

KAKO SE RASTLINA ODZOVE NA TEMPERATURNI STRES?

Prof. dr. Dominik VODNIK

Odd. za agronomijo, Biotehniška fakulteta

Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana

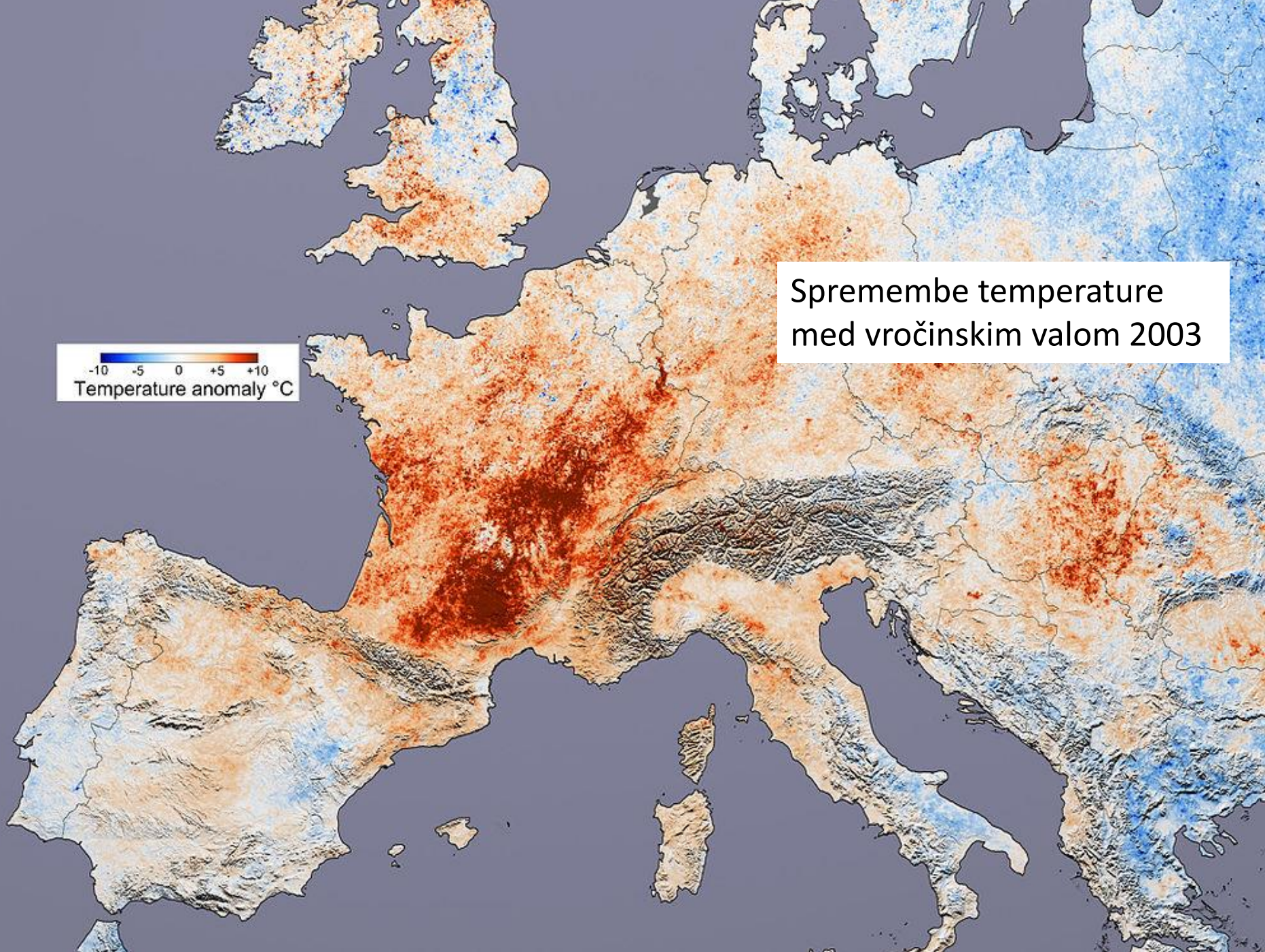
dominik.vodnik@bf.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani





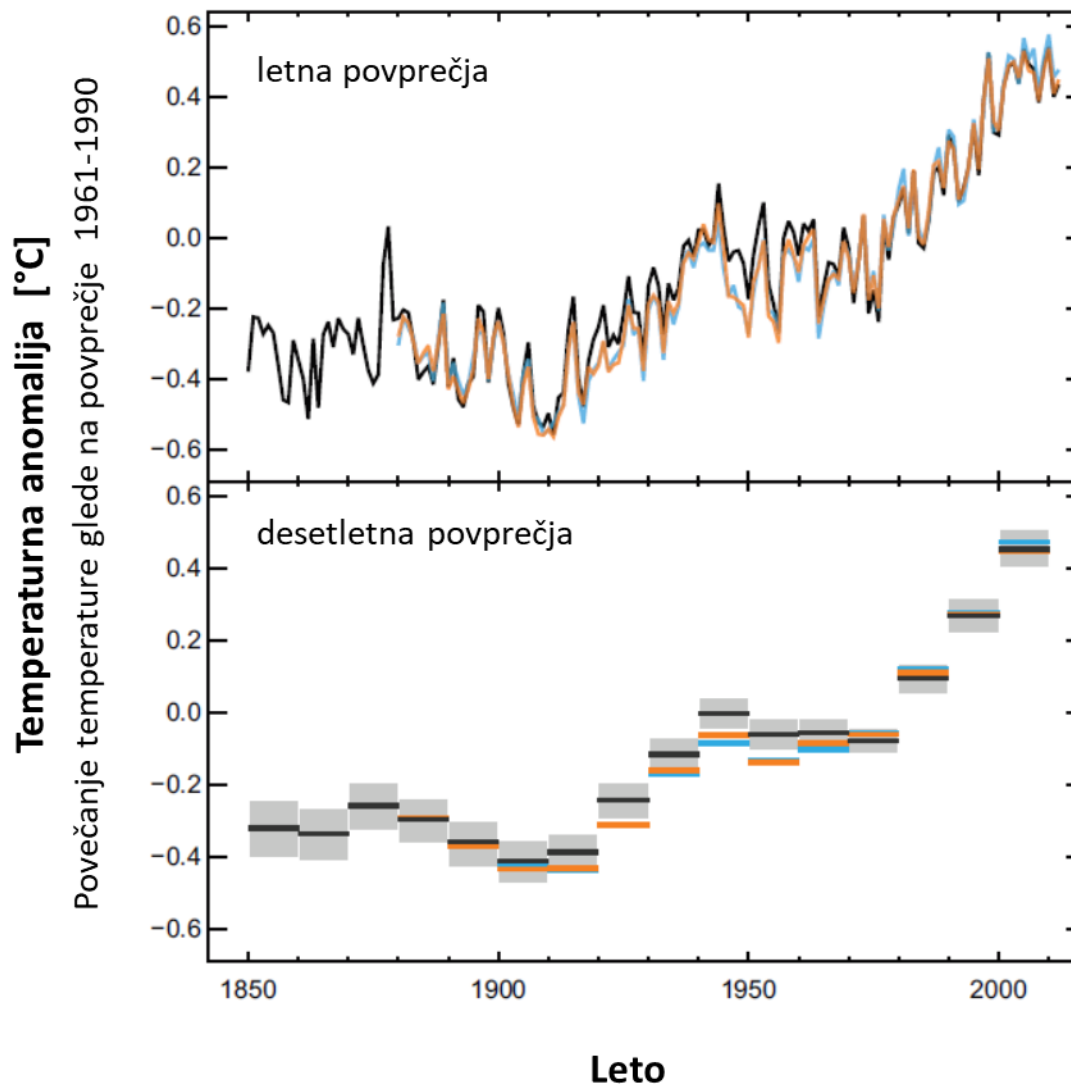




Spremembe temperature
med vročinskim valom 2003



Globalno segrevanje

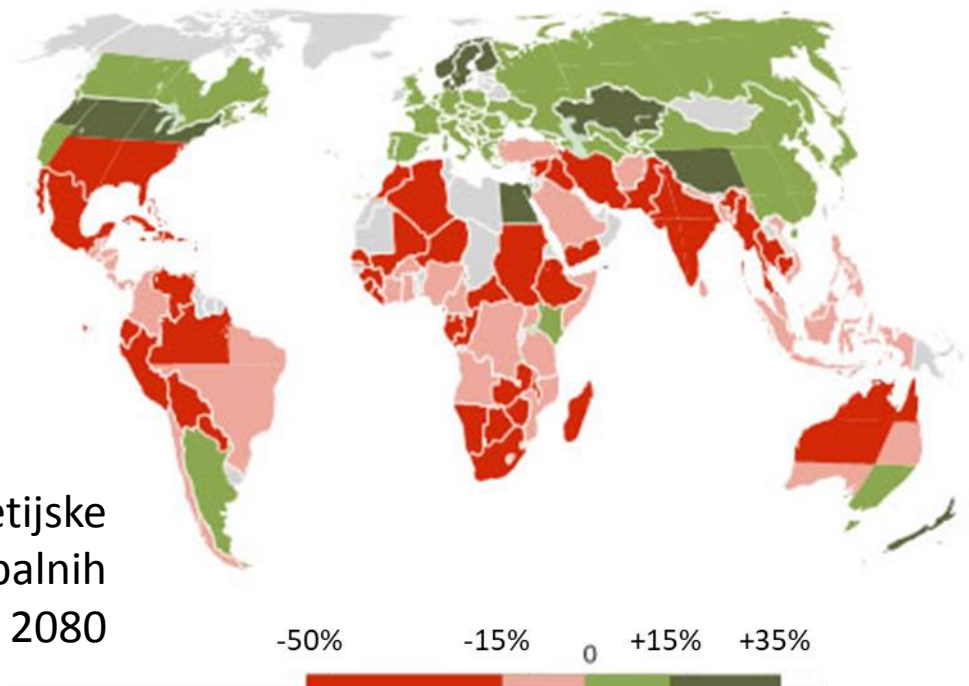


IPCC, peto poročilo, 2014

Globalno segrevanja → kmetijska proizvodnja

- ekstremne poletne temperature in vse daljši in intenzivnejši vročinski valovi imajo danes močan negativen vpliv na 10% kopnega (v 1960ih je bilo pod tem vplivom 1% kopnega) (Hansen in sod. 2012)
- vročinski stres predstavlja poleg negativnih učinkov drugih stresnih dejavnikov resno grožnjo za kmetijsko pridelavo

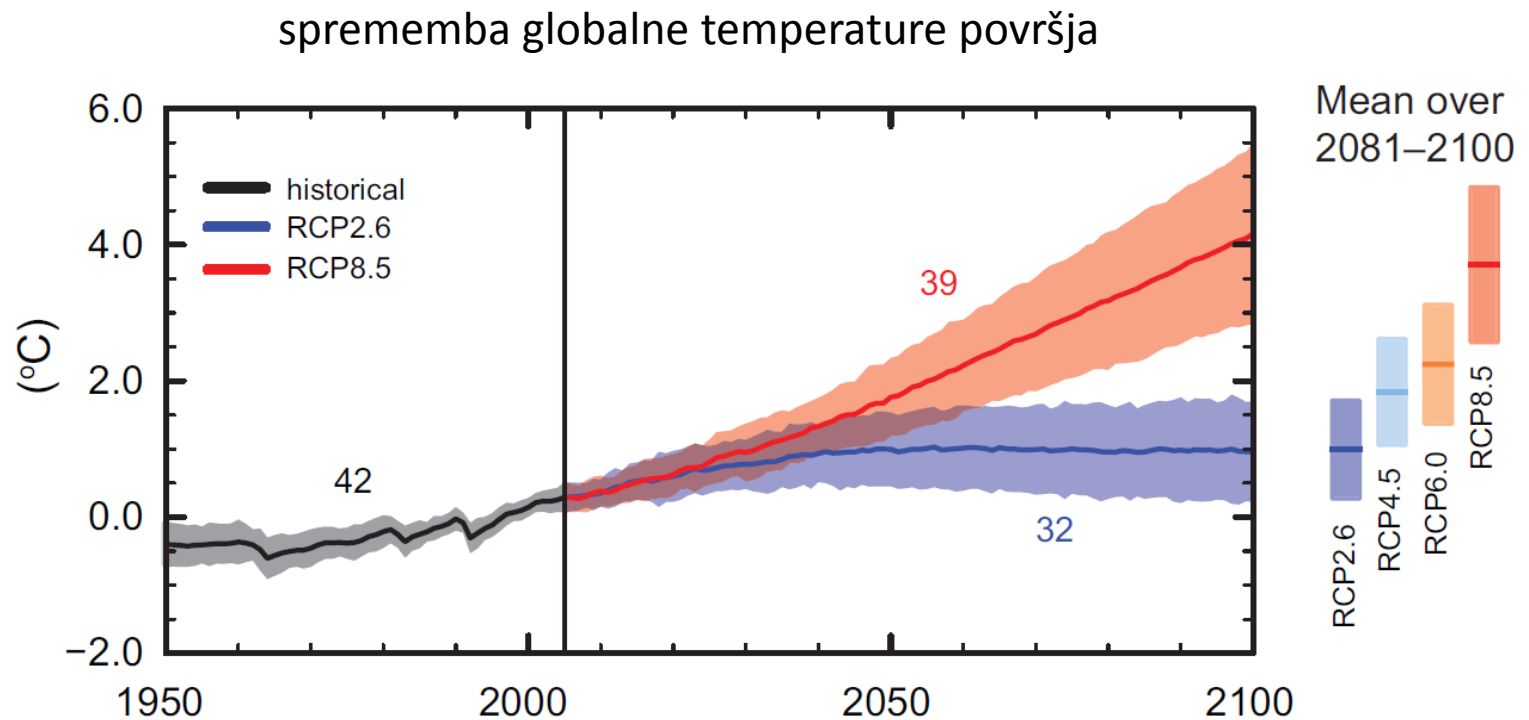
scenarij sprememb kmetijske
produkcije zaradi globalnih
sprememb - 2080



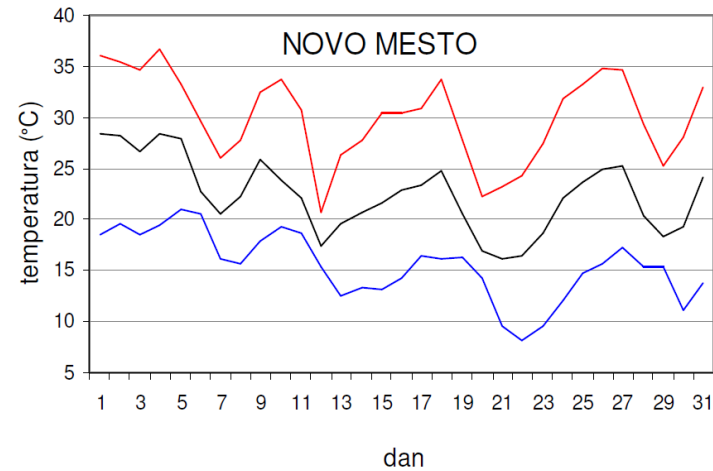
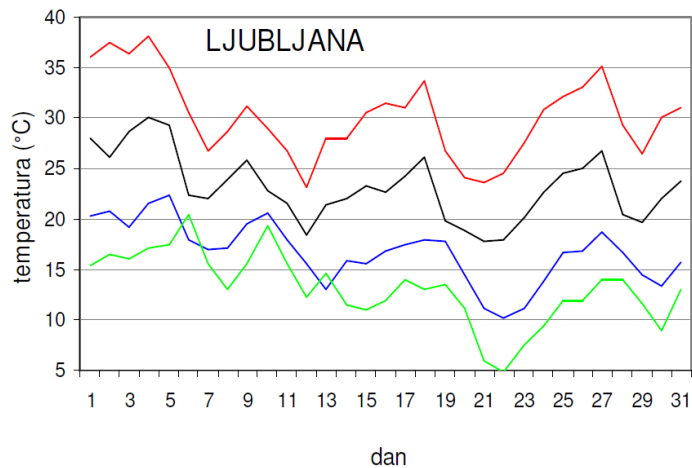
Cline, W. R. 2007

Napovedi globalnega segrevanja

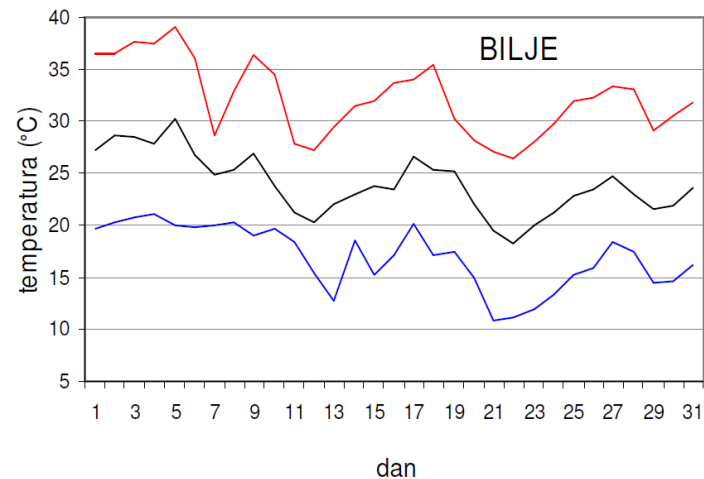
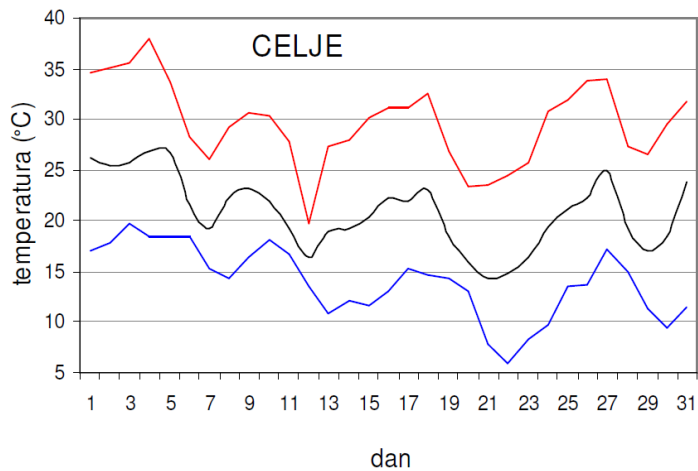
- do leta 2100 naj bi se temperatura po projekcijah povečala za 1,5-5,8° (IPCC, 2014)



Kaj nam povedo meritve temperature (SLO)?

