period 1981-1990. and 2012-2021

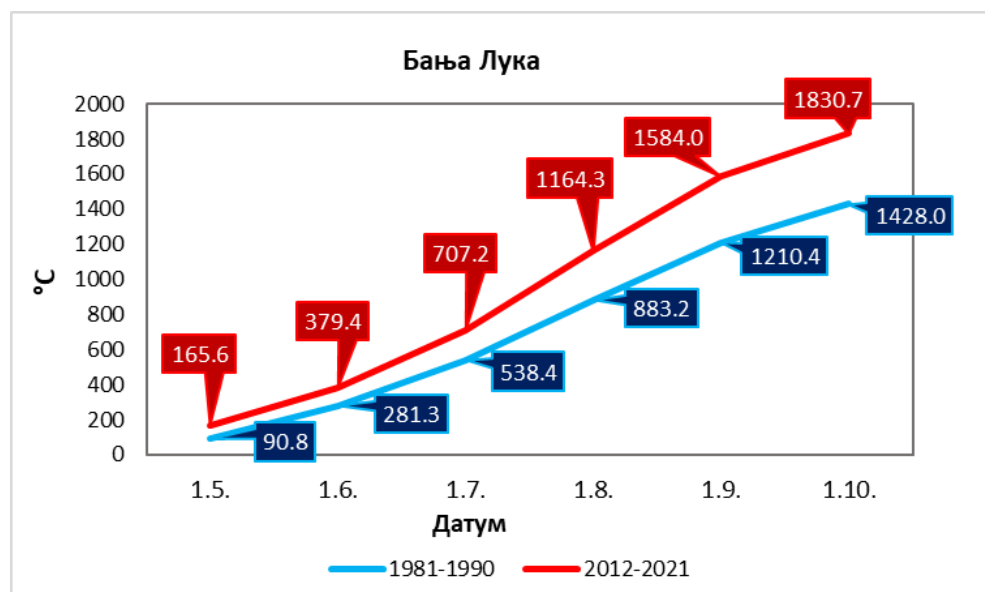
Датум	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1.5.	96	30.6	153.8	30.2	78.5	121.3	72.9	63.5	152.3	108.5
1.6.	267.1	231.9	390.5	185.7	303.4	358	207.6	257.6	297.6	313.9
1.7.	540.9	544.5	630.8	414.4	528.2	597.7	486.6	517.2	533.4	590.4
1.8.	853.8	890.4	1025.8	703.3	866.8	897.2	888.3	925.6	870.8	909.5
1.9.	1181.8	1209.2	1354.6	969.5	1207.3	1252.7	1203.5	1287.6	1197.8	1239.6
1.10.	1403.5	1500.1	1550.1	1181.2	1411.3	1427.9	1506.9	1496	1384.4	1418.5
Датум	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.5.	168.5	170.3	192.3	110.8	179.7	164.9	232.2	166.3	160	111
1.6.	369	379.2	383.5	359.3	388.5	415.3	535.6	306.5	351.8	305.1
1.7.	767.6	691	700.8	682.8	746.1	800.5	868.6	722.3	392.1	699.9
1.8.	1233.9	1103.1	1084.8	1153.3	1162.5	1250.2	1274	1141.1	1063.3	1177
1.9.	1693.5	1529.4	1434.1	1612.5	1503.2	1703.4	1712.5	1591.8	1487.7	1571.8
1.10.	1976.6	1746	1654.5	1870.5	1763.7	1894.3	1958.4	1848.6	1763.1	1831.4

Табела 4. Средње вриједности суме активних температура за Бања Луку (°C) са тестом разлика аритметичких средина за десетогодишњи период.

Table 4. Mean values of the degree-day accumulations for Banja Luka (°C) with a test of differences of arithmetic means for a ten-year period.

Датум	Год.	$\bar{x} \pm SD$ (°C)	Год.	$\bar{x} \pm SD$ (°C)	Разлика(°C)	t	p
1.5.	81-90	90.8±44.1	12-21	165.6±35.6	74,8**	4.50	0.0015
1.6.	81-90	281.3±64.5	12-21	379.4±64.9	98,1*	3.11	0.0126
1.7.	81-90	538.4±61.0	12-21	707.2±124.9	168.8**	3.84	0.0039
1.8.	81-90	883.2±79.4	12-21	1164.3±71.0	281.2****	7.67	<0.0001
1.9.	81-90	1210.4±99.1	12-21	1584.0±97.2	373.63***	7.47	<0.001
1.10.	81-90	1428.0±102.6	12-21	1830.7±100.5	402.72***	7.85	<0.001

Легенда: \bar{x} = средња вриједност; SD= стандардна девијација; *, **, *** и **** означавају статистичку значајност за $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ респективно; ^{NZ}= није статистички значајан ($p > 0,05$)



Граф. 1. Упоредни преглед суме активних температура за Бања Луку за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Graph 1. Comparative overview of degree-day accumulations for Banja Luka for the period 1981-1990 and 2012-2021

Табела 5. Сума активних температура са базном температуром $t_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ за Бијељину за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Table 5. Degree-day accumulations for Bijeljina for period 1981-1990. and 2012-2021.

