

VLIV VNĚJŠÍCH KLIMATICKÝCH PODMÍNEK NA MIKROKLIMA VE SKLADOVACÍCH KAPACITÁCH O ROZDÍLNÝCH KONSTRUKČNÍCH VLASTNOSTECH

IMPACT OF EXTERNAL CLIMATIC CONDITIONS ON MICROCLIMATE IN STORAGE CAPACITIES
OF DIFFERENT STRUCTURAL PROPERTIES

J. Bradna, J. Šimon, D. Hájek

Výzkumný ústav zemědělské techniky v.v.i., Praha

Abstract

For maintaining postharvest qualitative parameters of stored grain in agriculture practise is the main factor maintaining suitable storage microclimate inside storage area. This means stabilization of temperature at low level and relative humidity with respect to the outside temperature near the storage building and temperature fluctuations. Main focus was on typical representatives of hall warehouses used in the Czech Republic for storage of grain. The results show that the monitored warehouse can be characterized by the ability to maintain the required climate with respect to outdoor climatic conditions. This ability mainly depends on the type and design of the warehouse, the ventilation system and also the storage capacity. The hall warehouses were characterized by a low dependence ($r = 0.2208$) of the temperature of the material on the outside air temperature in the first 4 months following the harvest when the grains were being stabilized by active aeration.

Keywords: inside and outside temperature, hall warehouse, aeration, microclimate

ÚVOD

Klíčem k zachování dobrých kvalitativních parametrů skladovaného zrna v zemědělské prvovýrobě je dosažení a udržení vhodných skladovacích teplot vzhledem k venkovní teplotě v okolí skladu a jejím výkyvům. Snížení teploty a aktivity vody u skladovaných zrnin je jedním z úkolů kontroly klimatu uvnitř skladu, aby se minimalizovala biologická aktivita potenciálních skladištních škůdců (Jia et al., 2001). Znečištění nebo kompletní znehodnocení skladovaných zrnin může být způsobeno hmyzem, roztoči a houbami a jejich biologickými odpadními produkty (Capouchová et al., 2009). Důležitým krokem k zajištění kvality je také posklizňové ošetření (precizní čištění a třídění) a optimalizované nastavení dopravních cest na posklizňových linkách, aby se snížilo poškození zrna v posklizňovém období na minimum (Skalický a kol., 2008).

Skladované zrniny jsou živým organismem, které reagují na mikroklimatické podmínky ve skladovacích prostorech. Zhoršení kvality uloženého zrna může vyplývat z nesprávných kombinací fyzikálních, chemických a biologických proměnných (Cetiner et al., 2017). Teplo, vlhkost a oxid uhličitý, které jsou produkovány dýcháním nezralých zrn a podporují činnosti škodlivých organismů. Míra reprodukce a růstu těchto organismů závisí převážně na teplotě a vlhkosti zrna (Capouchová et al., 2009). Dosažení a udržení požadované kvality skladovaného zrna je často hlavním problémem v zemědělských skladovacích zařízeních. Zrno tvoří ekologický systém, ve kterém se zrno a další nežádoucí organismy

navzájem ovlivňují a citlivě reagují na vnitřní podmínky ve skladu (Polišenská et al., 2010).

Rozložení teploty v materiálu je ovlivněno více faktory. Za prvé, jsou to klimatické podmínky v místě skladovacích kapacit, jako je například teplota okolního vzduchu, intenzita slunečního záření, umístění skladu s ohledem na převládající směr větru. Na druhé straně jsou to faktory jako konstrukční vlastnosti a velikost skladu. Konvektivní přenos tepla není jediný aktivní mechanismus přenosu tepla v halovém skladu. Je třeba poznamenat, že nezanedbatelný vliv okolní teploty a relativní vlhkosti na spodní vrstvu uskladněného materiálu pomocí provzdušňovacích kanálů je neméně důležitý (Yang et al., 2002).