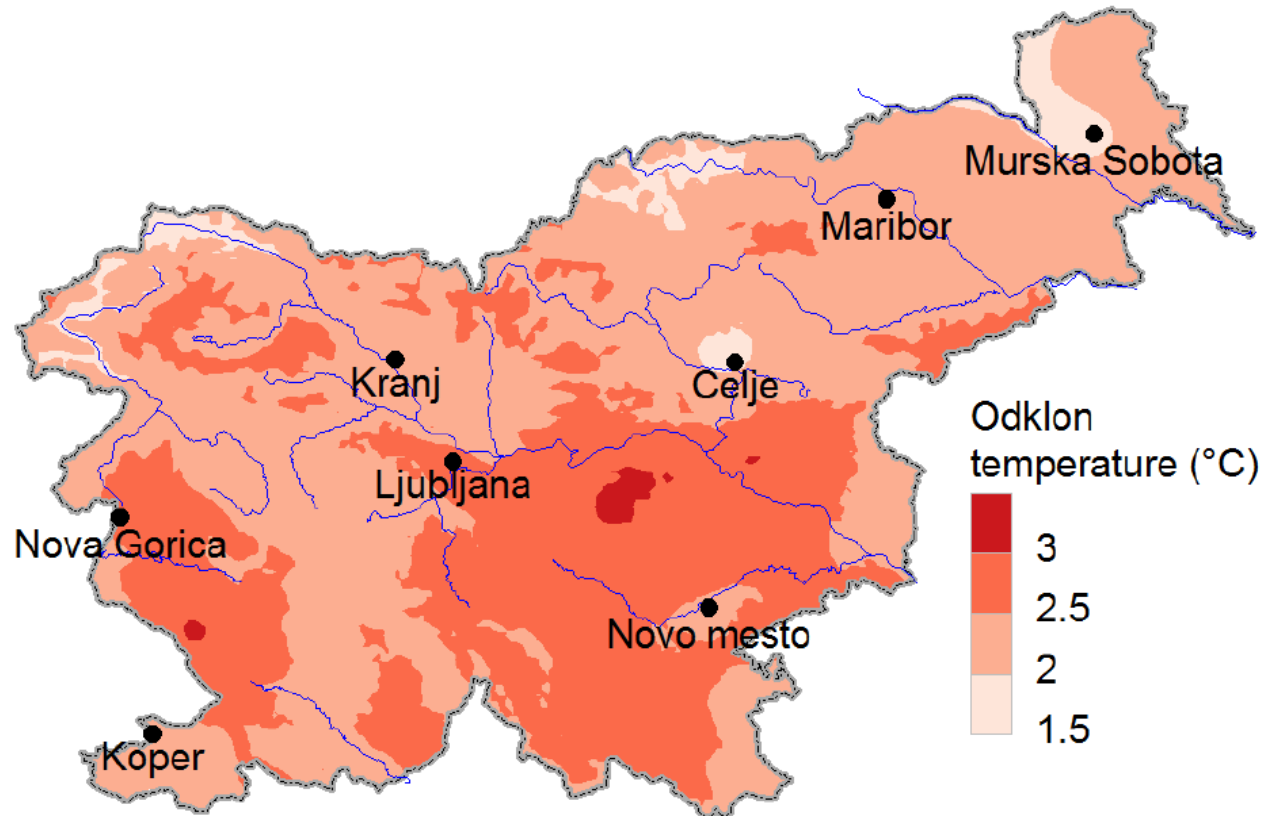


AVGUST 2017



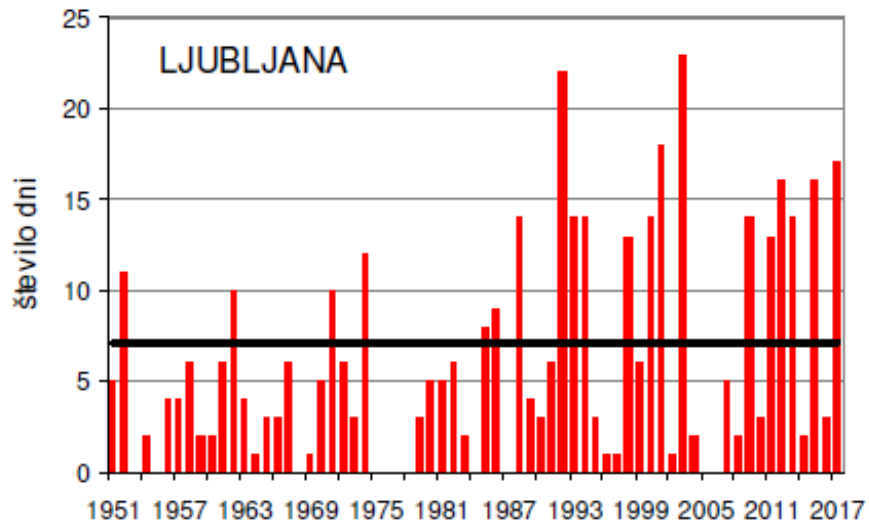
Slika 8. Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zelena), avgust 2017 (Mesečni bilten ARSO, avgust 2017)

Kaj nam povedo meritve temperature?

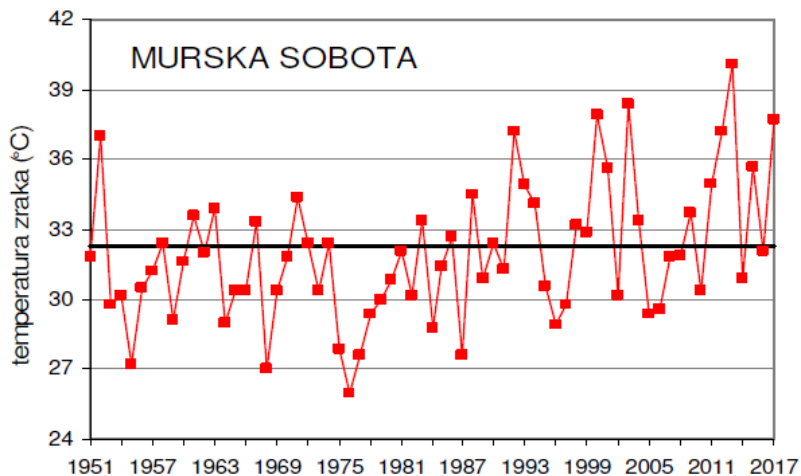
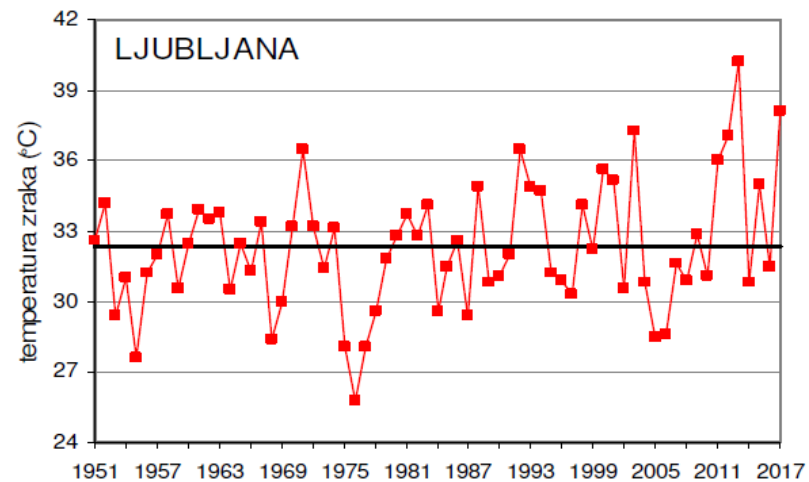


Slika 6. Odklon povprečne temperature zraka avgusta 2017 od povprečja 1981–2010

Mesečni bilten ARSO, avgust 2017



Slika 3. Število vročih dni v avgustu in povprečje obdobja 1981–2010



Slika 5. Najvišja (desno) avgustovska temperatura in povprečje obdobja 1981–2010

Scenariji - Slovenija

Sprememba temperature 2021-2050*



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

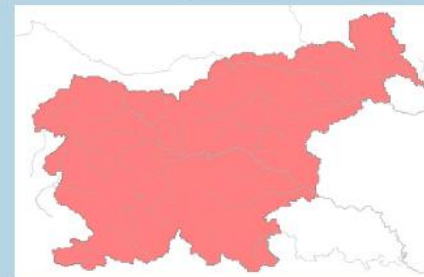
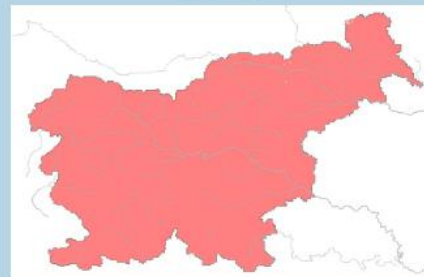
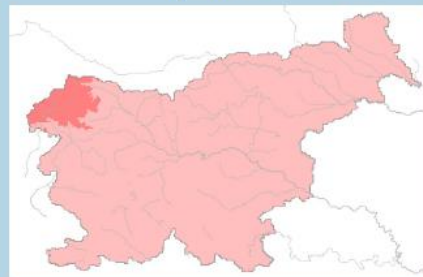
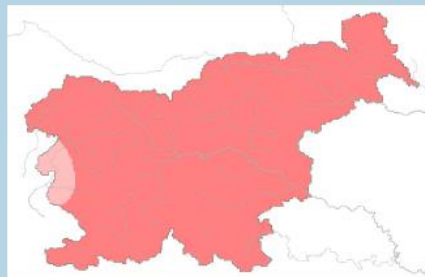
zima

pomlad

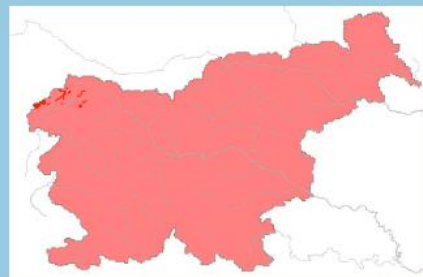
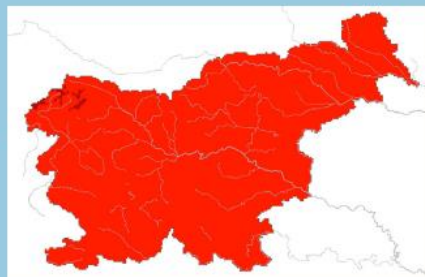
poletje

jesen

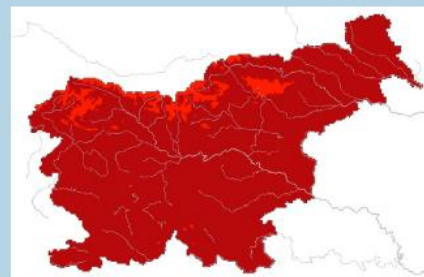
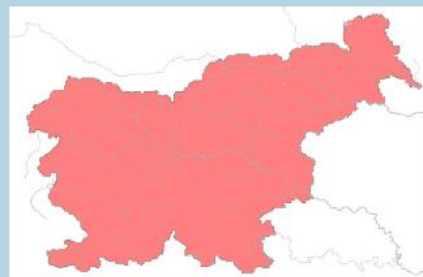
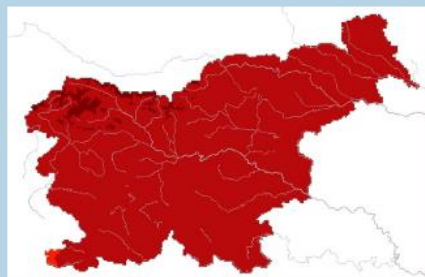
25 %



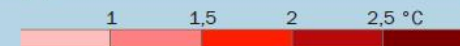
50 %



75 %



* Odstopanje povprečne temperature obdobja 2021-2050 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961-1990



Scenariji - Slovenija

Sprememba padavin 2021-2050*



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

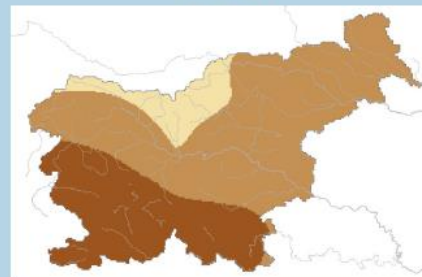
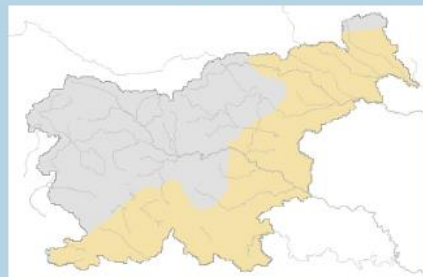
zima

pomlad

poletje

jesen

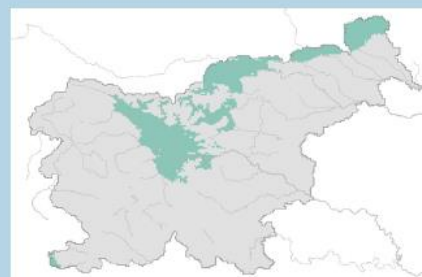
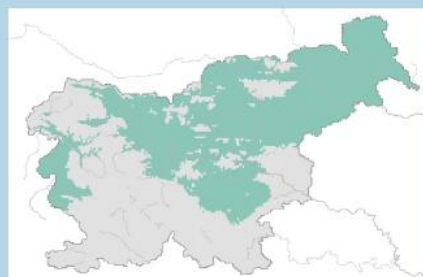
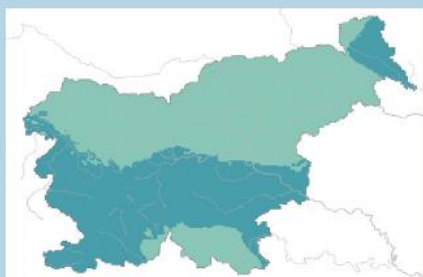
25 %



