

# Sušenje uljane repice u sezoni 2020

---

Maslač, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:485990>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Tomislav Maslač, apsolvant

Diplomski studij Mehanizacija

**SUŠENJE ULJANE REPICE U SEZONI 2020.**

**Diplomski rad**

Osijek, 2021.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Tomislav Maslač, apsolvent

Diplomski studij Mehanizacija

**SUŠENJE ULJANE REPICE U SEZONI 2020.**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Darko Kiš, mentor
3. Prof. dr. sc. Irena rapčan, član

Osijek, 2021.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2.PREGLED LITERATURE</b> .....	3
<b>2.1. Podaci o PIK Vinkovci plus d.o.o.</b> .....	3
2.2.1. Uljana repica .....	5
2.2.2. Sjetva .....	9
2.2.3. Upravljanje žetvom.....	11
<b>2.3.Sušare</b> .....	14
2.3.1.Podjela sušara .....	14
2.3.1.1. Šaržne sušare .....	16
2.3.1.2.Kontinuirane sušare .....	18
2.4. Goriva kao izvor energije kod sušenja .....	19
2.4.1. Prirodni plin.....	20
2.5. Proračun rada sušara.....	21
<b>3. DORADA I SUŠENJE U SILOSU PIK VINKOVCI</b> .....	28
<b>3.1. Dorada zrna</b> .....	28
<b>4. MATERIJAL I METODE</b> .....	35
<b>5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b> .....	37
<b>5.1. Količina protoka zrna uljane repice i količina protoka zraka u sušari</b> .....	37
<b>5.2. Vlaga i temperatura zrna uljane repice na izlazu iz sušare „KONČAR“</b> .....	37
<b>5.3. h-x dijagram rada sušare „KONČAR“</b> .....	38
<b>6.RASPRAVA REZULTATA ISTRAŽIVANJA</b> .....	43
<b>6.1.Protoka zrna uljane repice i količine protoka zraka u sušari</b> .....	43
<b>6.2. Vlage i temperature zrna uljane repice na izlazu iz sušare „KONČAR“</b> .....	43
<b>6.3. Potrošnja energije i h-x dijagram rada sušare „KONČAR“</b> .....	43
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	44
<b>8. LITERATURA</b> .....	45
<b>9. SAŽETAK</b> .....	46
<b>10. SUMMARY</b> .....	47
<b>11. POPIS TABLICA</b> .....	48
<b>12. POPIS SLIKA</b> .....	48
<b>13. POPIS DIJAGRAMA</b> .....	49
<b>14.TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA</b> .....	

## 1. UVOD

Uljana repica se u Svijetu uzgaja oko 24 milijuna hektara. Sije se najviše u Indiji i Kini na oko šest milijuna hektara, te u Kanadi na tri milijuna hektara. Najviše se u europskim zemljama uzgaja u Francuskoj i Njemačkoj na oko milijun hektara, dok se u Republici Hrvatskoj uzgaja na oko 20 tisuća hektara. U 2018. godini je bilo 137.500 tona prinosa, a 2019. godine 110.000 tona uljane repice u Republici Hrvatskoj. Proizvodnja uljane repice je 2019. godine manja za skoro 30% u odnosu na 2018. i to zbog smanjenja žetvene površine za 11 tisuća hektara. U Republici Hrvatskoj se uljana repica tradicionalno proizvodi u sjeverozapadnom djelu, a u posljednje vrijeme se proizvodnja proširila i na istočne dijelove.

Uljana repica, odnosno ulje iste se koristilo u Starom vijeku za osvjetljenje i mazivo, a danas u suvremenom svijetu se uzgaja za ljudsku prehranu, u industrijske svrhe i za ishranu stoke. Repica se uzgaja za proizvodnju jestivog biljnog ulja (mješavina sojina, suncokretova i ulja uljane repice), proizvodnju margarina i čvrstih biljnih masti. Uljana repica ima široku primjenu u farmaceutskoj industriji za proizvodnju deterdženta i sapuna, u industriji lakova i boja, te aditiva kod proizvodnje guma. Pogodna je za ishranu životinja kao zelena krma u svježem stanju ili kao silaža, a nusproizvodi od ekstrakcije ulja sačma i pogače upotrebljavaju se za krmnu smjesu. Sjeme uljane repice se upotrebljava i kao hrana za ptice, te je i značajna medonosna biljka jer daje oko 50 kilograma na hektar meda.

U novije vrijeme iz ulja uljane repice proizvodi se Biodizel (repičin metilester). Biodizel je ekološko gorivo jer je biološki razgradivo, uporabom istog manja je emisija CO<sub>2</sub> u ispušnim plinovima, ne stvaraju se sumporni spojevi koji uzrokuju kisele kiše.

Uljana repica se uglavnom skladišti u podnim skladištima, rjeđe u silosima. Iza žetve sjeme uljane repice razne vlažnosti od 10 do 12% odlazi izravno na sušenje, na skladišnu vlagu od 6 do 7%. Poslije sušenja sjeme se skladišti u podna skladišta, u rasutom stanju. Sjeme uljane repice u skladištima mora se stalno pratiti uzimanjem i analizom uzoraka zbog samozagrijavanja i djelovanja štetnika.

Cilj ovog istraživanja je ispitati način dorade uljane repice u silosu „PIK Vinkovci plus d.o.o.“, a prije svega svojstva postojeće sušare za sušenje najčešće uljarica marke „KONČAR“. Navedena sušara je okomita, indirektna na paru, kod koje zrno putuje od vrha sušare prema dolje, između krovića.

Temeljem izloženog ciljevi istraživanja su:

- Utvrditi energetske potrošnje pri sušenju uljane repice i uporabi zemnog plina i
- Izmjeriti temperature zrna na ulazu, tijekom sušenja i na izlazu radi izbjegavanja oštećenja zrna unutrašnjim naprezanjem

## 2.PREGLED LITERATURE

### 2.1 Podaci o PIK Vinkovci plus d.o.o.

PIK Vinkovci plus d.o.o. je trgovačko društvo sa sjedištem u Vinkovcima. Osnovano još davne 1962. kao Poljoprivredno-industrijski kombinat Vinkovci (PIK Vinkovci). Osnovna djelatnost tvrtke je primarna proizvodnja ratarskih i povrtlarskih kultura, prerada, sušenje i skladištenje žitarica i uljarica, dorada sjemenskog materijala, proizvodnja industrijskog bilja, skladištenje, prerada i pakiranje voća i povrća, te stočarska proizvodnja. Primarna ratarska i povrtlarska proizvodnja raspolaže sa prvoklasnim oranicama na oko 6000 ha zemlje u klimatskom području koje je idealno za primarnu ratarsku i povrtlarsku proizvodnju. Prema skladišnim kapacitetima od ukupno 86,800 tona i kapacitetima za prijem robe u silose i sušenje tvrtka se ubraja među najveće u Republici Hrvatskoj (tablica 1).(<https://www.pik-vinkovci.hr/>)

Tablica 1. Tehnički podaci silosa PIK Vinkovci

Opis	Silos 1	Silos 2	Silos 3	UKUPNO
Kapacitet (t)	12 800	24 000	19 700	56 500
Proizvođač	Rad BG	Tehnika ZG	Tehnika ZG	
Izgrađeni god.	1959	1969	1979	
Oblik i dimenzija	Okrugli Ø5,4m	Oktaedar Ø5,5m	Oktaedar Ø6,3m	
Broj ćelija (kom)	30	36	24	90
Broj međućelija (kom)	10	20	14	44
Volumen ćelije (m <sup>3</sup> )	506	760	1000	
Kapacitet ćelije (t)	380	570	750	
Visina ćelije (m)	24,3	31,3	32,3	

Izvor:(<https://www.pik-vinkovci.hr/>)

Prijem se može obavljati na 4 (četiri) mehanizirana koša. Od toga 3 koša imaju kompletnu kip platformu,a jedan ima polu-kip uređaj.

Na području Lipovca na oko 500 ha zemlje uzgajaju se povrtlarske kulture koje su pod sustavima navodnjavanja BK kišna krila i tifoni. Unutar ekonomskog dvorišta na području Lipovca nalaze se značajni skladišni kapaciteti za povrće, posebno za luk i krumpir – paletno skladište kapaciteta 5500 tona i podno skladište 6500 tona sa hladnjačom kapaciteta 750 tona. Kapacitet pakirnice je oko 100 t/dan. U upravnoj zgradi dio objekta je prenamjenjen za liniju za guljenje, hlađenje, sjeckanje i vakumiranje luka kapaciteta 19,2 t/dan.



Slika 1. Logo dioničarskog društva PIK Vinkovci d.o.o

(Izvor: <https://www.pik-vinkovci.hr/> )

Uz Lipovac i Polaču, prijem povrtlarskih kultura sa vlastitih uzgojnih površina, ali i od kooperanata i dobavljača odvija se na lokaciji Vinka smještenoj na Vinkovačkoj obilaznici. Proizvodi se zaprimaju, skladište a po narudžbi kupaca, dorađuju na linijama guljenja/sjeckanja, lanširanja i rzog smrzavanja. Smrznuti se proizvodi skladište do vremena isporuke kad se pakiraju po pojedinačnoj vrsti ili kao mješavina voća i povrća. Proizvodnja povrtlarskih kultura se vodi i kroz izdvojenu lokaciju u općini Sv. Filip Jakov gdje se na oko 200 ha uzgajaju uobičajene povrtlarske kulture: luk i krumpir, kelj, kupus, poriluk i lubenica. Po berbi/vađenju, proizvodi se prevoze do otkupnog centra u Polači, koji raspolaže sa hladnjačama i pakirnicom, te osim vlastitih proizvoda primaju voće i povrće kooperanata. U sklopu PC Ravni Kotari nalazi se i otkupni centar Kaštela u blizini Trogira. Primarna stočarska proizvodnja odvija se na tri reprodukcijске svinjogojske farme (Andrijaševci 1, Andrijaševci 2 i Čeretinci) te na jednoj farmi za tov junadi – Zvirinac.

Uvođenjem novih tehnologija u proizvodnju žele svakodnevno zadovoljavati potrebe ljudi za kvalitetnom hranom na tržištu Hrvatske i šire regije. PIK Vinkovci ima svoj prepoznatljiv logo s kojim je poznat u cijeloj Hrvatskoj i šire u regiji (slika 1).



### 2.2.1. Uljana repica

Uljana repica je jednogodišnja kultura koja potječe iz područja Sredozemlja i Azije, a tek poslije se javlja i u Europi. Pripada porodici krstašica – *Brassica*, a nastala je križanjem ogrštice i kelja. U Republici Hrvatskoj se uzgaja ozima kupusna uljana repica – *Brassica napus subsp. oleifera* (slika 2). S temeljnom namjerom dobivanja ulja. Uljana repica sadrži od 40 do 48% ulja, 18 do 25% proteina, od 6 do 10% vode, 5 do 8% celuloze i 3 do 5% pepela (Gadžo i sur., 2011).



Slika 2. Uljana repica (*Brassica napus subsp. oleifera*)

Izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rapeseed> (28.08.2020.)

Na malim površinama se dugo uzgajala, a tek od 1970. godina se počela uzgajati na većim površinama. Porast proizvodnje uljane repice je bio kao posljedica naftne krize što je dovelo do ubrzanog povećanja cijene uljane repice kao sirovine. Poslije promjene sortimenta je uslijedio dodatni razlog za povećanje površina zasijanih uljanom repicom, te u završnici uvođenjem hibrida (Gagro, 1998).

Novi sortiment ima smanjen sadržaj eruka kiseline i glukozinolata, te je poboljšán odnos zasićenih i nezasićenih masnih kiselina (sorte „00“, dvostruki nulaši).

Rafinirano ulje uljane repice je svijetložute boje i neutralnog mirisa i okusa (Mustapić i sur, 1984). Sklonost kvarljivosti i kvaliteta ulja ovise o stupnju zrelosti sjemena. Zbog svoje dobre viskoznosti repičino ulje se upotrebljava kao temeljno mazivo u strojarstvu, u strojogradnji za podmazivanje i kaljenje, te u kožarskoj, tekstilnoj i kozmetičkoj industriji. Dobru viskoznost u odnosu na druga ulja ima zbog sadržaja eruka kiselina.

Kultura uljane repice ima dvije vrste:

1. uljana repica – *Brassica napus* var. *Oleifera*
2. ogrštica – *Brassica rapa* var. *Oleifera*

Postoje ozime i jare forme uljane repice. U Europi se pretežitó uzgaja ozima dok se jara uzgaja u predjelima s oštrim zimama (Sjeverna Amerika, Sjeverna Kina i Kanada). U Republici Hrvatskoj se uzgaja ozima kupusna uljana repica – *Brassia napus subsepc. oleifera*. Kultivari repice dijele na linijske i sintetske. Linijski su dobiveni oplemenjivanjem od čistih linija pa se odlikuju izjednačenošću biljaka prema uzrastu, izgledu, razvoju i sazrijevanju. Sintetski kultivari dobiveni su prikladnim miješanjem više linija u određenom postotnom odnosu, pa se bilje razlikuju prema vanjskom izgledu, uzrastu, dozrijevanju i drugom. Kultivari sintetskog podrijetla mogu bolje iskoristiti vegetacijski prostor, pritom će biti stabilniji u slučaju nepovoljnih uvjeta.

