

Primjena sume aktivne temperature (GDD) za procjenu napretka vegetacije

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

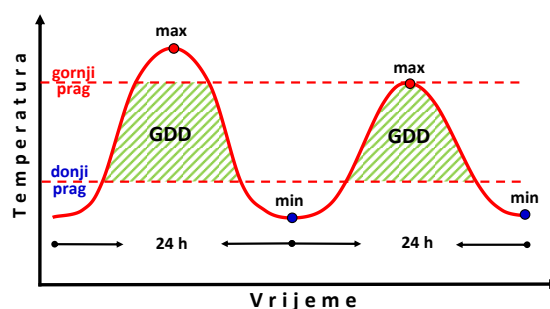
Suma aktivne temperature (**GDD = Growing Degree Days**, **HUI = Heat Unit Index** i sl.) izvrstan je vremenski pokazatelj razvoja usjeva i pojave štetnika. Naime, u odsustvu ekstremnih uvjeta, npr. suše, suviška vlage ili bolesti, biljke rastu sukladno temperaturi zraka, odnosno energiji potrebnoj za rast i razvitak biljaka te se ukupno akumulirana suma aktivne temperature može korisno upotrijebiti za analizu napretka usjeva pojedine vegetacijske godine, određivanja potrebe u prihrani, predviđanje pojave štetnika i bolesti, za usporedbu i analizu različitih vegetacijskih sezona, a dugoročni prosjek GDD koristan je za pouzdanu procjenu etapa razvoja usjeva i datuma zrelosti, odnosno žetve.

Osim sume aktivne temperature (GDD) često se koriste i CDD jedinice (**CDD = Cooling Degree Days**, **CU = Chilling Unit**, odnosno **CH = Chilling Hours**) za proračun potrebne duljine zimskog mirovanja voćaka. Naime, za razliku od većine drvenastih vrsta umjerenog klimata, jabuke i kruške, ali i neke druge drvenaste vrste porodice Rosaceae, nisu osjetljive na duljinu dana (tzv. fotoperiodsku indukciju cvjetanja) te nemaju niti alternativni sezonski signal za kontrolu mirovanja pa se isključivo oslanjaju na „sumu akumuliranih hladnih sati“, odnosno CH. Također, tzv. HDD (**HDD = Heating Degree Days**) jedinice korisne su za predviđanje rasta i razvitka usjeva, osobito kukuruza, a njima se označava suma temperatura iznad bazne ili specifične minimalne temperature potrebne za rast. Dakle, velik je broj metoda za izračun sume aktivne temperature, ali u RH podataka o GDD ima vrlo malo, niti su postojeći podaci validirani fenološkim opažanjima.

Većina sezonskih odluka o vremenu primjene gnojiva za brojne usjeve temelji se na subjektivnim morfološkim ljestvicama. Međutim, dobra odluka o vremenu primjene, posebice N-prihrane usjeva može biti donesena temeljem sume aktivne temperature uvažavajući analizu tla i potrebe usjeva, a kad su u pitanju ozimi usjevi, neophodno je i uvažiti aktualne vremenske uvjete kritične za mogućnost usvajanja i gubitka dušika iz zone korijena (npr. temperatura tla i zraka, snježni pokrov, vlažnost tla, odnosno pokretljivost nitrata). Budući da se složenost problema N-prihrane ozimih usjeva razlikuje svake godine/zime, pouzdano predviđanje fenofaza, odnosno etapa organogeneze može olakšati utvrđivanje GDD jedinica.

Predviđanje etapa organogeneze pod utjecajem sume aktivne temperature mogu se znatno razlikovati od kalendarski očekivanih pojava određenih fenofaza, a ta razlika može biti važna, npr. za pouzdano utvrđivanje vremena N-prihrane, suzbijanje korova herbicidima i dr. Također, GDD jedinice mogu izvršno poslužiti za procjenu prikladnosti uzgoja određene kulture ovisno o agroekološkoj regiji, za procijenu etape razvitka usjeva i nasada, korova ili čak faze razvoja insekata, za predviđanje datuma žetve/berbe, datuma košnje/otkosa krmnih kultura, za procijenu optimalnog datuma/roka gnojidbe, najčešće prihrane, za određivanje vremena primjene pesticida, za procijenu pojave toplinskog stresa usjeva, za planiranje razmaka datuma sjetve da se izbjegne žetva u isto vrijeme itd.

