

Утврђивање времена сушења кукуруза примјеном технологије драјерације

Борислав Раилић¹, Зоран Маличевић¹

¹*Пољопривредни факултет, Универзитет у Бањој Луци,
Република Српска, БиХ*

Сажетак

У раду је дато истраживање утврђивања времена сушења кукуруза примјеном технологије драјерације, односно досушивањем кукуруза различитих сорти групе зрења 400 - 600 са повећаном влагом на излазу из сушаре са 19,47 % у односу на складишну влагу и повећаном температуром зрна кукуруза од 35,5 °С. Циљ овог истраживања је одређивање времена досушивања зрна кукуруза примјеном технологије драјерације након изласка из сушаре. Ова технологија се заснива на хлађењу зрна кукуруза послужењем хлађења, али не у зони хлађења у сушари већ у посебним ћелијама за кондиционирање. Испитивања показују да зрно у ћелијама одлежи 7 до 10 часова и у том временском периоду се „презноји,, да би се након „презнојавања,, хладило спољним ваздухом удубљавањем уз помоћ вентилатора. Влага која се налази на површини зрна уз помоћ ваздуха се одстарњује и зрно се суши (досушује) на складишну влагу. Осушено је 149.797 kg кукуруза просјечне влажности 33,85 %. Вријеме провјетравања трајало је 50 часова док је вријеме кондиционирања трајало 27,10 часова.

Кључне ријечи: кондиционирање, досушивање, вентилација

Увод

У пољопривреди Републике Српске кукуруз има веома значајну улогу у исхрани људи, животиња, индустријској производњи, односно у међународној трговини. У посљедње вријеме производња кукуруза знатно је повећана захваљујући сталној селекцији високородних хибрида и примјени савремених агротехничких мјера при гајењу.

Производња кукуруза у Републици Српској заузима значајно мјесто и има тенденцију даљег повећања. Под овом културом у 2009. години засијано је 134737 *ha*, са оствареним просјечним приносом од 5,20 *t/ha*. Овај принос је доста низак, иако је родни потенцијал ове културе доста већи.

У технологији производње кукуруза постигнут је значајан напредак, те производња има обиљежје индустријског начина производње. У савременој технологији производње кукуруза произашла је потреба да се временски интервал убирања сведе на 20 до 30 дана како би се благовремено по повољним условима извршило складиштење кукуруза. Да би се наведено остварило, уведени су комбајни великих учинака. Увођењем комбајна великих учинака, те повећањем приноса дошло је до великих застоја на релацији берба-складиштење. Наиме, управо због великих учинака комбајна и високих приноса сушаре су постале уско грло (Бабић, 2000.).

У технолошком поступку производње кукуруза сушење као основни технолошки поступак у чувању кукуруза је посљедња фаза прије претварања кукуруза у финални производ.

Сушење кукуруза је сложен процес размјене топлоте и материје између производа и радног медија. С обзиром на начин довођења топлоте сушење може бити различито (конвентивно, кондуктивно и сушење зрачењем), те у сваком случају изискује одређене трошкове. Укратко, кукуруз се суши зато да би му се смањила влажност у циљу спречавања рада микроорганизама, да би се снизили трошкови складиштења и транспорта и да се очувају боја, мирис и облик. Вјештачко сушење кукуруза се не може избјећи, али се могу умањити трошкови и убрзати процес кроз изналагање рјешења у новим технологијама сушења, а једна од њих је досушивање кукуруза активном вентилацијом или драјерацијом (Алимпих и сар. 1974.).

Да би се постигли већи учинци у процесу сушења зрна кукуруза, вршена су бројна истраживања на већ уведеним технологијама сушења, а нова технологија сушења без наглог хлађења

зрна накнадним провјетравањем даје позитивне резултате у погледу већих учинака сушаре, мањим физичким оштећењима зрна, мањој потрошњи горива и електричне енергије, те мањим застојима пред сушаром у кампањи приликом жетве кукуруза.

