

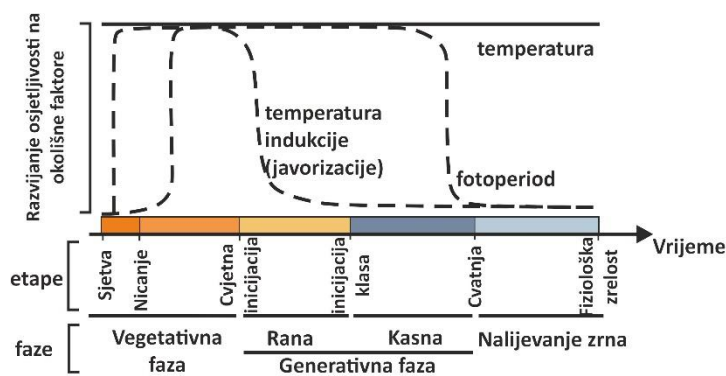
Tolerancija ozime pšenice na niske temperature

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Polovica kopnene površine Zemlje izložena je povremeno temperaturama ispod -20°C što u biljnoj proizvodnji može izazvati velike štete od izmrzavanja ozimih usjeva. Proces *aklimatizacije* (prilagodbe) i preživljavanje niskih temperatura vrlo je složen i velik dio poljoprivrednika, uključujući i agronome, ne razumiju taj mehanizam. Također, napori genetičara i selekcionara da oplemenjivanjem povećaju otpornost biljaka na hladnoću do sada nisu rezultirali vidnim napretkom, pri čemu veliku poteškoću stvara nizak prinos uz kasno sazrijevanje tolerantnijih sorti. Naime, tu vrstu otpornosti regulira više gena koji kontroliraju različita svojstva biljne stanice, kao što su fluidnost biomembrana, sinteza i nakupljanja spojeva male i velike molekularne mase (tzv. *molekule antifrizi*), povećanje potencijala za borbu s *oksidativnim stresom* i dr. Stoga je za praksu važno definirati minimalnu otpornost sorti na niske temperature za svako agroekološko područje kako bi se osigurala profitabilnost, odnosno zadovoljavajući prinos uz uspješno preživljavanje ozimih žita. Procjena rizika treba biti utemeljena na pažljivoj analizi višegodišnjih meteoroloških podataka i informacijama o uspješnosti sorte na određenom području.

Sindrom oštećenja biljaka niskim temperaturama je veoma kompleksan, jer se različita biljna tkiva različito odupiru smrzavanju, pri čemu *meristemske stanice* općenito manje stradaju od niskih temperatura u odnosu na zrela, potpuno diferencirana tkiva. Također, biljke izložene niskoj temperaturi izvan zimske sezone lako nastradaju, premda zimi mogu izdržati vrlo niske temperature bez posljedica. Na temperaturi ispod 0°C životna aktivnost pšenice je neznatna, ali potpuno prestaje tek kod -10°C . Kretanje vode kroz stabljiku prestaje na temperaturi oko -7 do -8°C , dok sjeme pojedinih biljaka može izdržati i nekoliko sati na temperaturi od -100°C zadržavajući sposobnost klijanja.