GDD se definira kao akumulacija srednje dnevne temperature, ali samo između bazne (tzv. *temperaturnog minimuma*, odnosno donjeg praga vegetacije) za pojedini usjev i najviše (tzv. *temperaturni maksimum*), dakle unutar temperaturnih granica u kojima je moguć metabolizam, odnosno rast i razvitak biljaka (Slika 1.). Vrijednosti temperature zraka ispod bazne temperature, kao i one iznad maksimalne, mogu se pribrajati sumi aktivne temperature na dva načina, ali je u ovom članku uzimana



Slika 1. Pragovi i akumulirana aktivna temperatura (GDD)

u obzir samo temperatura (tzv. *procesna temperatura*) između bazne i maksimalne (Slika 1.). Primjerice, za kukuruz je bazna temperatura (tzv. *indikativna, početna* ili T_{base}) 10°C, a maksimalna 30°C te se sve temperature izvan tih granica ne smatraju *aktivnom temperaturom* i obračunavaju se kao 0°C.

Prosječne dnevne temperature izračunate su kao prosjek 5 mjerenja na aerodromu Klisa i one se neznatno razlikuju od uobičajenog izračunavanja GDD:

$$GDD = \sum_t^n \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - T_{base}$$

GDD ili HUI = Akumulirane toplinske jedinice u n dana
 T_{max} = Maksimalna dnevna temperatura u °C
 T_{min} = Minimalna dnevna temperatura u °C
 T_{base} = Bazna (specifična minimalna) temperatura pšenicu u °C (za ozimu pšenice = 0°C C ili ponegdje 4,4°C)
 n = Broj dana vegetacije

Nažalost, ako niste aktivni znanstveni istraživači i ne radite na znanstvenom projektu, doktoratu i sl., u RH je nemoguće besplatno doći do potrebnih klimatskih podataka, dok je u svijetu niz primjera slobodnog pristupa/korištenja *online* GDD kalkulatora (npr. [Growing Degree Days Calculator \(nutrien-economics.com\)](http://growing-degree-days-calculator.nutrien-economics.com), [Climate Smart Farming CSF Growing Degree Day Calculator](http://climate-smart-farming.com), [Growing Degree Days Calculator | Syngenta Turf & Landscape](http://growing-degree-days-calculator.com) itd.).

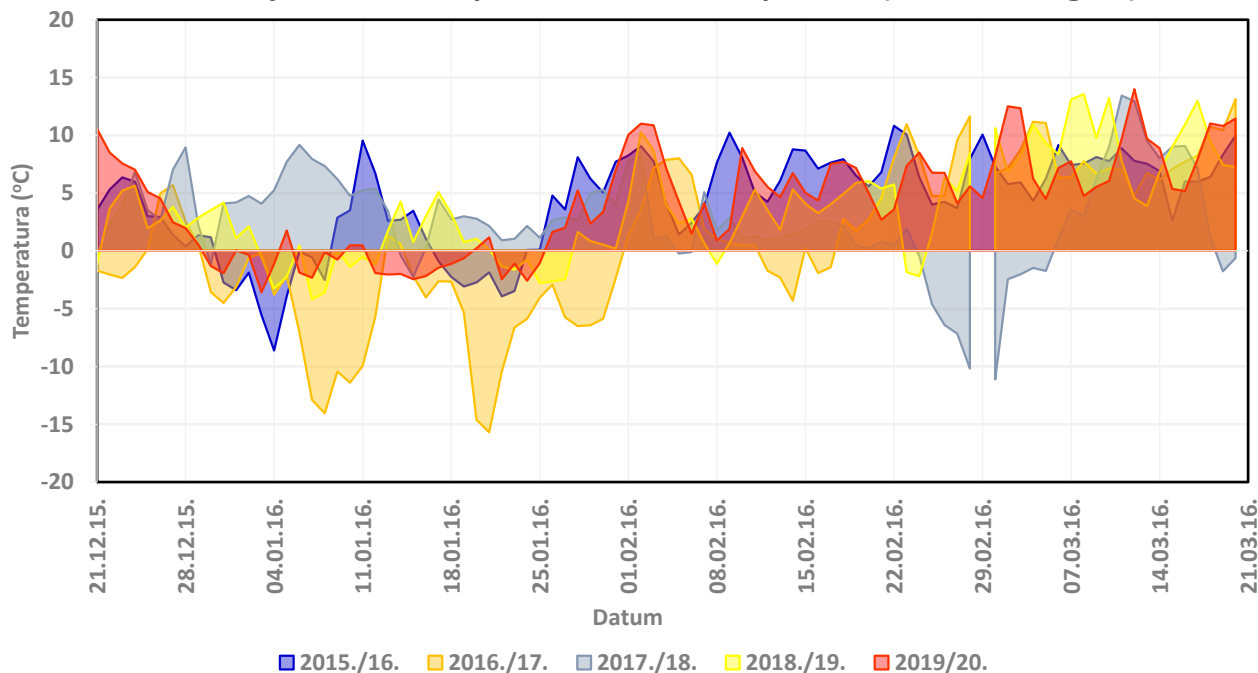
Bazna (T_{base}) temperatura nije jednaka za sve usjeve pa je za ozimu pšenicu ona 0°C (u nekim varijantama 4,4°C), za uljanu repicu 5°C, za kukuruz i vinovu lozu 10°C itd., dok je maksimalna temperatura za pšenicu i repicu 25°C, za kukuruz 30°C itd.