V rámci tohoto příspěvku je hlavní pozornost soustředěna na typizované halové sklady, které jsou standardně používané pro skladování obilnin. V průběhu skladovacího období, tedy ihned po posklizňovém ošetření a uložení plodin ve vybraném skladu, byla sledována teplota v mezizrnovém prostoru skladovaného materiálu v patnácti minutových intervalech a hodnocena s ohledem na teplotu a relativní vlhkost venkovního prostředí na severní straně vnější části skladovací budovy.

Pro analýzu dat byl použit jednoduchý model lineární regrese. Kromě teploty materiálu a teploty vzduchu dále věnována pozornost sledování rosného bodu, tj. posouzení rizika kondenzace vodní páry na povrchu horní vrstvy skladovaného materiálu, což je velmi nežádoucí pro udržení kvality uložené plodiny. Výsledky ukazují, že sledovaný sklad může

být charakterizován schopností udržovat požadované klima v závislosti na venkovních klimatických podmínkách. Tato schopnost obecně závisí hlavně na druhu a provedení skladu, na větracím systému a také na skladovací kapacitě. Riziko kondenzace vlhkosti existuje hlavně během jara, kdy dochází k výraznému kolísání venkovní teploty a vysoké vlhkosti vzduchu. V těchto měsících může často docházet ke kondenzaci rosného bodu a kondenzace vodní páry v materiálu, a proto je třeba se soustředit na vhodná opatření, jako je snížení aerace nebo zvýšená intenzita míchání materiálu, čímž se zabrání tvorbě kritických míst.

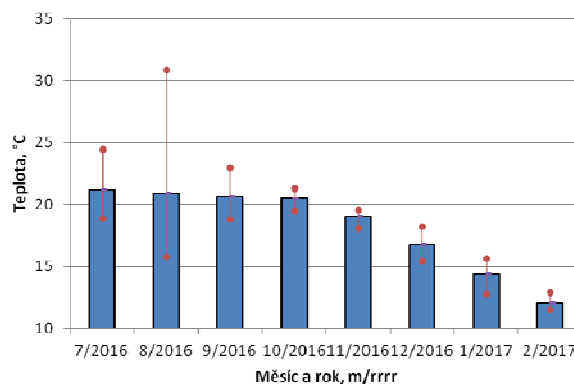
MATERIÁL A METODY

U založeného dlouhodobého skladovacího pokusu v zemědělském podniku ve středočeském kraji byl sledován vliv venkovních podmínek na mikroklima uvnitř skladovacího prostředí (halového skladu) a spotřebu elektrické energie na provzdušňování (ventilaci). Ve vybraném skladu se uchovává převážně potravinářská pšenice a sladovnický ječmen. Ve sledovaném období (sezóna 2016/2017) bylo v obou polovinách halového skladu uskladněno 1.800 t sladovnického ječmene, tj. 3.600 t celkem. Celé měření probíhalo na jedné polovině halového skladu, vzhledem k možnostem monitoringu spotřebované elektrické energie pro provzdušňování této části skladu. Do skladovaného materiálu byly do hloubky cca 2 m a ve vzdálenosti 4 m od stěn instalována platinová teplotní čidla pro měření teploty mezizrnového prostoru uvnitř skladované suroviny zapojené do 4 kanálového Dataloggeru Comet R3120 pro dlouhodobý záznam měření. Uprostřed sledované části skladu nad horní vrstvou ve výšce 2 m byl umístěn Datalogger Comet S3631 pro záznam měřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu uvnitř halového skladu a zapojena platinová sonda pro měření teploty v mezizrnovém prostoru uskladněného zrna ihned pod dataloggerem opět v hloubce 2 m. Platinové teplotní sondy byly dále umístěny tak, aby se nenacházely přímo nad provzdušňovacími kanály. Na severní straně vnější části skladovací budovy byl umístěn Datalogger Comet S3120 pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu venkovního prostředí v bezprostřední blízkosti halového skladu. Interval záznamu sledovaných parametrů byl nastaven na 15 minut. Data byla průběžně stahována do počítače a zpracována pomocí databázových nástrojů. Pro vyhodnocení mezizrnové teploty byl použit aritmetický průměr teplot z pěti měřicích míst. Statistická závislost vybraných parametrů byla vyhodnocena za použití lineárního regresního modelu.