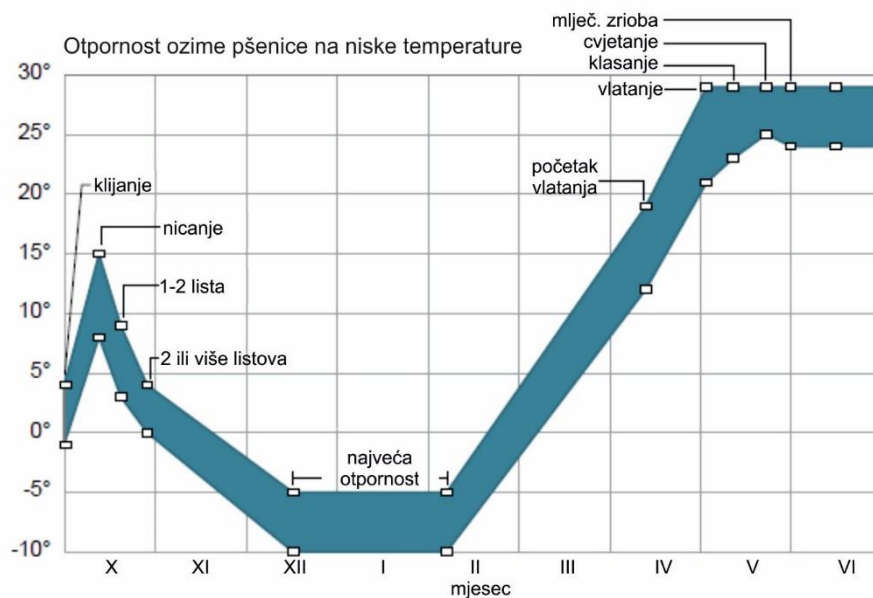
Kaljenje (aklimatizacija biljaka na nisku temperaturu) je složen fiziološko-biokemijski proces koji rezultira određenim staničnim promjenama, a odvija se samo kada je smanjen intenzitet rasta, odnosno ako je nastupio period zimskog mirovanja ozime pšenice. Proces kaljenja odvija se u dvije faze, a prva se odvija pri $\sim 0^{\circ}\text{C}$ u uvjetima osvjetljenosti uz nakupljanje šećera *fotosintezom*. Šećeri povećavaju *osmotski tlak* biljnih stanica što snižava ledište protoplazme, a njihovo nakupljanje moguće je i u mraku kao rezultat *hidrolize škroba*. Druga faza kaljenja još uvijek nije detaljno istražena zbog metodoloških problema uslijed pojave leda u biljkama. Nakon kaljenja biljke sadrže više vezane, a manje ukupne vode, posjeduju veći osmotski tlak staničnog soka i veću viskoznost protoplazme.



Slika 1. Utjecaj temperature i duljine dana na etape organogeneze pšenice

Temperatura kaljenja djeluje na ozima žita u razini *čvora busanja* (2-3 cm ispod razine tla) u kojem se nalazi tzv. *apikalni meristem* iz kojeg diferenciranjem nastaju sva druga tkiva potrebna za rast i razvoj,

kao i regeneraciju korijena i lista nakon eventualnog oštećenja. Pod normalnim terenskim uvjetima potrebno je 8-12 tjedana za potpunu aklimatizaciju na niske temperature. Prvih 4-5 tjedana je razdoblje aktivnog rasta kada je prosječna dnevna temperatura tla na dubini čvora busanja iznad 9°C, a sljedećih 4-8 tjedana omogućuje biljkama indukciju *vernalizacije* (*jarovizacija*) kako bi ozima žita sljedeće godine mogla razviti klas i cvjetati. *Jarovizacija* je razvojni stadij (*etapa organogeneze*) u kome su biljke izložene utjecaju niske, ili točnije određene temperature, a nastale promjene im u kasnijim razdobljima života omogućuju prijelaz iz *vegetativne* u *generativnu* fazu razvića (Slika 1.). Duljina jarovizacije nije ista za sve biljne vrste, niti za različite sorte jedne biljne vrste. Uglavnom se smatra da je dulji period jarovizacije pokazatelj veće otpornosti na niske temperature, ali duga jarovizacija ne znači nužno i veliku otpornost na niske temperature (mada su biljke s kratkim periodom jarovizacijom u pravilu manje otporne). Duljina jarovizacije ovisi o temperaturi, sadržaju vlage u sjemenu, veličini *endosperma*, geografskom podrijetlu sorte itd., a efikasnost niskih temperatura je veća uz viši sadržaj vode u sjemenu. Zbog velikog toplinskog kapacitet tla i njegovog sporog hlađenja, kritičan period za izmrzavanje ozime pšenice je od sredine prosinca do sredine veljače (Slika 2.) i to kad nema snježnog pokrivača, premda se vrlo rijetko oštećenja ozimih žita mogu dogoditi i izvan tog perioda.