Ulje uljane repice je imalo prije gorak okus koji je bio posljedica visokog sadržaja eruka kiselina (do 50%). Nusproizvodi prilikom prerade su sačme i pogače koje su sadržavale štetne tvari – glukozionolate. Eruka kiseline zaostaju u ulju, nemaju hranidbenu vrijednost i štetne su jer mogu oštetiti krvožilni sustav ljudi i životinja. Glukozinolati su štetni sumporni spojevi koji zaostaju u pogačama i sačmama te se uz enzim mirozinazu hidroliziraju u spojeve otrovne za stoku.

U Kanadi su početkom 1960. godine nađene sorte koje nisu sadržavale eruka kiseline, te time počinje selekcija uljane repice. Naziv „canola“ je uveden 1979. godine u zapadnoj Kanadi za hibride uljane repice koji su imali sadržaj eruka kiselina ispod 2% (Canadian oil seed, low acid – kanadska uljarica s niskim kiselinama).

Ulje dobiveno preradom sjemena uljane repice je prije sadržavalo 50% štetnih eruka kiselina no tada je selekcijom sadržaj eruka kiselina smanjen na ispod 0,1%. Sadržaj glukozinolata je u sačmi iznosio od 7 do 8%, a selekcijom je smanjen na oko 14 mikromola po gramu neodmašćene sačme (Šarić i Mumović, 1998).

Korijen uljane repice je vretenast, a sastoji se od glavnog korijena s bočnim korijenjem (slika 3). U sisna moć korijena je slaba. U jesen se kod kupusne uljane repice formira zadebljanje u gornjem dijelu glavnog korijena, dok ogrštica nema tog zadebljanja. Rezervna tvar se nakuplja u tom zadebljanju koja se koristi tijekom zime (Gagro, 1998). Korijenov sustav je osrednje razvijen, a njegov razvoj ovisi o agrotehnici i skupu agroekoloških uvjeta uzgoja (kao što su primjerice tip tla, svjetlost, toplina, vlaga i drugo). Korijen može prodirati i do dubine od 1 metar, ali se najčešće razvija u oraničnom sloju tla (od 0 do 30 centimetara).



Slika 3. Korijen uljane repice(Izvor: <http://www.pisvojvodina.com/>)

Stabljika je uspravna, razgranata, okrugla, zeljasta te je prikrivena voštanom prevlakom (slika 4.). Grana se sa tri do sedam postranih grana, obično na visini od 60 do 80 centimetara od zemlje, te može narasti u visinu do 1,5 metar. Postrane grane kod uljane repice rastu pod većim kutom nego kod ogrštice. Značajna razlika između uljane repice i ogrštice je ta da stabljika ogršice ima dlačice. Kod uljane repice stabljika je viša i plavkasto-zelene boje, a kod ogrštice niža i zelenkaste boje.



Slika 4. Stabljika uljane repice (Izvor: <http://www.kws.hr/>)

Listovi uljane repice su različitog oblika. Srednji i donji listovi su izduženog i zaobljenog vrha, a gornje lišće je uže, kopljastog izgleda (slika 5.). Uljana repica ima deblje, glatke, plavo-zelene listove, a ogrštica ima tanje zelene listove. Donji listovi imaju peteljku i plojku, a gornje lišće nema peteljku već se sa svojom osnovom oslanjaju na stabljiku. Kod uljane repice listovi obuhvaćaju polovicu stabljike dok kod ogrštice obuhvaćaju cijelu stabljiku. Lisna plojka je izdužena i na obodu manje ili više usječena.



Slika 5. Listovi uljane repice (Izvor: <http://www.agro.basf.hr/>)

Cvjetovi uljane repice su žute boje i smješteni su na gornjem dijelu stabljike, te na postranim granama. Uljana repica pripada porodici krstašica, čija je osobina građa cvijeta na bazi broja četiri. Cvijet čine četiri lapa i četiri latice, šest prašnika i tučak. Cvjetanje počinje u proljeće i traje od dvadeset do trideset dana. Repica je stranoplodna, ali u nekim slučajevima može doći do samooplodnje.



Slika 6. Sjeme repice (Izvor: <http://www.agroportal.hr/>)

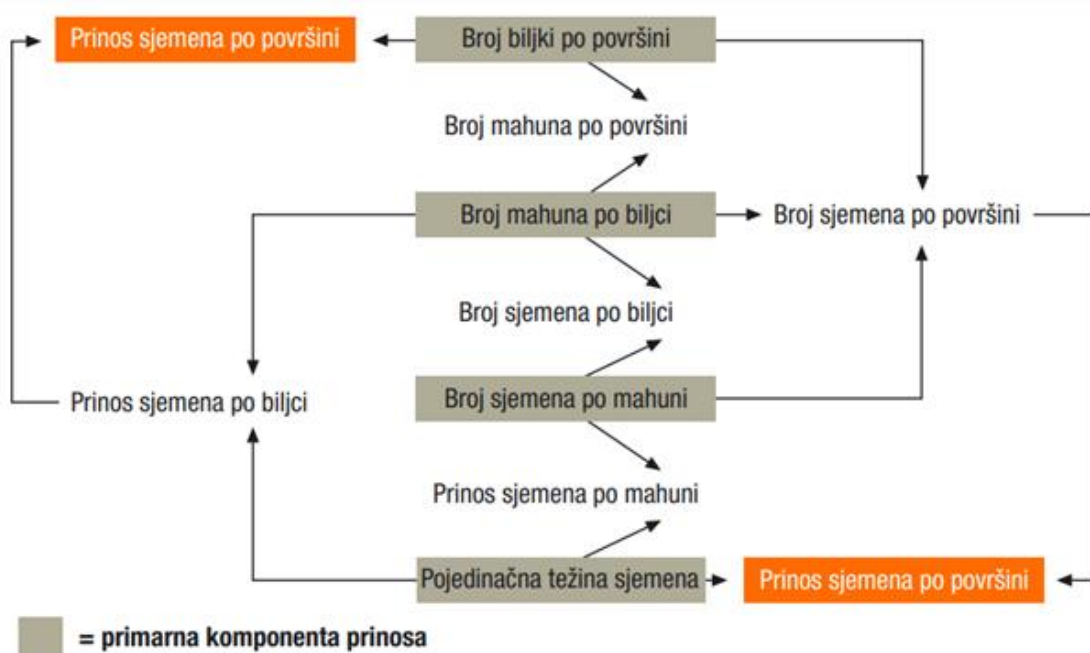
Sjeme uljane repice je plavo-crne boje, sitno, okruglo, promjera od 1,5 do 2,5 milimetra (slika 6). Ogrštica ima sjeme crvenkasto-smeđe boje, ali je nešto sitnije. Masa tisuću zrna iznosi od četiri do šest grama, a masa ogrštice između dva do četiri grama.

### 2.2.2. Sjetva

Postoji jedna stara mudrost, koja glasi: „Kako siješ, tako ćeš i žeti!“, upravo ona ima posebno značenje za uljanu repicu kao fino sjeme. Optimalna sjetva važan je preduvjet za visoke i sigurne prinose, jer se veliki dio prinosa uljane repice određuje već tijekom razvoja prije zime. Za idealan razvoj prije zime uljana repica bi trebala ostvariti sljedeće ciljane veličine:

- Gustoća nasada od trideset do četrdeset biljki po metru kvadratnom kod hibrida i četrdeset do šezdeset biljki po metru kvadratnom kod linijskih sorti.
- Vitalne pojedinačne biljke s osam do deset razvijenih listova.
- Snažno razvijen glavni korijen (po mogućnosti manji od osam milimetara promjer korijenovog vrata, „debljina palca“).
- Dužina korijena je veća od dvadeset centimetara.
- Biljka uljane repice bi trebala ići u zimu u fazi rozete i ne bi trebala biti prekoračena dužina stabljike od dva centimetra.

Pri tome je važan odabir ispravnog tipa hibrida/sorte i optimalne količine sjemena.



Slika 7. Struktura prinosa uljane repice(Izvor: Makowski, N. (2007))

Iz tog razloga usporedivi žetveni rezultat u prinosu zrna može biti sastavljen na različite načine (slika 7). Kod izbora sorte u prvom planu ne bi trebao biti jednogodišnji prinos zrna; osobitu pozornost treba posvetiti stabilnosti ostvarenja. Prvenstveno kod hibrida se pokazalo da se kod cijelog skupa sorti tijekom više ispitnih godina pojavljuje neizmijenjen i siguran prinos. Razlog tomu leži u širokoj genetskoj osnovi hibrida koji godišnje učinke i različite lokacijske uvjete mogu kompenzirati bolje od linijskih sorti.

Vrijeme sjetve od kraj kolovoza do sredine rujna načelno je optimalno za dobar razvoj nasada uljane repice. Najbolji mogući termin za sjetvu može biti veoma različit ovisno o klimatskim okolnostima i okolnostima tipičnima za lokaciju. Rani sjetveni termini pozitivno doprinose snažnom razvoju korijena i pojedinačnih biljki. S druge pak strane, zbog bogatog razvoja nasada veoma rani sjetveni termini povećavaju rizik od zimskih šteta. Prekasne sjetve mogu oblikovati premalo vegetativne mase u slučaju loših jesenjih razvoja, a to je pak slaba polazna osnova za visoke prinose. Dakle, ispravan trenutak za sjetvu uvijek predstavlja kompromis. Iz tog razloga se treba informirati o optimalnom sjetvenom razdoblju za određene sorte ili hibride.

Tablica 2. Očekivanje prinosa ovisno o vremenu sjetve (Izvor: Makowski, N. 2007)

Vrijeme između sjetve i 1. pentade (5 dana) < 2 °C	Očekivani prinos	Postotak prinosa specifičnog za lokaciju
<b>Do 95 dana</b>	Nizak prinos	od 70 do 80
<b>95 do 105 dana</b>	Srednji prinos	od 80 do 90
<b>105 do 115 dana</b>	Visoki prinos	od 90 do 100
<b>Preko 115 dana</b>	Vrlo visoki prinos	od 100 do 110

Iz predstojeće tablice 2. se može preuzeti orijentacijske vrijednosti za količine sjemena kod uljane repice. Uz to, obavezno treba uzeti u obzir regionalne preporuke.

Stvarna količina sjemena, odnosno bačen broj zrna po m<sup>2</sup> odmah u obzir uzima gubitke biljke na putu do željene gustoće nasada. Nasadi uljane repice s nižim gustoćama nasada uglavnom su stabilniji i zdraviji i uz manje izdatke dolazi do žetve uljane repice.

Pretjerane gustoće nasada vode do lošijih prinosa uljane repice zbog smanjenog razvoja pojedinačnih biljaka, lošijeg oblikovanja korijena, višeg naginjanja i povećane učestalosti bolesti.

Količina sjemena se može izračunati pomoću sljedeće formule. Podatke o masi tisuću zrna i klijavosti (klijavost u %) mogu se preuzeti iz plavog certifikata na vreći sa sjemenom.

$$\frac{\text{Klijava zrna}/m^2 \times \text{težina tisuću zrna}(g)}{\text{Klijavost} (\%)} = \text{količina zrna} (kg/ha)$$

Sjetva uljane repice se obavlja ovisno o obradi tla s konvencionalnim sijačicama ili strojevima za preciznu sjetvu.

Tehnika sijanja bi trebala omogućiti jednomjerno i plitko odlaganje na dubini od jedan do dva centimetra. Na suhim tlima sjeme može biti postavljeno i na dubinu od tri do četiri centimetra kako bi se osigurala dostupnost vlazi. Sjeme se treba raspodijeliti na površinu što je više moguće ravnomjerno.

### 2.2.3. Upravljanje žetvom

Dozrijevanje se kod uljane repice proteže kroz duže vremensko razdoblje. Često se repičini nasadi veoma heterogeno razvijaju do žetve, zbog čega repičine komuške imaju različit stupanj zrelosti. Time se s jedne strane povećava rizik od povećanih sadržaja vlage, a s druge strane se povećavaju gubitci već dozrelih komuški.

Osnovna pravila za žetvu repice:

- Podešavanje postavki na kombajnu ovisno o vlazi žetvenog dobra. Ukoliko je vlaga previsoka, potrebno je povisiti broj okretaja bubnja, a košaru za vršidbu podesiti na užu postavku.
- Prednost treba dati namjenskim sječakama s bočnim noževima u odnosu na standardne sječke (smanjenje gubitaka vršidbe, vršidba neovisna o smjeru polijeganja nasada).
- Visina strništa bi prilikom obrade trebala biti takva da je omogućeno hvatanje donjih zametnutih komuški. Na taj način se smanjuju gubitci proizašli iz sječke i snižava se prijelaz vlage sa slame na zrno.
- Jedino dozrela repica može ostvariti najviše prinose i sadržaje sirove masti.

U žetvu se kreće kada je oko 80% komuški zrelo ili kada je više od 50% stabljika suho, odnosno kada poprimi žuto-smeđu boju (slika 8).