Precizni proračun *sume (akumulacije) toplinskih jedinica* (GDD) važni su za donošenje najboljih upravljačkih odluka, ali i u modelima simulacije rasta usjeva, odnosno tvorbe i analize prinosa. Međutim, tradicionalne metode izračunavanja GDD (formula iznad) nisu dovoljno pouzdane, osobito u okolnostima ekstremnih uvjeta, jer pretpostavljaju linearnu reakciju biljaka na temperaturu te se sve više koristi nova nelinearna metoda za izračun GDD koja preciznije predviđa razvojne faze (varijacije datuma svedene su na jedan dan).

U ovom tekstu analizirano je pet posljednjih vegetacija ozime pšenice i uljane repice kako bi bolje razumjeli vremenske sezonske varijacije, osobito zimi, kad je neophodno osigurati mladim biljkama iz plitkog oraničnog sloja potrebnu količinu dušika za brzi porast tijekom proljetnog kretanja vegetacije.

Najveće varijacije temperature su u kontinentalnom dijelu RH zimi (Tablica 1. i Slika 2.). i često su ispod donjeg temperaturnog praga metabolizma (Slika 1.), kako korijena, tako i nadzemnog dijela biljaka. Također, zimi je

Srednja dnevna temperatura u zimskom periodu (2015.-2020. god.)



Slika 2. Srednja dnevna temperatura u zimskom periodu 2015.-2010. god. (Aerodrom Klisa)

u kontinentalnom dijelu RH česta situacija pojave tzv. fiziološke suše kad je tlo smrznuto, a istovremeno temperatura atmosfere bude znatno iznad 0°C. Tada biljke iz hladnog tla ne mogu usvajati vodu, kao niti hraniva što rezultira žućenjem ozimih usjeva, simptomom koji se lako zamjenjuje s nedostatkom dušika pa N-prihrana u takvim okolnostima može samo naštetiti usjevima.