Slika 2. Osjetljivost ozime pšenice na niske temperature po fenofazama koje mogu izazvati oštećenja i pad prinosa (prema A.W. Pauli, <http://igrow.org/up/articles/10599-1-orig.png>)

Naglim zahlađenjem i padom temperature moguća je pojava leda unutar *protoplasta* i tada izumiru čak i dobro zakaljene biljke. Postupnim hlađenjem biljaka prvo se javlja led u *međustaničnim prostorima* što smanjuje veličinu protoplasta uz postupni gubitak vode (i uz porast osmotske vrijednosti). Pritom voda izlazi u međustanične prostore i tamo se ledi pa ovakva pojava leda ne izaziva *letalno oštećenje biljke*, odnosno ugibanje biljaka. Treći način pojave leda je prvo u međustaničnim prostorima, a neposredno zatim i u *protoplazmi* što konačno rezultira umiranjem stanica. Dakle, što je više slobodne vode u stanicama biljka je manje otporna na niske temperature. Odumiranje stanica nije rezultat samo mehaničkih oštećenja kristalićima leda, već je prvenstveno rezultat *koagulacije protoplazme dehidratacijom* i *denaturacijom* (nepovratnom koagulacijom) koloida protoplazme.

Kaljenje različito djeluje na pojedina tkiva kao i dijelove stanice. Primjerice, *konus rasta* ozimih žita otporniji je na smrzavanje u odnosu na korijen. Također, svi klijanci ozimih žita nemaju istu otpornost na niske temperature, premda su uzgojeni u jednakim uvjetima. Naime, njihova tkiva su genetski

identična, ali su morfološki i anatomski različita što uvjetuje razliku u otpornosti na smrzavanje. Općenito, biljke koje imaju malu površinu lišća i širi omjer korijena i izdanka, bolje podnose niske temperature. Od tvari u biljnim stanicama *nukleinske kiseline* i *ugljikohidrati* su otporniji na niske temperature, a vodotopljivi *enzimi* se lako *inaktiviraju*, ali se ipak ne *denaturiraju*. *Enzimi membrana* koji su važni za sintezu ATP-a osjetljivi su na niske temperature te membrane *kloroplasta* i *mitohondrija* na niskim temperaturama brzo gube sposobnost *fosforilacije*, a njihovim zamrzavanjem u prisutnosti *elektrolita* inaktivira se i *transport elektrona* što rezultira nedostatkom ATP i konačno potpunim prekidom metabolizma.

U proizvodnim uvjetima biljke su tijekom rasta i razvitka neprestano izložene promjenama u temperaturi, a dnevna amplituda temperature može iznositi 10 do 15°C, ili čak i više. Ipak, vrlo je rijetko da se velike razlike u temperaturi pojave samo u nekoliko minuta, posebice ne u *rizosferi* (zoni korijena). S druge strane, izmjena niske noćne i visoke dnevne temperature odlaže aklimatizaciju, pa čak može doći i do gubitka već stečene otpornosti kad se nakon hladnog perioda temperature podignu iznad granice potrebne za indukciju mehanizma otpornosti.

Budući da je reakcija i prilagodba biljaka na niske temperature, posebice ispod 0°C iznimno složen fiziološki mehanizam, istovremeno izlaganje biljaka ozimih žitarica i drugim abiotičkim stresovima (suša, UVB zračenje, vjetar) može povećati štete od niskih temperatura. Dakle, *stupanj aklimatizacije* na niske temperature, osim što ovisi o temperaturi, pod utjecajem je intenziteta svjetla, duljine dana, agrotehničke prakse te drugih abiotičkih stresova kao što su suša, salinitet i dr., prilagodba na niske temperature inicirana je kombinacijom skraćivanja fotoperioda i niskim temperaturama što konačno rezultira prestankom rasta.