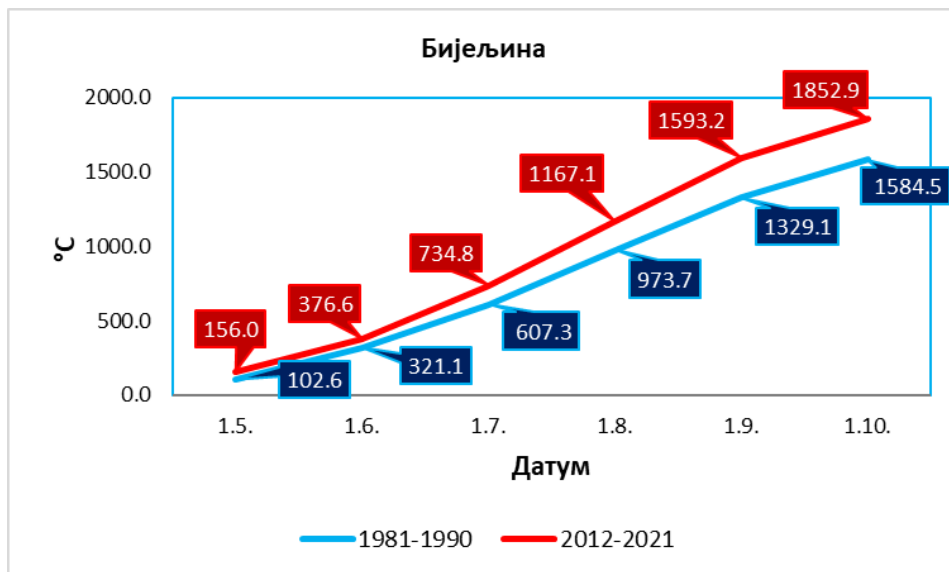
Датум	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1.5.	107.7	31.9	176.5	45.2	82.2	140.5	77.2	71.6	185	107.7
1.6.	308.2	277.8	432.5	239.1	346.6	406	237.8	290.4	364.3	308.2
1.7.	614	615.6	705.6	492.5	584.3	687.4	554.3	589.6	616	614
1.8.	954	980.6	1100.6	797.8	958.5	1010.6	983.5	1023.7	973.7	954
1.9.	1299	1331.6	1463.1	1115.4	1329	1380.4	1315.2	1426.1	1332.5	1299
1.10.	1552	1650.6	1673.2	1382	1539	1598.5	1644.2	1664.7	1588.1	1552.8
Датум	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.5.	171.4	161.8	171	113.6	167.7	148.6	256.3	160.4	125.5	84.1
1.6.	385.1	388.6	366.1	373.5	383	402.1	565.1	320	304.4	278.1
1.7.	772.2	703.4	690.5	701.3	748.2	790.7	909.6	722.8	637.2	672.1
1.8.	1270.6	1110.2	1091.1	1172.7	1159.9	1240.7	1318.3	1129.2	1018.4	1159.4
1.9.	1723.8	1535.8	1462.3	1637.5	1518.3	1702.2	1771.3	1583.1	1444	1553.3
1.10.	2025.1	1747.2	1691.8	1905.7	1796.3	1930.2	2039	1848	1733	1812.5

Табела 6. Средње вриједности суме активних температура за Бијељину ($^{\circ}\text{C}$) са тестом разлика аритметичких средина за десетогодишњи период.

Table 6. Mean values of the degree-day accumulations for Bijeljina ($^{\circ}\text{C}$) with a test of differences of arithmetic means for a ten-year period.

Датум	Год.	$\bar{x} \pm SD$ ($^{\circ}\text{C}$)	Год.	$\bar{x} \pm SD$ ($^{\circ}\text{C}$)	Разлика($^{\circ}\text{C}$)	t	p
1.5.	81-90	102.5 \pm 51.7	12-21	156.0 \pm 45.5	53.49*	2.31	0.047
1.6.	81-90	321.1 \pm 65.8	12-21	376.6 \pm 77.9	55.51 ^{NZ}	1.50	0.168
1.7.	81-90	607.3 \pm 60.7	12-21	734.8 \pm 76.7	127.47**	3.83	0.0040
1.8.	81-90	973.7 \pm 76.1	12-21	1167.1 \pm 89.3	193.35***	4.82	0.0009
1.9.	81-90	1329.1 \pm 92.9	12-21	1593.2 \pm 111.9	264.03***	5.04	0.0007
1.10.	81-90	1584.5 \pm 86.7	12-21	1852.9 \pm 119.9	268.37***	5.18	0.0006