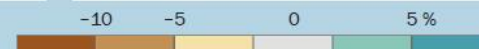
50 %



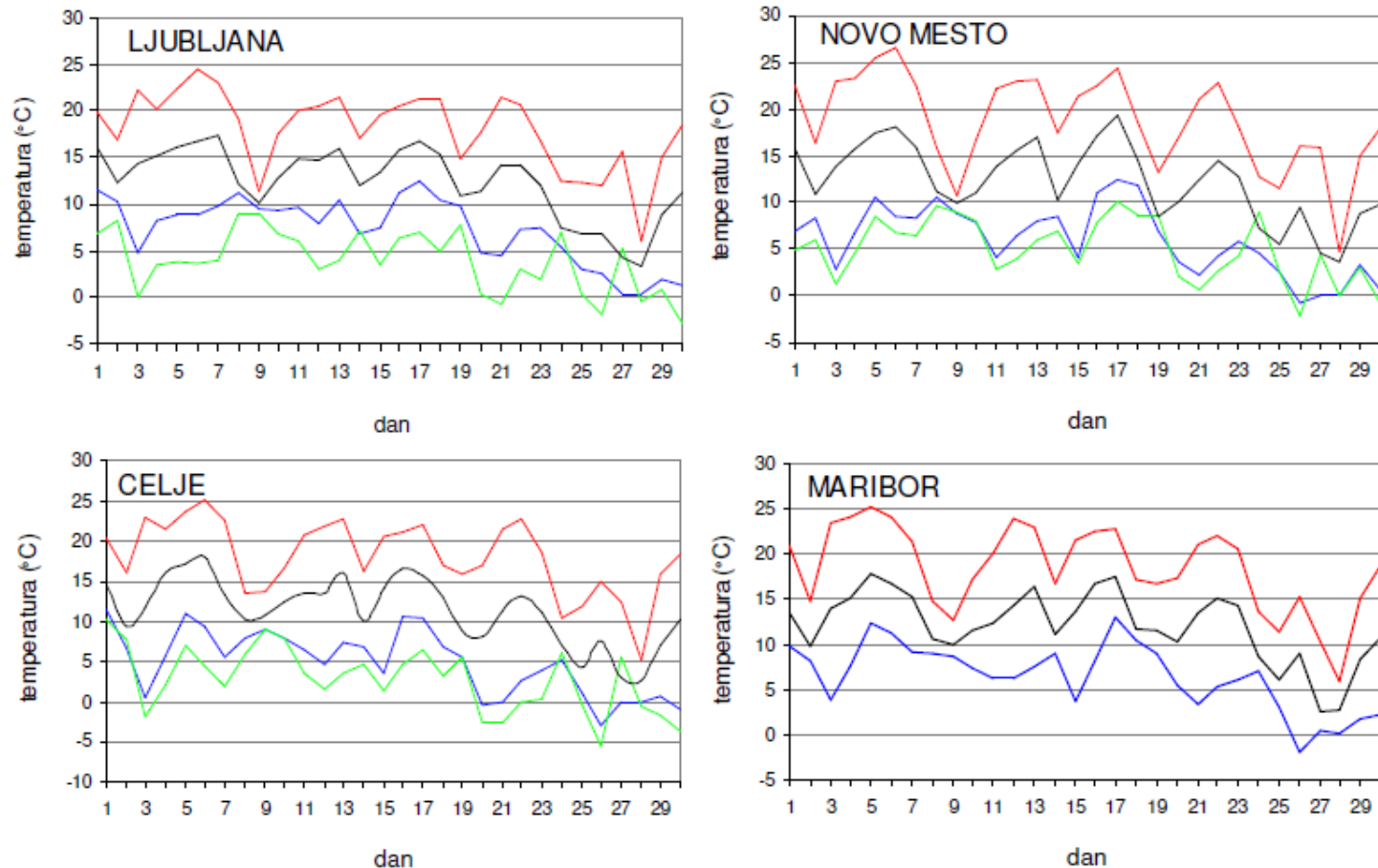
75 %



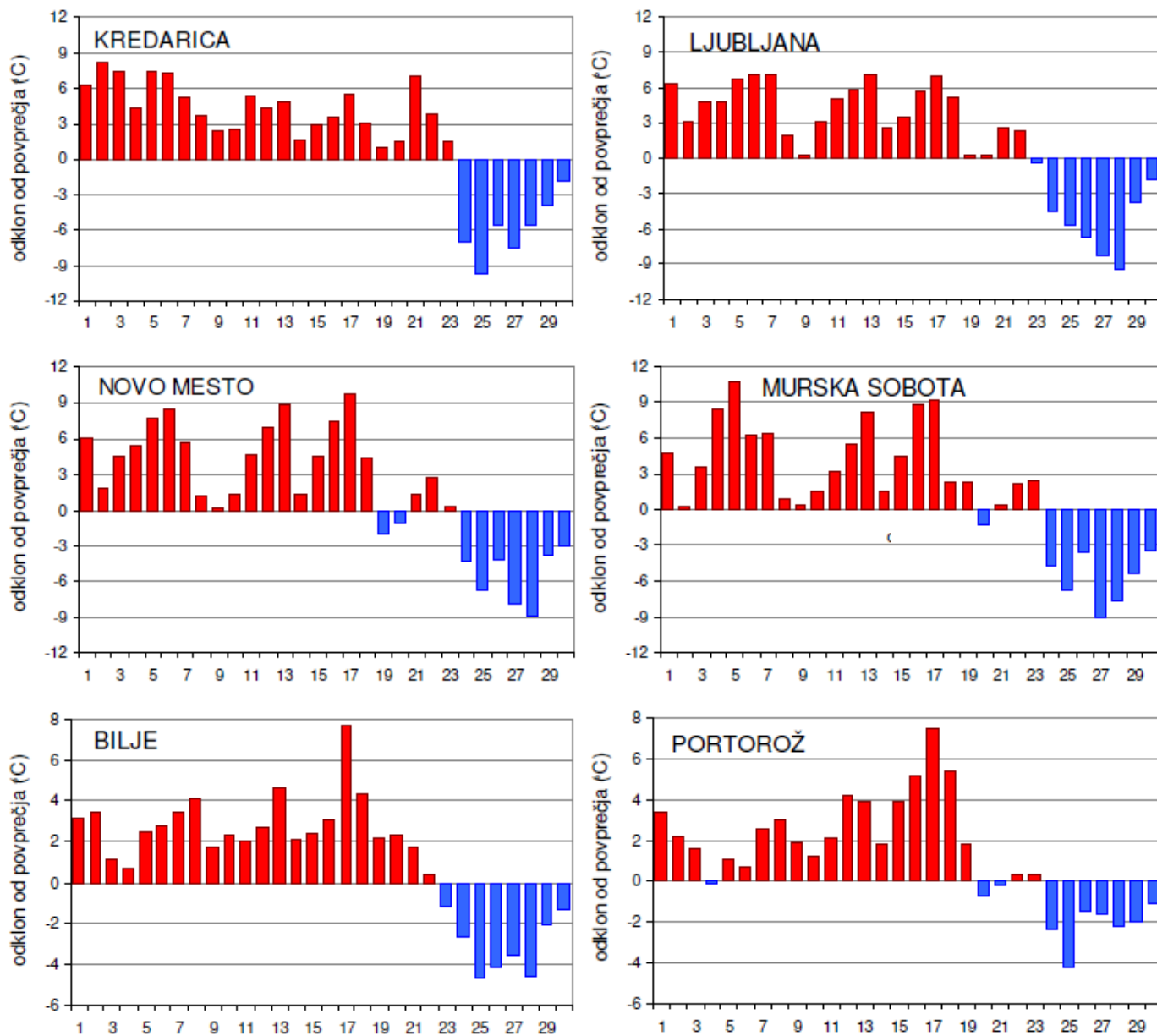
* Odstopanje povprečnih padavin obdobja 2021-2050 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961-1990



Kaj nam povedo meritve temperature – april 2016?



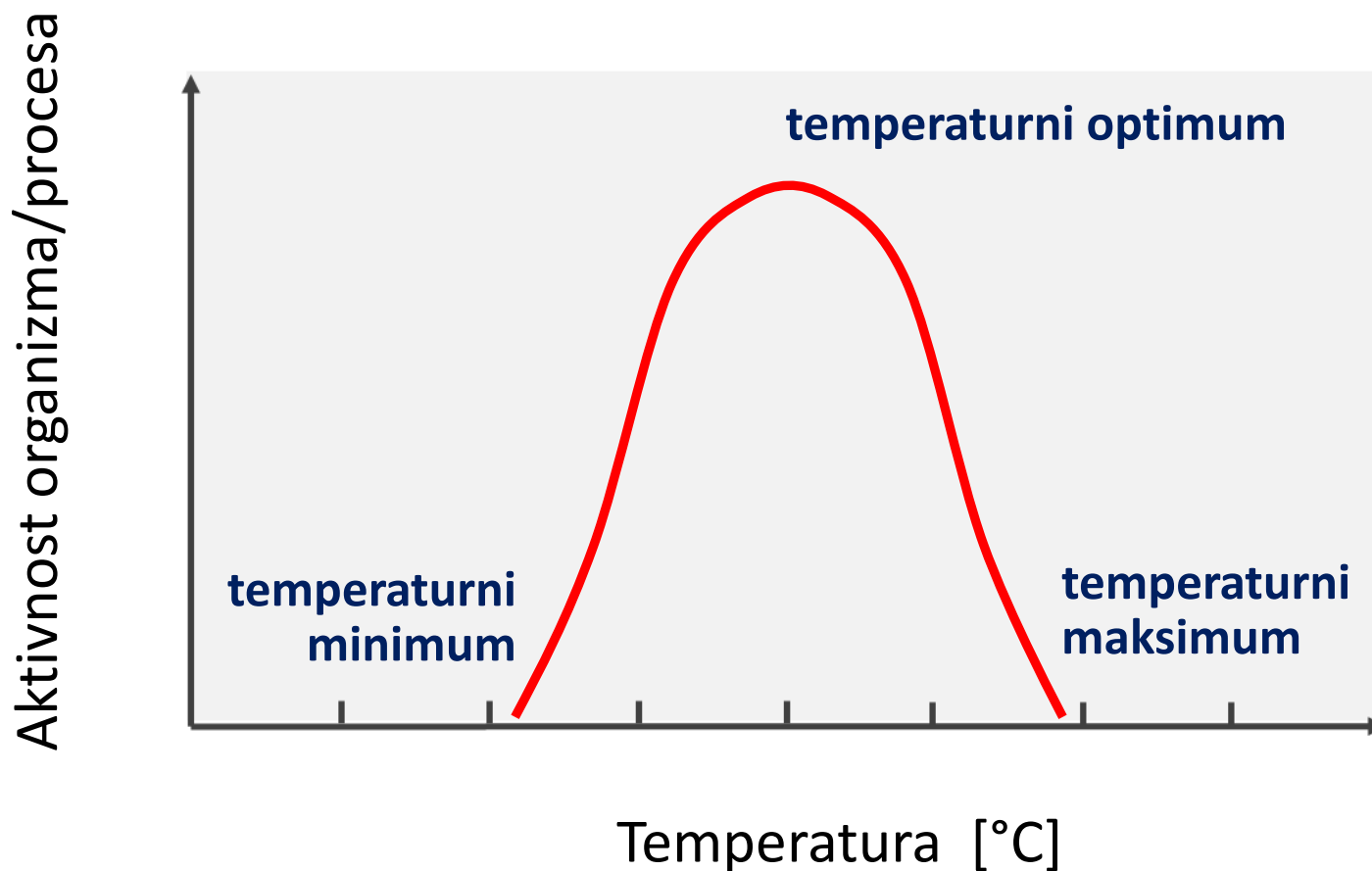
Slika 9. Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zelena), april 2016

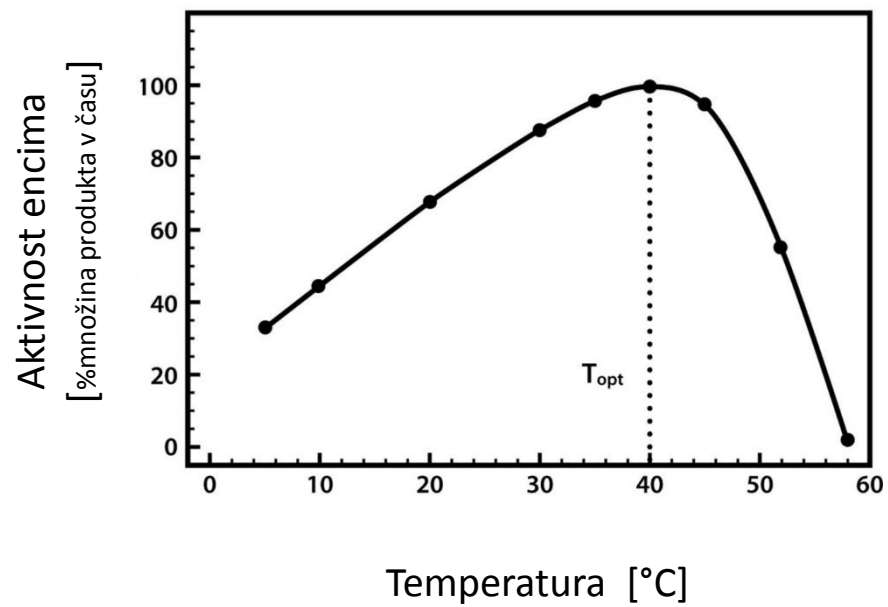
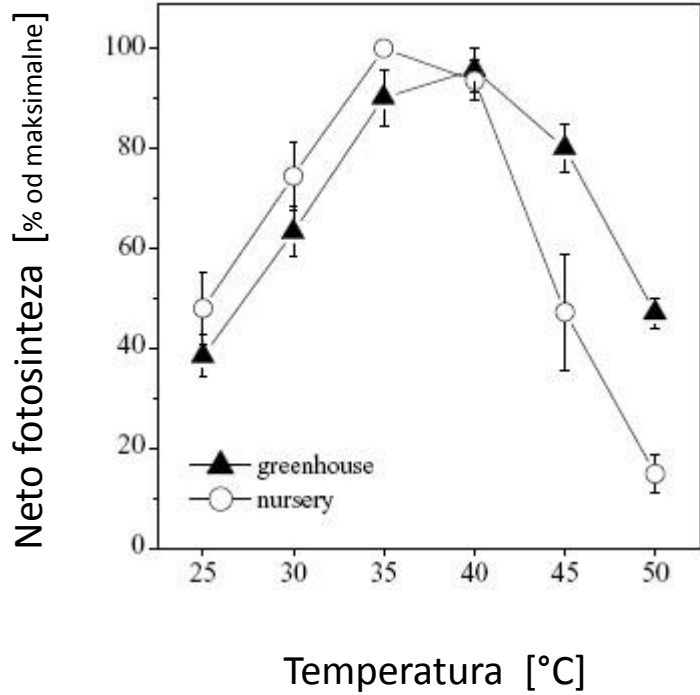


Slika 1. Odklon povprečne dnevne temperature zraka aprila 2016 od povprečja obdobja 1981–2010
 Figure 1. Daily air temperature anomaly from the corresponding means of the period 1981–2010, April 2016