Slika 8. Zrele komuške (Izvor: slikao autor)

Nekada je teško odrediti vrijeme žetve jer uljana repica nejednolično dozrijeva, pa ukoliko se zakasni s žetvom tada dolazi do pucanja zrelih komuški i osipanja zrna. Ukoliko bude kišnog razdoblja u vrijeme žetve, ona je onemogućena i vrijeme žetve se mora odgoditi.

Svakim odgođenim danom broj ispucalih komuški se povećava, što može dovesti do velikih gubitaka i to će se na kraju vidjeti na umanjenom prinosu.



Slika 9. Žetva uljane repice (Izvor: slikao autor)

Kako bi smanjili gubitke u žetvi, na heder se postavlja izdužena platforma (stol na uljanu repicu), te s obje strane hedera bočne kose (slika 9 i 10). Pri žetvi sjeme repice pada na „stol“, a ne na zemlju. Dok bočne kose služe za presijecanje isprepletenih bočnih grana uljane repice.



Ukoliko se ne koriste bočne kose tada dolazi do potezanja biljaka, te biljke se protresu, komuške pucaju i dolazi do osipanja zrna. Također bi bilo poželjno isključiti vitlo, ali ukoliko to nije moguće može se vitlu smanjiti broj okretaja na minimum i podići do ga kraja.

Kako bi izbjegli sve te gubitke bitno je i vrijeme kada se žetva obavlja. Najbolje bi bilo žetvu obaviti u ranim jutarnjim ili u večernjim satima, jer je tada prisutna rosa. Vlaga će pomoći tako što će ipak nekako držati komuške slijepljenima da se ne razdvoje, te se tako izbjegavaju znatni gubitci na prinosu.

Gubitci su se prije mogli spriječiti avionskim tretiranjem usjeva sredstvom za voštarenje, međutim avionska tretiranja su sada zabranjena zbog negativnog utjecaja na korisne insekte (Raspudić i sur, 2014). Tretiranje usjeva traktorima s prskalicama nije poželjno, jer u tom stadiju razvoja nije moguć ulazak traktora u usjev bez velikih šteta i gubitaka.



Slika 10. Stol za uljanu repicu s bočnim kosama (Izvor: slikao autor)

Prinosi uljane repice se kreću od dvije do tri tone, ali s punom agrotehnikom i ukoliko nam pogoduju agroekološki uvjeti prinos može biti i veći od četiri tone po hektaru. Sjeme uljane repice se najbolje skladištiti s vlagom manjom od 8%. Otkup uljane repice se obavlja na bazi od 9% vlage, 2% primjese i 40% ulja.

## 2.3.Sušare

### 2.3.1.Podjela sušara

Trenutno na Europskom tržištu imamo energetski različite sušare. Kod gotovo svih takvih sušara primijenjen je sistem djelomične recirkulacije fluida za sušenje, da i se racionalizirala potrošnja energije. Uz takav pristup, neki proizvođači imaju dvostupanjske i ponekad dvoprolazno sušenje.

Katić (1997) navodi da su prve sušare u Hrvatskoj za sušenje zrna bile ugrađivane u silose i skladišta za bijele žitarice uz mlinove. Te su sušare grijane indirektno. Postojala je mogućnost grijanja zrna bez sušenja, na grijaćim tijelima – radiatorima. Prilagođene su tehnologiji sušenja bijelih žitarica i služe kao interventne sušare. Korištenjem kombajna za žetvu kukuruza, ukazala se potreba za većim sušarama koje su prilagođene za sušenje kukuruznog zrna. Po potrošnji energije i očuvanju okoliša sušare za zrno američke proizvodnje "Aeroglide" i "Campbell" uglavnom su zastarjele kao i sušare "CER" i "Pobeda". Većina sušara su tehnološki i tehnički dotrajale, a samo je mali broj modernih sušara (hrvatske proizvodnje "Končar" i "Seting" i strane proizvodnje "Cevovod", "Goldsaat").

Postoje različite podjele sušara pa razlikujemo (slika 13.):

A) Prema režimu rada:

1. Šaržne ili periodične i
2. Kontinuirane ili neprekidne sušare .

B) Prema smjeru radnog fluida i materijala u sušari:

1. Sušare sa istosmjernim tijekom materijala i radnog fluida,
2. Sušare sa suprotnim tijekom materijala i radnog fluida i
3. Sušare sa križnim tijekom materijala i radnog fluida.

C) Prema načinu zagrijavanja radnog fluida – vlažnog zraka:

1. Direktne sušare i
2. Indirektne sušare

D) Prema veličini materijala koji se suši:

1. Sušare za krupno-disperzione materijale i
2. Sušare za sitno-disperzione materijale (dimenzije materijala ne prelaze 20 mm).

E) Prema načinu zagrijavanja radnog fluida:

1. Zagrijavanje radnog fluida u ložišnom postrojenju,
2. Zagrijavanje radnog fluida parnim grijaćima i

### 3. Zagrijavanje radnog fluida električnim grijačima.

#### F) Prema načinu kretanja radnog fluida:

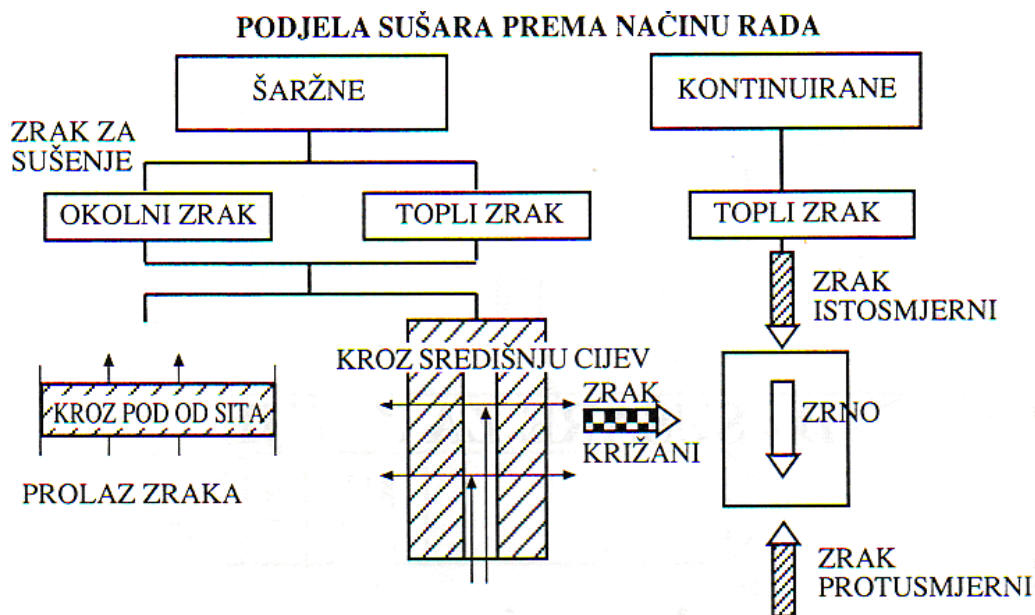
1. Sušare sa prinudnom cirkulacijom ( u svrhu su koriste razni ventilatori koji omogućuju kontrolu strujanja radnog fluida i to: smjer i brzinu i
2. Sušare sa prirodnom cirkulacijom – u sustavu sušenja smjer i brzina kretanja radnog fluida nisu kontrolirani, već ovise o karakteristikama okolnog vjetra (koševi – čardaci).

#### G) Prema pritisku radnog fluida u radnom prostoru:

1. Sušare sa atmosferskim tlakom radnog fluida,
2. Sušare sa predtlakom (nadtlakom) radnog fluida i
3. Sušare sa podtlakom radnog fluida.

#### H) Prema pokretljivosti:

1. Nepokretne sušare i
2. Pokretne (mobilne) sušare



Slika 11. Podjela sušara (Katić, 1997)

Tip i veličinu sušare biramo na osnovu potreba, odnosno prema kapacitetu i mjestu sušenja (slika 11). Gledamo suši li se na jednom mjestu zrno koje se doprema sa udaljenijih mjesta, također treba računati da svu robu treba dopremiti do sušare (troškovi transporta znaju biti skupi). Ukoliko se zrno dovozi sa udaljenijih mjesta na sušenje, a osušeno zrno skladištimo u krugu sušare, odabire se sušara koja je uvijek na tom mjestu. Moguće je sušaru i premješati na mjesto gdje se roba ubire i nakon sušenja ostaje tamo. U tom slučaju je bolja opcija prijevozna sušara. Prijevozne sušare su ograničene veličinom, radi prolaza javnim putovima.

Kapacitet im je naravno ograničen i to na najviše 4-5 t/h sušenja kukuruza sa 32% smanjenja vlažnosti na 14%.

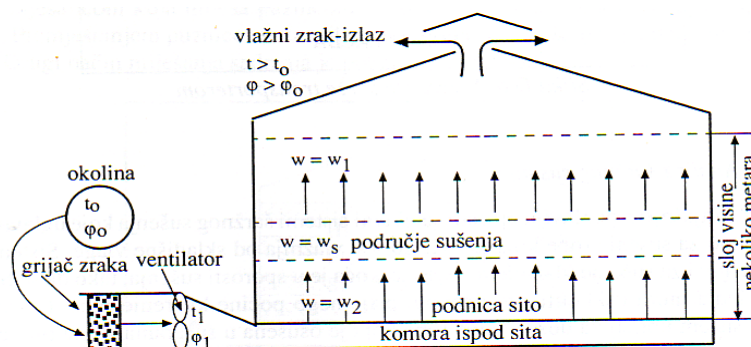
Sušenje zrna može biti sa visokim (90°C do 100°C), povišenim (70°C do 90°C), srednjim (40°C do 70°C) i nižim (0°C do 40°C) temperaturama smjese zraka i dimnih plinova za sušenje.

Sušenje zrna na visokim temperaturama obavlja se uglavnom američkim sušarama, dok sušenje na povišenim temperaturama obavlja se pretežno u gravitacijski-protočnim sušarama. Srednje temperaturne sušare karakteristične su kod šaržnih sušara, dok se nisko temperaturno sušenje obavlja isto u šaržnim sušarama (Brkić, 2006).

Sušare s malim kapacitetom se sve više koriste kod poljoprivrednih proizvođača i onih koji se bave trgovinom sa zrnastim poljoprivrednim materijalom. Razlog je što se smanjuju troškovi sušenja te se na manjim količinama kvalitetno osuši i čuva za prodaju u pogodnom trenutku.

### 2.3.1.1. Šaržne sušare

Samo ime sušare nam govori da je sušenje u šaržnim sušarama sušenje zrna koje se tijekom sušenja ne pokreće. Roba u jednoj šarži ostaje od početka do samog kraja sušenja. Na tržištu imamo različite šaržne sušare, a sušenje je moguće obavljati na više načina. Glavna razlika u načinu sušenja u šaržnim sušarama je u visini sloja koji se suši i načinu kako u sušari postizemo jednolikost vlažnosti osušene robe. Ove sušare nisu financijski skupe, ne zahtijevaju veliko ulaganje, vrlo brzo se otplate, omogućavaju sporiji, ali sigurniji razvoj, a isto tako kvaliteta osušenog materijala nije ugrožena.

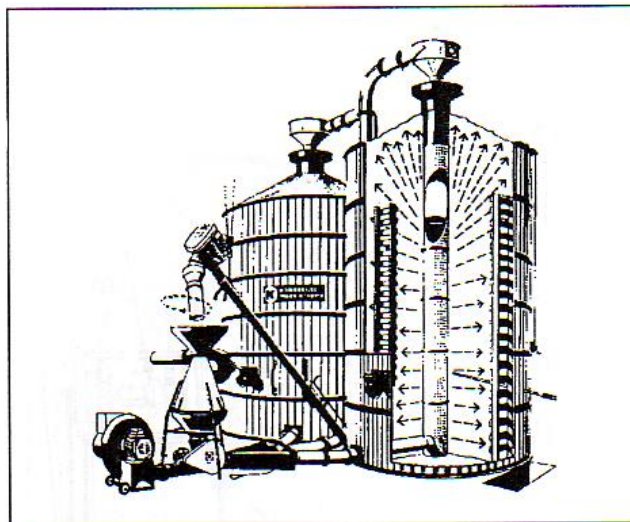


Slika 12. Proces sušenja šaržne sušare (Katić, 1997)

Na slici 12. shematski je prikazan proces sušenja u šaržnoj sušari. Zrak za sušenje prolazi kroz sloj zrna određene visine odozdo prema gore. Vлага prelazi iz zrna u zrak prvo u sloju koji je neposredno uz dno sušare.

Sušenje započinje upravo na tom mjestu u prvom sloju koji leži na situ. Zrak koji dolazi na slijedeći sloj zrna je već preuzeo dio vlage iz prvog sloja, tako da se u drugom sloju još više zasiti vlagom koja prelazi iz zrna na zrak u drugom sloju.

Sušenje je moguće samo do ravnotežne vlažnosti, tj. do izjednačenja parcijalnih tlakova vodene pare u zraku i u zrnu. Sloj osušenog zrna je na dnu uz sito i daljnjim sušenjem vodena para se polagano pomiče prema vrhu sušare. Šaržno sušenje u sušari je sušenje sloja tako da je jedan sloj osušen za jedan dan. Sloj visine 1 – 1,5 m suši se toplim zrakom uz istovremeno miješanje s miješalicom. Zatim se zrno ohladi u sloju do 5°C iznad temperature okoline. Nakon toga se zrno sprema u skladišni silos, a silos za sušenje koristi slijedeći dan. Silos mora imati opremu za brzo pražnjenje (Katić, 1997).