Због тога, у овом раду биће обрађени резултати истраживања добијени у нашим условима методом сушења кукуруза без наглог хлађења зрна са нагласком на одређивању времена провјетравања. Овај рад је прилог рјешавању наведеног проблема који се на западу користи као поступак сушења провјетравањем познат под називом „dryeration„. Дакле, циљ истраживања је утврдити вријеме трајања провјетравања при сушењу кукуруза на складишну влагу новом технологијом досушивања након кондиционирања зрна.

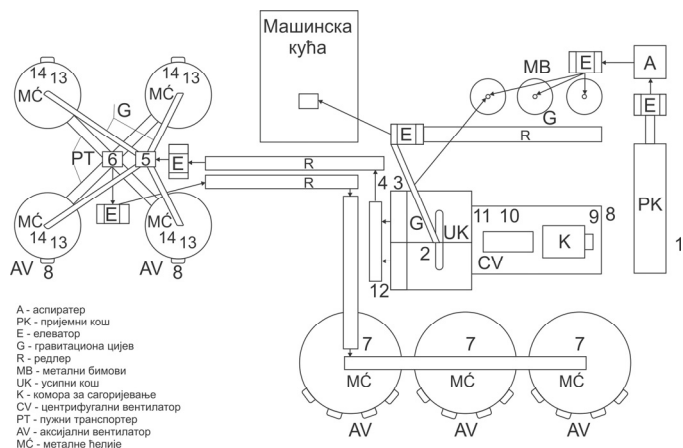
Материјал и методе рада

За вријеме испитивања сушена је мјешавина хибрида кукуруза групе зрења 400 до 600 са почетном просјечном влагом кукуруза 33,85 % на просјечну влажност од 19,47 % и просјечном температуром зрна од 35,50⁰С на почетку провјетравања. Сушење је изведено 17,18,19. и 20. новембара 2009. године на сушари производње фабрике ЦЕР Чачак, тип ВСЗ-7. Приликом истраживања била је обезбијеђена довољна количина влажног кукуруза.

Метода истраживања се заснивала на узимању што већег броја података са разних мјеста, а у што краћим временским интервалима, упоредо са праћењем процеса сушења на *i* - *x* дијаграму за влажан ваздух.

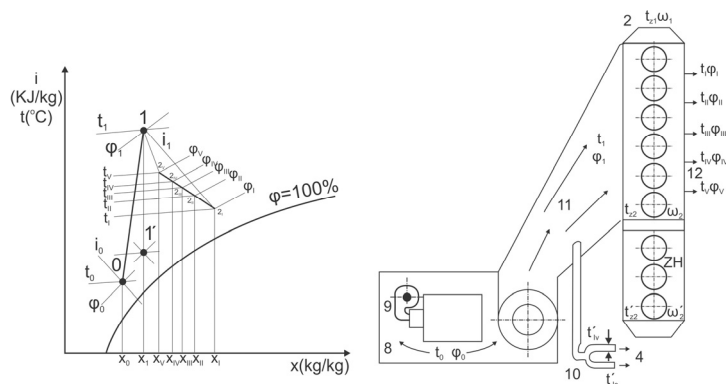
Сушење, провјетравање и складиштење зрна кукуруза са мјерним мјестима приказано је на слици 1.

Процес сушења са мјерним мјестима са *i* - *x* дијаграмом приказан је на слици 2., а процес провјетравања са *i* - *x* дијаграмом приказан је на слици 3. Бројеви од 1. до 14. означавају мјерна мјеста.