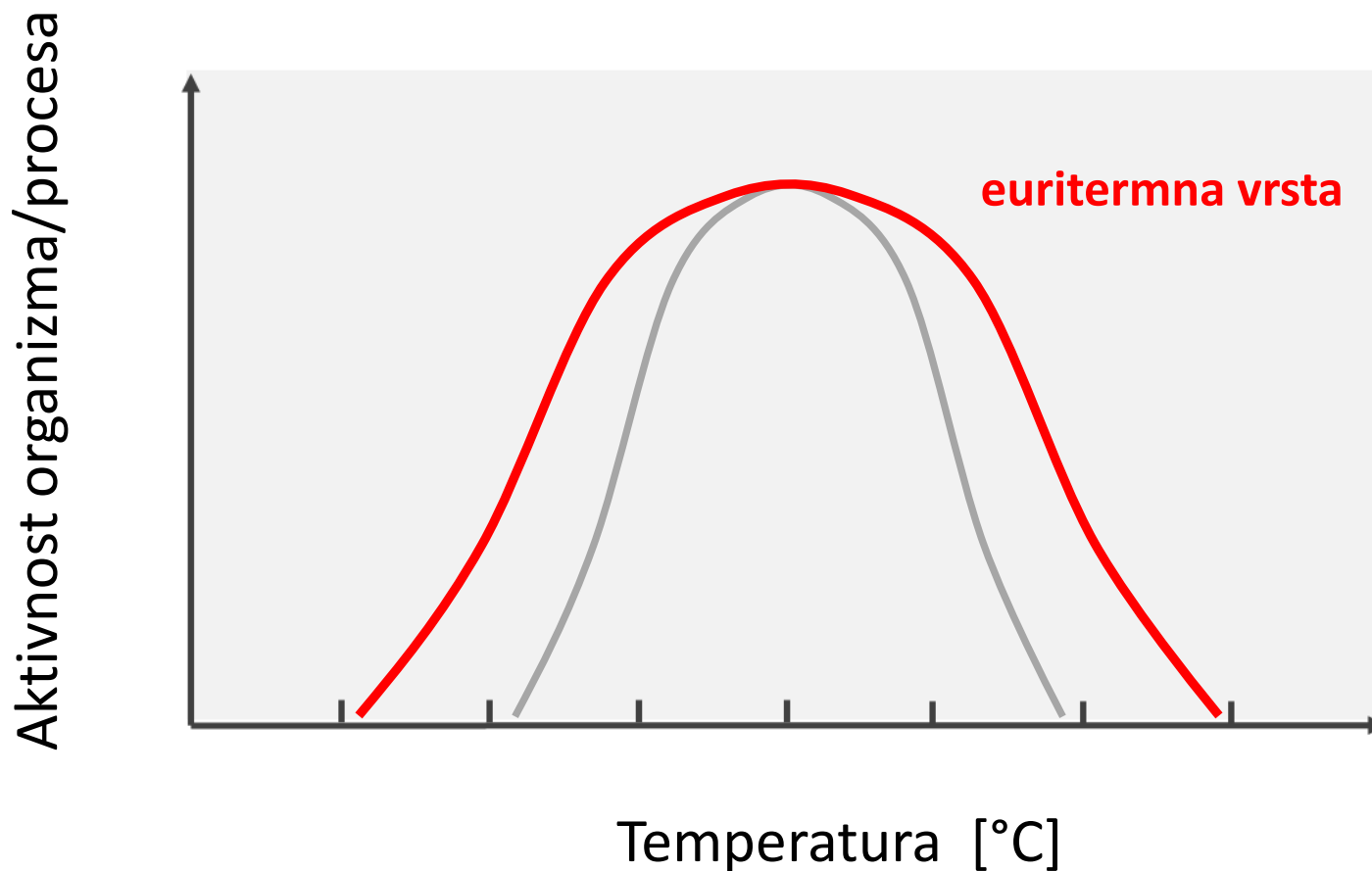


Odziv organizmov na temperaturo

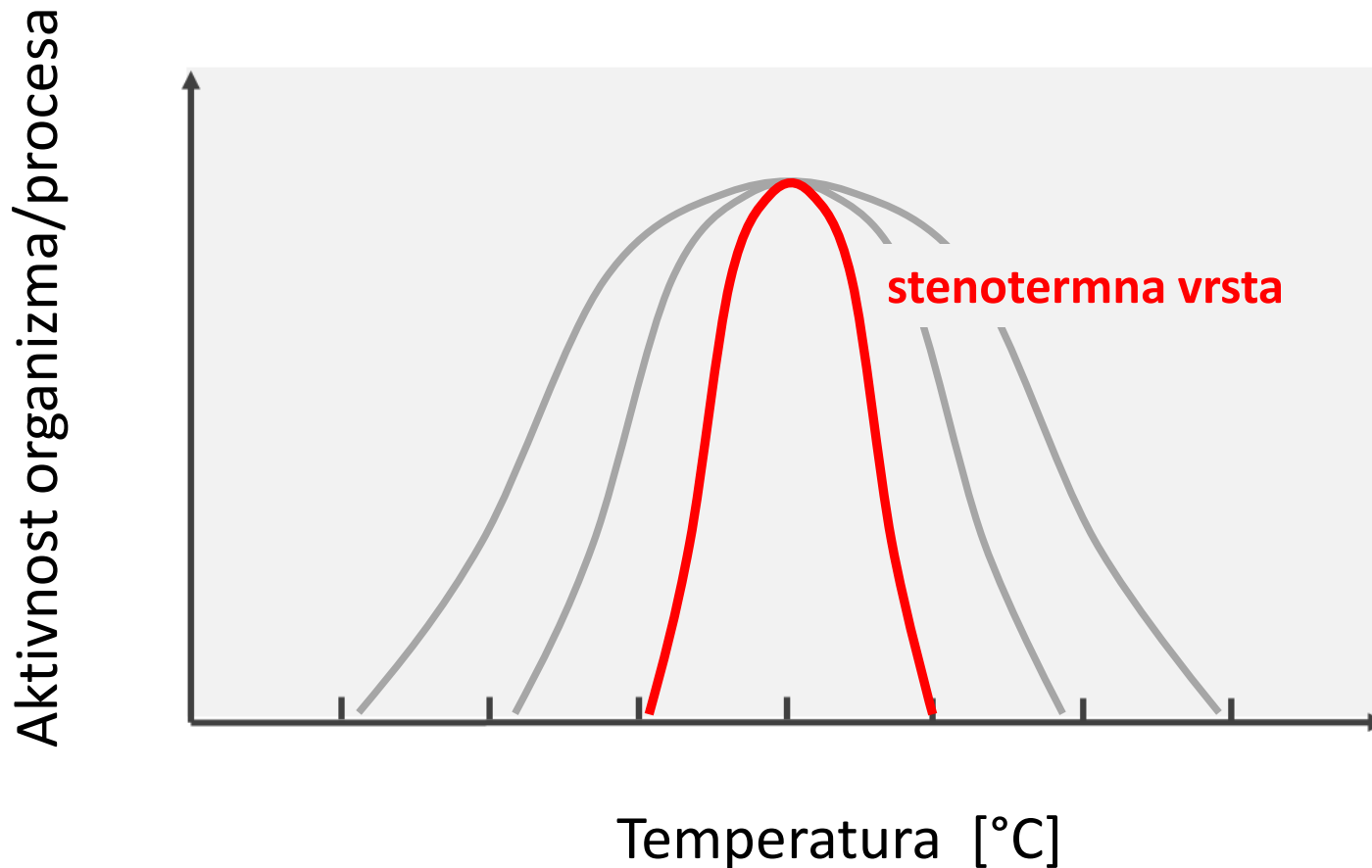




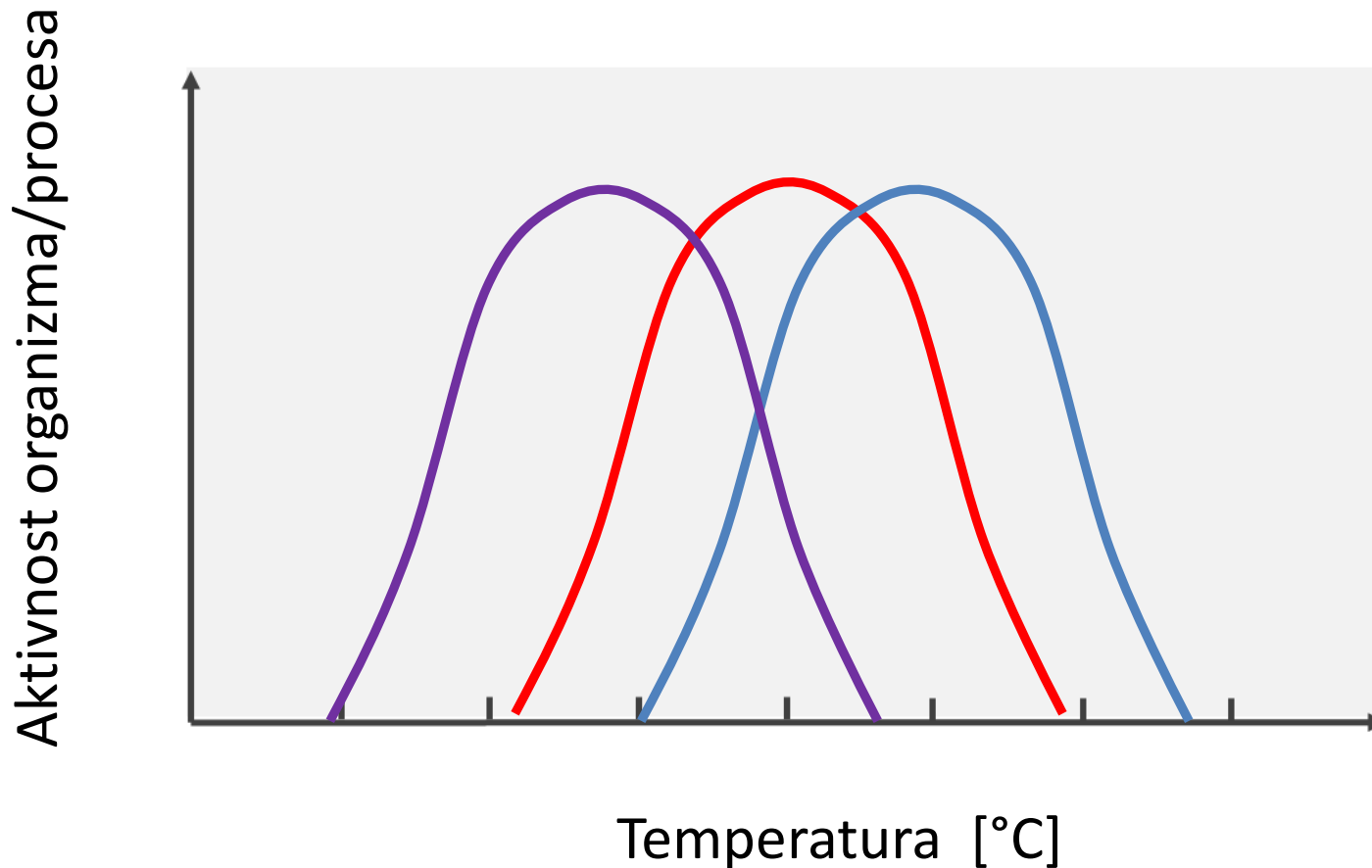
Vrste/sorte so lahko prilagojene na različna temperaturna območja



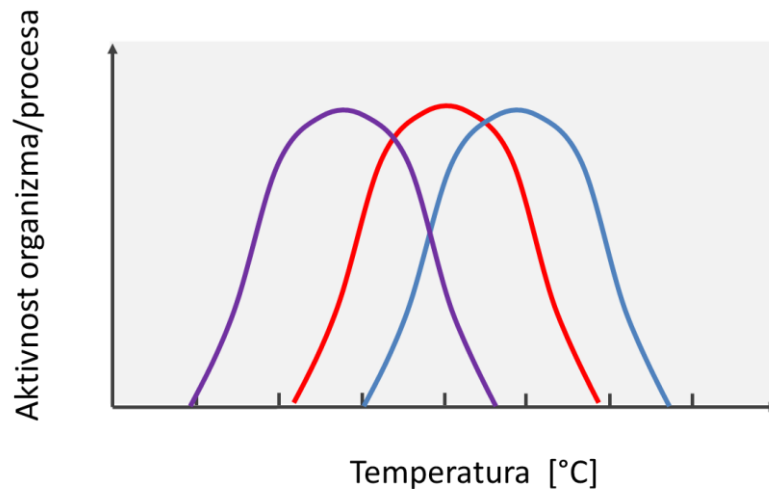
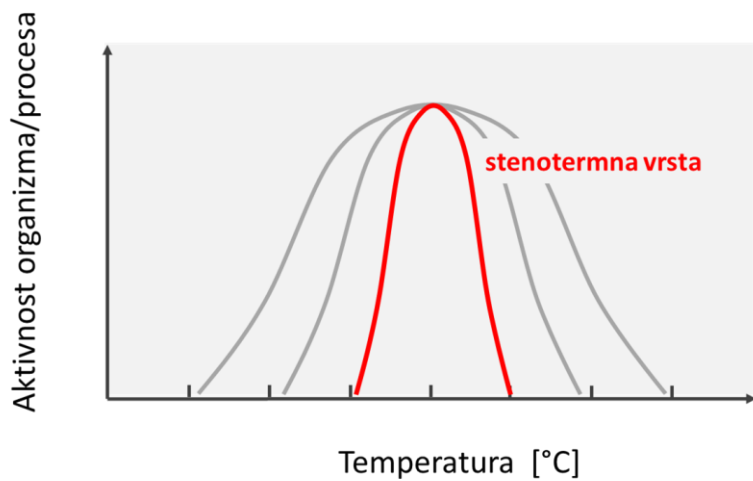
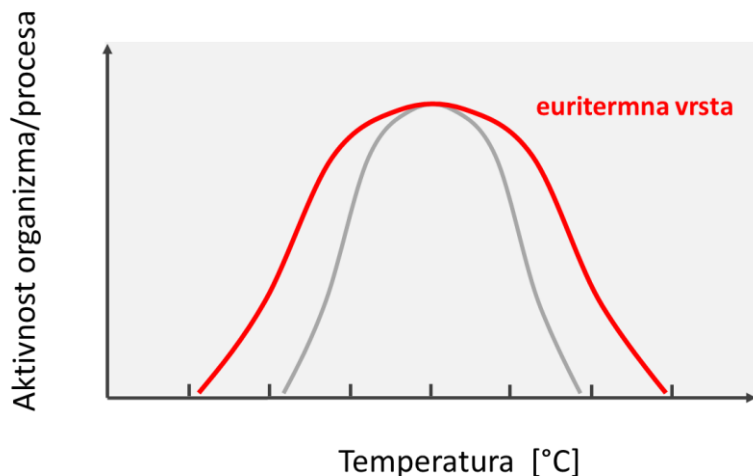
Vrste/sorte so lahko prilagojene na različna temperaturna območja



Vrste/sorte so lahko prilagojene na različna temperaturna območja



Uspevanje organizma v določenem temperaturnem območju je genetsko pogojeno – gre za **adaptacijo**



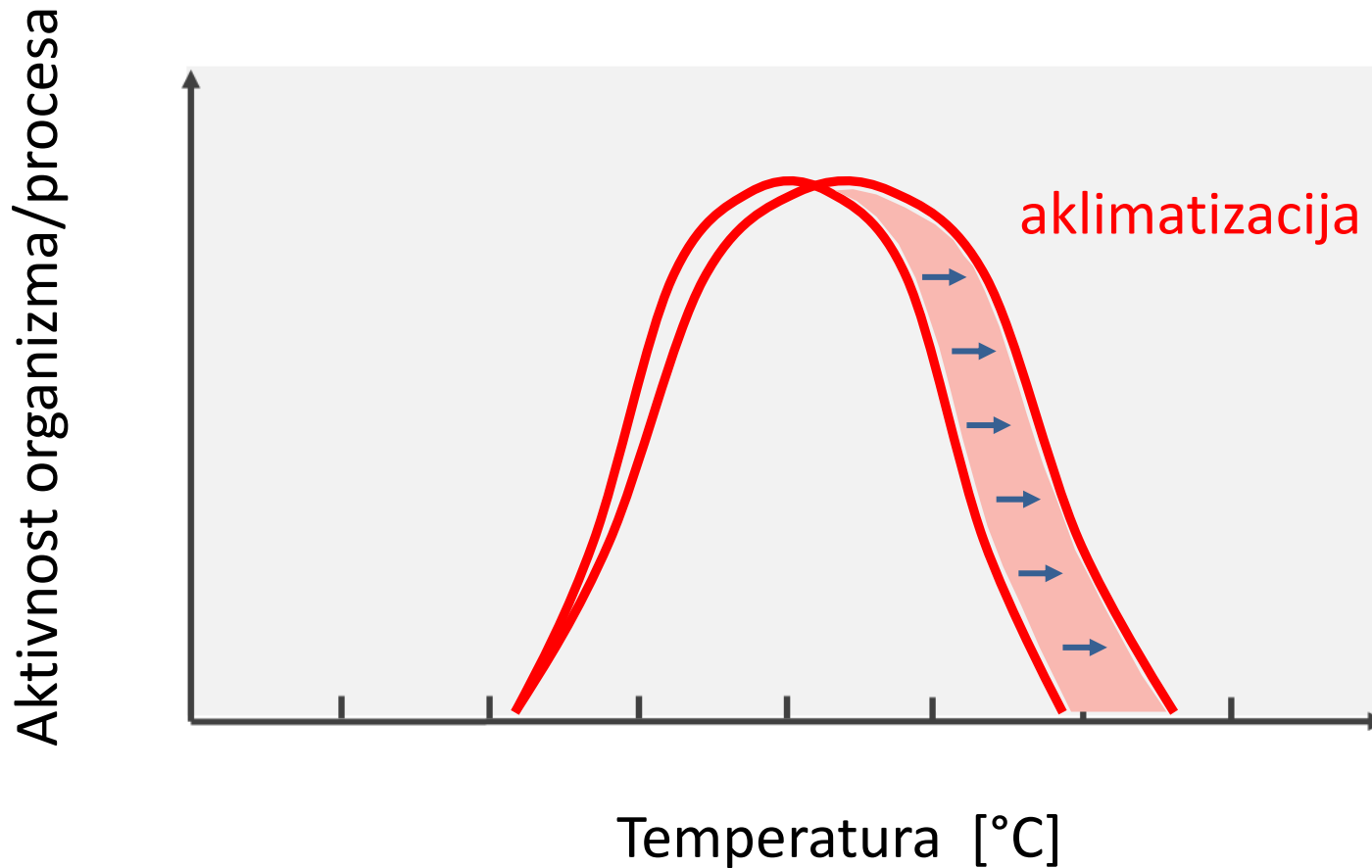
Plant group	Threshold temperature for cold injury in the hardened state	Threshold temperature for heat injury during growing season
Tropics		
Trees	+5 to -2	45–55
Forest understory	+5 to -3	45–48
Plants of high mountains	-5 to -15 (-20)	ca. 45
Subtropics		
Evergreen woody plants	-8 to -12	50–60
Deciduous woody plants	(-10 to -15) ^a	
Subtropical palms	-5 to -14	55–60
Succulents	-5 to -10 (-15)	58–67
C4 grasses	-1 to -5 (-8)	60–64
Desert winter annuals	-6 to -10	50–55
Temperate zone		
Evergreen woody plants of coastal regions with mild winters	-10 to -15 (-25)	48–52 (55)
Relict species of the tertiary tree flora	-8 to -20 (-15 to -30) ^a	
Dwarf shrubs of Atlantic heaths	-20 to -25	45-50
Deciduous trees and shrubs	(-25 to -35) ^a	ca. 50
Herbaceous mesophytes of sunny habitats	-10 to -20 (-30)	47–52
Herbaceous mesophytes of shady habitats	-10 to -20 (-30)	40–45
Steppe grasses	(-30 to LN ₂) ^a	60–65
Halophytes	-10 to -20	
Succulents	-10 to -25	(42) 55–62
Aquatic plants	-5 to -12	38-44
Homoiohydric ferns	-10 to -40	46–48
Regions with cold winters		
Evergreen conifers	-40 to -90	44–50
Boreal deciduous trees	(-30 to LN ₂) ^a	42–45
Arctic-alpine dwarf shrubs	-30 to -70	48–55
Herbaceous plants of the Arctic and high mountains	(-30 to LN ₂) ^a	45–52 (55)

^a Vegetative buds

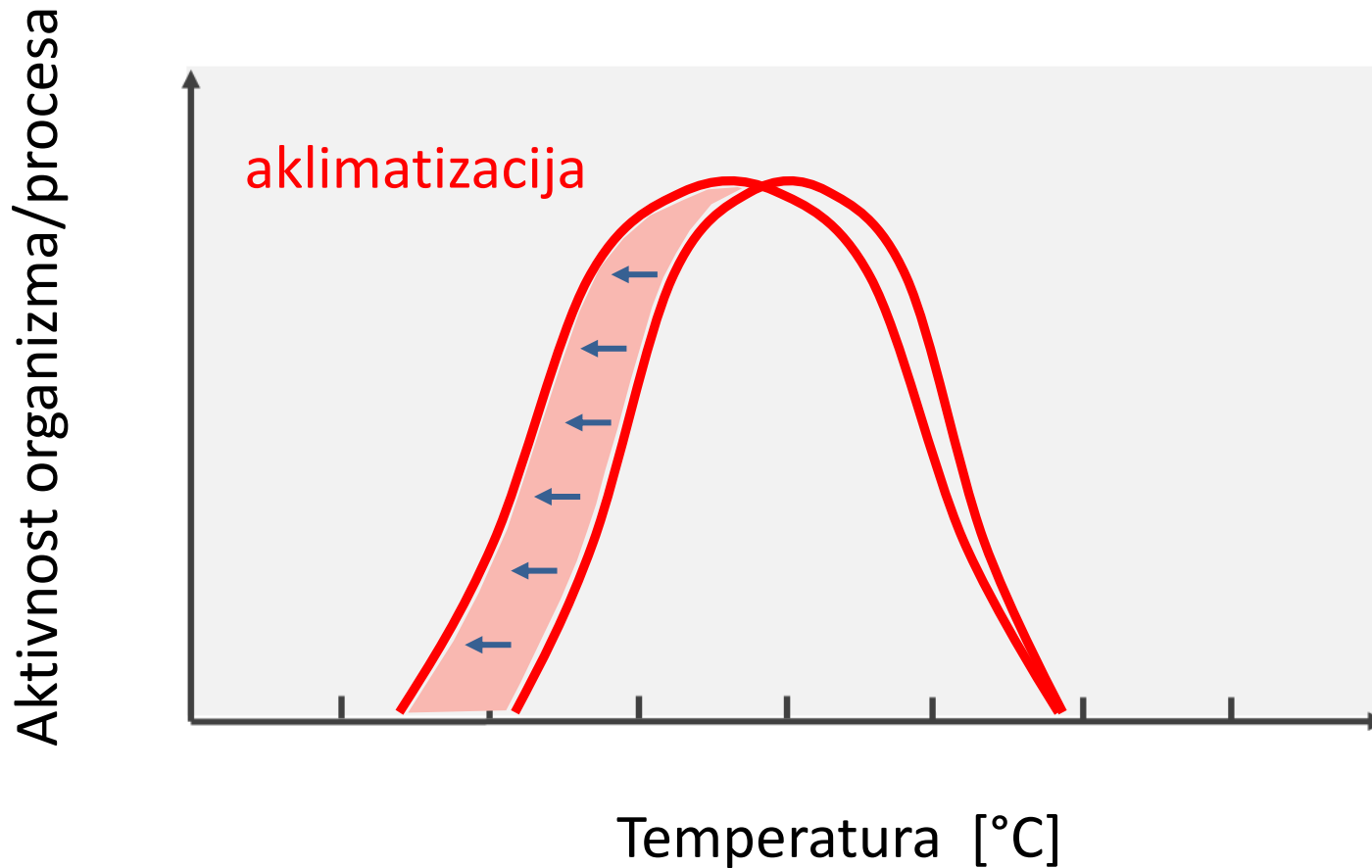
LN₂ = Temperature of liquid nitrogen (-196 °C).