Slika 13. Silos-sušara "Konskilde"(Katić, 1997)

Na slici 13., je silos-sušara tipa "Konskilde". Silos je napravljen od drvenih letava koje su postavljene na razmaku od 2 do 4 cm. Razmak između letava je zatvoren perforiranim limom. Silos se puni zračnim transporterom na vrhu sušare, a pražnjenje sadržaja je na dnu. Podnica je izrađena kao obrnuti lijevak, čime je pražnjenje suhog zrna olakšano. Suho zrno se prije otpreme u skladišta čisti od primjesa koje su laganije od zrna u zračnom pročistaču.(Katić, 1997.).

### 2.3.1.2. Kontinuirane sušare

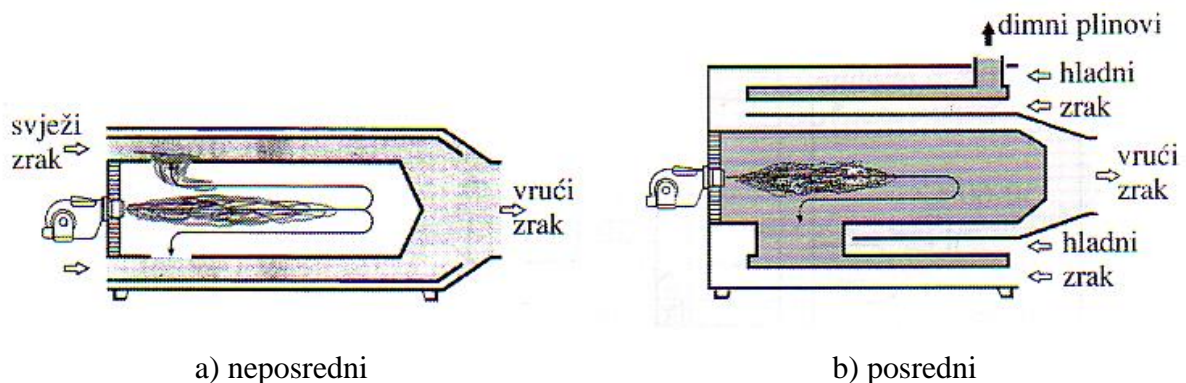
Sušare koje suše zrna u protoku i bez prekida toka materijala (kontinuirano) razlikuju se prema smjeru toka robe koja se suši i zraka kojim se roba suši. To su sušare obično većih kapaciteta, smještene pored velikih ili većih silosa. U kontinuiranim sušarama je smjer kretanja zrna koje se suši uvjetovan gravitacijom ili mehaničkim pokretanjem, a smjer zraka u odnosu smjera kretanja zrna je u istom ili suprotnom smjeru ili ga križa pod pravim kutom.

Zrak i zrna se kreću u istom smjeru u istosmjernoj sušari, a u suprotnim smjerovima u protu smjernoj sušari. Križani smjer sušenja je najčešći način kod sušara za sušenje žitarica (Babić, 2000).

Prema načinu zagrijavanja radnog fluida razlikujemo: neposredne i posredne sušare (slika 14). Neposredne sušare su one u kojima se obavlja direktno zagrijavanje radnog fluida i miješanje s produktima izgaranja plinova dok kod posredne sušare se radni fluid zagrijava indirektno, u izmjenjivaču, a prijelaz topline sa radnog medija na radni fluid prelazi preko metalnih površina (Babić, 2000)

#### *Neposredne sušare*

U neposrednim sušarama prilikom sagorijevanja medija(plina ili loživog ulja) i grijanog zraka izmiješana smjesa ulazi u samu sušaru. Pregrađivanje sušara s posrednog na neposredno grijanje, u prosjeku donosi uštedu 15 do 20% kod novih postrojenja, a 20 do 30% kod starih izvedbi grijača zraka. Ovdje se prvenstveno misli na plinovita goriva koja ne zagađuju robu. Lako loživo ulje može se koristiti ako ne sadrži sumpor. Ukoliko plamenici imaju katalizatore za potpuno izgaranje i ložišta su obložena šamotnim ciglama mogu se koristiti i teška lož ulja ili čak mazut.



Slika 14. Posredni i neposredni grijači zraka(Katić, 1997)

Prilikom paljenja plamenika mora biti omogućeno da dimni plinovi izlaze izvan sušare. Kada se ložište zagrije i plamenik osposobi da radi bez čađenja tek onda je moguće vraćanje vrućih plinova izgaranja u sušaru.

Do danas nije dokazano da takav način sušenja šteti ljudima i životinjama, iako se javljaju mišljenja da takva ispitivanja nisu dovršena. Najveći nedostatak je što zrno može poprimiti miris uslijed lošeg rada plamenika. Mogu se koristiti atmosferski niskotlačni plamenici, koji rade s velikim protokom zraka, tako se smanji mogućnost nepotpunog izgaranja.

#### *Posredne sušare*

Toplinu akumuliranu u zrnu tijekom sušenja moguće je djelomično iskoristiti tako da se zrak koji je služio za hlađenje zrna u zoni hladnjaka ponovo uvodi u sušaru i zagrijava. Toplina nakupljena u 1.000 kg zrna, koje je ugrijano na 70°C, iznosi oko 125 000 kJ. Oko 80%, tj. oko 100 000 kJ ove topline se prenosi na zrak u zoni hlađenja zrna u sušari. Za sušenje 1.000 kg zrna sa 35% vlage na 15%, potrebno je oko 1.370.000 kJ toplinske energije.

Energija iskorištena grijanjem zraka u hladnjaku sušare iznosi oko 7% od ukupne toplinske energije koju dovodimo u sušaru, a ukoliko bi se iskoristila na navedeni način predstavljala bi isto toliko uštedu.

Potpuno iskorištenje ove topline nije moguće recirkulacijom zraka, jer zrak kad izlazi iz sušare odnosi i isparenu vodu. Recirkulacija je moguća samo zrakom koji nije zasićen ili previše obogaćen vodenom parom.

Posredne sušare su takav tip sušare kod kojih se prilikom izgaranja goriva smjesa ne miješa sa zrnom, već posredno preko izmjenjivača topline u kojem se toplina goriva prenosi na zrak preko vrućih stijena izmjenjivača, bez neposrednog dodira zraka i plinova izgaranja goriva. Za smanjivanje potrošnje energije kod sušenja potrebno je što bolje iskoristiti toplinu unesenu u sušaru. Za grijanje zraka je potrebno opremiti dobrim plamenicima za tekuće gorivo kako bi izgaranje sadržavalo ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u dimnim plinovima 12 - 13% (Katić, 1997).

## **2.4. Goriva kao izvor energije kod sušenja**

Energetika se u pravilu nikad ne oslanja na jedan energent, već obično rabi minimum tri energenta kao glavne nositelje potrošnje. Kako je prijelaz od jednog energenta na drugi veoma skup i dugotrajan, nužno je znati buduće energetske alternative.

Prirodni plin je energent za iduće razdoblje od 100 do 200 godina. On danas u svijetu čini oko 25% potrošnje primarne energije, a u nekim zemljama je prešao iznos od 50% (Rusija). Trend rasta uporabe prirodnog plina je 1% do 3% godišnje te se uskoro očekuje da će dostići iznos od 30% svjetskih energetske potrebe za primarnom energijom. Poseban se rast potrošnje očekuje u proizvodnji električne energije (kombi-proces, kogeneracije i mikrogeneracije) te u prometu pomoću gorivih ćelija (Šunić, 2001).

### 2.4.1. Prirodni plin

Prirodni plin je mješavina ugljikovodika proizvedenih iz plinskih ili naftno-plinskih bušotina i to: metana - ( $\text{CH}_4$ ), etana - ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana - ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), butana - ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), pentana - ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) i heksana - ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ).

Navedeni ugljikovodici čine najveći dio sastava proizvedenog zemnog plina, a manji dio drugi ugljikovodici, kemijski elementi i spojevi od kojih su najčešći ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dušik ( $\text{N}_2$ ), sumporvodik ( $\text{H}_2\text{S}$ ) i živa (Hg).

Prirodni plin koji "INA-Naftaplin" isporučuje za tržište je pročišćena, za transport pripremljena smjesa donje ogrjevnosti od 30 MJ do 40,5 MJ po  $\text{m}^3$ , mjereno pri temperaturi od 288,15°K i tlaku od 1,01325 bara, (Topličanec, 2007).

Izgaranjem nazivamo spajanje materije s kisikom uz pojavu plamena. Pri tome se kemijski vezana energija oslobađa iz goriva u obliku topline. Drugim riječima izgaranje je brza egzotermička oksidacija, za razliku od spore oksidacije bez pojave plamena, kao što je npr. korozija. Plinska goriva se mogu javljati kao elementarna (npr. vodik) ili kao smjesa raznih plinova (npr. prirodni plin). Prema tome ogrjevnost će moć smjese ovisiti o njenom sastavu te ogrjevnoj moći komponenata koje se javljaju kod plinskih goriva u javnoj distribuciji. Osim gorivih komponenata pri izgaranju se javljaju i negorive-inertne komponente, kao ugljični dioksid ili dušik. One mogu biti u samom plinu, a dušik se dovodi i sa zrakom za izgaranje. Gustoća dimnih plinova " $\rho_D$ " dobiva se iz gustoće pojedinih sastojaka, a gustoću pojedinih sastojaka prikazuje tablica 3.



Tablica 3. Odnos količine zraka i dimnih plinova, (Strelec, 2001).

PLIN <i>sastav vol %</i> $\frac{vol \%}{100}$			ZRAK		DIMNI PLINOVI				
1	2	3	4	3x4	5	3x5	6	3x6	7
Vodik H <sub>2</sub>	-	-	2,38	-			1	-	
Uglj.monoksid CO	-	-	2,38	-	1	-			
Metan CH <sub>4</sub>	87,82	0,8782	9,52	8,3605	1	0,8782	2	1,7564	
Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5,42	0,0542	16,66	0,9029	2	0,01084	3	0,1626	
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,94	0,0294	23,80	0,6997	3	0,0882	4	0,1176	
Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,52	0,0152	30,95	0,4703	4	0,0608	5	0,076	
Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-	-	38,10	-	5	-	6	-	
Teži ugljkovodici C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	0,89	0,0089	4,76+ +1,19n	0,3389	m	0,0445	n/2	0,0534	
Uglj. dioksid CO <sub>2</sub>	1,09	0,0109			1	0,0109			0,79Σ <sub>3x4</sub> = 8,5101+N <sub>2</sub> =0,0032
dušik N <sub>2</sub>	0,32	0,0032							
Kisik O <sub>2</sub>	-	-	-4,76	-4,76					
	Σ=100	Σ=1,00	Σ <sub>3x4</sub> =10,7723		Σ <sub>3x5</sub> =1,191		Σ <sub>3x6</sub> =2,166		Σ <sub>7</sub> =8,5133

Vidi se iz tablice 3, da će gustoća dimnih plinova biti to veća što je u njima veći sadržaj CO<sub>2</sub>, odnosno to manja što je veći sadržaj H<sub>2</sub>O.

## 2.5. Proračun rada sušara

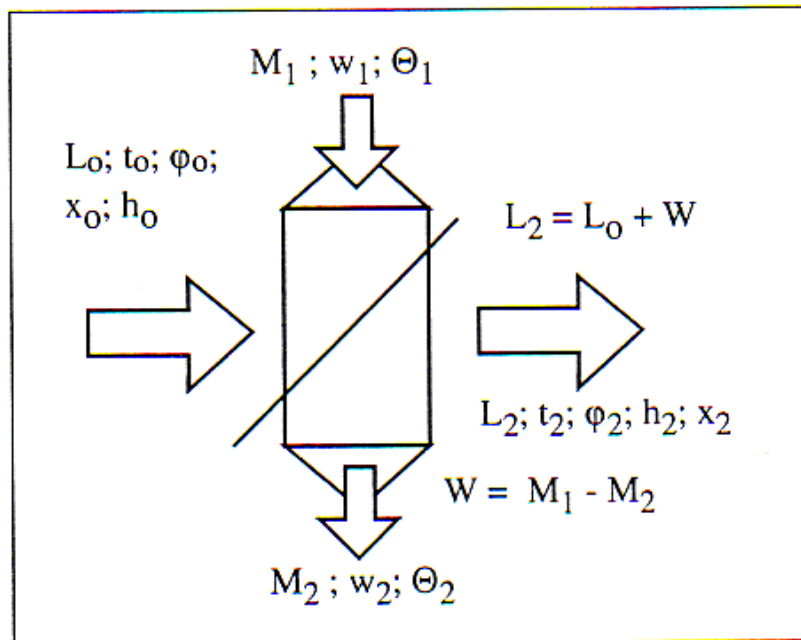
Proračun rada u protočnim sušarama je podijeljen na obračun energije i obračun mase. Energija i masa prilikom ulaza u sušaru moraju biti jednolike i isto tako i na izlazu iz sušare. Na osnovu ovih postavki možemo napraviti proračun sušenja, koji nam je potreban za poznavanje rada sušare. Proračun radimo za jedinicu vremena, najčešće se uzima jedan sat. Prema slici 15., vidimo da u sušaru ulazi:

$M_1$  = masa zrna s vlagom  $w_1$  i temperaturom  $\Theta_1$

$L_0$  = masa zraka s temperaturom  $t_0$ , i relativnom vlagom  $\varphi_0$ .