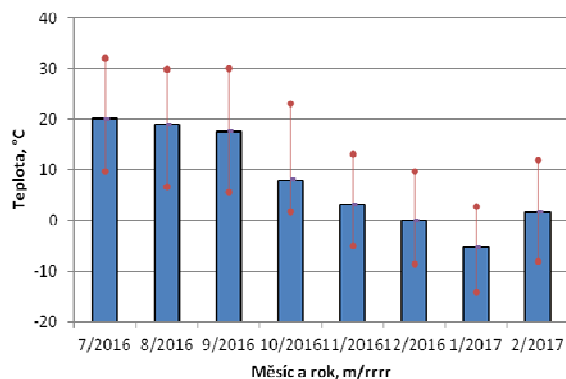
VÝSLEDKY A DISKUZE

Ve vybraném halovém skladu účastníka byla sledována závislost teploty mezizrnového prostoru skladované komodity na venkovní teplotě a energetické náročnosti pro udržení vhodného mikroklima uvnitř skladovacího prostoru.

Měsíční souhrny teplot uvnitř skladovaného sladovnického ječmene a venkovní teploty uvádí obrázek č. 1 a 2.



Obr. 1: Měsíční teploty uvnitř skladované vrstvy sladovnického ječmene

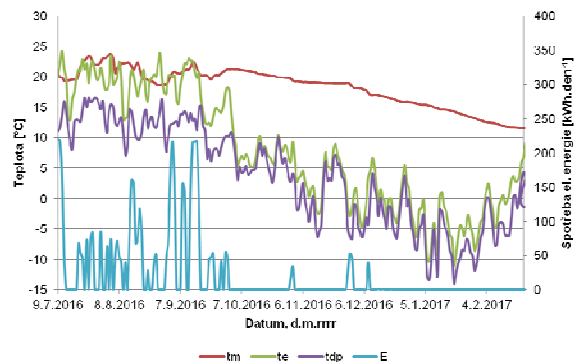


Obr. 2: Měsíční venkovní teploty v místě sledované skladovací kapacity

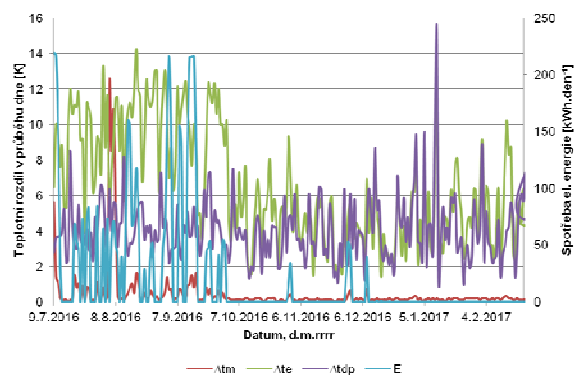
Průběh průměrných denních teplot a spotřeby elektrické energie na provzdušňování v průběhu vybraného skladovacího období je znázorněn na obr. 3. Denní teplotní rozdíly a denní spotřeba elektrické energie pro ventilaci jsou pak zobrazeny na obrázku 4.

V halových skladech vzhledem k většímu množství uskladněného materiálu a konstrukčním vlastnostem tohoto typu skladů je trend patrný na obrázku 1 a 2, kdy výkyvy teplot uvnitř skladovaného materiálu (v mezizrnovém prostoru) nejsou významné a teplota pouze kopíruje teplotu venkovního, respektive

vnitřního prostředí skladu. Teplota uvnitř materiálu reaguje méně citlivě na teplotní výkyvy vnějšího prostředí díky dobrým tepelně izolačním vlastnostem halového skladu.