Larcher, 2002

S postopno izpostavitvijo visokim T se rastline aklimatizirajo



S postopno izpostavitvijo visokim T se rastline aklimatizirajo



Učinki nizkih temperature in zmrzali



Stres zaradi nizkih temperatur

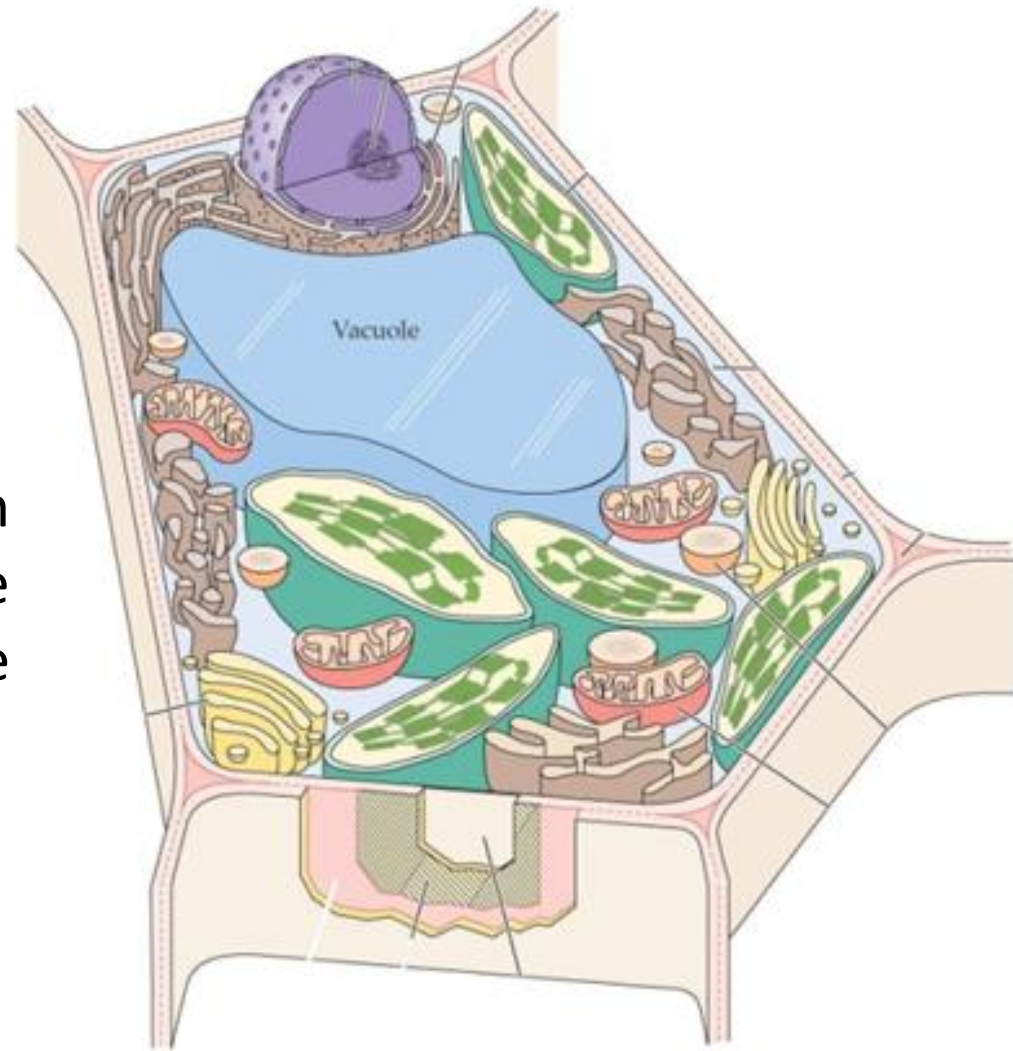
- temperature nad lediščem
- rastline tropskega oz. subtropskega izvora (0-12 °C)

Vidni simptomi

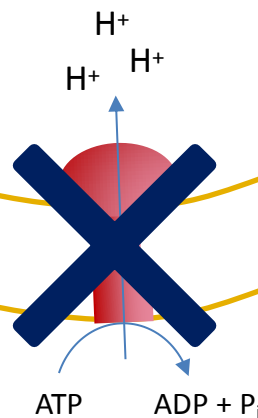
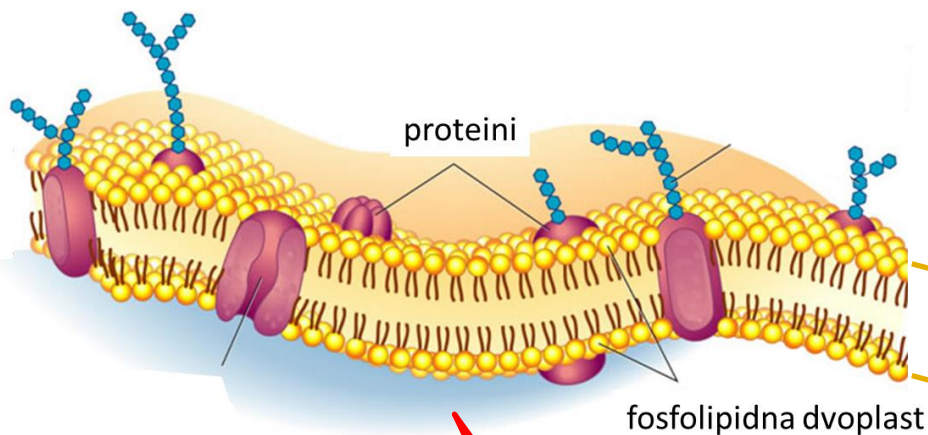
- upočasnjena rast
- poškodbe (lezije) na listih in plodovih
- neobičajno zvijanje, kodranje listov
- tkiva nasičena z vodo
- poškodbe in odmiranje stebel
- kloroze (rjavenje žil)
- izguba vigorja...

Stres zaradi nizkih temperatur

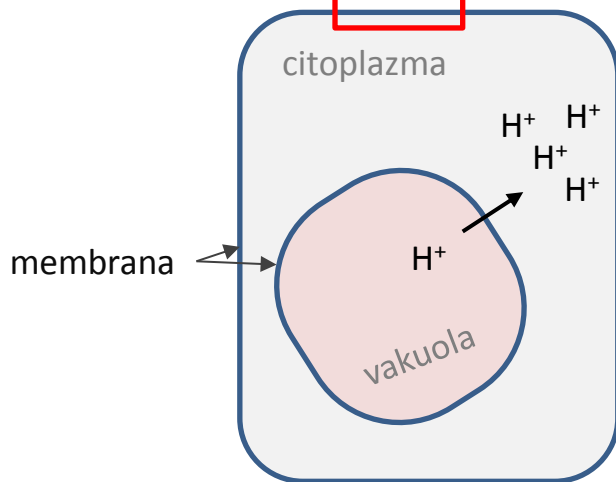
- za razumevanje učinkov in tolerančnih mehanizmov je pomembno poznavanje stresa na celični ravni



temperatura

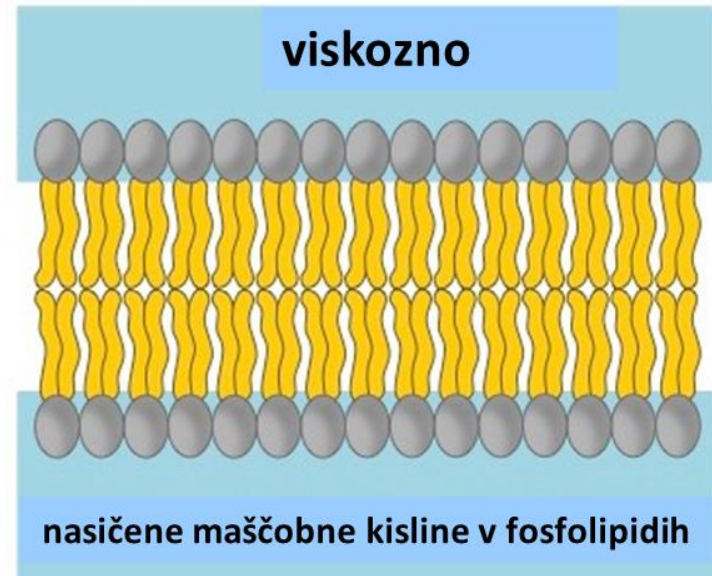
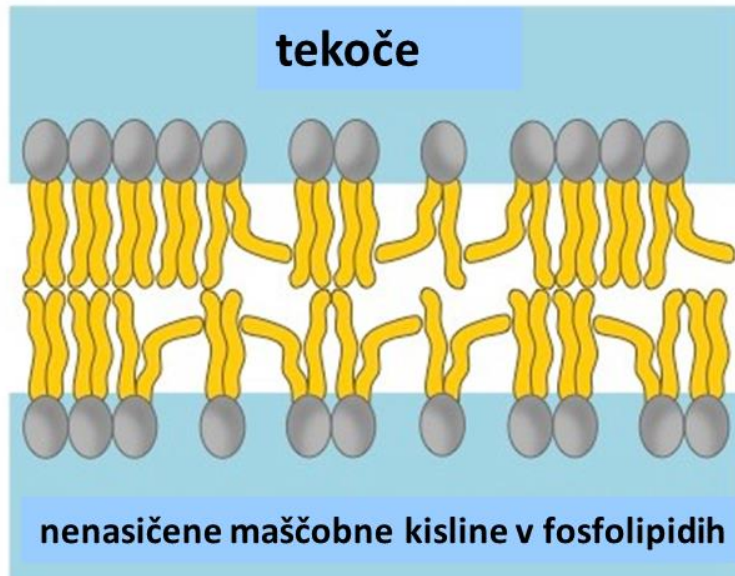


→ gel stanje



- motnje transporta ionov
- puščanje membrane
- zakisanje citoplazme

Sestava membrane pomembno vpliva na tolerance rastline na temperaturni stres



ugodna sestava membrane za hladno okolje



gel stanje (viskozno) se pojavi pri nižjih T

Pri nizkih temperaturah je močna svetloba stresor



nizke temperature

+

močna svetloba



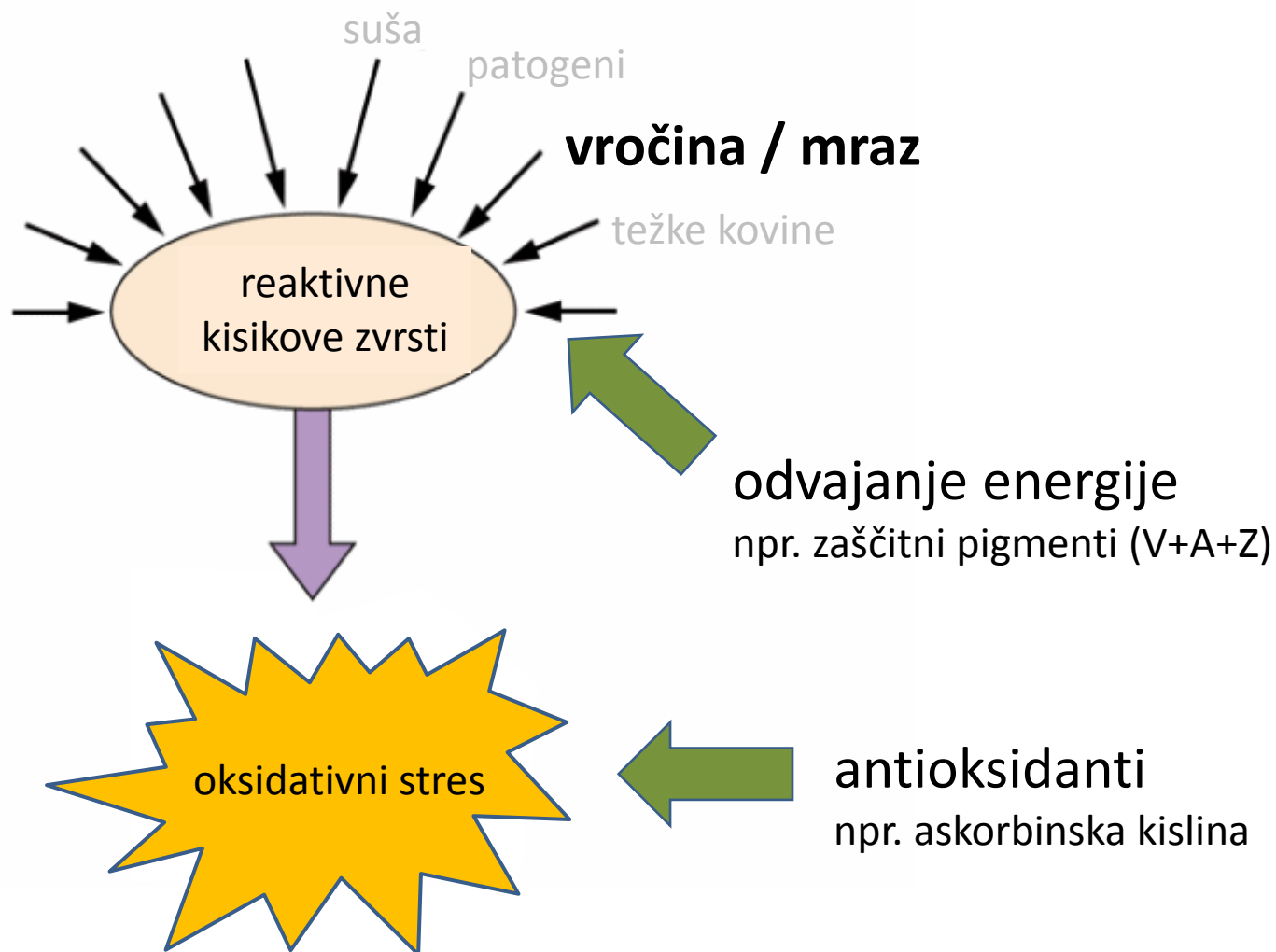
fotoinhibicija

nastanek reaktivnih kisikov zvrsti (oksidativni stress)

poškodbe

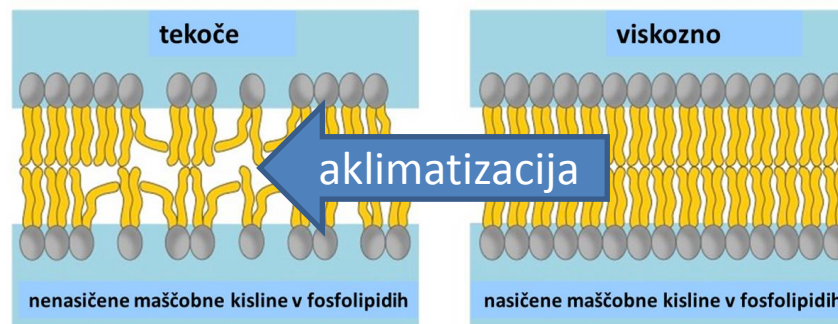


(Tudi) mraz/vročina vodita v oksidativni stres



Aklimatizacija na nizke temperature

- izražanje specifičnih genov
- spremembe v sestavi membrane
 - več fosfolipidov z nenasičenimi maščobnimi kislinami, povečanje fluidnosti

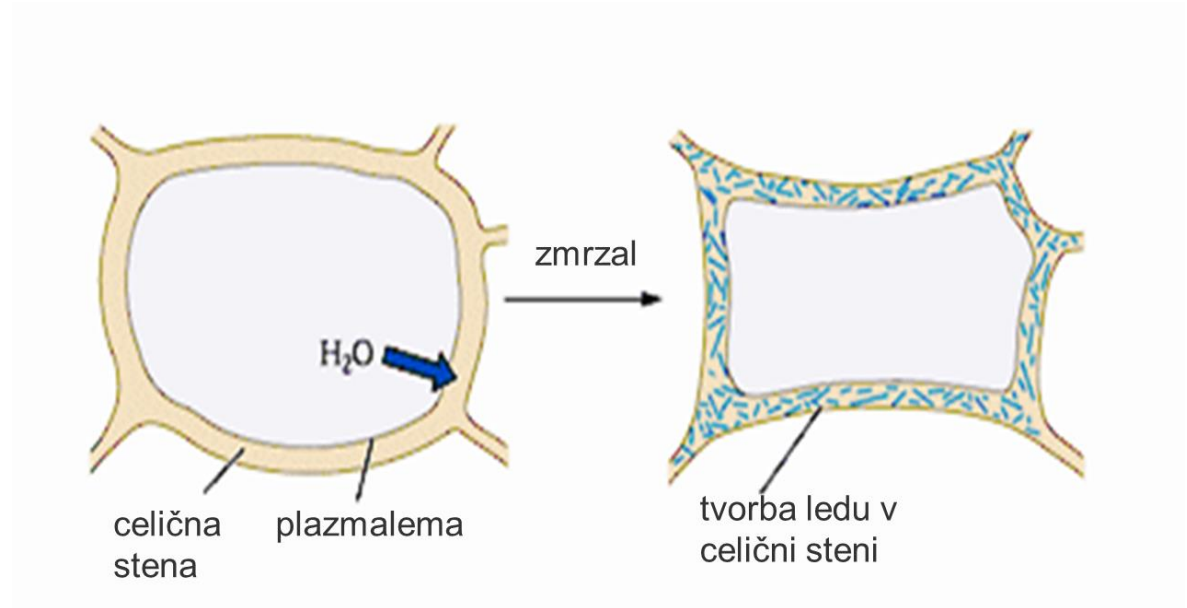


- spremembe membranskih beljakovin
- kopičenje osmotsko aktivnih snovi (prolin, rafinoza...)