Zrno i zrak donose i toplinsku energiju koja se očituje temperaturom zrna i zraka. sušenjem zrna iz istoga isparava voda koja je istovjetna razlici mase zrna na ulazu ina izlazu iz sušare:  $M_1 - M_2 = W$ .

Vodu iz sušare odnosi zrak koji je povećao svoju masu za isparenu vodu:  $L_2 = L_0 + W$ . Izrazi u proračunu su isti kao i kod proračuna šaržnih sušara, jedino treba izraze svesti na jedinicu vremena.



Slika 15. Obračun mase i energije(Katić, 1997)

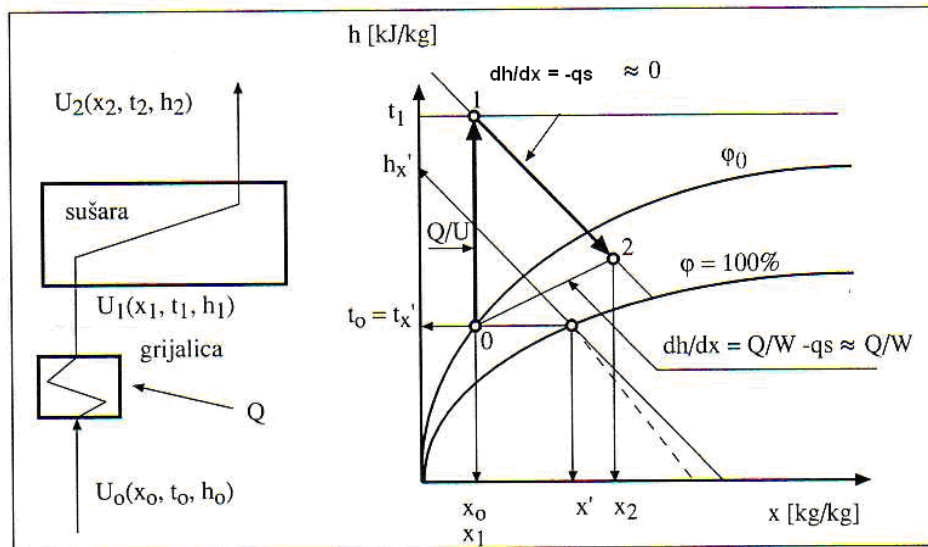
Kod neposrednih sušara, sva energija goriva u sušaru se unosi putem ugrijanog zraka. Kod posredno grijanih sušara imamo izmjenjivač topline u kojemu se toplina goriva zrak preko vrućih stijena izmjenjivača, ez neposrednog dodira zraka i plinova izgaranja goriva.

U procesu sušenja trebamo razlikovati dvije pojave, jedna je ishlapljivanje na površini zrna čime se suši površinski sloj, a druga je da se time stvaraju razlike u vlažnosti zrna i izazivaju prijenos vode iz sredine zrna prema njegovoj površini.

Početno stanje i promjene stanja zraka tijekom procesa sušenja moguće je pratiti u h-x dijagramu, dijagram 1. Sušari se dovodi zrak stanja  $U_0$ . To stanje je određeno parametrima  $x_0$ ;  $t_0$ ; i  $h_0$  (početna stanja u dijagramu, početak sušenja). U gorioniku se zrak grije dovodenjem topline na temperaturu  $t_1$ . Grijanjem zraka ne mijenja se količina vodene pare u zraku, što znači da je prilikom grijanja zraka donošena samo toplinska energija. Ovakvo grijanje nazivamo "neposredno grijanje". Stanje zraka je na ulazu u sušaru  $U_1$ . Kako se u sušaru ne dovodi izvana toplina, a pretpostavlja se da se ista i ne odvodi (zamišljena idealno izolirana sušara), promjena stanja zraka teče od točke 1. u smjeru 2., tako da točke 1. i 2. leže na liniji iste entalpije, tj.  $h_1 = h_2 = \text{konst.}$  (adijabatska promjena stanja). Sveukupna potreba topline, uključujući i onu u predgrijaču zraka, slijedi iz polaznog i konačnog stanja zraka O i 2., a bez obzira na međustanja.

To znači da je spojnica početka sušenja, tj. točke O i kraja sušenja, točka 2, zapravo konačni pravac procesa sušenja. Nagib ove spojnice je ujedno i mjerilo potrebne topline za isparavanje vode iz zrna, dijagram 1. (Katić,1997.)

Dijagram 1. h-x dijagram(Katić, 1997)



Zbog utvrđivanja troškova sušenja u sušari, potrebno je tokom samog sušenja voditi točne podatku o glavnim parametrima sušenja. Moramo znati količinu sirovog i osušenog zrna koji je prošao kroz sušaru, zatim moramo znati vlagu zrna na ulazu i na izlazu iz sušare te potrošnju goriva.

Vaganjem utvrđujemo količinu osušenog zrna koji je prošao kroz sušaru. Ukoliko sušara nema vagu za vaganje suhog zrna, potrebno je vagati zrno na ulazu u sušaru, odnosno potrebno je utvrditi koliko je vlažnog zrna ušlo u sušaru. Takvo vaganje se najčešće obavlja prilikom primanja zrna, tako da se vozilo koje je dovezlo zrno izvažuje zajedno sa zrnom na tzv. kolskoj vagi (slika 16). Ova se odvaga naziva bruto-odvaga i da bi utvrdili stvarnu masu zaprimljenog zrna oduzimamo masu praznog vozila od ukupno izvagane mase. Radi utvrđivanja troškova sušenja u sušari, potrebno je prilikom sušenja voditi točne podatke o glavnim parametrima sušenja. Treba znati količinu sirovog ili osušenog zrna koji je prošao kroz sušaru, zatim vlagu proizvoda na ulazu i na izlazu iz sušare i potrošnju goriva. Utvrđivanje količine osušenog zrna koji je prošao kroz sušaru obavlja se vaganjem. Na slici 17 vidimo monitor od kolske vage gdje očitavamo masu vozila i tereta.



Slika 16. Kolska vaga

(Izvor:slikao autor)



Slika 17. Kolska vaga-monitor

(Izvor:slikao autor)

Ukoliko se zrno u sušaru dovozi više puta istim vozilom, nije potrebno svaki puta vagati prazno vozilo radi utvrđivanja njegove tara-mase, već se masa koju imamo od prvog mjerenja odbija svaki puta prilikom vaganja bruto mase kod obračuna primljenih količina zrna na sušenje. Sljedeći dan ako dođe isto vozilo potrebno je opet jednom odvagati prazno vozilo te svaki sljedeći put toga dana nije potrebno. Kada se sirova roba zaprima potrebno je iz svakog vozila koje je robu dovezlo uzeti prosječan uzorak radi utvrđivanja vlage.

Taj proces se obavlja iz kontrolne kućice u kojoj se nalaze svi uređaji i komande za upravljanje sondom za uzimanje uzoraka zrna (slika 18). Zrno izuzimamo takozvanom sondom ili izuzimačem zrna. Prosječni uzorak se radi savjesno i prema propisima standarda (slika 19).



Slika 18. Kontrolna kućica

(Izvor: slikao autor)



Slika 19. Sonda za uzimanje uzorka zrna

(Izvor: slikao autor)

Vlaga se mjeri električnim vlagomjerom (slika 20). Znamo da laboratorijsko utvrđivanje vlage daje pouzdaniju vrijednost, ali mjerenje vlage električnim vlagomjerom iz nekoliko različitih uzoraka sa istog vozila često daje bolji prosječan rezultat od jednog laboratorijskog mjerenja.



Slika 20. Električni vlagomjer  
(Izvor:slikao autor)

Proračun vlage zrna:

Prosječna vlaga zaprimljenog zrna utvrđuje se iz prosjeka svih izvršenih analiza. U protivnom prosječnu vlagu treba izračunati prema principu ponderirane srednje vrijednosti.

$$w_1 = \frac{w_m}{M_1} \quad \%$$

$w_1$  = srednja ulazna vlaga vlažnog zrna u %

$w_m$  = zbroj umnožaka vlage i neto težine svih zaprimljenih vozila

$M_1$  = ukupna neto zaprimljena količina sirovog zrna kg

Kada su vozila iste neto mase, srednja ulazna vlaga zrna izračuna se prema:

$$w_1 = \frac{w_n}{n} = \frac{(w_1 + w_2 + w_3 \dots w_n)}{n} \quad \%$$

$w_n$  = zbroj vlaga dobivenih analizom uzoraka, u %

$n$  = broj ukupno izvršenih analiza

Ulazna vlaga zrna može se kod kontinuiranih sušara utvrditi i tako da se u jednakim vremenskim razmacima sa sušare uzimaju uzorci uljane repice koja ulazi u sušaru. Ovdje vrijedi pravilo, da je rezultat prosječan samo ako su analize obavljane u istim vremenskim razmacima i ako je protok (kapacitet) kroz sušaru bio konstantan.

Ako se kapacitet mijenja tijekom uzimanja uzoraka, prosječnu vlagu treba odrediti ponderiranjem kapaciteta i rezultata analize. U izrazu se sada za **m** uzimamo satni kapacitet sušare umjesto težine vozila (Katić, 1997).

Vlaga osušenog zrna određuje se na isti način. Ako je sušara kontinuiranog rada, onda se na izlazu iz sušare uzimaju uzorci zrna u istim vremenskim razmacima. Uzorcima se odredi vlaga, a prosjek svih analiza u jednom vremenskom razmaku daje srednju vlagu osušenog proizvoda.

$$w_2 = \frac{w_n}{n} \quad \%$$

w<sub>2</sub>- srednja vlaga osušenog proizvoda, u %

Izlaznu vlagu zrna iz sušare moramo poznavati odnosno izmjeriti jer je izlazna vlaga konačni cilj cijelog procesa sušenja.

Toplinska bilanca sušenja:

Ogrjevna vrijednost goriva, kao i njegova cijena najčešće se izračunavaju u odnosu na masenu jedinicu ili kg, tako da broj koji pokazuje potrošnju goriva u litrama treba pretvoriti u masu ili kg. Mjerenje potrošnje plinovitih goriva je također u volumnim jedinicama, najčešće u m<sup>3</sup>. Za proračun bilance sušare treba izračunati koliko se energije troši za isparavanje 1 kg vode iz proizvoda koji se suši. Izračunati gubitak u masi radi isparavanja vode predstavlja ujedno i težinu ili količinu isparene vode.

Potrošnja energije za isparavanje kg vode je:

$$q = \frac{Q}{W} \quad (\text{kJ/kg}_{\text{isp.vode}})$$

q - specifična potrošnja energije za isparavanje kg vode iz robe koja se suši

Q = ukupna potrošnja energije za sušenje mase u kJ

W = količina isparene vode kg

Ukupnu se utrošenu količinu energije za sušenje izračunamo iz potrošnje goriva i njegove ogrjevnosti vrijednosti:

$$Q = G \cdot H_1 \quad (\text{kJ})$$

Q = ukupno utrošena količina energije u kJ

G = količina goriva u kg ili Nm<sup>3</sup>, je li gorivo tekuće ili plinovito.

H<sub>1</sub> = ogrjevna moć goriva kJ/kg

Sve vrijednosti se mogu izračunati za satnu potrošnju ili za ukupno osušeni proizvod. Kada se izračunava za satnu potrošnju, dobije se obračun prema kapacitetu sušare, dok se u slučaju ukupnog obračuna, dobije za cijeli prosjek sušenja (Katić, 1985).

### 3. DORADA I SUŠENJE U SILOSU PIK VINKOVCI

PIK Vinkovci u svom kompleksu ima tri sušare. Sušara „LAW SBC 25 LE“ u kojoj se suše žitarice: ječam, pšenica, zob itd. Druga sušara je proizvođača „GOLDSAAT“ tip GKTM19000 izgrađena 1974. Godine. Ona služi sa sušenje sjemenske robe. Treća sušara u kojoj se suši uljana repica je marke „KONČAR“ izgrađena 1970. Sušara se nalazi unutar zgrade kako se u to doba radilo (slika 21). Proteže se kroz 9 katova zgrade što joj daje visinu od oko 30 metara te završava u podrumu. Sama sušara ima čeličnu konstrukciju, kako se nalazi unutar zgrade u potpunosti je zaštićena i natkrivena.



Slika 21. Zgrada u kojoj se nalazi sušara „KONČAR“

(Izvor:slikao autor)

#### 3.1. Dorada zrna

Roba kada prođe vaganje i mjerenje vlage, sipa se u prijemni bunker kroz koji zrno dolazi do lančanih transportera, te robu transportira gdje je potrebno u silosne čelije ili na vrh sušare gdje se ista i puni ukoliko je zrno potrebno sušenje (slika 22).