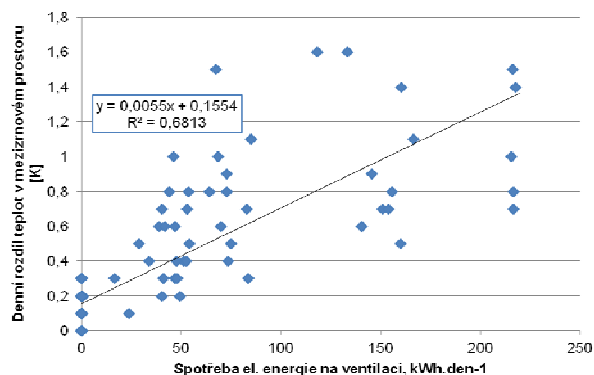
Obr. 3: Denní průměrné teploty a spotřeba elektrické energie na ventilaci (tm – teplota v mezizrnovém prostoru materiálu, te – venkovní teplota, tdp – teplota rosného bodu venku, E – spotřeba el. energie na ventilaci)



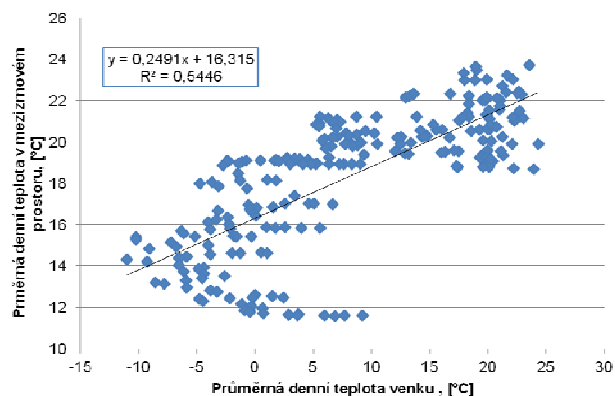
Obr. 4: Denní teplotní rozdíly a denní spotřeba elektrické energie na ventilaci (Δt_m – rozdíl teploty v mezizrnovém prostoru materiálu, Δt_e – rozdíl venkovní teploty, Δt_{dp} – rozdíl teploty rosného bodu venku, E – spotřeba el. energie na ventilaci)

Denní výkyvy teplot v mezizrnovém prostoru skladovaného materiálu v závislosti na spotřebované energii pro provzdušňování uvádí obr. 5. Použitý lineární regresní model ukazuje velmi silnou závislost ($r=0,8254$) kolísání teploty v průběhu dne na použití ventilátorů, resp. Na spotřebě elektrické energie na provzdušňování. Závislost průměrné denní teploty uvnitř materiálu na teplotě venkovního prostředí uvádí obr. 6. Sledovaný skladovací prostor lze charakterizovat vyšší schopností udržet požadované klima s ohledem na venkovní klimatické podmínky např. ve srovnání s věžovými zásobníky. Tento trend je

převážně způsoben díky vyšší skladovací kapacitě a tepelně izolačním schopnostem konstrukce halových skladů.



Obr. 5: Vliv denní elektrické spotřeby ventilace na denní teplotní rozdíl ve vrstvě skladovnického ječmene



Obr. 6: Vliv průměrné denní venkovní teploty na průměrnou denní teplotu ve vrstvě skladovnického ječmene

Na obrázku 6 je uveden jednoduchý lineární regresní model závislosti teploty skladovaného materiálu uvnitř skladu na venkovní teplotě. Tato závislost je dána tepelně izolačními vlastnostmi obvodového pláště skladu, použitou technologií provzdušňování (typ ventilátorů a rozteč podlahových kanálů) a významně také skladovací kapacitou. Korelační koeficient 0,738 ukazuje na silnou závislost z dlouhodobého hlediska u vyhodnocení dat z celé skladovací sezóny. V průběhu prvních 4 měsíců po sklizni, kdy dochází ke stabilizaci zrna a je použito aktivní provětrávání, je však tato závislost pouze velmi slabá ($r=0,2208$).