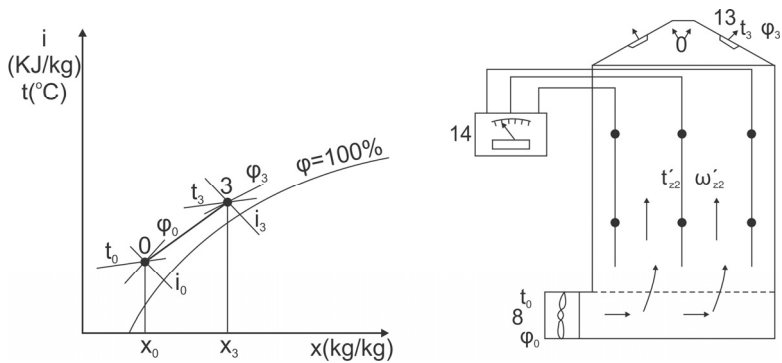
Мјерна мјеста: 1. пријемни кош, 2. улаз у сушару, 3. излаз из зоне сушења, 4. излаз из сушаре, 5. улаз у хелију за драјерацију, 6. излаз из хелије за драјерацију, 7. улаз у складишни простор, 8. стање околног ваздуха, 9. потрошња горива и електричне енергије, 10. мјерење стања флуида прије уласка у сушару, 11. температура флуида на улазу у сушару, 12. стање флуида на излазу из сушаре, 13. стање флуида на излазу из хелије за драјерацију, 14. температура зрна у хелији

Сл. 1. Сушење, провјетравање и складиштење зрна кукуруза
Drying, ventilation and storage of corn grain



t_0 - температура околног ваздуха, ϕ_0 -релативна влага околног ваздуха t_1 - температура флуида на улазу у сушару, ϕ_1 - релативна влага флуида на улазу у сушару, t_{1-v} - температура флуида на излазу из сушаре, ϕ_{1-v} - релативна влага на излазу из сушаре, t_{z1} - температура зрна на улазу у сушару, ω_1 - влага зрна на улазу у сушару, t'_{z2} - температура зрна на излазу из сушаре, ω'_2 - влага зрна на излазу из сушаре, t'_{1S} - температура сувог термометра, t'_{1V} - температура влажног термометра

Сл. 2. Приказ сушења на $i - x$ дијаграму
Process of drying shown on the $i - x$ diagram



t_0 -температура околног ваздуха, ϕ_0 -релативна влага околног ваздуха, t_3 -температура ваздуха на излазу из ћелије, ϕ_3 -релативна влага ваздуха на излазу из ћелије, t'_{z2} -температура зрна у ћелији, ω'_{z2} -влага зрна у ћелији

Сл. 3. Процес провјетравања у ћелији са приказом провјетравања на $i - x$ дијаграму

Process of ventilation in the cell shown on the $i - x$ diagram of the ventilation

У циљу извршења плана испитивања утврђена су мјеста узимања узорка и мјерење појединих величина и то:

- узимање узорка зрна кукуруза за одређивање влаге и температуре (мјерно мјесто 1. до 14.). Температура и влага зрна узимана је на пријемном кошу, те је приликом даљег технолошког процеса сушења мјерено на улазу и излазу из сушаре и на улазу и излазу из ћелије за кондиционирање и ћелији за складиштење,
- мјерење величине стања околног ваздуха: релативна влага, температура и барометарски притисак (мјерно мјесто 1., 8. и 7.). Мјерење је вршено испред коморе за сагоријевање на удаљености 10 m на слободном простору, те ћелије за кондиционирање испред вентилатора са предње стране. За мјерење брзине ваздуха кориштен је инструмент анемометар са крилцима са уграђеним сатним механизмом. Мјерење температуре и релативне влаге околног ваздуха обављено је помоћу аспирационог психрометра. Наведене величине стања очитаване су сваких 60 min. Психрометар ради на принципу сувог и влажног термометра и очитавањем величина на $i - x$ дијаграму одређивана је релативна влага ваздуха,
- мјерење потрошње горива очитавано је на инструменту као и потрошња електричне енергије,