Premda se pod otpornošću biljaka na niske temperature smatra najčešće njihova tolerantnost na temperature ispod 0°C, moguć je i negativan utjecaj na različiti biljne vrste tzv. *pozitivnih niskih temperatura* (npr. granica otpornosti duhana je 2,5 do 5°C). Prvi simptom oštećenja biljaka niskim temperaturama je *simptom venjenja*, što je rezultat narušenog vodnog režima, pri čemu su sintetski procesi usporeni, a biološke oksidacije pojačane uz narušavanje pigmentno-proteinske strukture u lišću. Stoga, niske pozitivne temperature mogu rezultirati ugibanjem biljaka zbog promjena u metabolizmu, dok negativne temperature, pored utjecaja na *metabolizam*, mogu i mehanički oštetiti biljke pojavom kristalića leda, posebice finu protoplazmatsku strukturu tkiva.

Različiti uzroci stresa međusobno se ne isključuju, a na sposobnost biljaka prema podnošenju niskih temperatura značajno utječe dinamika odvijanja procesa rasta i razvitka biljaka. Primjerice, kada su biljke normalno razvijene do nastupanja hladnog perioda, proces *kaljenja* je uspješniji i bolje je podnošenje niskih temperatura. Dakle, kad ozime žitarice zbog nepovoljnih uvjeta, ili primjerice, kasne sjetve, ne dostignu potreban stupanj razvitka, slabo se aklimatiziraju te lošije podnose niske temperature. Značajnu ulogu u kaljenju ima povećan sadržaj biljnih hormona *auksina* koji intenziviraju rast.

Smatra se da je ozima pšenica žitarica koja se najbolje prilagođava različitim klimatskim uvjetima pa se uzgaja u različitim agroekološkim uvjetima, jer može izdržati izrazito niske temperature, znatno niže od optimalnih 20°C. Zimsko preživljavanje ozimih usjeva definirano je *Blum* (1988.) kao *konačni integrirani odgovor biljaka na različita naprezanja koja uključuju abiotički i biotički stres prije i nakon smrzavanja*. Nakon preživljavanja niskih temperatura i nastalih šteta, npr. redukcija lisne površine, ozima žita su oslabljena što se odražava na kasniji rast, razvoj i tvorbu prinosa.

Ozima pšenica može podnijeti niske temperature do -15°C oko šest dana, preživjeti na -18°C 24 sata, a na -23°C tek 12 sati. Sorte ozime pšenice sa sličnom tolerancijom na smrzavanje početkom zime, često se jako razlikuju u uvjetima dugog razdoblja niskih temperatura ispod granice smrzavanja.

Visoka plodnost tla i dobra ishrana dušikom, općenito dobri uvjeti za rast i razvoj, povećavaju rizik od smrzavanja ozimih žita, posebice uz veću biomasu i više slobodne vode u tkivima, dok im otpornost raste kod dobre opskrbljenosti biljaka kalijem jer tada biljke sadrže više vezane, a manje ukupne vode. S druge strane, nedostatak vode u tlu smanjuje rizik od smrzavanja i oštećenja. Također, značajan faktor izmrzavanja, osim ishranjenosti usjeva ozimih žita, je i pojava bolesti prenošenih sjemenom (*Tilletia spp.* ili smrdljiva snijet).

Štete od niskih temperatura na ozimim žitima nastaju iz nekoliko razloga:

- neadekvatno kaljenje, odnosno iznenadni pad temperature nakon nicanja,
- duga hladna razdoblja koja zbog nemogućnosti usvajanja vode iz tla uzrokuju isušivanje biljaka,
- dugotrajno razdoblje vrlo niskih temperatura ispod -15°C , osobito sredinom zime, rezultira brzim gubitkom otpornosti na niske temperature i
- višestruko smrzavanje i odmrzavanje povećava ozljede tkiva zbog pojave leda u biljkama.