Důležité je také poznamenat, že teplotní rozdíl mezi teplotou měřenou v materiálu a vnitřní teplotou skladu by měla být nižší než 5°C, což je patrné i z obr.

3, tedy na začátku prvních dvou měsíců skladovací sezóny. Lawrence a kol. (2013) zjistil, že teplota těsně nad povrchem skladované vrstvy zrna uvnitř věžového zásobníku byla vyšší než teplota okolí o cca 5°C, což je v souladu s výsledky uvedenými v tomto příspěvku. Podobně, Lawrence a Maier (2012) zjistili rozdíl cca 4°C mezi různými konfiguracemi věžových zásobníků pro skladování kukuřice.

Obrázek 3 a 4 poukazují na fakt, že teplota uvnitř skladované vrstvy sladovnického ječmene byla ještě o něco vyšší, když teplota okolí v září začala růst. Vyšší teploty v těsně u povrchu vrstvy skladovaného zrna mohou být také ovlivněny slunečním zářením, tedy přestupem tepla mezi střechou věžového zásobníku a vrchní vrstvou skladovaného zrna. Abychom tomuto problému zabránili, je nutné například v podzimních měsících používat instalovanou technologii aktivního provzdušňování, aby se předešlo přebytku tepla (Laszlo a Adrian, 2009). Zhang et al. (2016) potvrzuje podobné výsledky v teplotních rozdílech u ocelových věžových zásobnicích s malou kapacitou (například vyskladňovací nebo manipulační zásobníky), které mohou být instalovány samostatně nebo pod přístřešky.

ZÁVĚR

Klíčové pro uchování kvalitativních parametrů uskladněného sladovnického ječmene je dosažení a udržení vhodné skladovací teploty bez větších výkyvů teplot. Nejpříznivější skladovací teploty pro zrniny jsou všeobecně udávány na 5 – 10°C. Teploty nad 25°C by neměly být dlouhodobě překračovány, proto je nezbytně nutné ihned po sklizni uskladněné komodity ve skladovacím prostoru intenzivně provzdušňovat. Je-li při provzdušňování venkovní vzduch teplejší než uskladněné zrniny, ochlazuje se vlivem styku s obilím a jeho relativní vlhkost stoupá. Při silnějším ochlazení vzduchu může být překročen rosný bod a vodní páry obsažené ve vzduchu mohou začít kondenzovat na povrchu obilí a tím zvyšovat jeho vlhkost.

Výsledky sledování ukazují velmi silnou závislost změny teploty v průběhu dne uvnitř skladovaného sladovnického ječmene na spotřebě elektrické energie na provzdušňování, resp. na intenzitě provětrávání. Dále byla prokázána z dlouhodobého hlediska silná závislost průměrné denní mezizimové teploty uvnitř skladovaného sladovnického ječmene na průměrné denní venkovní teplotě, tato závislost je však díky tepelně izolačním schopnostem obvodového pláště skladu, použitému systému ventilace a kapacitě uskladněného materiálu výrazně nižší než u běžných věžových zásobníků. Výsledky navíc ukazují, že tato

závislost je velmi slabá v období prvních čtyř měsíců bezprostředně po sklizni, kdy dochází ke stabilizaci uskladněného materiálu a je použit systém aktivního provětrávání.

POZNÁMKA

Tento článek vznikl v rámci institucionální podpory MZe ČR číslo RO0618 na dlouhodobý koncepční rozvoj Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i.