A close-up photograph of several strawberry leaves. The leaves are green but heavily covered with a white, powdery substance, which is a sign of powdery mildew. The leaves have a serrated edge and are arranged in a cluster. The background is dark and out of focus, showing some brown, dried leaves.

Zmrzal

Zmrzal



- tvorba ledu v intercelularjih in ksilemu
- premik vode iz celice k ledu → **dehidracija** ← podobnost s sušo!
- mehanske poškodbe zaradi kristalov
- mehanske poškodbe ob povečanju razpoložljivosti vode ob hitrem odtajanju

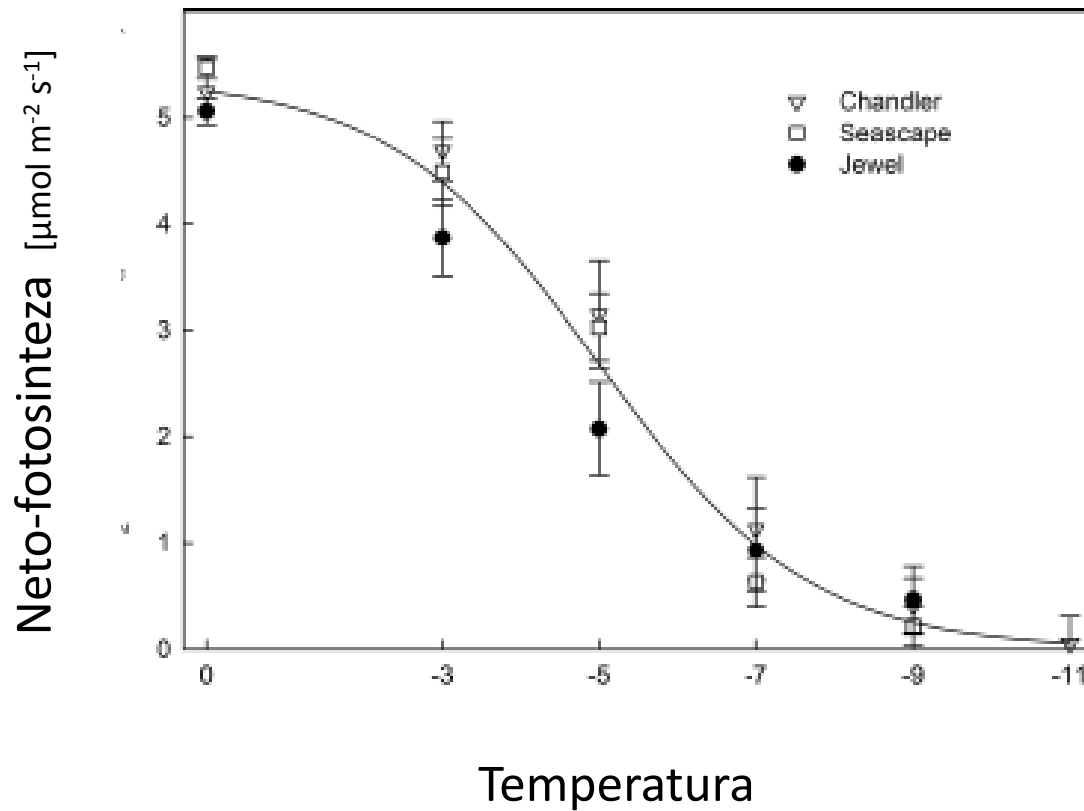
Poškodbe zaradi zmrzali



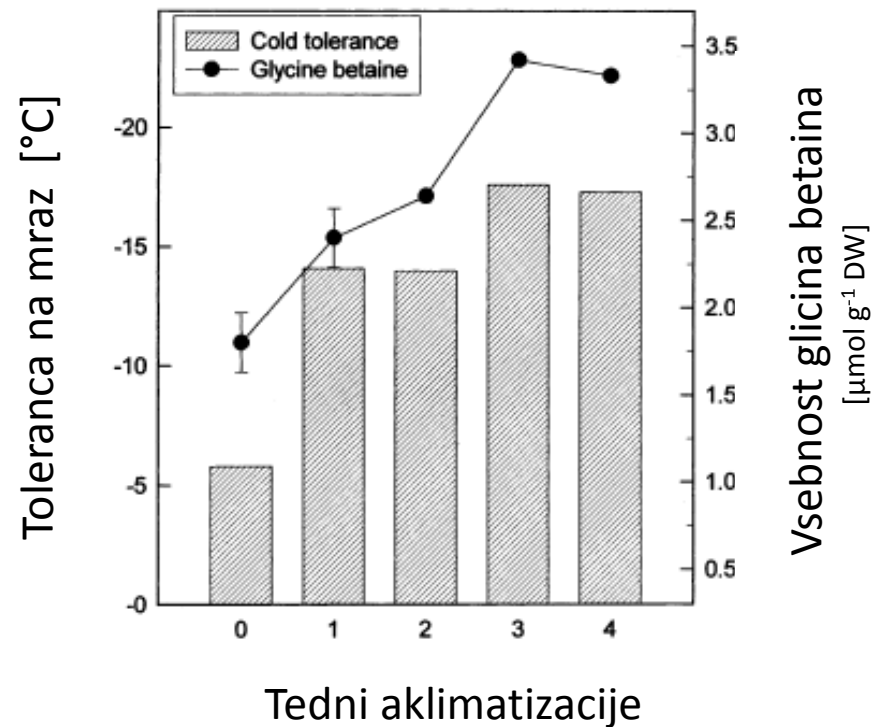
Toleranca zmrzali

- izražanje specifičnih genov
- spremembe v sestavi membrane
 - več fosfolipidov z nenasičenimi maščobnimi kislinami, povečanje fluidnosti)
 - spremembe membranskih beljakovin (hidrofilni protein)
- kopičenje osmotsko aktivnih snovi (prolin, rafinoza...)
- mehanizmi za popraviljanje škode na membranah
- **dehidrini** (proteini, ki ščitijo biološke molekule ob izsuševanju)

Nizke temperature in fotosinteza



Maughan in sod. 2015



Rastline jagod so različno dolgo (do 4 tedne) aklimatizirali pri 4/2 °C in nato preverjali njihovo tolerance na nizke temperature. Med aklimatizacijo se je povečala vsebnost osmotika betaina, ki prispeva k večji tolerance.

Rajashekar in sod., 1999



Tretiranje rastlin z osmotikom **glicin betain** (GB) poveča toleranco na nizke temperature

Fragaria X ananassa Duch cv. Earliglow

Rajashekar in sod., 1999

Učinki visokih temperatur



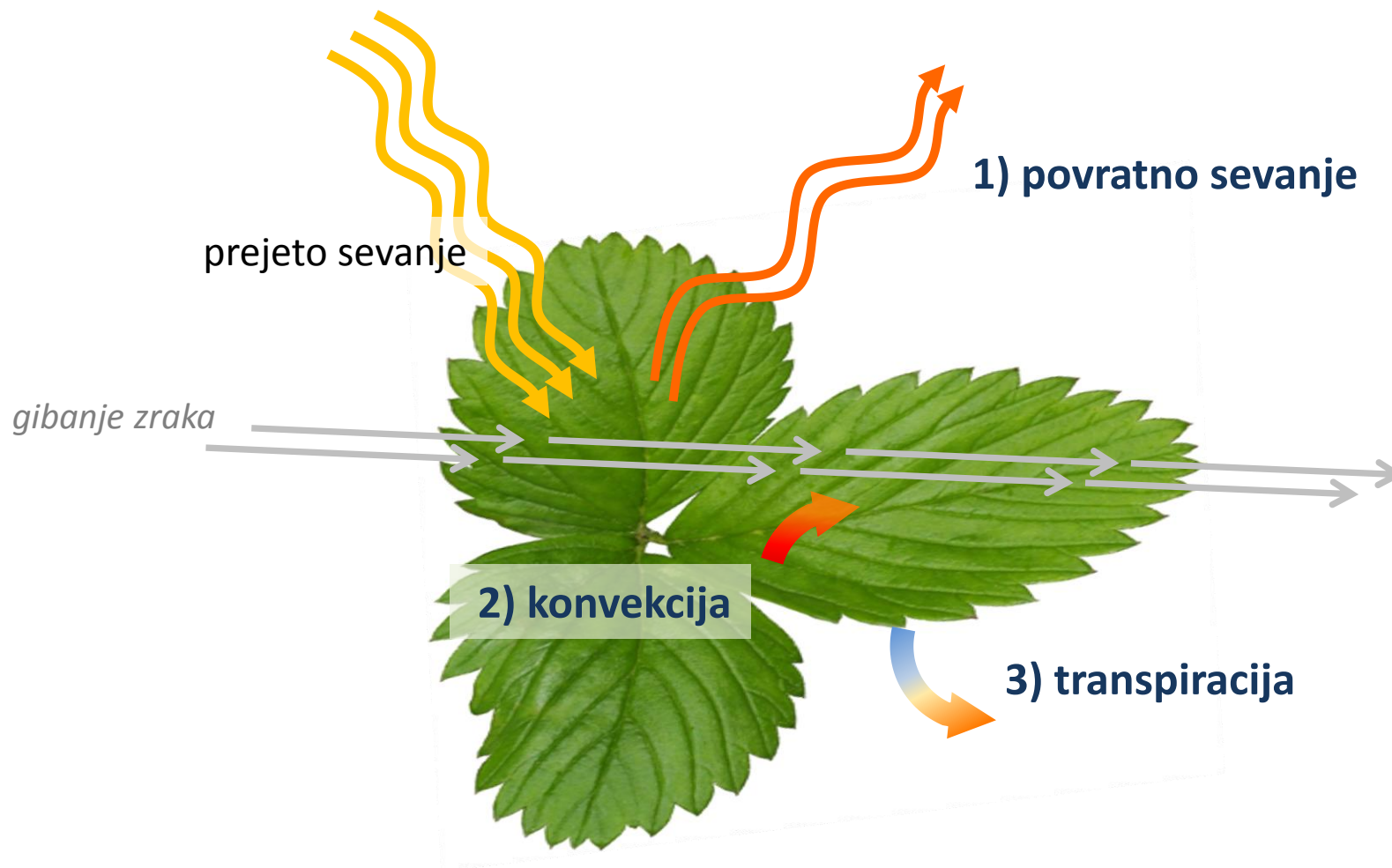
Vročinski stres - učinki

- ožigi listov, stebila
- staranje in odpadanje listov
- zavrta rast nadzemnega dela in korenin
- poškodbe plodov

Vročinski stres - učinki



Toplotna bilanca lista



$$\text{prejeto sevanje} = \text{povratno sevanje} + \text{konvekcija} + \text{transpiracija}$$

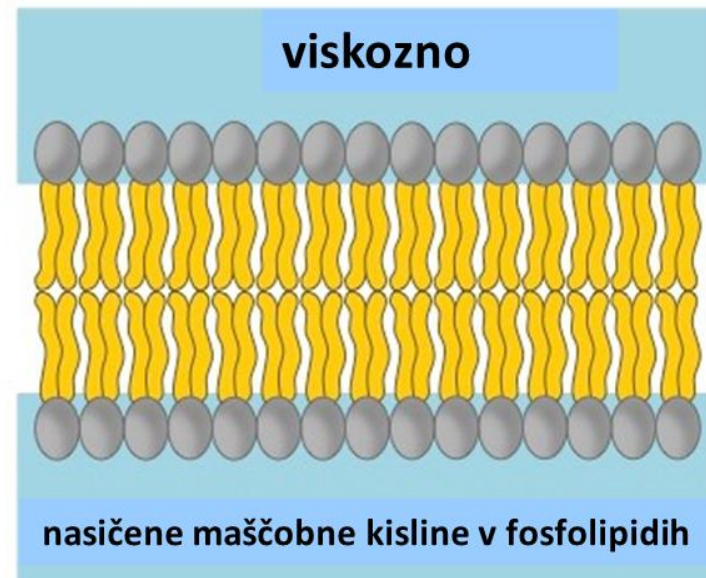
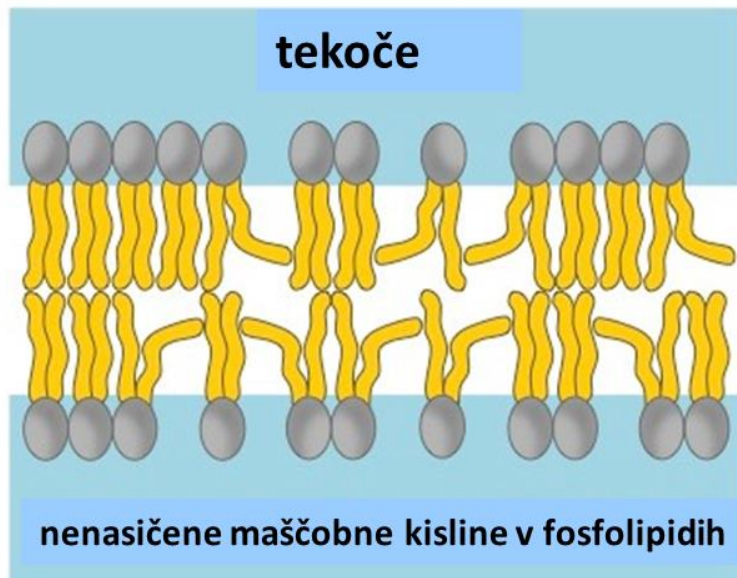


↑ temperatura, ↑ deficit vode

Vročinski stres - kje je težava?