- мјерење стања флуида у сушари температуре и релативне влаге (радног и охлађеног) и температуре и релативне влаге прије и после кондиционирања (мјерно мјесто 2,3,8,9,10,11,12,13 и 14). Величине су мјерене на влажном и сувом термометру и читаване на i - х дијаграму. Температура флуида мјерена је на улазу и излазу из зоне сушења помоћу електричног инструмента термокомпензатора „норма„. Температура и релативна влага флуида читавана је сваких 30 *min* док је температура и релативна влага ваздуха у поступку провјетравања мјерена сваких 60 *min*

Резултати и дискусија

У табелама од 1 до 3 приказани су резултати испитивања технологије сушења зрна кукуруза без употребе зоне хлађења на сушари тј. сушење провјетравањем. Процес се наставља у наредном периоду кондиционирања. Приказане вриједности параметара процеса сушења у наведеним табелама представљају просјечне вриједности у методологији испитивања, а затим су прочитане величине на i - х дијаграму стања влажног ваздуха.

Таб. 1. Параметри околног ваздуха

Outside air parameters

Величине стања <i>Parameters</i>	Температура сувог термометра t_s $^{\circ}\text{C}$ <i>Dry thermometer temperature t_s $^{\circ}\text{C}$</i>	Температура влажног термометра t_w $^{\circ}\text{C}$ <i>Wet thermometer temperature t_s $^{\circ}\text{C}$</i>	Енталпија i kJ/kg <i>Enthalpy i kJ/kg</i>	Релативна влага φ % <i>Moisture φ %</i>	Барометарски притисак 10^5 Pa <i>Pressure 10^5 Pa</i>
Вријеме (h) <i>Time</i>					
10,30-17,30	11,50	9,00	27,00	70,00	1,0115

Анализирајући величине стања флуида и зрна на излазу из зоне сушења, види се да флуид по вертикали сушаре излази са различитим температурама и релативним влагама. Наиме, проласком зрна кроз сушару, зрно у горњим слојевима има ниску температуру, а велики садржај влаге. Ове величине стања зрна проузрокују повишени садржај релативне влаге, те ниже температуре, док је у доњим секцијама све обрнуто, тј. флуид има вишу температуру, а нижу релативну влагу. Слика 2. приказује принцип рада гравитационо-проточног уређаја за сушење

Таб. 4. Резултати провјетравања
Results of the ventilation process

		Стање зрна у ћелији <i>Grain condition in the cell</i>						Стање охлађеног ваздуха <i>Cooled air parameters</i>				Стање у току провјетравања <i>Parameters during ventilation process</i>		
		Температура зрна t°C <i>grain temperature</i>		Влага зрна по вертикали % <i>grain moisture</i>						Температура t°C	Релативна влага ф %	Барометраски притисак 10 ³ Pa	Температура зрна t°C	Температура ваздуха t°C
I дан <i>Day 1</i>	I	II	III	1m	2m	3,26m	4,26m	5,26m	10,60	87	1,008	34,70	26,20	98
		34	37	34	18,30	18,40	19,10	19,20						
II дан <i>Day 2</i>	10	16	16	16,07	16,16	17,36	17,38	17,60	5	85	1,008	18,18	15,18	95,5
		11	11											
III дан <i>Day 3</i>	7	12	9	15,10	15,20	16,65	16,65	16,90	6	87	1,007	10,20	8,75	92
		7	7											

зрнастих пољопривредних производа са резултатима испитивања и приказом на $i - x$ дијаграму (Раилић, 1981.).

На основу измјерених величина стања флуида на излазу из зоне сушења види се да релативна влага флуида по вертикали сушаре има тенденцију опадања и пораста температуре. Уласком зрна у сушару са неком почетном влагом и температуром (која је обично као и температура околине) долази до сушења зрна јер зрно предаје влагу флуиду, а с тим долази и до загријавања зрна проласком кроз зону сушења. Како је зрно у горњим слојевима влажније, а има и нижу температуру него у доњим слојевима зоне сушења то је температура у доњим слојевима виша, а релативна влага мања због чврсто везане влаге у зрну кукуруза.