LITERATURA

- Capouchová I, Papoušková L, Hajšlová J, Prokinová E, Kostelanská M, Škeříková A, Dvořáček V, Pazderů K, Faměra O. (2009): Rizika výskytu fuzarióz pro pekařskou jakost pšenice. *Úroda*, 12: 521–526.
- Cetiner, B., Acar, O., Kahraman, K., Sanal, T., & Kokselsel, H. (2017). An investigation on the effect of heat-moisture treatment on baking quality of wheat by using response surface methodology. *Journal of Cereal Science*, 74, 103–111.
- Jia C., Suna D. W., Caob C. (2001): Computer simulation of temperature changes in a wheat storage bin. *Journal of Stored Products Research*, 37, 165-177.
- Laszlo R., Adrian T. (2009): Simulation of changes in a wheat storage bin regarding temperature, *Analele Universității Din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului*, 14(1), 239-244.
- Lawrence J., Maier D. E., Strohshine R. L. (2013): Three-dimensional transient heat, mass, momentum, and species transfer in the stored grain ecosystem: Part II. Model validation. *Transaction of the American Society of Agricultural and Biological Engineering*, 56(1), 181-201.
- Lawrence J., Maier D. E. (2012): Prediction of temperature distributions in peaked, levelled and inverted cone grain mass configurations during aeration of corn. *Applied Engineering in Agriculture, American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 28(5), 685-692.
- Polišenská I, Pfohl-Leszkowicz A, Hadjeba K, Dohnal V, Jirsa O, Denešová O, Ježková A, Macharačková P. (2010): Occurrence of ochratoxin A and citrinin in Czech cereals and comparison of two HPLC methods for ochratoxin A detection. *Food Additives and Contaminants*, 27, 11:1545-1557.
- Skalický, J., Kroupa, P., Bradna, J., Pastorková, L. Ošetřování a skladování zrnin ve věžových a halových skladech. [Grain treatment and storage in tower silos and indoor storehouses]. 1. vyd. Praha :

Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. 80 s.
ISBN 978-80-86884-38-7

Yang W., Jia C.C., Siebenmorgen T. J., Howell T. A.,
Cnossen A. G. (2002): Intra-kernel moisture
responses of rice to drying and tempering
treatments by finite-element simulation.
Transaction of the American Society of

Agricultural and Biological Engineering, 45(4),
1037–1044.

Zhang L., Chen X., Liu H., Peng W., Zhang Z., Ren
G. (2016): Experiment and simulation research of
storage for small grain steel silo. International
Journal Agricultural and Biological Engineering, 9
(3), 170-178.

Abstrakt

Pro zachování posklizňových kvalitativních parametrů skladovaného zrna v zemědělské prvovýrobě je zásadním faktorem udržení vhodného mikroklima uvnitř skladovacích prostor. Jedná se o stabilizaci teploty na nízké úrovni a relativní vlhkosti s ohledem na venkovní teplotu v okolí skladu a jejím výkyvům. Hlavní pozornost soustředila na typizované halové sklady, které jsou standardně používané pro skladování obilí v ČR. Výsledky ukazují, že sledovaný sklad může být charakterizován schopností udržovat požadované klima v závislosti na venkovních klimatických podmínkách. Tato schopnost obecně závisí hlavně na druhu a provedení skladu, na větracím systému a také na skladovací kapacitě. Skladové kapacity v halovém skladu byly charakterizovány nízkou závislostí ($r = 0,2208$) teploty materiálu na teplotě vnějšího vzduchu v prvních 4 měsících po sklizni, kdy bylo zrna sladovnického ječmene stabilizováno aktivním provzdušňováním.

Klíčová slova: vnitřní a venkovní teplota, halový sklad, provzdušňování, mikroklima

Kontaktní adresa:

Ing. Jiří Bradna, Ph.D.

tel.: +420 233022473

e-mail: jiri.bradna@vuzt.cz

Ing. Josef Šimon

tel.: +420 233022479

e-mail: josef.simon@vuzt.cz

Ing. David Hájek, Ph.D.

tel.: +420 233022059

e-mail: david.hajek@vuzt.cz

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.
Drnovská 507
161 01 Praha 6 - Ruzyně

Recenzovali: Ing. J. Skalický, CSc., Ing. J. Frydrych