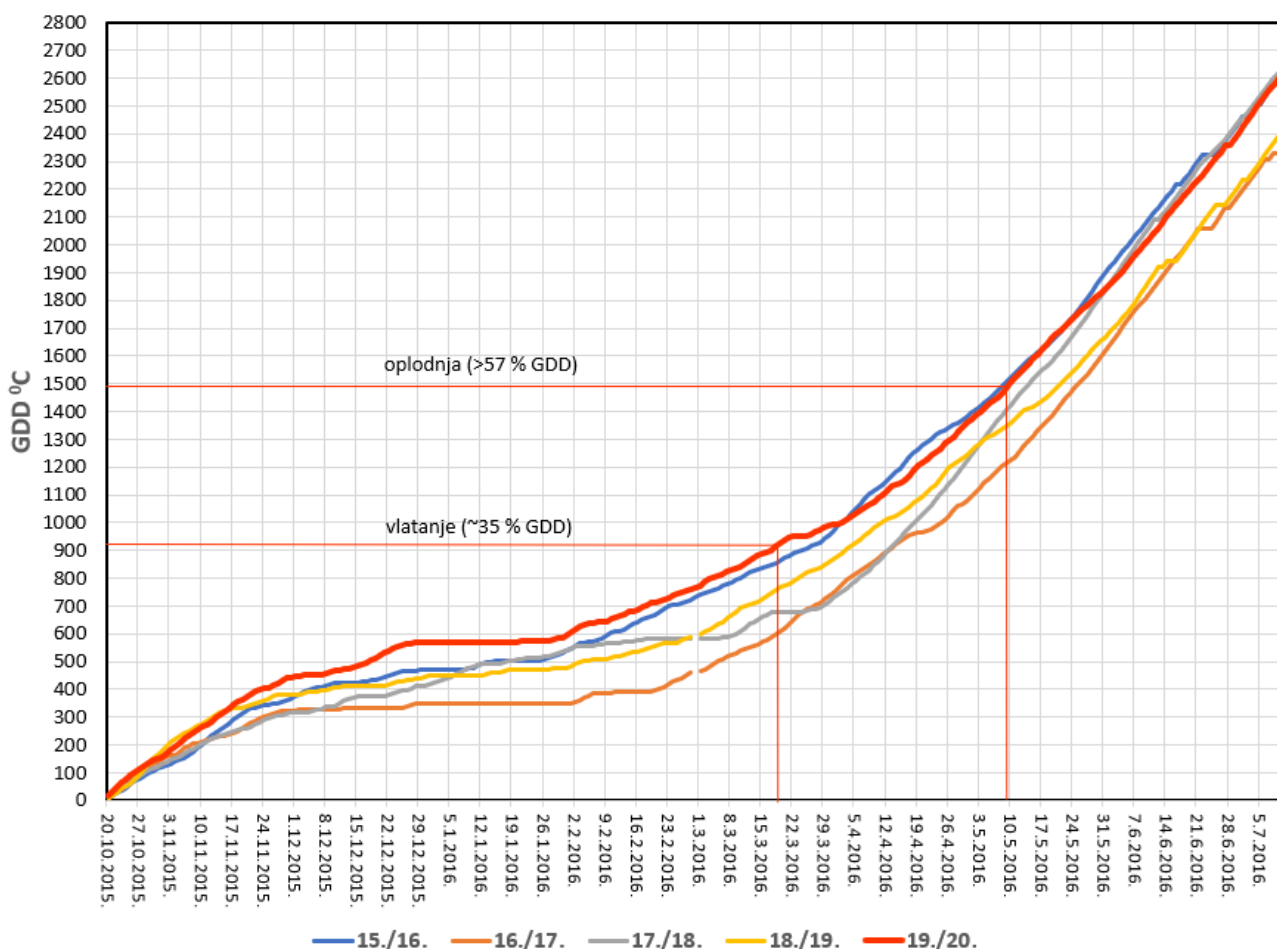
Tablica 1. Grafikon srednje dnevne temperature (Aerodrom Klisa) u zimskom periodu (21.12.-21.03)

Suma °C	2015./16.	2016./17.	2017./18.	2018./19.	2019./20.
Suma °C	386,3	73,5	245,8	325,0	379,7
Prosjek	4,24	0,82	2,73	3,61	4,17
Min.	-8,63	-15,69	-11,11	-4,20	-3,59
Max.	10,83	13,11	13,43	13,55	13,98

Iz podataka (Tablica 1.) jasno je kako su svih pet godina tijekom zimskog perioda temperaturni uvjeti veoma različiti. Najtoplije zime su bile 2015.-2016. i 2019.-2020. god., s tim da je posljednje vegetacijske sezone pšenice zabilježena najviša dnevna (13,98°C) i najmanja minimalna temperatura (-3,59°C). Daleko najniža suma aktivne temperature

(73,5°C) zabilježena je tijekom zime 2016.-2017. god.