Легенда: \bar{x} = средња вриједност; SD= стандардна девијација; *, **, *** и **** означавају статистичку значајност за $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ респективно; ^{NZ}= није статистички значајан ($p > 0,05$)



Графикон 2. Упоредни преглед сума активних температура за Бијељину за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Graph 2. Comparative overview of degree-day accumulations for Bijeljina for the period 1981-1990 and 2012-2021

Табела 7. Сума активних температура са базном температуром $t_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ за Билећа за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

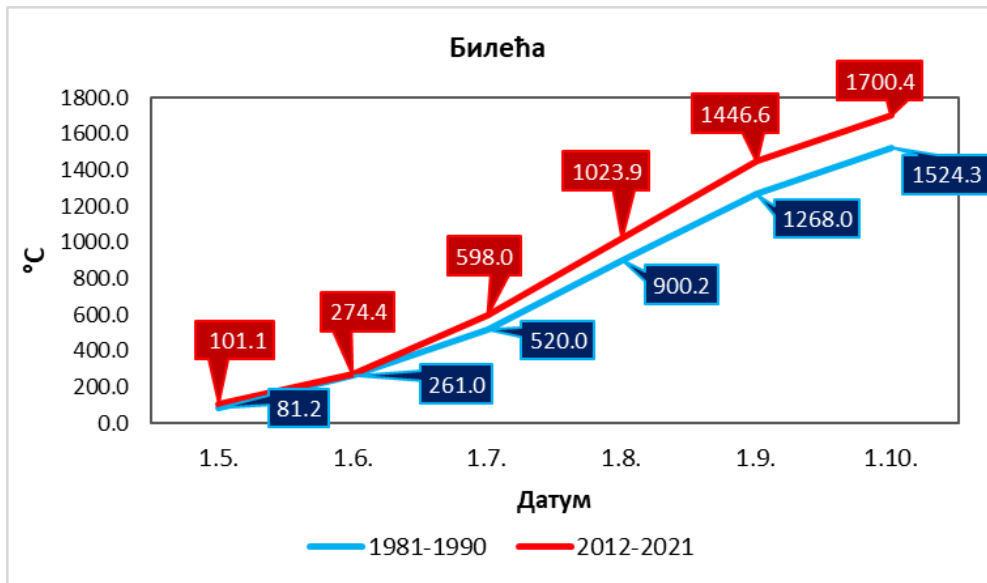
Table 7. Degree-day accumulations for Bileća for period 1981-1990. and 2012-2021.

Датум	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1.5.	100.3	44.6	122.5	23.3	52.6	101.8	49.3	63.9	122.2	131.6
1.6.	253.3	262.8	316.9	171.8	268.8	335.9	152.8	268.4	266	313.3
1.7.	546	593.9	551.5	391.7	506.6	604.3	414.9	519.6	477.3	594.6
1.8.	869.7	950.5	962.5	740.3	896.9	940.6	832.4	987.7	838.8	982.5
1.9.	1224.2	1324.4	1295.1	1044.2	1290	1350.1	1202.5	1410.2	1186.6	1352.6
1.10.	1448.5	1649.8	1516.3	1235.6	1570.1	1632.9	1569.5	1655.2	1423.5	1541.2
Датум	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.5.	96.1	111.7	95.7	51.4	141.5	92	176.9	96.1	88.1	61
1.6.	258.9	286	245.7	257.9	282.6	284.7	433.3	199.9	270.7	224.4
1.7.	616.5	578.6	538.6	572.8	592	652.3	747.2	576.1	540.5	565.8
1.8.	1090.6	989.1	872.8	1059	1012.8	1091	1157.6	980.3	958.1	1027.9
1.9.	1545.2	1416	1233.4	1492.9	1400.7	1542.4	1581.2	1422.6	1381.7	1449.4
1.10.	1829.4	1627.8	1440.9	1766	1635.9	1757.2	1847.3	1688.3	1690.6	1720.8

Табела 8. Средње вриједности суме активних температура за Билећу (°C) са тестом разлика аритметичких средина за десетогодишњи период

Table 8. Mean values of the degree-day accumulations for Bileća (°C) with a test of differences of arithmetic means for a ten-year period