Niske temperature, ali i dugotrajno zadržavanje snježnog pokrivača koje isključuje kritično niske temperature, također može prouzročiti neizravne štete kroz:

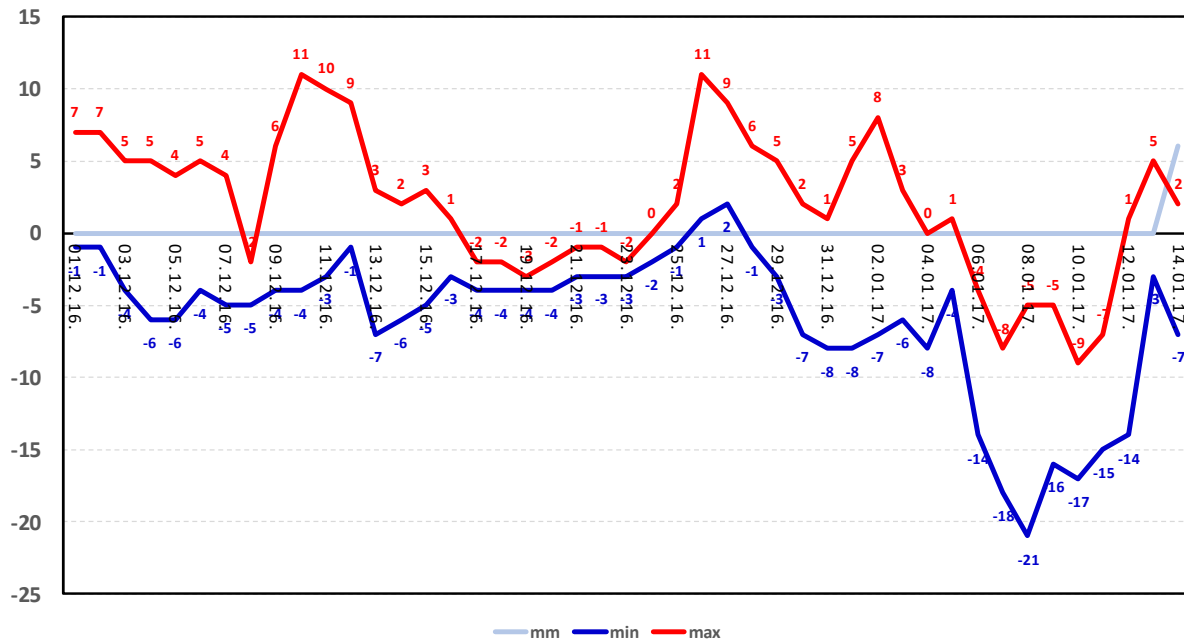
- smrzavanje tla i izdizanje biljaka formiranjem leda u tlu koji „gura“ biljke prema gore i izlaže niskim temperaturama jače osjetljiv korijen u odnosu na lišće, a
- dugotrajni snježni pokrivač pogoduje razvoju plijesni npr. *Microdochium nivale*, poznate ranije kao *Fusarium nivale*, *Typhula spp.* i *Sclerotinia borealis*. Premda najopasnija gljivica *Microdochium nivale* ne može preživjeti smrzavanje, ozbiljne štete mogu nastati na niskim temperatura $0-5^{\circ}\text{C}$.

Aktualna situacija (zima 2016./2017. god.)

Hladna zima i kasna pojava relativno tankog snježnog pokrivača u aktualnoj vegetaciji (2016./17.) razlog je za razmišljanje o mogućim štetama od izmrzavanja na usjevima ozimih žita i analizu dosadašnjih vremenskih uvjeta. Podaci prikazani na Slici 3. odnose se na zračnu luku Klisa, ali i dobro reprezentiraju čitav prostor istočne Hrvatske. Dakle, dugi hladan period, veoma niske temperature početkom 2017. god. i nedostatak snježnog pokrivača. Najniža temperatura zabilježena je 8. siječnja 2017. (-21°C), ali su temperature na razini tla vjerojatno bile i znatno niže, moguće i ispod -23°C , što ozima pšenica može preživjeti tek 12 sati. Stoga je realno očekivati pojavu oštećenja na ozimim žitima, ali će opseg štete biti poznat tek nakon prestanka zimskog mirovanja, odnosno nakon proljetnog kretanja vegetacije.

Važno je naglasiti da ozimoj pšenici, niti drugim ozimim usjevima, prihrana dušikom prije otopljenja i kretanja vegetacije može samo naštetiti. Naime, pšenica je pod stresom, ne može usvajati vodu niti hraniva zbog hladnog tla (tzv. *fiziološka suša*), praktično njena životna aktivnost (*metabolizam*) je neznatna i mora svu raspoloživu energiju iskoristiti za neutralizaciju stresa izazvanog niskom temperaturom. N-prihrana, ili još je lošije prihranu obaviti kompleksnim gnojivom, najčešće 15:15:15 ili ureom što će samo pojačati stres i prouzročiti još veće štete na usjevima. Naime nitratni N (NO_3^-) bit će izgubljen, bilo da će ga isprati oborine, ili će se i bez oborina *difuzijom* premještati dublje prema podzemnoj vodi i na koncu onečistiti bunare, vodna tijela i vodotoke. Također, u RH praktično nema i ne primjenjuju se u prihrani ozimih žita čista nitratna gnojiva kao što su Norveška salitra ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) ili Čilska salitra (NaNO_3). Najčešća je pak primjena amonijsko nitratnih gnojiva kao što su KAN i AN, a

amonijski oblik dušika (NH^+) je otrov za biljke koje ga ne mogu ugraditi u amide i aminokiseline, odnosno u bjelančevine bez intenzivnog metabolizma koji je ispod ništice neznan.



Slika 3. Meteorološki podaci za LDOS Airport Osijek/Klisa (snježni pokrivač je u mm).
<https://croatian.wunderground.com/history/airport>

Literatura:

Alberta Wheat Commission (2013): Winter Wheat - Production Manual.

http://albertawheat.com/download/winter_wheat_production_manual.pdf

Săulescu, N.N. and Braun, H.J., (2002): Breeding winter and facultative wheat.

<http://www.fao.org/docrep/006/Y4011E/y4011e0f.htm>.

Struthers, D. and Greer, K. (2015): Basics of Cold Tolerance and Winter Survival in Winter Wheat.

<http://www.mastinseeds.com/media/pdfs/cold-tolerance-winter-wheat.pdf>.

Vukadinović, V. (2016): Principi gnojidbe i prihrane ozimih žita. [http://tlo-i-](http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Principi_gnojidbe_ozimih_zita.pdf)

[biljka.eu/Gnojidba/Principi_gnojidbe_ozimih_zita.pdf](http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Principi_gnojidbe_ozimih_zita.pdf).

Vukadinović, V. (2016): Utjecaj zimskih vremenskih uvjeta na ozima žita. [http://tlo-i-](http://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/Vernalizacija_ozimih_usjeva.pdf)

[biljka.eu/Tekstovi/Vernalizacija_ozimih_usjeva.pdf](http://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/Vernalizacija_ozimih_usjeva.pdf).

Vukadinović, V., Jug, I. i Đurđević, B. (2014): Ekofiziologija bilja. Sveučilišni udžbenik, naklada NSS,

223p., http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Ekofiziologija_bilja.pdf.

Warrick, B.E. and Miller, T.D. (1999): Freeze Injury on Wheat. Texas Agricultural Extension Service.

<http://agrillife.org/yoakumterryipm/files/2013/03/Freeze-Injury-on-Wheat.pdf>

U Osijeku, 14. siječnja 2017. god.