Slika 22. Mehanizirani koš sa kipom  
(Izvor:slikao autor)

Kompletna linija za prijem zrna je samostalna radna cjelina. Prijem robe obavlja se na usipnom mehaniziranom košu dužine 20m i širine 3m, uz njega se nalaze prijemni bunker i širine 2m i dužine 4m. Prijemni bunker je pokriven rešetkom otvora 40x70 mm, izrađenom od čelika. Kip platforma izrađena je od čelične konstrukcije i čeličnih ploča. Kip platforma služi za kamione ili traktore koji nemaju mogućnost bočnog kipanja. Na dnu koša se nalazi lančani transporter aktivne dužine 20 m, kapaciteta 30 t/h. Lančanim transporterom zrno se transportira prema elevatoru. Ovisno o vrsti zrna ono se transportira: suho zrno preko pročištača ili neposredno u silose ako je pročišćeno i vlažno zrno na pročištač u sušaru.

Zrno se prema tehnološkoj shemi može čistiti u prijemu i u otpremi što ovisi o odluci tehnologa, odnosno o kvaliteti zrna koje se prima i količini primjesa u zrnju. Nečistoće se nakon grubog čišćenja sakupljaju u vreće u kućici pročištača te deponiraju na deponij krupnog otpada, dok se fine nečistoće nakon izlaznog čišćenja (u kojima ima loma zrna i prašine nastale brušenjem zrna u transportu) koriste za krmnu smjesu.

Strojarnica se nalazi na prvom katu u zgradi, odakle sve kreće. U toj sobi se nalazi komandni pult za upravljanje svim transporterima, mlinovima i sušarom koji se nalaze u zgradi (slika 23).



Slika 26. Izgled komandnog pulta(Izvor: slikao autor)

Na prvom katu u zgradi se nalaze dva velika ventilatora koji upuhuju topao zrak u sušaru. Čelični rotor direktno je spojen sa elektromotorom, kako bi se izbjegli gubici energije u transmisiji. Red lopatica statora, koje su smještene ispred rotora usmjeravaju struju zraka na oštrice lopatica rotora. Na taj način povećava se dinamički pritisak - napor ventilatora, odnosno stupanj korisnog djelovanja ventilatora. Posebna specifičnost konstrukcije ventilatora je prilično veliki promjer rotora, odnosno ventilatora. Ovakav ventilator može proizvesti dovoljan pritisak pomoću 6- polnog elektromotora (približno 960 o/min) koji se koristi, a da je pri tome smanjena buka (slika 24).

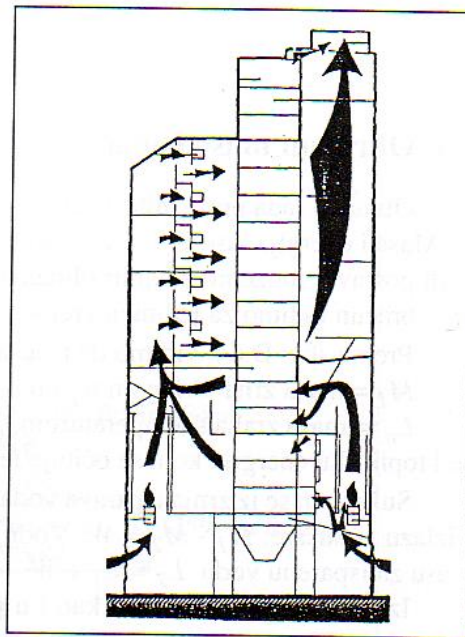


Slika 24. Ventilator (Izvor: slikao autor)

Materijal (zrno) se spušta gravitacijski kroz sušaru te prolazi između krovica koji su poredani u sušari. Zrno se pri tome kreće „cik-cak“ uz neprestano miješanje. Krovici su napravljeni tako da omogućuju jednoliko spuštanje zrna po cijelom presjeku sušare. U prvoj zoni sušenja materijal je izložen toplijem zraku i tu se otpušta veći dio vlage iz materijala. Između prve i druge zone sušenja materijal prolazi kroz opuštajuću zonu, gdje nije izložen nikakvom

strujanju zraka. Vlaga u tom dijelu iz središta zrna prelazi ka omotaču, stvarajući uvijete za lakše sušenje u sljedećoj, drugoj zoni sušenja. U drugoj zoni sušenja se otpušta ostatak vlage sve dok se ne postigne krajnja potrebna vlažnost materijala.

Kretanje zraka je izazvano pomoću dva ventilatora smještenim u donjem dijelu sušare (slika 25). Tijekom sušenja iz sušare ventilatori izbace s otpadnim zrakom između 0,8 do 1,5% pljeve i prašine iz mase zrna. Uz kroviće za zrak kojim se zrno suši, sušare imaju i ugrađene plohe za grijanje zrna (radijatore). Otpadni zrak je čišćen pomoću ciklonskih odvajala.



Slika 25. Sušara "Končar" s recirkulacijom zraka unutar sušare

(Izvor: PIK Vinkovci)

Sušara je u podtlaku (tlak manji od vanjskog) i iskorišteni zrak je usisan lako i direktno ventilatorima. Zbog toga nema rasipanja prašine u radnom prostoru. Ako gledamo sušaru tijekom rada možemo vidjeti da emisija prašine najveća kada se zrno kreće u njoj. Ako se zrno ne kreće emisija prašine je vrlo mala.

Samo tijekom ispuštanja može se uočiti emisija prašine. Nekoliko desetaka sekundi prije ispuštanja materijala sve žaluzine se zatvaraju, tako je kretanje zraka kompletno blokirano. Nekoliko sekundi nakon ispuštanja materijala, kada je prestalo kretanje materijala, žaluzine se postupno otvaraju. Upravljački uređaj osigurava regulaciju kretanja i trajanja zatvaranja svake žaluzine.

Emisija prašine u okolinu uzrokovana je prolaskom zraka kroz materijal. Zrak za sušenje odnosi lakše čestice iz materijala (pljevice i prašina). Logično je, ako je brzina zraka veća, to je i količina emisije prašine veća.

Na samom vrhu odnosno na 9. Katu sušara se puni sa zrnom koje se dobavlja lančanim transporterima (slika 26). Sušara se puni na način da lančani transporter dobavlja zrno na sami vrh te putem cijevi zrno dolazi u sušaru (slika 27).



Slika 26. Lančani transporter  
(Izvor: slikao autor)



Slika 27. Cijev koja spaja transporter i sušaru  
(Izvor: slikao autor)

U unutrašnjosti sušare nalaze se krovčići između kojih zrno pada „cik-cak“ kada krene proces sušenja. Ova sušara se grije indirektno, na principu „radijatora“. Para se putem parovoda dobavlja u sušaru, odnosno u grijača tijela (slika 28). Unutar sušare se nalaze grijača tijela kroz koje prolazi para (slika 29). Na taj način se grijača tijela ugriju na potrebnu temperaturu i zrno koje prolazi između grijačnih tijela gubi vlagu odnosno vodu zbog visoke temperature.



Slika 28. Parovod  
(Izvor: slikao autor)



Slika 29. Grijača tijela  
(Izvor: slikao autor)

Na trećem katu sušare nalaze se tzv. zaustave za otpad (slika 30). U svakoj robi odnosno zrnu nalaze se primjese. Ove zaustave služe za odvajanje primjese da na završetku samog sušenja ostane čisto zrno. Nečistoće završavaju u vrećama koje su predviđene za to (slika 31).



Slika 30. Zaustava za nečistoće

(Izvor: slikao autor)



Slika 31. Skupljanje nečistoća

(Izvor: slikao autor)

Pomoću lančanog transporterera zrno se doprema do razdjelnika (slika 32). Na tom razdjelniku se raspoređuje zrno po silosnim ćelijama, skladištima ili natrag u sušaru (slika 33). Ukoliko je vlaga nakon sušenja uljane repice veća od 9% onda ponavljamo ciklus i zrno mora još jednom proći kroz sušaru.



Slika 32. Lančani transporter

(Izvor: slikao autor)



Slika 33. Razdjelnik za daljnji transport

(Izvor: slikao autor)

Mjerenje tlaka u sušari utvrđujemo na manometru, gdje možemo kontrolirati tlak u sustavu (slika 34 i 35). Ovisno o ulaznoj vlazi uljane repice u sušaru, tu podešavamo tlak koji najčešće bude 0,8 bara da bi se vlaga uljane repice spustila na traženu.



Slika 34. Manometar  
(Izvor: slikao autor)



Slika 35. Regulacija tlaka  
(Izvor: slikao autor)

Nedaleko od sušare nalazi se kotlovnica. U njoj se nalaze kotlovi koji proizvode paru (slika 36). Kotlovnica je prije nekoliko godina renovirana te se kao goriva tvar koristi plin.

Prije renoviranja kotlovnica je radila na mazut. U kotlovnici se nalaze tri kotla proizvođača „ĐURO ĐAKOVIĆ“ tip 500. Proizvode 500 tona pare na sat, temperature oko 130°C . U kotao se dobavlja omekšana voda u koju se ubacuje sol da se ne bi stvarao kamenac.



Slika 36. Kotao  
(Izvor: slikao autor)

#### 4. MATERIJAL I METODE

Istraživanje je provedeno na indirektnoj sušari na paru " KONČAR " koja koristi zemni plin za zagrijavanje medija sušenja. Za izračun kapaciteta rada sušare te energetske potrošnje potrebno je obaviti slijedeća mjerenja: vlage i temperature zrna na ulazu u sušaru, vlage i temperature zrna na izlazu iz sušare, količine protoka zraka kroz sušaru u jedinici vremena, količinske potrošnje energenta, temperature i relativne vlage zraka prije plamenika i na ulazu u zonu sušenja, temperature i relativne vlage zraka na izlasku iz zone sušenja. Na osnovu dobivenih mjernih veličina utvrđene su pomoću Mollier-ovog "h-x" dijagrama promjene stanja zraka tijekom procesa sušenja i potrebna toplina za isparavanje vode iz zrna. Svi dobiveni rezultati bit će tablično i grafički prikazani te statistički obrađeni.

U silosu PIK Vinkovci, je postavljena gore navedena sušara koja koristi kao energent zemni plin. Ukupna količina uljane repice (vlažnosti veće od 9%) koja dođe na sušenje, evidentirala se prilikom vaganja na kolskoj vagi. Uzimanjem uzoraka iz svake prikolice utvrđivalo se stanje vlažnosti ječma pomoću elektronskog vlagomjera tipa "GAC 2100". Osušena uljana repica iz sušare ide na izuzimač gdje se jedan ciklus računa jedan okret letve izuzimača s jednog kraja na drugi. Kroz otvor za kontrolu, uzima se uzorak uljane repice, kojim se izuzima osušena uljana repica po ciklusima te vaganjem uzorka dobije se količina osušene uljane repice.

Uređaj za izuzimanje zrna ima zadatak ispuštanja velike količine zrna u vrlo kratkom vremenu (slika 37). Na kraju (dnu) sušare materijal direktno prolazi kroz paralelne otvore.

Pomoću kotača otvaramo i zatvaramo protok zrna.

Radi se na način da se zavrtnanjem odnosno odvrtnanjem podiže i spušta tzv. izuzimač i na taj način propušta zrno. Što više spustimo nastat će veći otvor te će prolaziti više zrna. Pomoću toga vršimo regulaciju protoka zrna.



Slika 37. Regulacija protoka zrna

(Izvor: slikao autor)

Vaganjem osušene uljane repice iz sušare, te izračunom rada izuzimača i vremenu protoka zrna dobit će se masa uljane repice u jedinici vremena (t/h).

Sušara kao energent koristi zemni plin, ima ugrađeno digitalno brojilo za mjerenje protoka medija koje registrira potrošnju u kubičnim metrima i očitanjem brojila utvrđuje se količina utrošenog energenta u sezoni sušenja što pokazuje (slika 38).



Slika 38. Digitalno brojilo za plin

(Izvor: slikao autor)



## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 5.1. Količina protoka zrna uljane repice i količina protoka zraka u sušari

Količinu protoka zrna uljane repice kroz sušaru određuje više parametara, a jedan od njih je i sam rad izuzimača. Dana 29. lipnja 2020. godine u Silosu PIK Vinkovci uzimanjem odvaga uljane repice u jednoj minuti na izuzimaču, utvrdio sam (u deset odvaga) prosjek od 14,55 kg osušene uljane repice. Daljnjim izračunom dobio sam količinu protoka zrna uljane repice, u vremenskom periodu od jednog sata na ukupno 28 kolona i ono iznosi 24,444 tone osušene uljane repice (tablica 4).

Tablica 4. Srednja vrijednost odvaga zrna uljane repice u „Silosu PIK Vinkovci“

BROJ UZORAKA	VRIJEME RADA IZUZIMAČA rad + pauza (60 min)	KOLIČINA UZORKA (kg)
10	ispod 1 kolone/1 min	prosjek 14,55
<b>prosjek (t/h)</b>		<b>24,444</b>

U tablici 5. proračunski utvrđene srednje vrijednosti količine protoka zraka od 60.258 kg<sub>zraka</sub>/h koje proizvode dva donja aksijalna ventilatora. Što znači da jedan ventilator upuhuje 30,258 kg<sub>zraka</sub>/h.