Датум	Год.	$\bar{x} \pm SD$ (°C)	Год.	$\bar{x} \pm SD$ (°C)	Разлика(°C)	t	ρ
1.5.	81-90	81.2±38.8	12-21	101.1±36.4	19.84 ^{NS}	1.03	0.33
1.6.	81-90	261.0±59.0	12-21	274.4±62.3	13.41 ^{NS}	0.39	0.70
1.7.	81-90	520.0±74.0	12-21	598.0±62.3	78.00*	2.28	0.04
1.8.	81-90	900.2±79.8	12-21	1023.9±80.6	123.73**	2.89	0.018
1.9.	81-90	1268.0±106.2	12-21	1446.6±101.4	178.56**	3.47	0.007
1.10.	81-90	1524.3±128.4	12-21	1700.4±117.0	176.16**	2.94	0.017



Графикон 3. Упоредни преглед сума активних температура за Билећу за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Graph 3. Comparative overview of degree-day accumulations for Bileća for the period 1981-1990 and 2012-2021

Табела 9. Сума активних температура са базном температуром $t_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ за Добој за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

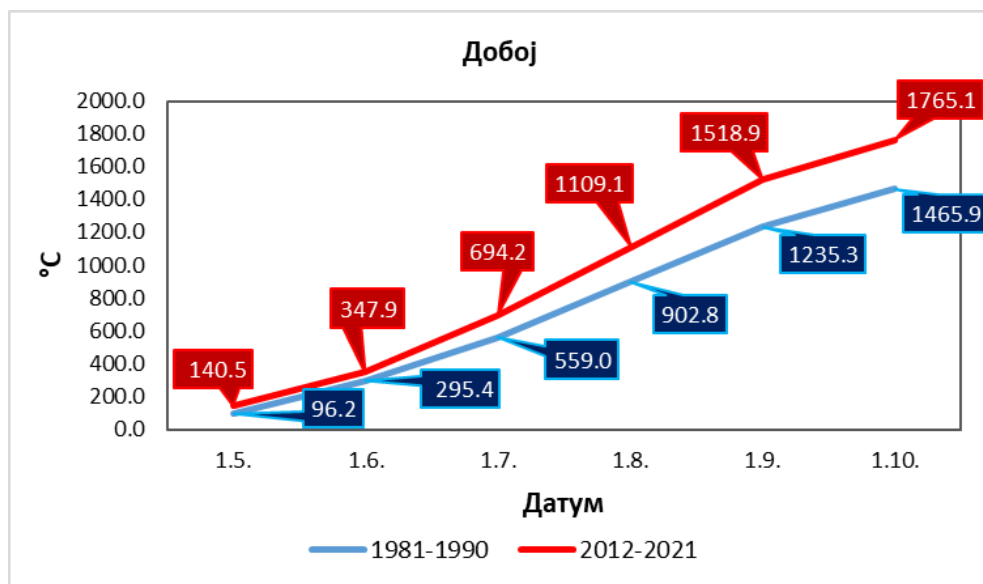
Table 9. Degree-day accumulations for Doboј for period 1981-1990. and 2012-2021

Датум	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1.5.	93.8	21.3	161.4	34.9	91.5	146.8	67.1	62.9	178.7	103.2
1.6.	280.5	228.9	408.4	220.8	327.4	392.4	203.4	259.2	328.9	304.1
1.7.	565.6	543.4	657.5	462.3	560.4	640.8	487.8	526.5	555.6	590.1
1.8.	882.4	886.6	1042.4	758.4	923.1	945.2	888.1	919.1	879	903.6
1.9.	1195.3	1213	1376.7	1055.3	1284.3	1314.2	1201.7	1284.8	1201.7	1225.8
1.10.	1426.9	1522.9	1587.2	1307	1505.3	1517.7	1504.5	1494.2	1397.4	1395.9
Датум	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.5.	146.5	150.5	155.2	100.9	147.9	128.4	220.1	140.7	132.9	81.6
1.6.	338.4	359.9	341.7	342.1	342.1	368.6	519	285.3	312.1	269.8
1.7.	719.8	664.3	651.6	646.4	697.9	735.8	850	691.8	633.8	650.4
1.8.	1176.9	1050.1	1024.4	1101.8	1103.4	1159.1	1244.4	1093.4	1011.1	1126.1
1.9.	1604.8	1452.4	1369.1	1551.6	1445.9	1608.7	1671.3	1534.2	1437.9	1512.7
1.10.	1888.5	1653.6	1589.8	1804.8	1700.9	1812.7	1913.5	1795.2	1719.3	1772.5

Табела 10. Средње вриједности суме активних температура за Добој ($^{\circ}\text{C}$) са тестом разлика аритметичких средина за десетогодишњи период.

Table 10. Mean values of the degree-day accumulations for Doboј ($^{\circ}\text{C}$) with a test of differences of arithmetic means for a ten-year period.

Датум	Год.	$\bar{x} \pm SD$ ($^{\circ}\text{C}$)	Год.	$\bar{x} \pm SD$ ($^{\circ}\text{C}$)	Разлика($^{\circ}\text{C}$)	t	p
1.5.	81-90	96.2 \pm 52.7	12-21	140.5 \pm 36.5	44.31 ^{NS}	2.11	0.06
1.6.	81-90	295.4 \pm 70.2	12-21	347.9 \pm 67.8	52.50 ^{NS}	1.47	0.17
1.7.	81-90	559.0 \pm 60.7	12-21	694.2 \pm 64.3	135.18 ^{**}	4.34	0.002
1.8.	81-90	902.8 \pm 70.1	12-21	1109.1 \pm 71.7	206.28 ^{***}	5.93	0.0002
1.9.	81-90	1235.3 \pm 86.9	12-21	1518.9 \pm 93.5	283.58 ^{***}	6.00	0.0002
1.10.	81-90	1465.9 \pm 82.2	12-21	1765.1 \pm 100.8	299.18 ^{***}	6.17	0.0002



Графикон 4. Упоредни преглед сума активних температура за Добој за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Graph 4. Comparative overview of degree-day accumulations for Doboj for the period 1981-1990 and 2012-2021

Табела 11. Сума активних температура са базном температуром $t_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ за Соколац за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

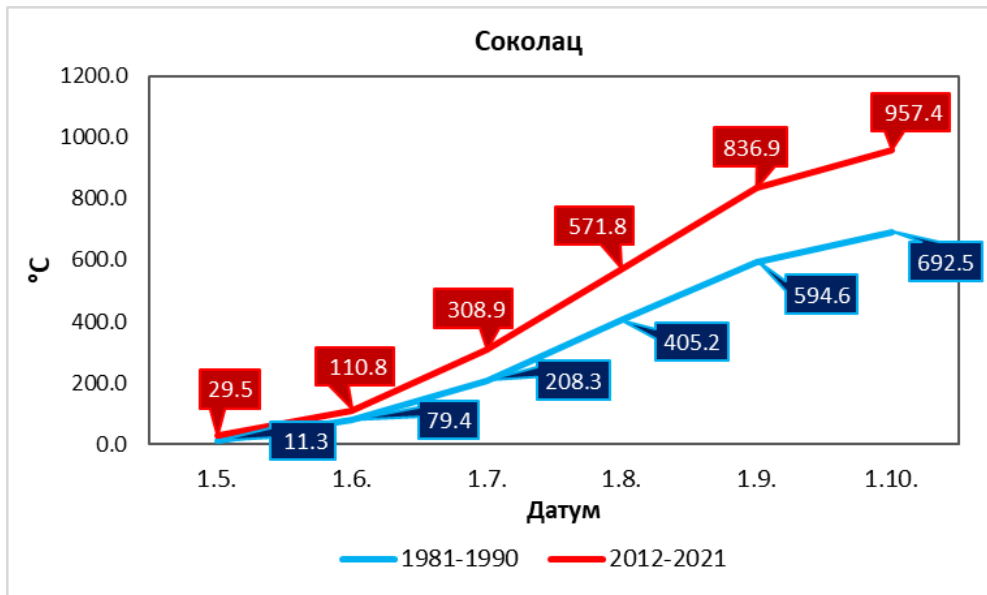
Table 11. Degree-day accumulations for Sokolac for period 1981-1990 and 2012-2021

Датум	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1.5.	7.8	0	37.3	0.15	6.2	23.1	0	2.5	27.8	8.1
1.6.	63.8	72.8	112.7	46.2	123.6	119.1	25.5	90	70.7	70
1.7.	207.3	243.4	221	151.2	231.8	240.5	165.5	226.1	162.4	234.2
1.8.	355.8	438	423.2	298.8	418.3	391.8	433.2	494.5	358.7	439.7
1.9.	524.7	627	590.9	450.2	623	598	613	741.2	558.4	619.8
1.10.	613	793.9	652.5	539.7	684.7	690.5	812.8	827.9	645.1	664.5
Датум	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.5.	29.5	43.3	21.3	4.5	48	18.5	73.9	20.9	18.1	17
1.6.	86	127.1	83.5	119.2	110.8	117.1	217.5	54.8	93.9	98.2
1.7.	338.6	297	241.5	269.8	326.8	344	392.4	304.2	261.4	313.3
1.8.	653.9	534.9	464.9	575.1	585.3	611	646.4	542.9	483.7	619.9
1.9.	951	807.7	694	870.2	777.8	900.9	934	827.6	742.7	862.9
1.10.	1130.5	897.4	789.7	1015.5	880.7	995.5	1058.2	959.6	878.3	968.5

Табела 12. Средње вриједности суме активних температура за Соколац (°C) са тестом разлика аритметичких средина за десетогодишњи период.