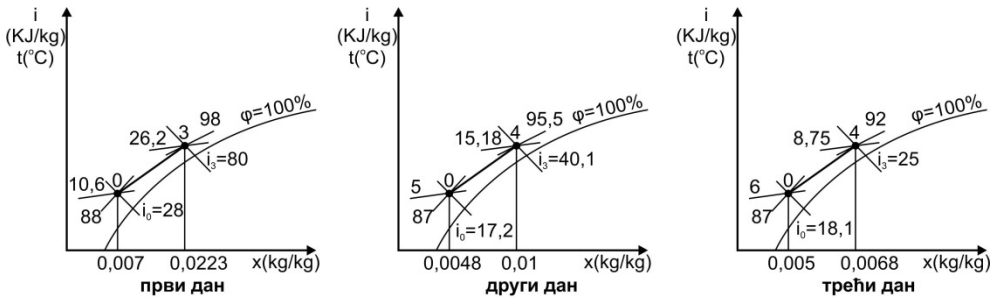
У табели 4. приказани су резултати процеса провјетравања. Ради лакшег праћења добијених резултата процес провјетравања ће бити праћен у три наврата. Вријеме провјетравања је трајало 50 часова док је вријеме кондиционирања 27,10 часова. Количина просушеног кукуруза износила је 149.797 kg.

Након добијених резултата у току испитивања извршена је њихова систематизација, те извршени одређени прорачуни који су приказани у табели 5 и на основу њих је процес провјетравања приказан на $i - x$ дијаграму и на слици 4.

Таб. 5. Прорачун процеса провјетравања за 3 дана

Calculation of the ventilation process for three days

Редни број No.	Параметри Parameters	Вријеме провјетравања Ventilation time		
		I дан Day 1	II дан Day 2	III дан Day 3
1.	Вријеме кондиционирања (h) / <i>Conditioning time</i>	7,10	13,00	7
2.	Вријеме провјетравања (h) / <i>Ventilation time</i>	14,50	24,00	11,5
3.	Температура околног ваздуха $t^{\circ}\text{C}$ / <i>Air temperature</i>	10,60	5,00	6,00
4.	Релативна влага околног ваздуха ϕ % / <i>Moisture</i>	88,00	87,00	87,00
5.	Температура ваздуха на излазу из ћелије $t^{\circ}\text{C}$ / <i>Cell temperature</i>	26,20	15,18	8,75
6.	Релативна влага на излазу из ћелије ϕ % / <i>Cell moisture</i>	98,00	95,50	92,00
7.	Садржај апсолутне влаге околног ваздуха x_0 kg/kg <i>Total air humidity</i>	0,007	0,0048	0,005
8.	Садржај апсолут. влаге на излазу из ћелије x kg/kg <i>Total cell air humidity</i>	0,0223	0,01	0,0068
9.	Влага зрна на почетку проц. провјетравања % <i>Grain moisture at ventilation process startup</i>	19,39	17,52	16,18
10.	Влага зрна на крају проц. провјетравања % <i>Grain moisture at ventilation process end</i>	18,09	16,38	16,00
11.	Количина испарене воде kg/h / <i>Quantity of evaporated water</i>	163,96	85,10	27,90



Сл. 4. Приказ процеса провјетравања за 3 дана на $i - x$ дијаграму
Ventilation process for three days shown on the $i - x$ diagram