Tablica 5. Količina protoka zraka u silosu PIK Vinkovci

BROJ UZORAKA	KOLIČINA ZRAKA (kg/h) prosjek:
5	60.258

### 5.2. Vlaga i temperatura zrna uljane repice na izlazu iz sušare „KONČAR“

Tablica 6. pokazuje rezultate mjerenja izlazne vlage i temperature uljane repice nakon procesa sušenja (10 mjerenja). Iz tablice se može vidjeti da je prosječna vlaga nakon sušenja bila oko 6,5% te da su izlazne temperature varirale između 44°C i 46°C što nam je bilo zadovoljavajuće te smo na osnovu tih parametara završili proces sušenja.

Tablica 6. Vrijednosti vlage i temperature uljane repice prije i nakon sušenja

Redni broj	Vlaga (%) zrna uljane repice prije sušenja	Vlaga (%) zrna uljane repice nakon sušenja	Temperatura zrna uljane repice (°C)
1.	11,2	6,8	44,8
2.	12,5	7,1	45,1
3.	10,5	5,8	45,2
4.	11,6	6,5	45,3
5.	12,8	7,3	45,9
6.	11,7	6,3	45,3
7.	11,1	5,9	44,7
8.	12,4	7,4	45,4
9.	10,8	5,5	44,7
10.	10,9	6,9	45,6

### 5.3. h-x dijagram rada sušare „KONČAR“

Na osnovu provedenog istraživanja rezultata iz točke 5.1. dana 29. lipnja 2020. godine napravljen je proračun rada sušare "KONČAR". Temperature su mjerene pomoću termometara koji su postavljeni na sušari u određenim zonama sušenja. Tijekom mjerenja temperatura okoline iznosila je 26°C, a relativna vlaga iznosila je 44 %. Vlažnost zrna uljane repice na ulazu u sušaru iznosila je  $w_1 = 11$  % uz temperaturu zrna od 24°C, a nakon sušenja prije zone hlađenja vlaga zrna  $w_3 = 7,4$  % i temperatura  $\theta_3 = 48$ °C. Prolaskom zrna kroz zonu hlađenja vlažnost zrna je 6,7% a temperatura zrna pala je na 39°C.

Zaprimanjem zrna u sušaru, vaganjem na kolskoj vagi, te uzimanjem uzoraka vlažne uljane repice na ulasku, i suhe uljane repice na izlasku iz sušare (što je prikazano u tablici 6), svaki uzorak je izvagan, te izmjerena količina vlage na ulazu i izlazu iz sušare i utvrđena količina isparene vode. U sezoni sušenja utvrđena je količina 66.862,89 kg isparene vode od ukupne količine 704000 kg zaprimljene vlažne uljane repice. Prosječna vlaga na ulazu u sušaru iznosila je 11,5 %, a na izlazu iz sušare prosječna vlaga iznosila je 6,5 %.

Evidentiranjem stanja brojila prije početka sušenja i očitanjem nakon sušenja, utvrđeno je stanje od 24.669 m<sup>3</sup>. Priključak plina je obavljen samo za sušaru te očitanjem plinskog brojila se dobije točna količina utrošenog zemnog plina.

Zrak

zrno

$$t_o = 26^{\circ}\text{C temp. okoline} \quad \theta_u = 24^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi_o = 44 \% \text{ rel. vlažnost} \quad w_1 = 11 \%$$

$$t_1 = 80^{\circ}\text{C} \quad w_3 = 7,6 \%$$

$$L_o = 60.258 \text{ kg/h} \quad \theta_t = 40^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 50^{\circ}\text{C} \quad w_4 = 6,7$$

$$\varphi_2 = 54 \% \text{ rel. vlaž. zraka} \quad t_4 = 33^{\circ}\text{C}$$

Simboli:

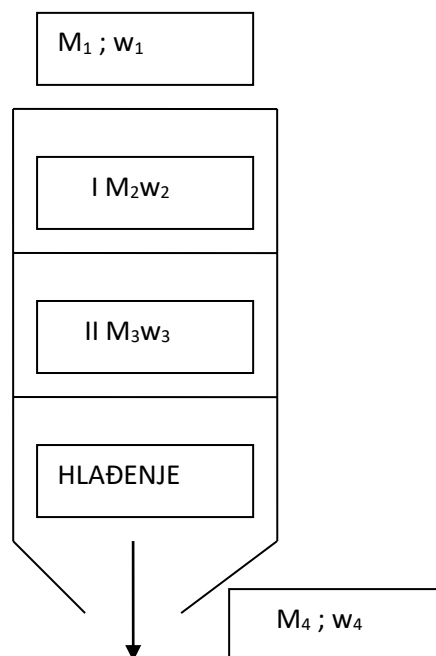
t temperatura zraka

$\varphi$  relativna vlaga

L količina zraka

$\theta$  temperatura zraka

H<sub>d</sub> donja ogrijevna vrijednost



Plin  $H_d = 35.795 \text{ kJ/m}^3$

Razlika temperature zraka za sušenje

$$\Delta t = t_1 - t_0 = 80^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = 54^\circ\text{C}$$

1.1. Razlika entalpija za suhi zrak (suhi zrak = smjesa plinova bez vodene pare)

$$\Delta h = C_p \cdot \Delta t = 1,005 \cdot 54 = 54 \text{ kJ/kg}_{\text{SZ}}$$

Okolina

$$t_0 = 26^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 44\%$$

a) sadržaj vode u zraku

$$x_0 = 9,5 \text{ g/kg} = 0,0095 \text{ kg/kg}$$

b) entalpija zraka

$$h_0 = t_0 + X_0 \cdot (2.500 + 1,93 \cdot t_0)$$

$$h = h_{\text{SZ}} + X_d h_d$$

$$h_0 = 26 + 0,0095 \cdot (2.500 + 1,93 \cdot 20)$$

$$h = C_{\text{pZ}} \cdot t_0 + X_0 \cdot (C_{\text{pd}} \cdot t_0 + r_0)$$

$$h_0 = 50,1167 \text{ kJ/kg}$$

$$r_0 = 2.500 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{\text{pd}} = 1,93 \text{ kJ/kg}$$

c) gustoća zraka

$$\zeta_0 = \frac{1}{V_{\text{okol}}}$$

$$V = \frac{V_o}{273,15} \cdot T = \frac{0,773}{273,15} \cdot 282,15 = 0,798 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\zeta = \frac{1}{0,798} = 1,253 \text{ kg/m}^3$$

Količina suštog zraka

$$Z = L / (1 + x_{iz}) = 60.258 / (1 + 0,0305) = 58474,5 \text{ kg/h}$$

$$Q_g = Z \cdot \Delta h = 58474,5 \cdot 54 = 3157,5 \text{ kJ/h}$$

$$G_{\text{gor}} = Q_g / H_d = 3157,6 / 35795 = 88,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$G_{\text{gor}} = 0,59 \text{ kg/m}^3 \cdot 88,2 = 52,04 \text{ kg/h}$$

Mollier-ov h-x dijagram za dio do zone recirkulacije i hlađenja

TOČKA "0"

$$h_o = 50,00 \text{ kJ/kg}$$

$$t_o = 26^\circ\text{C}$$

$$\varphi_o = 44\%$$

$$x_o = 9,5 \text{ g/kg}$$

TOČKA "1"

$$\text{-indirektna sušara } t_1 = 80^\circ\text{C}; \quad x_1' = x_o$$

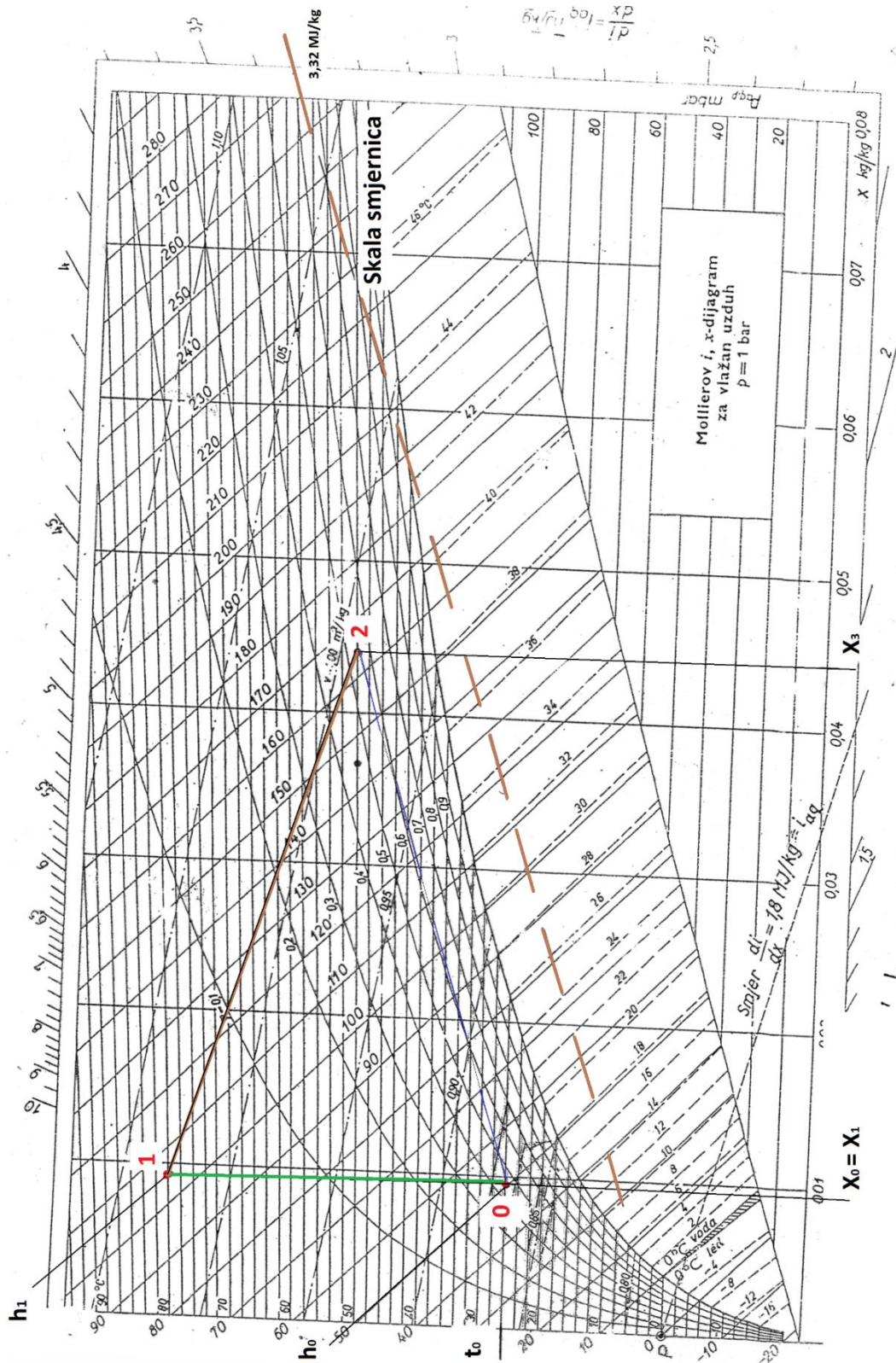
$$\text{Očitano } h_1 = 105 \text{ kJ/kg}$$

TOČKA "2" (prije zone hlađenja)

$$t_3 = 50^\circ\text{C} \quad \varphi_3 = 54\% \quad x_3 = 44,5 \text{ g/kg}$$

Skala smjernica:  $q_{hi} = 3\,320 \text{ kJ/kg}$  ispr. vode

Dijagram 2. Mollier-ov h-x dijagram sušenja u sušari „KONČAR“



## 6.RASPRAVA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

### 6.1.Protoka zrna uljane repice i količine protoka zraka u sušari

Usporede li se dobiveni rezultati tablica 7. količine protoka zrna sa deklaracijom sušare uz redukciju vlage sa 11% na 6,5%, može se utvrditi da su isti približno jednaki deklariranim. U tablici 9. proračunski utvrđene srednje vrijednosti količine protoka zraka 60.258 kg<sub>zraka</sub>/h od koje proizvode dva donja aksijalna ventilatora.

### 6.2. Vlage i temperature zrna uljane repice na izlazu iz sušare „KONČAR“

Iz tablice 8. se može vidjeti da je prosječna vlaga uljane repice nakon sušenja bila ok 6,5% te da su izlazne temperature varirale između 32°C i 34°C što nam je bilo zadovoljavajuće te smo na osnovu tih parametara završili proces sušenja.

### 6.3. Potrošnja energije i h-x dijagram rada sušare „KONČAR“

Na osnovu provedenog istraživanja rezultata iz točke 5.1. dana 29. lipnja 2020. godine napravljen je proračun rada sušare i prikazan pomoću Mollier-ovog „h-x“ dijagrama.

Iz Mollier-ovog „h-x,, dijagrama vidljiva je promjena stanja vlažnog zraka koji prolazi kroz sušaru. Ulazom zraka u sušaru sadržaj vode u zraku je  $x_0 = 9,5 \text{ g/kg}_{\text{suhog zraka}}$  i sadržaj energije  $h_0 = 50,12 \text{ kJ/kg}$ . U zoni sušenja zagrijani zrak sadrži količinu vode od  $x_1 = x_0$  s energijom  $h_1 =$ . Izlaskom zraka iz zone sušenja s temperaturom  $t_3$  zrak dolazi u stanje 3. Iz razlike konačnog i početnog stanja zraka  $\Delta x = x_3 - x_1 = 35 \text{ g/kg}_{\text{suhog zraka}}$  saznajemo koliko je zrak na sebe primio vode u doticaju sa zrnom. Spajanjem točke 0. i točke 3. dobivena je skala smjernica  $q_{hi} = 3320 \text{ kJ/kg}_{\text{isp. vode}}$  za gornji dio sušare. Možemo zaključiti da je sušara dobro podešena.