Sestava membrane pomembno vpliva na tolerance rastline na temperaturni stres

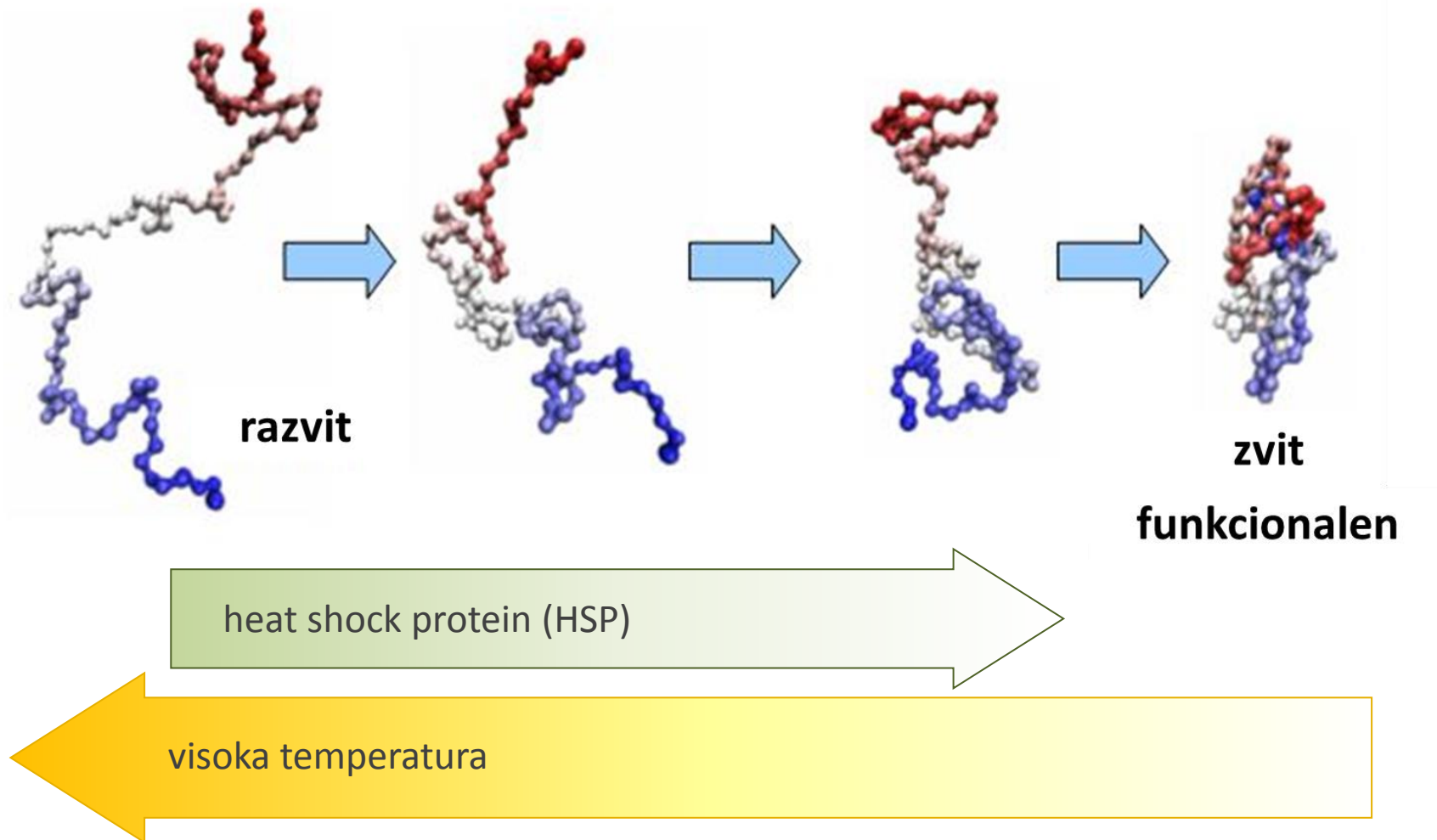


neugodna sestava membrane za toplo okolje

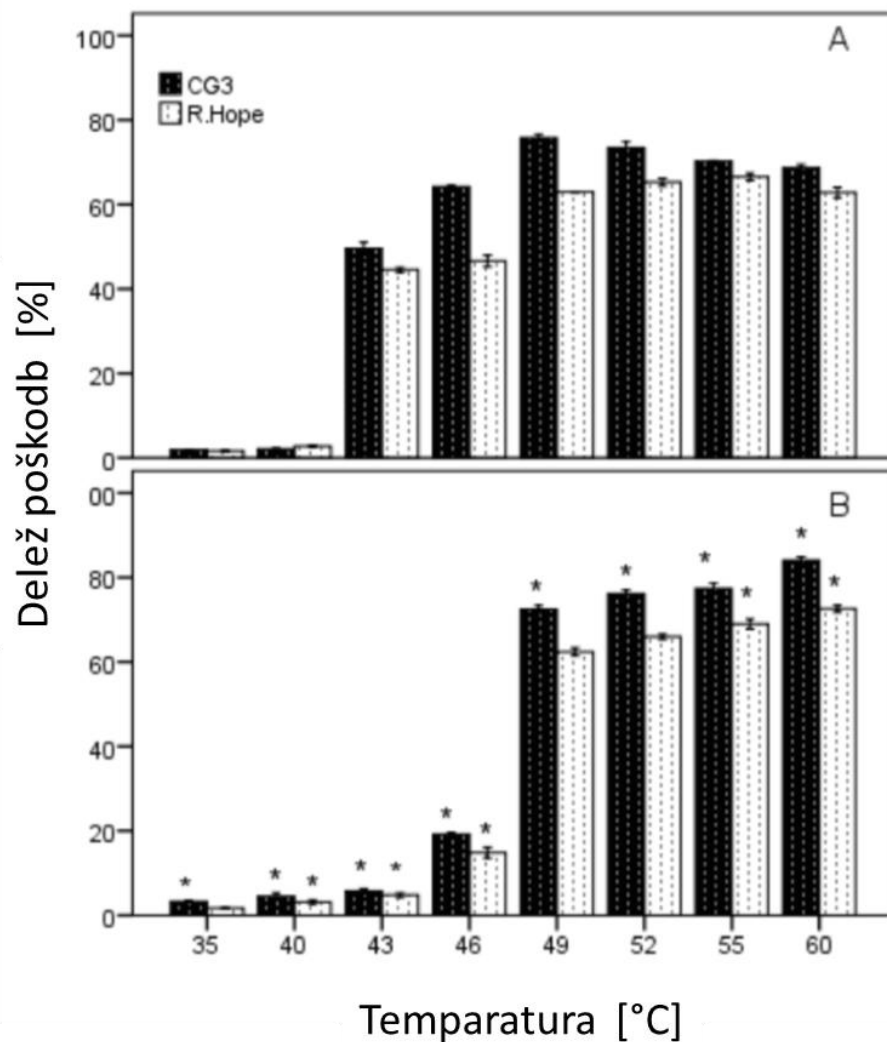


↑ T poveča fluidnost membrane do mere, da začne ta puščati

Proteini lahko normalno delujejo, le če imajo ustrezno strukturo



Odziv dveh različno tolerantnih sort jagode na $\uparrow T$



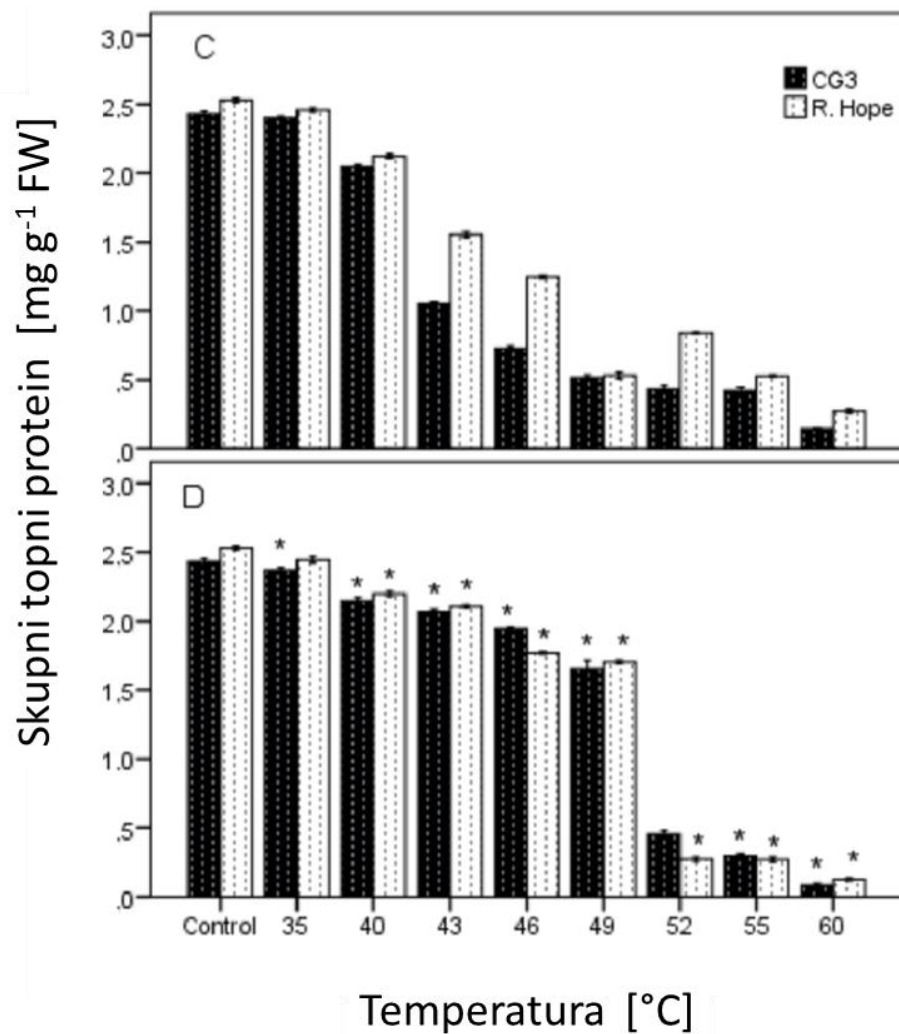
Redlands Hope – tolerantna na $\uparrow T$
Cal. Giant 3 – občutljiva na $\uparrow T$

postopna izpostavitvev (1 °C na 10 min)

trenutna izpostavitvev (vročinski šok)

Ergin in sod. 2016

Vpliv visokih temperatur na vsebnost topnih proteinov v listih dveh različno tolerantnih sort jagodnjaka



Redlands Hope – tolerantna na ↑T

Cal. Giant 3 – občutljiva na ↑T

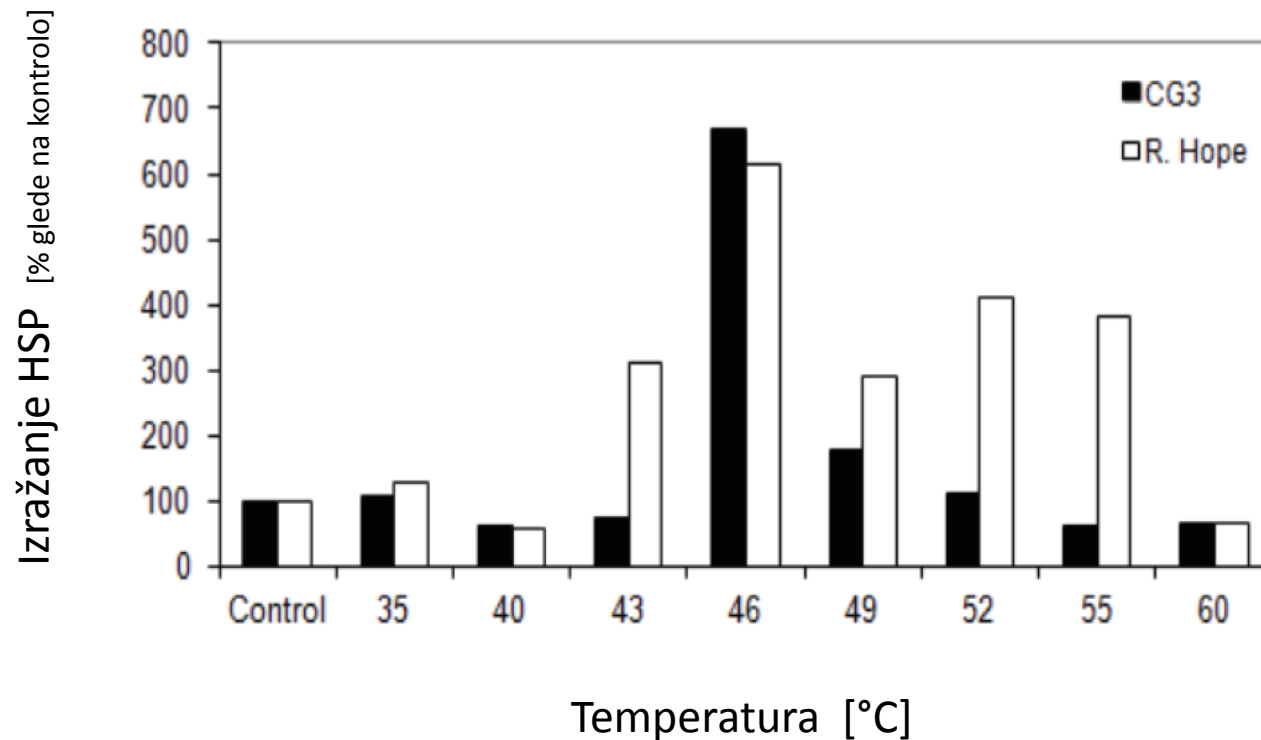
postopna izpostavitvev (1 °C na 10 min)

trenutna izpostavitvev (vročinski šok)

Ergin in sod. 2016

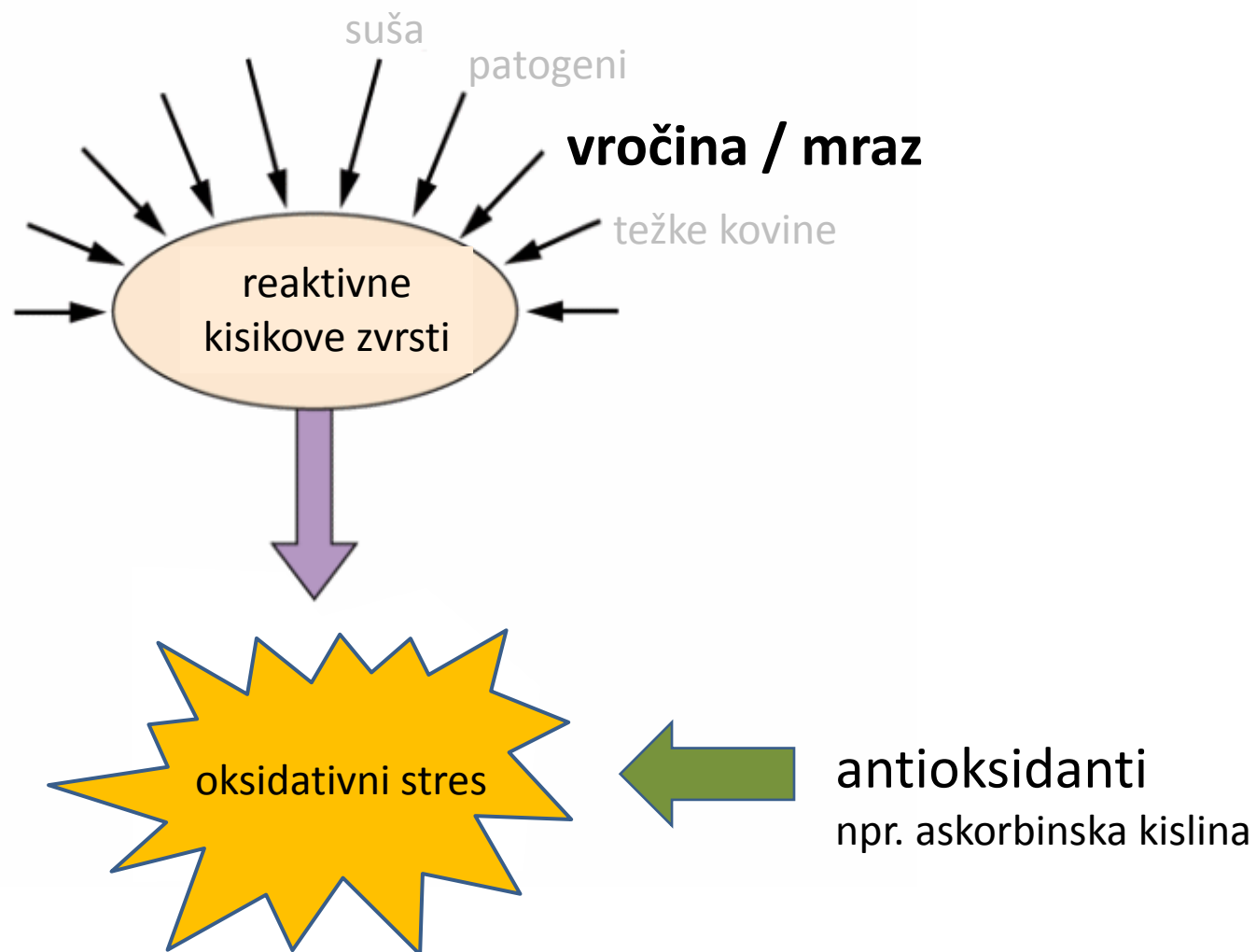
Izražanje heat shock proteinov (HSP) pri dveh na ↑T različno tolerantnih sort jagode

Redlands Hope – tolerantna na ↑T
Cal. Giant 3 – občutljiva na ↑T
postopna izpostavitve (1 °C na 10 min)

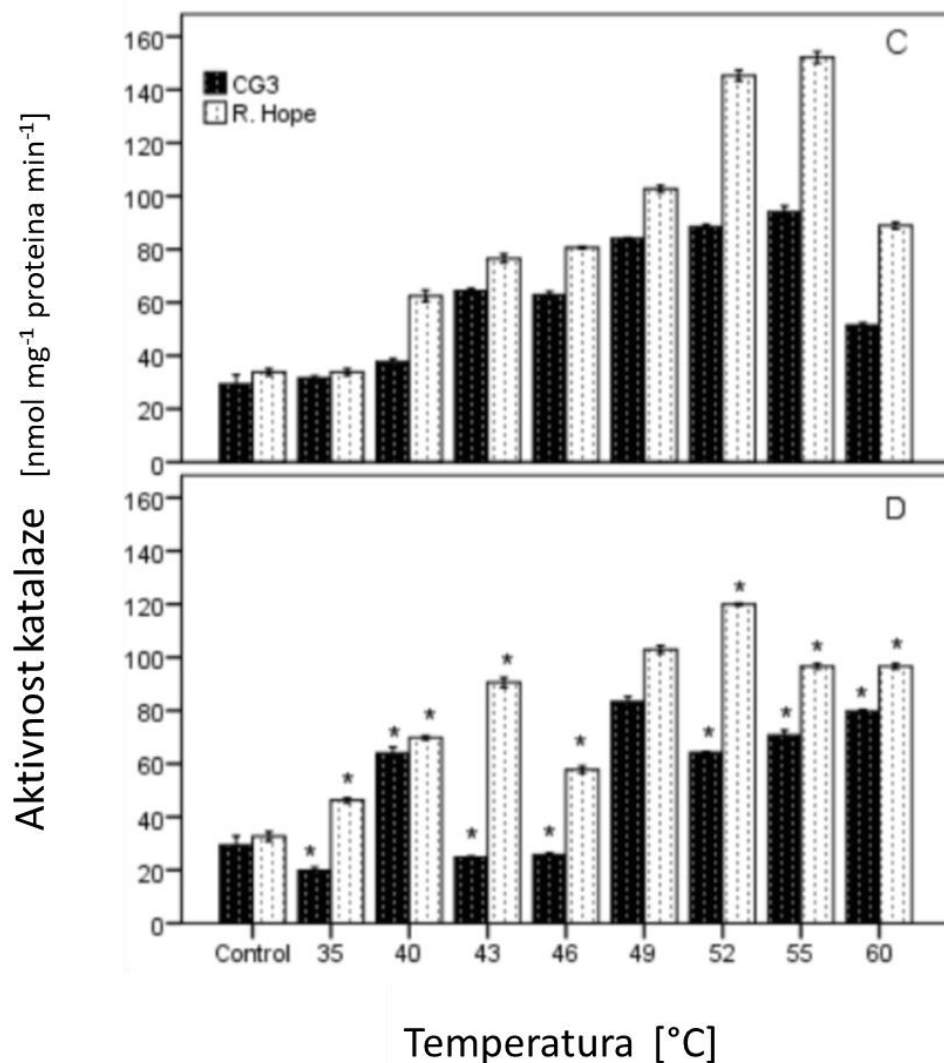


Ergin in sod. 2016

(Tudi) mraz/vročina vodita v oksidativni stres



Izražanje antioksidativnega encima katalaza pri dveh na $\uparrow T$ različno tolerantnih sort jagode