Из наведених вриједности се види да је процес провјетравања веома дуг. Такође је првог дана проценат влаге брже опадао у односу на остала два дана. Разлог је што је слабије везана влага и услед пораста температуре зрна дошло је до презнојавања приликом кондиционирања јер је влага на површини зрна лако одстрањива. Ако се посматра проценат влаге по вертикали силоса, види се да је у доњим слојевима влага кукуруза нижа у односу на горње слојеве. Разлог оваквом распореду је тај што је вршено продувавање са доње стране силоса, што је имало велики утицај на садржај влаге у горњој половини и самој површини зрна у ћелији. Проласком ваздуха кроз масу зрна, који се у доњим слојевима заситио влагом и није више у могућности да прими сву количину влаге приликом проласка, сушење зрна траје веома дуго. Проласком ваздуха кроз зрно кукуруза не само да се засити него се ваздух и загрије услед више температуре зрна. Тако загријан ваздух приликом изласка из ћелије мијеша се са околним ваздухом, који је нешто хладнији, те долази до кондензације испод крова ћелије. Слијевањем кондензата проузрокује се повећање влаге на површини. Влага уз зид ћелије на удаљености 15 *cm* износила је 26 %, док је према унутрашњости ћелије опадала.

Закључак

На основу резултата истраживања може се закључити да је процес сушења провјетравањем доста дуг. Процес кондиционирања трајао је 27,10 часова, а процес провјетравања 50 часова. Такође резултати показују да на дужину процеса досушивања знатан утицај

има температура зрна на излазу из зоне сушења. У испитиваном процесу температура зрна је у просјеку износила 35,50 °C, што је недовољно за процес кондиционирања. Оптимална температура је око 65 °C.

Резултати исраживања показују да на дужину процеса провјетравања зрна утиче и стање околног ваздуха. Висина релативне влажности од 86 % и ниске температуре од 5 до 10.5 °C знатно су успоравале процес провјетравања (сушење и хлађење зрна). Повећана релативна влага на површини ћелије за провјетравање (слика 3.) знатно је успоравала процес. Неопходно је на горњем дијелу ћелије уградити вентилатор за извлачење засићеног ваздуха ради спречавања влажења горњих слојева зрна.

Добијени резултати истраживања заснивају се на експерименталним подацима у току процеса сушења. Ови подаци у оквиру истраживања имају употребне вриједности, тј. могу да послуже пројектантима, произвођачима и корисницима ове и сличних технологија сушења.

Литература

- Алимпих, М. и Бркић, М. (1974). Упоредна анализа оштећења зрна кукуруза између појединих елеманата два техничка различита система вештачког сушења и складиштења. *Савремена пољопривредна техника*, 2(1-2).
- Бабић, М. и Бабић, Љиљана. (2000). Сушење и складиштење. *Савремена пољопривредна техника* (4).
- Раилић, Б. (1981). *Уштеда енергије примјеном технологије "Dryeration" при сушењу кукуруза. (Дипломски рад)*. Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду.
- Томпсон и Фостер. (2003). Сушење - провјетравањем, превод документа бр. 67-843. Вашингтон: Министарство пољопривреде САД-а.

Примљено: 26. новембар 2015..
Одобрено: 9. децембар 2015.

Establishing Time for the Drying of Corn by Using Dryer Tehnology

Borislav Railić¹, Zoran Maličević¹

¹*Faculty of Agriculture, University of Banja Luka, Republic of Srpska, BiH*

Abstract

In the paper presented investigation of establishing time of drying of corn by using dryer technology or to drying the corn of different ripening groups (groups from 400 to 600) with increased moisture at the exit of the dryer for corn with the 19.47 % on storage moisture and increased temperature of corn grains at 35.5 °C. The aim of this study was to determine the time needed for corn grain drying using dryer technology after leaving the drier. This technology is based on cooling corn grain after drying it, but not in the cooling zone in the kiln, but in separate cells for conditioning. Tests show that the grain in the cells age from 7 to 10 hours and during that time it is „sweated” in order to be cooled by the external by blowing air through the fan after sweating. Moisture from the grain surface is removed by the air and grain is dried to the level of the storage moisture. Total of 149.797 kg of corn graine of average humidity of 33.85 % was dried. Time of ventilation lasted 50 hours while the time of conditioning lasted 27.10 hours.

Key words: conditioning, drying, ventilation

Zoran Maličević
E-mail address: zoran.malicevic@agrofabl.org

Received: November 26, 2015
Accepted: December 9, 2015