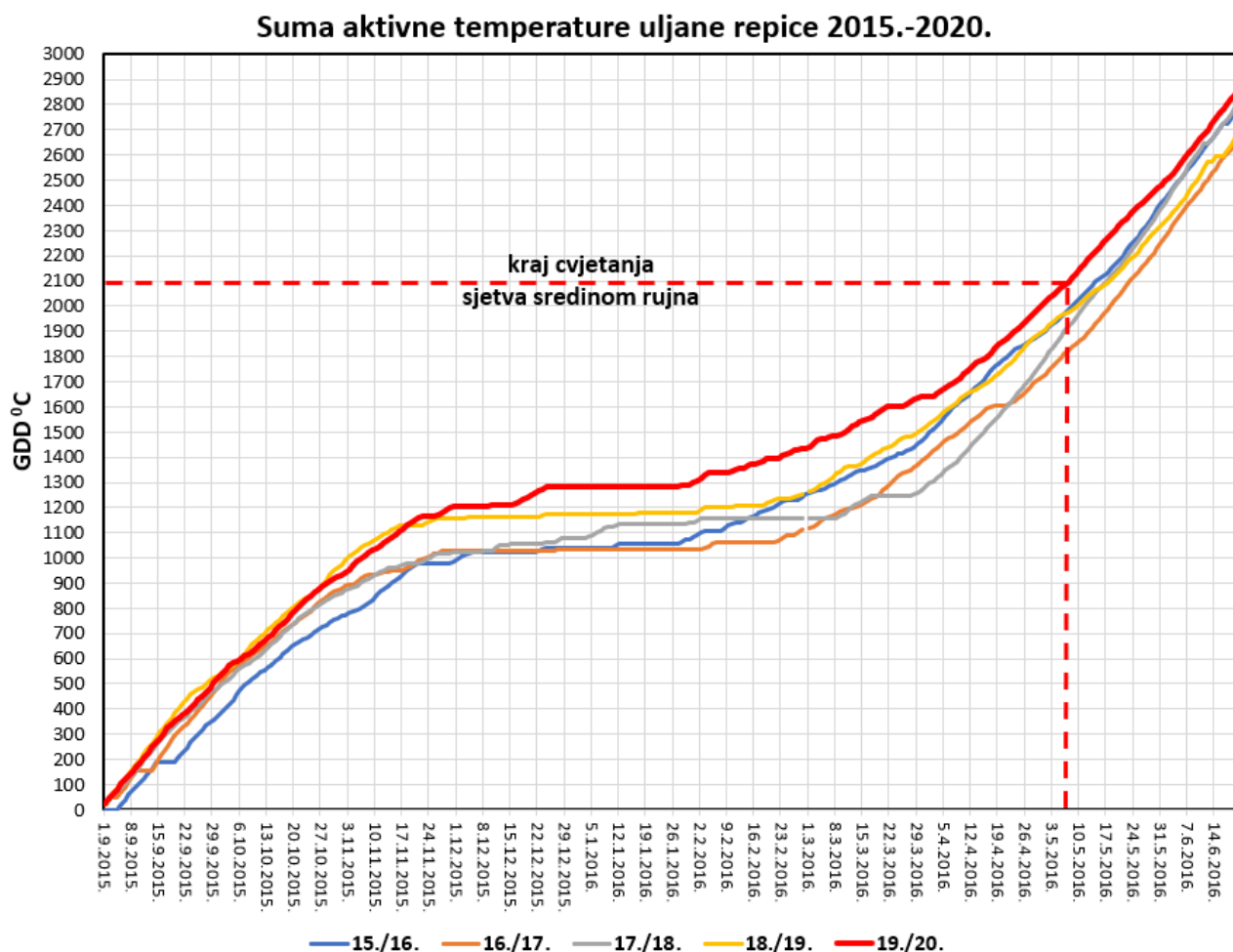
Suma aktivne temperature ozime pšenice 2015.-2020.



Slika 3. Suma aktivne temperature (GDD) ozime pšenice u posljednjih pet vegetacija (oznake fenofaza vlatanje i oplodnja označene su temeljem vlastitih, vrlo starih istraživanja simulacije primarne produkcije usjeva)

Budući da pšenica reagira na duljinu dana (tzv. fotoperiodizam), svjetlost je morfo-genetski faktor koji uzrokuje promjene njenog oblika (fenotipa) sve do početka vlatanja (5. etapa razvitka) koje se u pravilu događa oko datuma proljetne ravnodnevice (21.3.), rijetko nekoliko dana ranije, a u hladnijim zima i do dva tjedne kasnije (Slika 3.). Blaga zima 2020. god., kao i relativno povoljna temperatura između vlatanja oplodnje u odnosu na prethodne tri godine, svakako su povoljno djelovali na konačnu visinu prinosa ozime pšenice. Naime, pored znatno duljeg odvijanja vegetacije tijekom zime 2019./20. god. od uobičajenog, na postizanje prosječno visokog prinosa pšenice utjecalo je dulje trajanje ključnih etapa organogeneze, bez vrlo niskih temperatura i snježnog pokrova. Dakle, prošle zime bili su povoljni vremenski uvjeti za vernalizaciju (jarovizaciju) s prosječnom temperaturom iznad 0°C, bez snježnog pokrova i uz vjerovatno dovoljno vlage u tlu. U takvim vremenskim uvjetima i uobičajeno prerana prva N-prihrana, tipična za ist. Hrvatsku, vjerovatno je pozitivno