Redlands Hope – tolerantna na $\uparrow T$

Cal. Giant 3 – občutljiva na $\uparrow T$

postopna izpostavitvev (1 °C na 10 min)

trenutna izpostavitvev (vročinski šok)

Ergin in sod. 2016

Ali vročinski stres lahko omilimo s pripravki, ki povečajo albedo?



kontrola

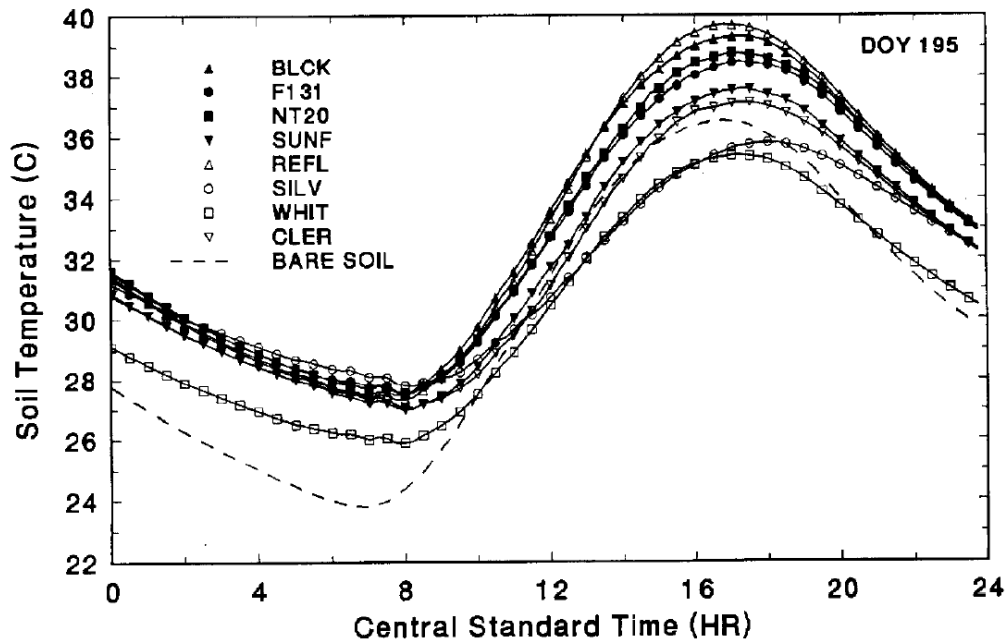
$T_{\text{list}} = 28,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$



kaolin

$T_{\text{list}} = 27,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Na temperaturni režim pomembno vplivamo tudi z zastirko

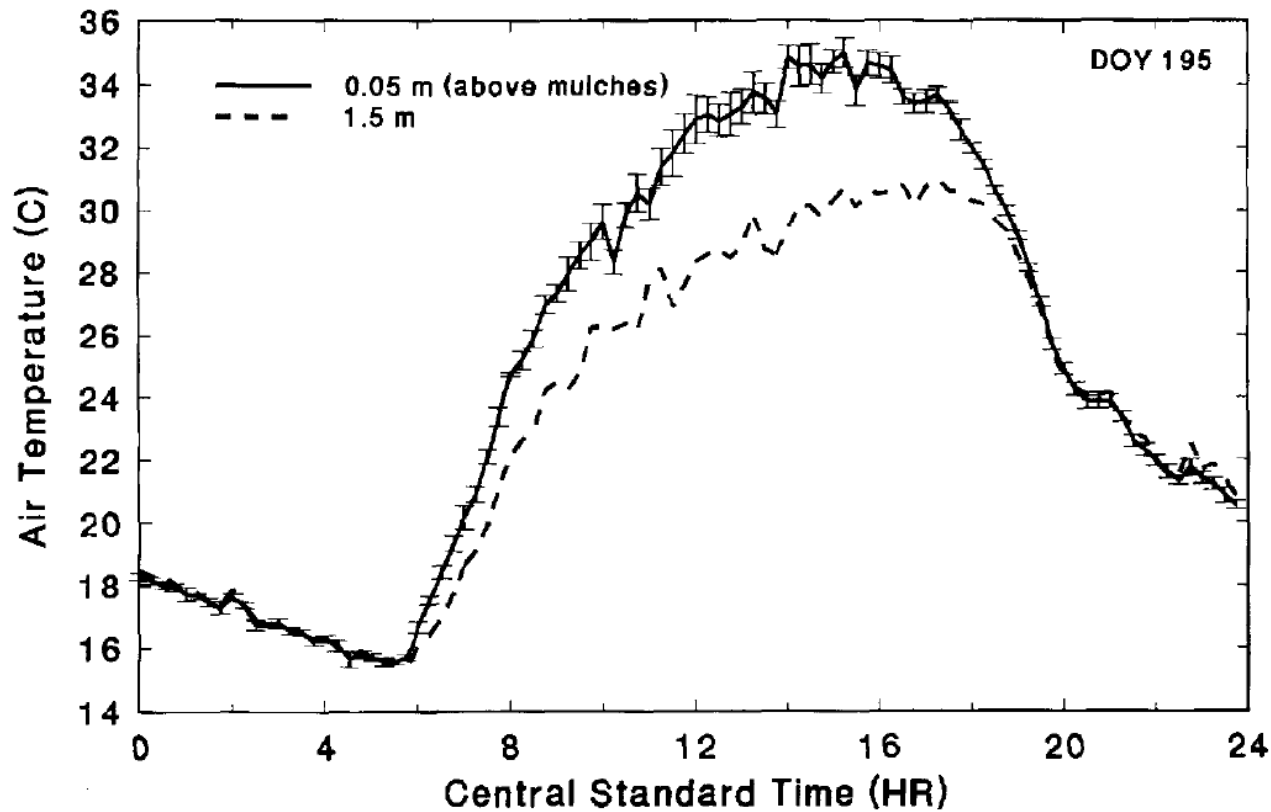


Mulch	Name/model
BLCK	Black embossed
F131	F131-photodegradable
NT20	NT-photodegradable
SUNF	Sunfilm (IRT-76)
REFL	Reflective mulch
SILV	Silver reflective
WHIT	White on black
CLER	Clear embossed

J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118(2):188-193. 1993.

Ham in sod. 1993

Na temperaturni režim pomembno vplivamo tudi z zastirko



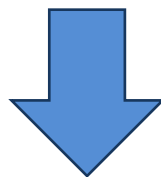
Ham in sod. 1993

Temperaturni stres – nekaj zaključkov

- izbor sort
- kontrola temperaturnih razmer
 - ščitenje
 - aklimatizacija
- kontrola drugih stresnih dejavnikov (oskrba z vodo, hranili)
- mehanizmi tolerance na celični ravni (membrane, protein)
- kemična kontrola (?)
- prepoznavanje tolerance (fenotipizacija)
- vzpostavljanje tolerance pri kmetijskih rastlinah (orodja molekulske biologije)

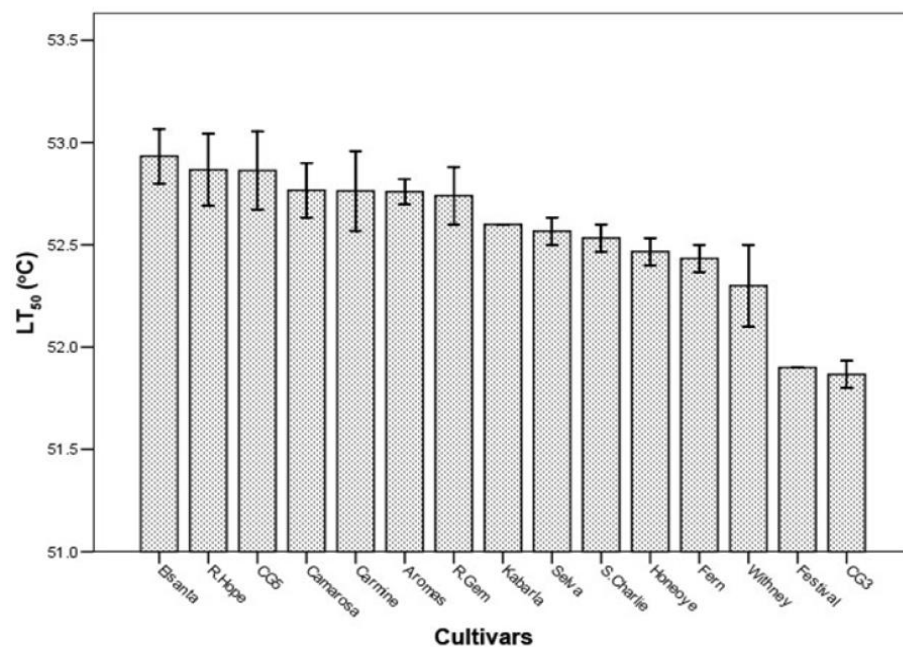
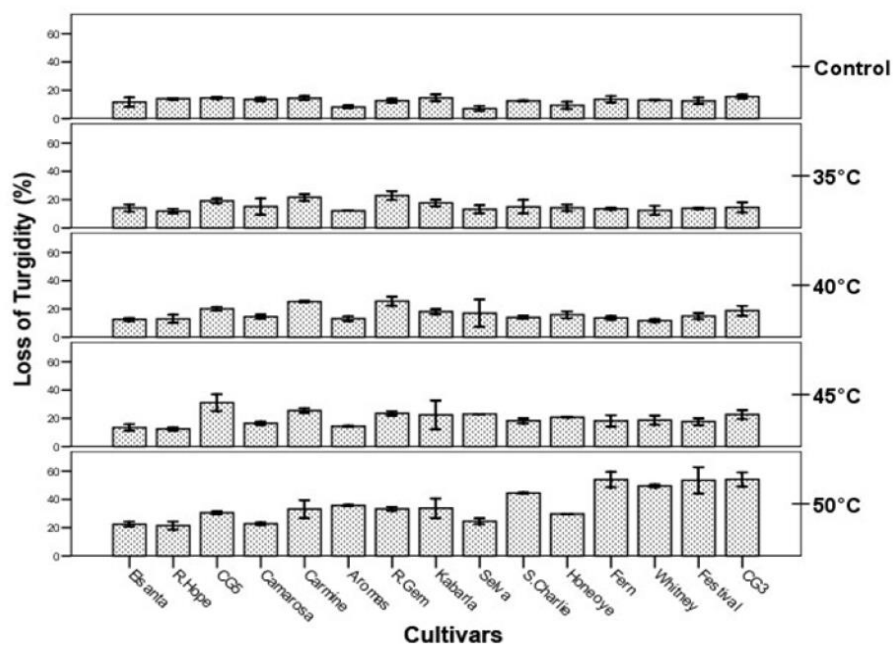
Temperaturna toleranca – pomen izvora rastlin

- rastline so **adaptirane** na rastne razmere na izvornem rastišču
 - prilagoditve v zgradbi (morfološko-anatomske adaptacije)
 - prilagoditve v delovanju (presnovne adaptacije)



- primernost za gojenje v določenih klimatskih razmerah?

Screening temperaturno tolerantnih sort



Kesici in sod. 2013

Temperaturna toleranca – aklimatizacija

- odvisnost od vremenskih razmere
- načrtno izpostavljanje
- ukrepi, s katerimi vplivamo na mikroklimo

Temperaturni stres – nekaj zaključkov

- izbor sort
- kontrola temperaturnih razmer
 - ščitenje
 - aklimatizacija
- kontrola drugih stresnih dejavnikov (oskrba z vodo, hranili)
- mehanizmi tolerance na celični ravni (membrane, protein)
- kemična kontrola (?)
- prepoznavanje tolerance (fenotipizacija)
- vzpostavljanje tolerance pri kmetijskih rastlinah (orodja molekulske biologije)

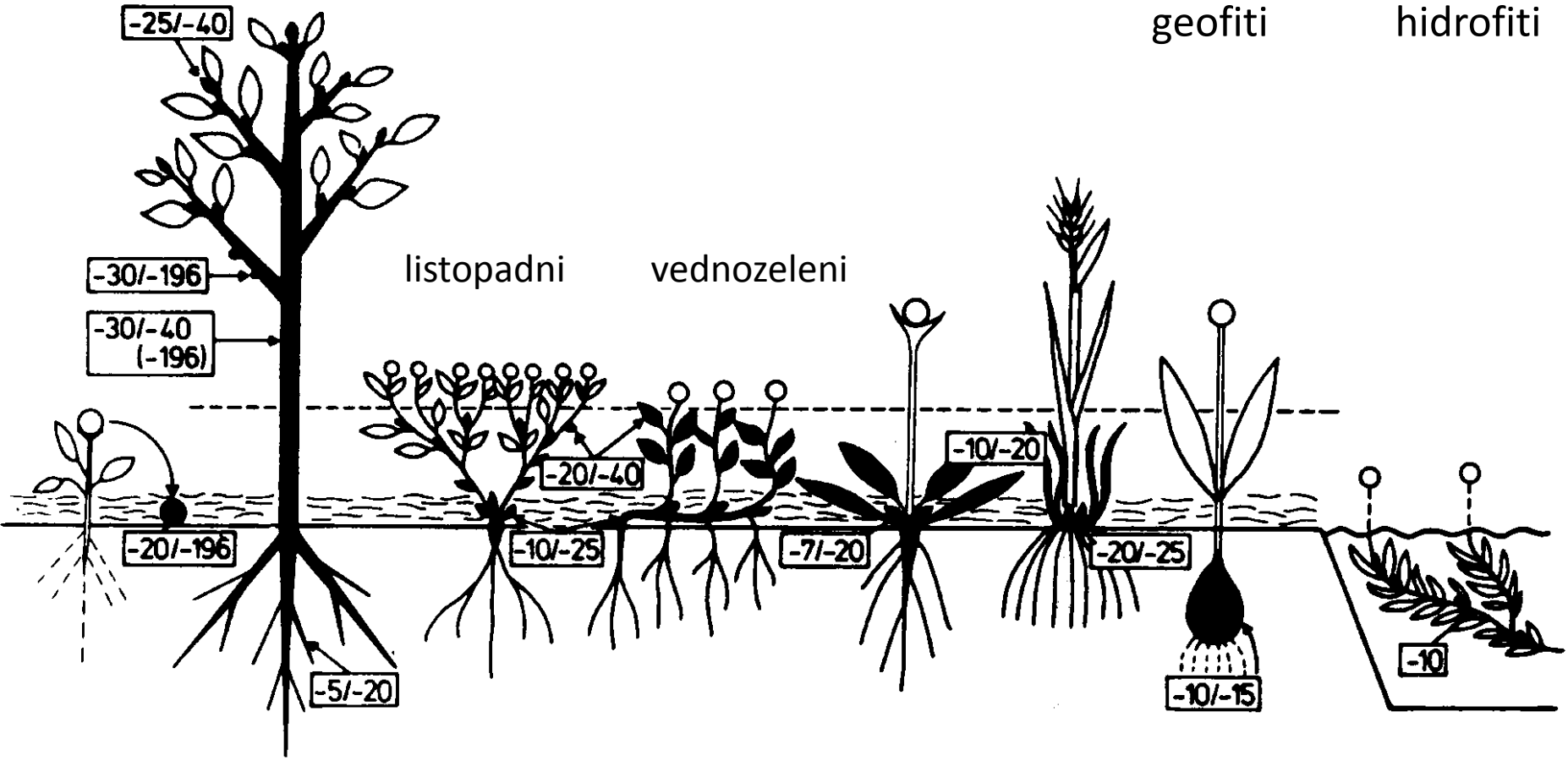
Univerza v Ljubljani



Hvala za pozornost!

terofiti fanerofiti hamefiti hemikriptofiti kriptofiti

geofiti hidrofiti



Raunkierjeve življenske oblike in odpornost na nizke temperature - deli rastlin, ki prezimijo so prikazani črno. Ob njih so prikazane temperature, ob katerih pride do poškodb (večja za bolj občutljive/ manjša za manj občutljive vrste enakega ekotipa).

Cucumis sativus

Chilling at +2°C