Table 12. Mean values of the degree-day accumulations for Sokolac (°C) with a test of differences of arithmetic means for a ten-year period.

Датум	Год.	$\bar{x} \pm SD$ (°C)	Год.	$\bar{x} \pm SD$ (°C)	Разлика(°C)	t	p
1.5.	81-90	11.3±13.3	12-21	29.5±20.2	18.21 ^{NS}	2.06	0.070
1.6.	81-90	79.4±32.0	12-21	110.8±43.1	31.37 ^{NS}	1.50	0.17
1.7.	81-90	208.3±35.2	12-21	308.9±44.6	100.56 ^{***}	5.82	0.0003
1.8.	81-90	405.2±55.4	12-21	571.8±64.8	166.60 ^{***}	5.95	0.0002
1.9.	81-90	594.6±75.6	12-21	836.9±83.0	242.26 ^{***}	6.28	0.0001
1.10.	81-90	692.5±92.8	12-21	957.4±99.4	264.93 ^{***}	5.96	0.0002



Графикон 5. Упоредни преглед сума активних температура за Соколац за период 1981-1990. и 2012-2021. год.

Graph 5. Comparative overview of Degree-day accumulations for Sokolac for the period 1981-1990 and 2012-2021

4. Дискусија

Анализирањем суме активних температура за Бању Луку, Бијељину, Билећу, Добој и Соколац за период од 1981. до 1991. и за период од 2012. до 2021. године, утврђено је да је дошло до значајног повећања суме активних температура са прагом од 10°C готово за све мјесечне периоде. То повећање је нарочито изражено за период јула, августа и септембра. У посматраном периоду, десетогодишњи просјек суме активних температура у свим случајевима је већи за период 2011-2021., у односу на период 1981-1991. година. Модел који је узет за израчунавање суме активних температура није најадекватнији за зимско-прољетни период јер је евидентно да је дошло до појаве феномена „раног прољећа“, али што рачунањем методом средина није довољно и поуздано квантифицирано. Стога, исправно поступају аутори који за ранији период године узимају модел синусоидног таласа (*Sine Wave Method*) (Pickel et al., 1986, Pitcairn et al., 1992, Murray, 2008). Повећање температуре током зиме и феномен раног прољећа (*“early spring”*) је био у пажњи великог броја истраживача и свијету. Појава раног прољећа је узрокована високим зимским и прољећним температурама што доводи до активности штетних врста и фенолошких појава које раније наступају од уобичајених (Crimmins and Crimmins, 2019). Истраживања су усмјеравана и на утврђивање тога да ли рана активност штетних организама у прољеће има утицаја на каснија дешавања у сезони (Ault et al., 2013; Ellwood et al., 2013; Hufkens et al., 2012). Феномен високих температура на почетку године које доводе до ранијег цвјетања биљака, неки аутори називају и лажно прољеће (*„false spring”*) (Ault et al., 2013). Феномен ранијег кретања вегетације тј. феномен раног или лажног прољећа може драматично повећати ризик од каснијег измрзавања, што може имати значајне еколошке и економске посљедице (Gu et al., 2008; Marino et al., 2011; Augspurger, 2013). Појава лажног прољећа 2012. године у Средњем западу САД-а је изазвала рано кретање вегетације након чега су се температуре спустиле на -7°C, што је довело до штета у износу од 2 милијарде долара (Augspurger, 2013).

Повећање температуре ваздуха, благе зиме, скраћење трајања безмразног периода може довести и до прилагођавања, односно адаптације интродукованих штетних организама од којих неки могу бити инвазивни, као и њиховог каснијег ширења. Климатске промјене значајно усложњавају сузбијање и контролу штетних организама, прије свега, инсеката, па је неопходно развијати нове модификоване стратегије у њиховој контроли и сузбијању. Савремени стратешки приступ у заштити биља од штетних организама мора бити утемељен на концепту интегралне заштите биљака.

Тај концепт укључује праћење и прогнозу појаве штетних организама, затим мјерење метеоролошких елемената (температура ваздуха, влажност ваздуха, дужина влажења листа, температура земљишта, количина падавина) и предвиђање и најављивање за пољопривреду битних метеоролошких појава (мраз, град, киша, снијег, слана), а све у функцији прогнозно - извјештајних активности у заштити биља. Поред наведеног, у концепт редовних активности у заштити биља, мора се укључити квалитетно, плански осмишљено и континуирано праћење климе, са мултидисциплинарном анализом резултата тог праћења у циљу унапређења сузбијања и контроле штетних организама.

Нажалост, већина еколошких прогноза се фокусира на климатске појаве на стогодишњој скали што не задовољава потребе краткорочних прогноза и доношење одговарајућих одлука у вези са промјенама у животној средини (Dietze et al, 2018). Краткорочне прогнозе у пољопривреди су изузетно важне и стога је неопходно вршити итеративна истраживања између података о метеоролошким елементима и клими, и појаве штетних организама. Дакле, неопходно је развијати итеративно краткорочно еколошко предвиђање са циљем да резултати тих истраживања буду релевантнији за друштво, а што ће за посљедицу имати доношење поузданих одлука и адаптивно управљање системом (Dietze et al., 2018).

Итеративна метода је математичка метода приближног рјешавања једначина узастопним уврштавањима приближних рјешења и добијања све тачнијих резултата до неке жељене довољне тачности. Током протекле деценије, обим података, разноликост и доступност се знатно повећала, али остају изазови у интероперабилности и квантификације несигурности. Слично томе, еколози су направили значајан напредак у примјени рачунарских, информатичких и статистичких метода, али постоје могућности за побољшање теорије, метода и инфраструктуре специфичне за предвиђање (Dietze et al, 2018). Интероперабилност у поменутом смислу је способност различитих система мјерења и праћења да што боље заједнички функционишу у циљу размјене информација које би кориснику биле на располагању, а да при томе нису потребне додатне операције за споразумијевање два система. У случају пољопривреде, то се са једне стране односи на праћење метеоролошких елемената (температура ваздуха, количина падавина, влажност ваздуха, дужина влажења листа), а са друге стране, на стварну појаву штетних организама у пољопривреди (појава одраслих инсеката, моменат пиљења ларви, ницање корова, услови за инфекцију или појава првих симптома биљних болести).

5. Закључак

Поређењем суме активних температура у протеклом десетогодишњем периоду у односу на период од 1981. до 1991. године, несумњиво је утврђено да је дошло до значајног повећања суме активних температура. Да би се у потпуности искористила сума активних температура за предвиђање појаве штетних организама у пољопривреди, неопходно је извршити истраживања између стварне појаве штетних организама у току сезоне и фенологије биљака, са једне стране, и суме температура у конкретној сезони, са друге стране. Наиме, неопходно је за Републику Српску утврдити како ће повећана сума активних температура у прољеће утицати на временску динамику у каснијој сезони, тј. да ли ће се неке појаве у динамици развоја штетних организама десити раније или касније од очекиваног. Ова истраживања су темељ за еколошко предвиђање, а што би могло побољшати поузданост одлука унутарсезонског планирања (Bradford et al., 2018; Dietze et al., 2018).

Проучавању утицаја метеоролошких елемената и климатских промјена на штетне организме у пољопривреди мора се прићи на системичан начин укључујући све субјекте који узимају учешће у овим пословима у једну јединствену цјелину. С тим у вези, задатак у вези са праћењем утицаја временских прилика јесте израда дугорочних прогноза, те побољшање сигурности у доношењу оперативних одлука унутарсезонског планирања у току производње. Те одлуке се не би односиле само на контролу популације штетних организама, већ и на спрјечавање или смањивање губитка приноса узрокованих временским приликама, као што су касни прољетни мраз, суша, високе температуре ваздуха у току љета и слично. Наиме, пољопривредна производња се већ одвија у значајно топлијој клими, са израженим временским екстремима као што су мразеви, обилне падавине, поплаве, олујни вјетрови, екстремно високе температуре. Ове чињенице указују на то да ће се, свјесни тих промјена, пољопривредној производњи уопште, па и заштити биљака, морати приступити на други начин. Због свега наведеног, праћење температуре ваздуха, суме активних температура и појава у природи везаних за активне температуре је јако битно, па је неопходно:

- Идентификовати и пратити фенолошке појаве код биљака и/или штеточина (нпр. прво цвјетање, полагање јаја, пиљење ларви);
- Одредити одговарајућу базну температуру. Ако доњи праг развоја није познат за одређену врсту која се прати, користити податке за филогенетски најближу врсту, а ако није и то познато, узети да је то 10°C;
- Одредити датум почетка мјерења суме активних температура, што је за штетне организме у већини случајева 1. јануар;

- Мјерити дневне максималне и минималне температуре за конкретну локацију или подручје, ради касније поузданијег утврђивања закономјерности између суме активних температура и одређених фенолошких појава код биљака или животиња;
- Из максималне и минималне температуре израчунати број степени-дана који се акумулирају сваког дана, а при томе ако минимална температура не падне испод базичне (основне) температуре, користити методу средина, а ако минимална температура падне испод основне температуре, користити методу синусоидног таласа;
- Када дође до праћеног фенолошког догађаја, неопходно је забиљежити суму активних температура акумулираних до тог датума, почев од датума од којег мјеримо суму активних температура (нпр. 1. јануар);
- Утврђене закономјерности функционалног односа између суме активних температура, као независно промјенљивих и посматраних фенолошких појава, као зависно промјенљивих, користити за предвиђање појаве фенолошких догађаја у наредним годинама.

Литература

- Almaši R, Injac M, Almaši Š (2004) Štetni i korisni organizmi jabučastih voćaka. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
- Augspurger CK (2013) Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing, *Ecology*, 94: 41–50
- Ault TR, Henebry GM, de Beurs KM, Schwartz MD, Betancourt JL, Moore D (2013) The false spring of 2012, earliest in North American record. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94(20): 181–182
- Bradford JB, Betancourt JL, Butterfield BJ, Munson SM, Wood TE (2018) Anticipatory natural resource science and management for a changing future. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 16(5): 295–303
- Crimmins MA, Crimmins TM (2019) Does an early spring indicate an early summer? Relationships between intraseasonal growing degree day thresholds. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124: 2628–2641
- Dietze MC, Fox A, Beck-Johnson LM, Betancourt JL, Hooten MB, Jarnevich CS (2018) Iterative near-term ecological forecasting: Needs, opportunities, and challenges. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(7): 1424–1432
- Ellwood ER, Temple SA, Primack RB, Bradley NL, Davis CC (2013) Record-breaking early flowering in the eastern United States. *PLoS ONE*, 8(1), e53788

- Gu L, Hanson PJ, Post WM, Kaiser DP, Yang B, Nemani R, Pallardy SG, Meyers T (2008) The 2007 eastern U.S. spring freeze: Increased cold damage in a warming world? *Bioscience*, 58: 253–262
- Hufkens K, Friedl MA, Keenan TF, Sonnentag O, Bailey A, O’Keefe J, Richardson AD 2012. Ecological impacts of a widespread frost event following early spring leaf-out. *Global Change Biology*, 18(7): 2365–2377
- Luckmann WH, Shaw J T, Sherrod DW, Ruesink WG (1976) Developmental rate of the black cutworm. *J. Econ. Entomol.* 69: 386–388
- Marino GP, Kaiser DP, Gu L, Ricciuto DM (2011) Reconstruction of false spring occurrences over the southeastern United States, 1901–2007: An increasing risk of spring freeze damage? *Environ. Res. Lett.*, 6: 1–5
- Murray SM (2008) Using Degree Days to Time Treatments for Insect Pests. Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic (IMP-05-08)
- Pajač Živković I (2012) *Biologija, ekologija i genetika populacija jabukova savijača (Cydia pomonella L.) u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Agreonomski fakultet, Doktorski rad*
- Pickel CP, Bethell RS, Coates WW 1986. Codling Moth Management Using Degree-days. University of California Statewide IPM Project. Publication #4 (преузето: https://www.ipm.ucanr.edu/PHENOLOGY/ma-codling_moth.html?printpage)
- Pitcairn MJ, Zalom FG, Rice RE (1992) Degree-day forecasting of generation time of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) populations in California. *Environ. Entomol.* 21: 441–446

Impact of climate changes on pests in agriculture

Mitrić S, Nježić B, Kelečević B, Đorđević M, Supić D

Summary

The occurrence, number, and dynamics of the spread of pests in agriculture are largely determined by environmental factors, primarily air and soil temperature, rainfall, length of frost-free period, and soil moisture. Climate change is undeniable and is manifested, among other things, in an increase in the temperature of land and oceans, an increase in extreme weather conditions, and an increase in the concentration of greenhouse gases, a rise in sea level, an increase in the melting of ice, and a decline in glaciers. These climate changes affect, among other things, affect on the socio-economic development, migration and displacement, terrestrial and marine ecosystems as a food production security. An increase in temperature can have an impact on accelerating the development of pests, as the sum of temperatures is reached more quickly depending on the number of days required for a particular life stage of pests to occur („number of degree-days“). This may cause the range of pests already present to expand to higher elevations and latitudes, increase the number of generations during the year, increase the number of pests, or cause them to appear earlier during the year. Changing conditions during overwintering can be a critical factor in pest population dynamics. The aim of the study was to calculate the sum of active temperatures - GDD (growing degree days) above 10°C for Banja Luka, Bijeljina, Doboj, Sokolac and Bileća for the period from 1981 to 1990 and for the period from 2012 to 2021. The sum of active temperatures was calculated using the average method. The results show that in the last decade there was a statistically significant increase in the sum of active temperatures for the monthly periods July 1, August 1, September 1, and October 1 compared to the period 1981 to 1990. This statistical significance was not observed for the period from June 1 to 30 for Bijeljina, Doboj and Sokolac and for Bileća until June 1.

Key words: climatic change, plant protection, sums of active temperatures, pests