utjecala na usvajanje i akumulaciju nitratnog dušika biljkama pšenice, bez njegovih prevelikih gubitaka premještanjem izvan/ispod zone korijena i/ili ispiranjem. Naime, [za postizanje visokih prinosa pšenica mora imati na raspolaganju dovoljno dušika od I-V etape organogeneze \(nediferencirani rast vegetacijskog vrha do faze formiranja cvjetnih zametaka\)](#), jer visina prinosa ozimih žita najviše ovisi o broju zrna u klasu (~90 %), odnosno kapacitetu za akumulaciju asimilata (tzv. *sink*).



Slika 4. Suma aktivne temperature (GDD) uljane repice u posljednjih pet vegetacija ([oznaka završetka cvjetanja temelji se na istraživanjima uljane repice sijane sredinom rujna u SAD, New Mexico](#)).

Uljana repica je također ozima kultura koja se u našem agroekološkom području najranije sije. Smatra se da je optimalan rok njene sjetve krajem kolovoza i početkom rujna. Međutim, sve izraženije klimatske promijene manifestiraju se visokim temperaturama i čestom sušom u rujnu te je repicu zbog neujednačenog nicanja i nedovoljnog sklopa sve češće potrebno presijavati. U suprotnom, kad u rujnu ima dovoljno vlage, rana sjetva repice često može uzrokovati razvoj njene prevelike nadzemne mase i nižu otpornost na niske zimske temperature te velike štete i zastoje porasta u proljeće. Stoga mislim kako je vjerovatno optimalni rok sjetve uljane repice potrebno pomaknuti prema kraju rujna, jer je i tada suma aktivne temperature (GDD) dovoljna za njenu žetvu krajem lipnja (Slika 4.), kao što je to uobičajeno za agroekološko područje ist. Hrvatske. Naravno, trebalo bi rokove sjetve, ne samo za uljanu repicu, provjeriti u poljskim pokusima i kalibrirati za naše agroekološke uvjete uzgoja. [Takav pristup sve je češći u zemljama razvijene poljoprivrede te je i oznaka kraja cvjetanja uljane repice povučena \(Slika 4.\) temeljem istraživanja rokova sjetve na porast](#), razvitak te visinu i kakvoću prinosa u SAD. [U izvještaju Singente \(UK, 2018.\) konstatirano je da trajanje je nalijevanja sjemena precizno određeno sumom aktivne temperature \(GDD\), odnosno pri 25°C nalijevanje sjemena može se završiti u samo 35 dana, a kad je prosječna temperatura 17°C može potrajati i 55 dana.](#)

Prinos uljane repice 2020. god. je podbacio, premda su krivulje akumulacije aktivne temperature za pšenicu (Slika 3.) i repicu (Slika 4.) veoma slične. Naime, posljednja vegetacija pšenice i uljane repice imale su „blagu

zimu“, što je pogodovalo pšenici, ali iz krivulja GDD ne vidi se što je uzrok podbačaja prinosa uljane repice, osim što je ovogodišnja vegetacija između kraja cvjetanja i žetve imala najnižu sumu dnevnih temperatura (Tablica 2.), svega 774,7°C, odnosno 92.1 % od prosjeka svih pet posljednjih vegetacijskih sezona.

Tablica 2. Suma prosječnih dnevnih temperature od završetka cvjetanja do žetve uljane repice u vegetaciji 2019./20. god.

Vegetacija	2015./16.	2016./17.	2017./18.	2018./19.	2020./20.
Suma T_x	844.2	860.3	934.4	794.1	774.7
% prosječne T_x	100.3	102.2	111.0	94.4	92.1

U Osijeku, 22. studeni 2020. god.