Želimo li prikazati cijenu sušenja 1 kg isparene vode, istu ćemo dobiti iz jednadže uz cijenu ( $1 \text{ m}^3$  zemnog plina = 5,10 kuna sa PDV-om).

$$3320 \text{ kJ /kg} : 35795 \text{ kJ/m}^3 = 0,092 \text{ m}^3 / \text{kg}_{\text{isp. vode}} \times 5,10 \text{ kn} = 0,47 \text{ kn/kg}_{\text{isp.vode}}$$

Provedenim ispitivanjima sušara na zemni plin utvrđena je dobra energetska učinkovitost sušare, što se vidi iz dobivenih rezultata, a takve sušare su ekonomične i pouzdane. Dobiveni rezultati specifične potrošnje goriva provedeni na sušari „KONČAR“ su u skladu sa rezultatima koje navodi proizvođač.

## 7. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih istraživanja sušenjem zrna uljane repice u sezoni 2020. godine na sušari „KONČAR“ u PIK-u Vinkovci koja kao energent koristi zemni plin, mogu se izvesti slijedeći zaključci:

1. Na sušari „KONČAR“ koja koristi kao energent zemni plin, uz pomoć h-x dijagrama dobivena je energetska potrošnja 3320 kJ/kg isparene vode, pa možemo zaključiti da je sušara toga dana bila dobro podešena.
2. Kako je u pogon PIK-a Vinkovci temperatura osušene uljane repice ( $w_2$  do 7,4%) 33°C, predlažem da se uljana repica te vlažnosti u noćnim satima primjenom uređaja za rashlađivanje zraka (GRANIFRIGO) hlade jer su noćne temperature bile do 20°C.
3. Cijena sušenja za kilogram isparene vode kod sušare „KONČAR“ iznosi 0,47 kune po kg isparene vode.



## 8. LITERATURA

1. Alimpić, M.(1985): Uređaji za sušenje i skladištenje, Interna skripta, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
2. Brkić, D., Vujčić, M., Šumanovac, L., Lukač, P., Kiš, D., Jurić, T., Knežević, D. (2005): Eksploatacija poljoprivrednih strojeva, Osijek.
3. Brkić, M., Babić, Ljiljana, (1978): Praktikum iz uređaja za sušenje i skladištenje poljoprivrednih proizvoda, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
4. Gagro, M., (1997): Žitarice i zrnate mahunarke, Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb
5. Katić, Z. (1987): Korištenje korelacije za ocjenu podataka pri mjerenju sušare, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice, 90 – 108.
6. Katić, Z., (1982): Industrijska proizvodnja krmnih smjesa, Skripta za postdiplomski studij, Fakultet poljoprivrednih zanosti, Zagreb.
7. Krička, Tajana., (1993): Utjecaj perforiranja zrna kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, Doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
8. Ritz, J., (1978): Osnovi uskladištenja ratarskih proizvoda, Liber, Zagreb.
9. Strelec, (2001): Strojarski priručnik, 6. Izdanje, Energetika marketing, Zagreb.
10. Šunić, M., (2001): Regulatori tlaka plina i regulacijske stanice, Energetika marketing, Zagreb.
11. Topličanec, B., Buljak, V., (2007): Plinski uređaji u praksi, Projektiranje, izvođenje i održavanje, Tipomat, Zagreb.
12. Ujević, A., (1988): Tehnologija dorade i čuvanja sjemena, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
13. ... (2020): [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr).
14. ... (2019.): [www. Fao.org](http://www.Fao.org)
15. <https://www.pik-vinkovci.hr/>)
16. <https://en.wikipedia.org/wiki/Rapeseed>
17. <http://www.pisvojvodina.com>

## 9. SAŽETAK

U radu je ispitana indirektna sušara na paru koja koristi zemni plin kao energent. Ciljevi ovoga rada bili su: 1. utvrditi energetske potrošnje sušare pri sušenju uljane repice 2. izmjeriti temperature zrna na ulazu u sušaru, tijekom sušenja i na izlazu iz sušare radi utvrđivanja oštećenja zrna unutrašnjim naprezanjem;

Istraživanje je provedeno na sušari „KONČAR“, tijekom sezone sušenja 2020. godine.

Za izračun kapaciteta rada sušare te energetske potrošnje sušare izvršena su mjerenja vlage i temperature zrna na ulazu u sušaru, vlage i temperature zrna na izlazu iz sušare, količine protoka pare kroz sušaru u jedinici vremena za gornji dio sušare, temperature i relativne vlage zraka prije grijača, na ulazu i izlazu iz gornje zone sušenja.

Analizom uzorka osušene uljane repice nije uočen povećani postotak loma nakon sušenja što ukazuje i na dobar protok zrna kroz istu (nema čepova zadržavanja) i temperature zraka indirektnim sušenjem.

Upotreba sušare „KONČAR“ za velika poljoprivredna poduzeća u kojima završava i roba lokalnih obiteljskih gospodarstava, opravdava se kroz isplativost s obzirom na njenu iskoristivost i specifičnu potrošnju goriva i mogućnost iskorištenja energenta zemnog plina što je u današnjem vremenu sa stanovništvom ekologije sve više prihvatljivo.

Ključne riječi: uljana repica, sušenje, energetske vrijednosti

## 10. SUMMARY

This thesis examines an indirect steam dryer that uses natural gas as an energy source. The main objectives of this work were: 1. To determine the energy consumption of the dryer when drying oilseed rape, 2. Measure the grain temperatures at the inlet of the dryer, during drying and at the outlet of the dryer to determine the damage of the grain by the internal stress.

The research was conducted at the „KONČAR“ dryer during the 2020 drying season. To calculate the drying capacity and energy consumption of the dryer, measurements of humidity and grain temperature at the inlet of the dryer, humidity and grain temperature at the outlet of the dryer, the amount of steam flow through the dryer, per time unit or the upper part of the dryer, temperature and relative humidity before the heater, at the entrance and exit of the upper drying zone.

The analysis of the sample of dried oilseed rape did not show an increased percentage of fracture after drying, which indicates a good flow of grain through it (no retention plugs) and air temperature by indirect drying.

The use of the „KONČAR“ dryer for large agricultural enterprises, where the goods of local family farms also end up, is justified through cost-effectiveness given its efficiency and specific fuel consumption and the possibility of using natural gas, which is increasingly acceptable to the population today.

Key words: oilseed rape, drying, energy values

## 11. POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnički podaci silosa PIK Vinkovci

Tablica 2. Očekivanje prinosa ovisno o vremenu sjetve

Tablica 3. Odnos količine zraka i dimnih plinova, (Strelec, 2001).

Tablica 4. Srednja vrijednost odvaga zrna uljane repice u „Silosu PIK Vinkovci“

Tablica 5. Količina protoka zraka u silosu PIK Vinkovci

Tablica 6. Vrijednosti vlage i temperature ječma nakon sušenja

## 12. POPIS SLIKA

Slika 1. Logo dioničarskog društva PIK Vinkovci d.o.o.

Slika 2. Uljana repica (*Brassica napus* subsp. *oleifera*)

Slika 3. Korijen uljane repice (Izvor: <http://www.pisvojvodina.com/>)

Slika 4. Stabljika uljane repice (Izvor: <http://www.kws.hr/>)

Slika 5. Listovi uljane repice (Izvor: <http://www.agro.basf.hr/>)

Slika 6. Sjeme repice (Izvor: <http://www.agroportal.hr/>)

Slika 7. Struktura prinosa uljane repice

Slika 8. Zrele komuške

Slika 9. Žetva uljane repice (Izvor: slikao autor)

Slika 10. Stol za uljanu repicu s bočnim kosama

Slika 11. Podjela sušara (Katić, 1997)

Slika 12. Proces sušenja šaržne sušare

Slika 13. Silos-sušara "Konskilde"

Slika 14. Posredni i neposredni grijači zraka

Slika 15. Obračun mase i energije

Slika 16. Kolska vaga

Slika 17. Kolska vaga-monitor

Slika 18. Kontrolna kućica

Slika 19. Sonda za uzimanje uzorka zrna

Slika 20. Električni vlagomjer

Slika 21. Zgrada u kojoj se nalazi sušara

Slika 22. Mehanizirani koš sa kipom

Slika 23. Izgled komandnog pulta

Slika 24. Ventilator

Slika 25. Sušara "Končar" s recirkulacijom zraka unutar sušare

Slika 26. Lančani transporter

Slika 27. Cijev koja spaja transporter i sušaru

Slika 28. Parovod

Slika 29. Grijača tijela

Slika 30. Zaustava za nečistoće

Slika 31. Skupljanje nečistoća

Slika 32. Lančani transporter

Slika 33. Razdjelnik za daljnji transport

Slika 34. Manometar

Slika 35. Regulacija tlaka

Slika 36. Kotao

Slika 37. Regulacija protoka zrna

Slika 38. Digitalno brojilo za plin

### **13. POPIS DIJAGRAMA**

Dijagram 1. h-x dijagram

Dijagram 2. Mollier-ov h-x dijagram sušenja u sušari „KONČAR“

## **TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

### **SUŠENJE ULJANE REPICE U SEZONI 2020.**

**Tomislav Maslač**

#### **Sažetak:**

U radu je ispitana indirektna sušara na paru koja koristi zemni plin kao energent. Ciljevi ovoga rada bili su: 1. utvrditi energetske potrošnje sušare pri sušenju uljane repice 2. izmjeriti temperature zrna na ulazu u sušaru, tijekom sušenja i na izlazu iz sušare radi utvrđivanja oštećenja zrna unutrašnjim naprezanjem;

Istraživanje je provedeno na sušari „KONČAR“, tijekom sezone sušenja 2020. godine.

Za izračun kapaciteta rada sušare te energetske potrošnje sušare izvršena su mjerenja vlage i temperature zrna na ulazu u sušaru, vlage i temperature zrna na izlazu iz sušare, količine protoka pare kroz sušaru u jedinici vremena za gornji dio sušare, temperature i relativne vlage zraka prije grijača, na ulazu i izlazu iz gornje zone sušenja.

Analizom uzorka osušene uljane repice nije uočen povećani postotak loma nakon sušenja što ukazuje i na dobar protok zrna kroz istu (nema čepova zadržavanja) i temperature zraka indirektnim sušenjem.

Upotreba sušare „KONČAR“ za velika poljoprivredna poduzeća u kojima završava i roba lokalnih obiteljskih gospodarstava, opravdava se kroz isplativost s obzirom na njenu iskoristivost i specifičnu potrošnju goriva i mogućnost iskorištenja energenta zemnog plina što je u današnjem vremenu sa stanovništvom ekologije sve više prihvatljivo.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** Prof. dr. sc. Darko Kiš

**Broj stranica:** 49

**Broj grafikona i slika:** 38

**Broj tablica:** 6

**Broj literaturnih navoda:** 17

**Broj priloga:**

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** uljana repica, sušenje, energetske vrijednosti

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. Prof . dr. Tomislav Jurić, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Darko Kiš, mentor
3. Prof. dr. sc. Irena Rapčan, član

**Rad je pohranjen:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
University Graduate Studies, Mechanization**

**Graduate thesis**

### **DRYING OILSEED RAPE IN SEASON 2020.**

**Tomislav Maslač**

#### **Summary**

This thesis examines an indirect steam dryer that uses natural gas as an energy source. The main objectives of this work were: 1. To determine the energy consumption of the dryer when drying oilseed rape, 2. Measure the grain temperatures at the inlet of the dryer, during drying and at the outlet of the dryer to determine the damage of the grain by the internal stress.

The research was conducted at the „KONČAR“ dryer during the 2020 drying season. To calculate the drying capacity and energy consumption of the dryer, measurements of humidity and grain temperature at the inlet of the dryer, humidity and grain temperature at the outlet of the dryer, the amount of steam flow through the dryer, per time unit or the upper part of the dryer, temperature and relative humidity before the heater, at the entrance and exit of the upper drying zone.

The analysis of the sample of dried oilseed rape did not show an increased percentage of fracture after drying, which indicates a good flow of grain through it (no retention plugs) and air temperature by indirect drying.

The use of the „KONČAR“ dryer for large agricultural enterprises, where the goods of local family farms also end up, is justified through cost-effectiveness given its efficiency and specific fuel consumption and the possibility of using natural gas, which is increasingly acceptable to the population today

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** Prof. dr. sc. Darko Kiš

**Number of pages:** 49

**Number of figures:** 38

**Number of tables:** 6

**Number of references:** 17

**Number of appendices:**

**Original in:** Croatian

**Key words:** oilseed rape, drying, energy values



**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Prof . dr. Tomislav Jurić, president
2. Prof. dr. sc. Darko Kiš, mentor
3. Prof. dr. sc. Irena Rapčan, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek,  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek