

Sušenje ječma u sezoni 2019. u silosu Belje plus PCTSH Darda

Ambrinac, Mateo

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:905061>

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

Mateo Ambrinac, apsolvant
Diplomski studij Mehanizacija

**SUŠENJE JEČMA U SEZONI 2019. U SILOSU BELJE PLUS PC TSH
DARDA**
Diplomski rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Mateo Ambrinac, apsolvant

Diplomski studij Mehanizacija

**SUŠENJE JEČMA U SEZONI 2019. U SILOSU BELJE PLUS PC TSH
DARDA**
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

1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	3
2.1. Podatci o BELJE-u DD.....	3
2.2. Ječam	4
2.2.1. Botanička pripadnost i klasifikacija	5
2.2.2. Morfološke specifičnosti ječma.....	5
2.2.3. Biološke specifičnosti ječma	6
2.2.4. Dužina vegetacije ječma	8
2.2.5. Osobine pivarskoga ječma	8
2.2.6. Kemijski sastav ječmenog zrna	9
2.3. Sušare	9
2.3.1. Podjela sušara	11
2.3.1.1. Šaržne sušare.....	13
2.3.1.2. Kontinuirane sušare	15
2.4. Goriva kao izvor energije kod sušenja	17
2.4.1. Prirodni plin	17
2.5. Proračun rada sušara.....	19
2.6. Sušara " LAW SBC 25 LE"	23
3. MATERIJAL I METODE.....	33
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	35
4.1. Količina protoka zrna ječma i količina protoka zraka u sušari	35
4.2. Vlaga i temperatura zrna ječma na izlazu iz sušare „LAW SBC 25 LE“.....	35
4.3. h-x dijagram za sušaru „LAW SBC 25 LE“	36
5. RASPRAVA REZULTATA ISTRAŽIVANJA	41
5.1. Protoka zrna ječma i količine protoka zraka u sušari	41
5.2. Vlage i temperature zrna ječma na izlazu iz sušare „LAW SBC 25 LE“.....	41
5.3. Potrošnja energije i h-x dijagram za sušaru „LAW SBC 25 LE“	41
6. ZAKLJUČAK	43
7. POPIS LITERATURE	44

8. SAŽETAK	45
9. SAMMARY	46
10. POPIS TABLICA	47
11. POPIS SLIKA	47
12. POPIS DIJAGRAMA	47
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	

1. UVOD

Ječam se najviše upotrebljava za industrijsku preradu, ishranu domaćih životinja, te za prehranu ljudi. Ječam u svjetskoj proizvodnji zauzima otprilike 50-ak milijuna hektara, a prosječni prinos mu je oko 3 t/ha. Zasijane površine po ječmom u Europi (EU 28) kreću se oko 12,2 milijuna hektara sa prosječnim prinosom 4,8 t/ha. U Republici Hrvatskoj zadnji pet godina u prosijeku je zasijano oko 50 tisuća hektara sa prosječnim prinosom oko 4,5 t/ha.

Ječam ima najveći areal rasprostranjenosti između svih žitarica, od 10 do 70 sjeverne širine, a to se može objasniti visokom razinom polimorfizma i otpornosti na nepovoljnije uvjete uzgajanja. On može uspjeti na visokim visinama, čak i na višim od 3500 metara nadmorske visine.

Žetva ječma u RH obavlja se u vremenu od 20. do 24. lipnja, kada najčešće isti ima optimalnu vlažnost do 13% pa ga nije potrebno industrijski sušiti. Ukoliko se isti ubere sa vlagom većom od 14% isti se mora sušiti.

Konzerviranje ječma je postupak kojim se sprečava kvarenje ječma za kraće ili duže vrijeme. Jedan od preduvjeta uskladištenja zrna jest postupak konzerviranja. Danas je uobičajeno konzerviranje zrna sušenjem, kemijskim tretiranjem, siliranjem i hlađenjem. Jedan od najprimjenjivijih načina konzerviranja u Hrvatskoj je konzerviranje sušenjem. U silose ili skladišta zrno može doći samo sa skladišnom vlagom koja omogućava sigurno skladištenje na predviđeni rok. Zadatak sušenja je obaviti konzerviranje poljoprivrednih proizvoda, i to sa: minimalnim promjenama kakvoće proizvoda, minimalnim oštećenjem proizvoda, što manjim troškovima energije i minimalnim zagađivanjem okoliša tijekom sušenja. Ovaj zadatak se može postići samo poznavanjem osobina sušare u kojoj se suši i zrna koje se suši uz dobro poznavanje tehnologije sušenja (stručnu osposobljenost rukovatelja sušarom).

Na području dorade zrna žitarica pa tako i ječma jača trend malih sušarsko-skladišnih kapaciteta od 1 do 5 t/h. Novim kupcima, kojima većinom nedostaju znanje i kriterij za izbor opreme, nudi se svjetska produkcija malih sušara. Trgovci i zastupnici koji nude sušare većinom su u istoj situaciji kao i kupci, bez dovoljnih specijalističkih znanja.

Dobra organizacija rada prilikom žetve ječma može se provesti samo onda kada su svi elementi transportnog i tehnološkog ciklusa ujednačeni u kapacitetu. Usklađenje kapaciteta transporta zrna od kombajna do skladišta i adekvatni kapaciteti sušara zavise od vremena stajanja mokrog zrna u prikolicama ili u privatnim skladištima.

Ovim istraživanjima žele se ispitati način dorade ječma u silosu „Belje plus PC TSH Darda“, a prije svega svojstva postojeće sušare za sušenje zrnatih proizvoda " LAW SBC 25 LE“

proizvođača "LAW". Navedena sušara je okomita, neposredna, kontinuirana sušara za sušenje zrna, kod koje zrno putuje od vrha sušare prema dolje, između ulaznih i izlaznih krovica, kroz koje struji nositelj topline.

Temeljem izloženog ciljevi istraživanja su:

- tvrditi energetske potrošnje sušare pri sušenju ječma i uporabi zemnog plina – (**kJ/kg isparene vode**) i
- izmjeriti temperature zrna na ulazu, tijekom sušenja i na izlazu radi izbjegavanja oštećenja zrna unutrašnjim naprezanjem.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Podatci o BELJE-u DD

„Tri stotine godina na području Baranje i „Belja“ razvija se poljoprivredna proizvodnja i s njom prerađivačka industrija. Pojam „Belje“ vezan je za Dobro koje je 1697. godine austrijski vojskovođa Eugen Savojski dobio od austrijskog dvora kao nagradu za pobjedu nad Turcima. Prema imenu naselja Bilje, prema njegovom mađarskom izgovoru (Bellye), dobiva ime „Belje“. Stvaranjem Dobra na području Baranje, koje se tada prostiralo i na područje susjedne Mađarske, udareni su temelji gospodarstva koje će se sve do danas razvijati. Od početka 2005. godine u sastavu je „Agrokor koncerna“, najvećeg proizvođača hrane u ovom dijelu Europe (www.belje.hr). Vlastite farme i oranice, osnova su poljoprivredne proizvodnje u Belju. Prirodne sirovine kontroliranog podrijetla iz vlastitog uzgoja prerađuju se u poznate proizvode prehrambene industrije Belja. Objekti tvrtke smješteni su na području cijele Baranje, a više od 20.000 ha obradivih površina, brojne farme i industrijska postrojenja kao i 2000 zaposlenika najbolji su pokazatelji veličine i snage Belja. Cilj kompanije je pružiti potrošačima vrhunske proizvode nastale od domaće sirovine s vlastitih farmi i oranica, s naglaskom na autohtone domaće proizvode koji se pripremaju prema tradicionalnim recepturama starih baranjskih majstora. Beljski mlin obuhvaća proizvodne kapacitete u Belom Manastiru i Križevcima. U oba mlina obavlja se prijem, sušenje i skladištenja žitarica, te prerade pšenice u brašno. Unutar poslovne jedinice sjemenarstvo obavlja se dorada sjemena. Za potrebe Mlina na beljskim se oranicama siju pšenice s određenim kvalitetnim svojstvima da bi se zadovoljili visoki standardi kvalitete i potrebe kupaca, a svakodnevnom kontrolom kvalitete ulaznih sirovina postiže se ujednačena visoka kvaliteta gotovih proizvoda.



Slika 1. Logo dioničarskog društva Belje d.d.
(www.belje.hr)

2.2. Ječam

Ječam se počinje uzgajati još od davnog Egipta što je prije davnih 7000 godina, a neke druge zemlje kao što su Kina i Indija uspijevale su ga uzgajati još prije nekih 5000 godina. Ječmovi koji su višeredni potječu s istoka Azijskog kontinenta, a iz Eritreje potječu razne forme i vrste jarog ječma. Pakistan i Sirija daju jednu vrstu koja se naziva drvoredni divlji ječam. Suvremena prehrana ječam rijetko koristi kod prehranjivanja ljudi, to rade neke zemlje kod kojih pšenica slabije uspijeva, to jest one koje su u planinskim područjima i kod kojih stanovnici imaju slabiji standard života, jer je kruh napravljen od ječma slabije kvalitete i lošijeg mirisa i okusa. Ako se doda pšenično i raženo brašno u ječmeni kruh njegova kvaliteta će se znatno poboljšati. Kod ljudske prehrane u većoj mjeri se koristi oljušteni ječam. Od zna ječma dobivamo gris i kod pahuljica, a oni se koristi u ljudskoj prehrani. Ječam ima visoku vrijednost kod prehrane životinja u domaćinstvima, a isto tako se dodaje u koncentrate krmnih smjesa. Ječmena zrna imaju visoke hranjive vrijednosti, a u tovljenju popravlja kakvoće slanina i mesnog proizvoda. Isto tako može se koristiti u stanju dok je zelen, može biti sam ili još bolje ako je pomiješan s grahoricom ili uz grašak, daje krmnu masu koja se može silirati. Kroz industriju piva i viskija ječam daje posebnu važnost jer se pomoću njega dobije kvalitetniji slad, a to kod piva i viskija daje jakost i osobito kakvoću (Kovačević i Rastija, 2009).

Sladni sirup upotrebljava se u pekarskoj industriji, konditorskoj, farmaceutskoj i tekstilnoj i drugim proizvodima. Velika je i agrotehnička važnost ječma jer se ranije sije i ranije dozrijeva, može se proizvest u višim planinskim predjelima, što omogućuje bolje uklapanje ječma u strukturu proizvodnje. Ječam se rano žanje pa se nakon njega mogu proizvoditi postrne kulture za zrno, krmu, silažu ili zelenu gnojidbu (Gagro 1997).

Ječam je po svjetskim površinama četvrta žitarica iza pšenice, kukuruza i riže. Ima raznovrsnu uporabu. U ljudskoj ishrani se koristi kao ječmena kaša, kao surogat za kavu, u obliku griza i pahuljica, rjeđe za pripremu kruha, jer je kruh loše kakvoće, malog volumena, brzo se suši i teško je probavljiv. U industriji piva i slada se koristi pivarski ječam. U ishrani stoke se koristi kao svježna zelena masa, silaža ili u zrnu. Na sjevernoj polutki se uzgaja od 100 do 700 SZŠ, a na južnoj od 100 do 580 JZŠ (Kovačević i Rastija, 2009).

2.2.1. Botanička pripadnost i klasifikacija ječma

Ječam pripada u red **Poales**, porodicu **Poaceae** (trave), podporodicu **Pooideae** (klasaste trave), rod **Hordeum**. Sve kulturne forme ječma čine jednu biljnu vrstu, koja se dijeli na tri podvrste prema broju redova odnosno razvijenih klasića na svakom koljencu klasnog vretena (Kovačević i Rastija, 2009):

1. *Hordeum sativum ssp. vulgare (polystichum)* - višeredni ječam - ima razvijena tri klasića na koljencu klasnog vretena. Dijeli se na: a) *hexastichum aequale*, pravilni šesteroredac - formirano je šest pravilnih redi zrna, klas je zbijen, poprečni presjek je šesterokut; b) *hexastichum inaequale*, nepravilni šesteroredac - nepravilno nazvan još i četveroredac (*tetrastichum*), centralna zrna (srednja od ona tri klasića) su normalno formirana i čine pravilan red (priljubljen uz klasno vreteno), bočna zrna zalaze jedno pod drugo (bočno zrno jedne trojke zalazi pod bočno zrno druge trojke s druge strane), pa se formira dvojni red, koji se pri vrhu klasa spaja. Znači, postoje dva normalna i dva dvojna reda, na vrhu se dvojni redovi spajaju, pa kada se klas gleda u tlocrtu, dobije se utisak da ima četiri reda.

2. *Hordeum sativum ssp. distichum*, dvoredni ječam - ima po jedan klasić na jednom koljencu, što znači da su centralna zrna razvijena, a bočna ne postoje, jer su bočni klasići atrofirali. Dijeli se na tipove na osnovu stupnja redukcije tih bočnih, neplodnih klasića: *tip dificiens* - očuvane su samo pljeve klasića i *tip nutans* - očuvane su pljeve, pljevice, a u nekim slučajevima i prašnici, ali su cvjetovi sterilni.

3. *Hordeum sativum ssp. intermedium*, prijelazni ječam - ima razvijena 1-3 klasića na koljencu klasnog vretena, nema ekonomskog značaja.

2.2.2. Morfološke specifičnosti ječma

Korijen - se, kao i kod ostalih žitarica, sastoji od više sitnih nitastih korjenčića. Ječam klija sa 4-8 primarnih korjenčića (zrno proizvedeno u optimalnim uvjetima ima više primarnih korjenčića). Korijenov sustav ječma je slabije razvijen i ima manju moć uspijanja od drugih žitarica.

Stabljika - je šuplja, člankovita i cilindrična. Boja koljenaca je do sazrijevanja zelena ili ljubičasta, a poslije slamnato-žuta. Boja stabljike je zelena ili ljubičasto-zelena od antocijana. U

punoj zriobi dobije slamnato-žutu boju. U odnosu na stabljike drugih žitarica stabljika ječma je manje otporna na polijeganje (osim patuljastih sorti).

List - prvi listovi su jako široki, sivkaste, sivkasto-zelene ili pepeljaste boje (uslijed prisustva vošatne prevlake). Višeredni ječmovi imaju šire, a dvoredni duže i kraće listove. Jezičak može biti kratak (manje od 1,5 mm), srednje dug (1,5-3,0 mm) i dug (3,0-4,0 mm). Uške su jako razvijene (najrazvijenije među strnim žitaricama), imaju oblik polumjeseca i križaju se tj. prelaze jedna preko druge.

Cvat - je klas, a sastoji se od plosnatog koljenastog vretena i pojedinačnih klasića. Klasići su jednocvjetni i na koljencu klasnog vretena izbijaju tri klasića. Koljanca su ispučena i po gledano sa strane vreteno izgleda kao stepenasta cik-cak linija. Od tri klasića mogu biti plodna sva tri, dva ili samo jedan, pa se na tom osniva klasifikacija ječma. Pljeve su slabo razvijene, srednje dužine, kraće od pljevica i vrlo uske.

Cvijet – je kao kod ostalih žitarica, s tim da su pljevice srasla za zrno. Vanjska pljevica, koja u osjatih oblika prelazi u osje, ispučena je i razvijena. Osje je dugo, većinom nazubljeno ili glatko, ovisno o sorti. Unutrašnja pljevica, koja je uža od vanjske, na svojoj bazi, u brazdici nosi rudimentarne ostatke drugog (neplodnog) cvijeta tzv. bazalnu četkicu, koja je pokrivena gustim ili rijetkim, dužim ili kraćim dlačicama i služi kao jedna od važnih osobina za raspoznavanje zrna dvorednog i višerednog ječma kao i za raspoznavanje sorti.

Plod - je zrno, široko i zaobljeno s leđne strane. Ima brazdicu, ali ne i bradicu. Oblik zrna je romboidan, izdužen ili eliptičan. Zrna doredaca su simetrična i manje-više jednolika po izgledu i veličini, a kod šesteroredaca su zrna iz srednjih klasića simetrična i krupnija od zrna iz bočnih klasića, koja su sitnija, asimetrična i pri bazi ugnuta. Boja zrna može biti: slamnato-žuta, sivo zelena, plavkasto-zelena i ljubičasta u raznim nijansama (Gagro, 1997).

2.2.3. Biološke specifičnosti ječma

Fenološke faze:

- **bubrenje i klijanje** - zrnu je za bubrenje potrebno 48% vlage od ukupne mase zrna. Ječam klija na 1-2⁰C kako ozimi tako i jari. Optimalna temperatura za klijanje je 15-22⁰C, a maksimalna 28-30⁰C.

- **nicanje** - u povoljnim uvjetima ječam niče za 5-6 dana nakon sjetve. Dovoljna vlažnost tla i odgovarajuća temperatura su od presudne važnosti za brzo i jednoliko nicanje. Nicanje je usporeno ako nakon sjetve dođe do naglog zahlađenja. Isto tako, nedostatak vlage utječe da ponekad nicanje nastupa tek poslije kiše.

- **ukorjenjivanje** - je kao kod ostalih strnih žitarica.

- **busanje** - ječam busa jače od pšenice i prosječno ima 4-5 stabljika. Busanje kod jarog ječma nastupa 18-20 dana poslije nicanja, a kod ozimog u našim uvjetima kad izbije treći list (tri tjedna nakon nicanja).

- **vlatanje** - nastupa 25-35 dana poslije nicanja. Vanjskom morfološkom odlikom faze vlatanja smatra se pojava malog ispupčenog čvora na glavnoj stabljici, koji se može lako osjetiti pod prstima i zapaziti golim okom.

- **klasanje** - kod jarog ječma nastaje 30-74 dana poslije nicanja, a u našim uvjetima za 35-77 dana, dok ozimi ječam klasa u prosjeku 174 dana (167-184) poslije nicanja. Trajanje perioda od nicanja do klasanja znatno varira u ovisnosti o sorti i agroekološkim uvjetima uzgoja. Ovaj period je na sjeveru kraći, jer u uvjetima dužeg dana brže dolazi do klasanja, a na jugu, u uvjetima kraćeg dana, razvoj biljke do klasanja prolazi usporenim tempom.

- **cvatnja i oplodnja** - ječam je samooplodna biljka (u svakom normalno razvijenom klasiću nalaze se i ženski i muški spolni organi). Cvatnja i oplodnja jarog ječma obično se odvijaju još prije klasanja, dok se klas još nalazi u lisnom rukavcu. U slučajevima toplog vremena (visokih temperatura) za perioda cvatnje neke forme cvjetaju otvoreno, pa je moguća stranooplodnja. Kod ozimih formi češće dolazi do pojave otvorenog cvjetanja. U godinama s izraženom sušom kod nekih se sorti događa da klas ostane u rukavcu bez isklasavanja. Ovo ukazuje na jasno izraženu sklonost ka samooplodnji. Period od klasanja do zriobe u našim uvjetima za jari ječam iznosi 22-50 dana, a za ozimi 34-43 dana.

- **zriobe** - mliječna zrioba nastupa 12-15 dana poslije cvjetanja. Biljke su još zelene i tek samo donje lišće postaje žuto. Voštana zrioba nastupa 30-35 dana od početka klasanja, biljke dobivaju žutu boju. Puna zrioba nastupa kada zrno postane tvrdo, a vegetativni dijelovi biljke se počnu sušiti i odumirati. Kod nekih sorti, većinom pivarskog ječma, dolazi do pojave klijanja zrna na klasu (Gagro, 1997).

2.2.4. Dužina vegetacije ječma

Ječam ima najkraću vegetaciju od svih pravih žitarica. Vegetacija ozimog ječma kod nas traje oko 210-260 dana. Vegetacija jarog ječma varira od 55-130 dana. U ravničarskim krajevima dužina vegetacije jarog ječma se kreće od 105-112 dana (kod nas 80-120), a u planinskim krajevima 120-150 dana. Prema dužini vegetacije sorte ječma se dijele (sve sorte ozimih, jaroh i fakultativnih ječmova), (Kovačević i Rastija, 2009):

- rane sorte
- srednje rane sorte
- srednje kasne sorte
- kasne sorte.

2.2.5. Osobine pivarskoga ječma

Ječam je osnovna sirovina za proizvodnju piva u kojoj se koristi slad. Pivarski ječam treba ispuniti određene fizikalne, kemijske i biološke osobine kao sirovina za proizvodnju piva, a te osobine se nešto razlikuju od osobina običnog ječma (Gagro, 1997):

- fizikalne osobine:

1. što veća apsolutna masa (ne manje od 40 g),
2. da su zrna na presjeku što manje staklasta (idealno 11%), što je znak manjeg sadržaja bjelančevina,
3. da su zrna po obliku i veličini jednolika radi istodobnog bubrenja i klijanja pri proizvodnji slada,
4. da imaju što tanje pljevice (8-12% od mase zrna),
5. da su zrna slamnato-žute boje i
6. hektolitarska masa da je što veća (najmanje 65 kg);

- biokemijske osobine.

1. da zrno ima što manje vode (ne više od 13%),
2. da bjelančevina ima ne manje od 8% i ne više od 12% i
3. sadržaj škroba ne smije biti manji od 60%

- biološke osobine:

1. da je sortno čist i
2. što veće klijavosti i energije klijanja. Poslije moćenja za 3-4 dana mora isključiti najmanje 90% zrna.

2.2.6. Kemijski sastav ječmenog zrna

Kemijski sastav ječma i njegova hranjiva vrijednost slična je drugim žitaricama. Zbog nešto veće količine celuloze u ovojnici zrna, na koju otpada oko 15% zrna, ječam ima nešto manju energetska vrijednost i manju probavljivost organske tvari (83%) nego kukuruz i pšenica. Kemijski sastav ječma prikazan u Tablici 1 ovisi o sorti, klimatskim uvjetima, području uzgoja i o vrsti zemljišta. Zrno ječma sadrži 12 do 20% vode i 80 do 88% suhe tvari.

Tablica 1. Prosječan kemijski sastav ječmenog zrna (Sadadinović, 2008.)

KOMPONENTE	%
Voda	13-14
Proteini	10-11
Nedušične ekstraktivne tvari	60-70
Masti i ulja	2.0-2.2
Celuloza	4.8-5.3
Pepeo	2.3-2.6

Manja hranjiva vrijednost ječma je djelom posljedica povećane količine neškrobnih polisaharida u obliku β -glukana u endospermu zrna. Udio ovih antinutritivnih tvari u ječmu se kreće od 15-80 g/kg, a mijenja se ovisno o klimatskim prilikama (Sadadinović, 2008.).

2.3. Sušare

Svrha konzerviranja je bila i ostaje: sačuvati prirodna svojstva hrane što je moguće duže, a najmanje do slijedeće godine, kada se može ponovno žeti ili ubirati plodove poljodjelskog truda i rada. Ovaj uvjet nije lako ostvariti, naročito kod konzerviranja vrenjem, dimljenjem, prirodnim sušenjem i dodavanjem kemijskog konzervansa (Katić, 1997).

Zadatak sušenja je u što kraćem vremenu jednolično odstrani suvišnu vlagu (vodu) iz materijala i to kod temperatura koje su prilagođene materijalu i stvoriti uvjete u kojima su procesi izmjena tvari (enzimski, biološki i slično) svedeni na najmanju moguću mjeru tijekom skladištenja.

Poznato je da su sušare veliki potrošači energije, smanjenje potrošnje energije po kilogramu isparene vode postao je imperativ sušenja. Naročito je taj problem izražen kod sušenja kukuruza (Krička, 1993).

Sušenje ječma otežava ljuska koja je teško propusna za vodu, isto kao i kod raži. Za proizvodnju pivarskog slada predviđeni ječam treba sušiti jednako kao i sjemensku robu. Temperatura na koju se zrno prilikom sušenja smije ugrijati, ovisi o vlažnosti zrna. Niža vlažnost podnosi višu temperaturu. Preporuka je da se zrno s više od 24% vlažnosti ne suši zrakom više temperature od 43°C, a zrno s manje od 24% vlažnosti možemo sušiti temperaturom zraka višom od 48°C.

U protočnim sušarama će zrno, uz takovo sušenje, biti ugrijano na temperaturu koja je za 10⁰ do 15°C niža od temperature zraka kojom se zrno suši. U tom slučaju neće temperature zrnja ječma za slad biti više od dozvoljenih. Sušenje za ostale potrebe je isto kao i kod raži. Dozvoljene su nešto više temperature nego kod sušenja pšenice jer lijepak nije toliko osjetljiv na povišene temperature. Prilikom sušenja zrna s 18 do 20% vlažnosti ne treba zrno grijati preko 60°C, a za više vlažnosti preko 40°C.

U teoriji sušenje je učinkovitije na višim temperaturama sušenja zato što se na višim temperaturama troši manje energije za isparavanje vode. U praksi učinak temperature sušenja na potrošnju energije ovisi o stvarima kao što je protok zraka i dubina zrna. Sušare koriste manje energije kada je vrijeme toplo i suho, a više energije kada je hladno. Potrošnja plina je otprilike proporcionalna broju stupnjeva na koje se zrak zagrijava.

Za sušenje zrna, osobito žitarica, postoji više tipova sušara koje možemo svrstati u razne grupe i podgrupe. Podjelu možemo zasnivati na raznim temeljnim pretpostavkama kao što su: podjela po vrsti i namjeni robe koja se suši, podjela po načinu transporta robe kroz sušaru, podjela prema načinu grijanja zraka za sušenje, podjela prema vođenju zraka kroz sušaru i sl. (Katić, 1997).

2.3.1. Podjela sušara

Europske sušare, koje se trenutno nude na tržištu su energetske različite. Kod većine takvih sušara primijenjen je tehnički sistem djelomične recirkulacije fluida za sušenje, kao metoda racionalizacije potrošnje energije. Pored takvog pristupa, neki proizvođači imaju dvostupanjske i ponekad dvoprolazno sušenje (Babić 2007).

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 – radijatorima. 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 2.):

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-disperzijske materijale i
2. Sušare za sitno-disperzijske 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 grijačima i
3. Zagrijavanje radnog fluida električnim grijačima.

F) Prema načinu kretanja radnog fluida:

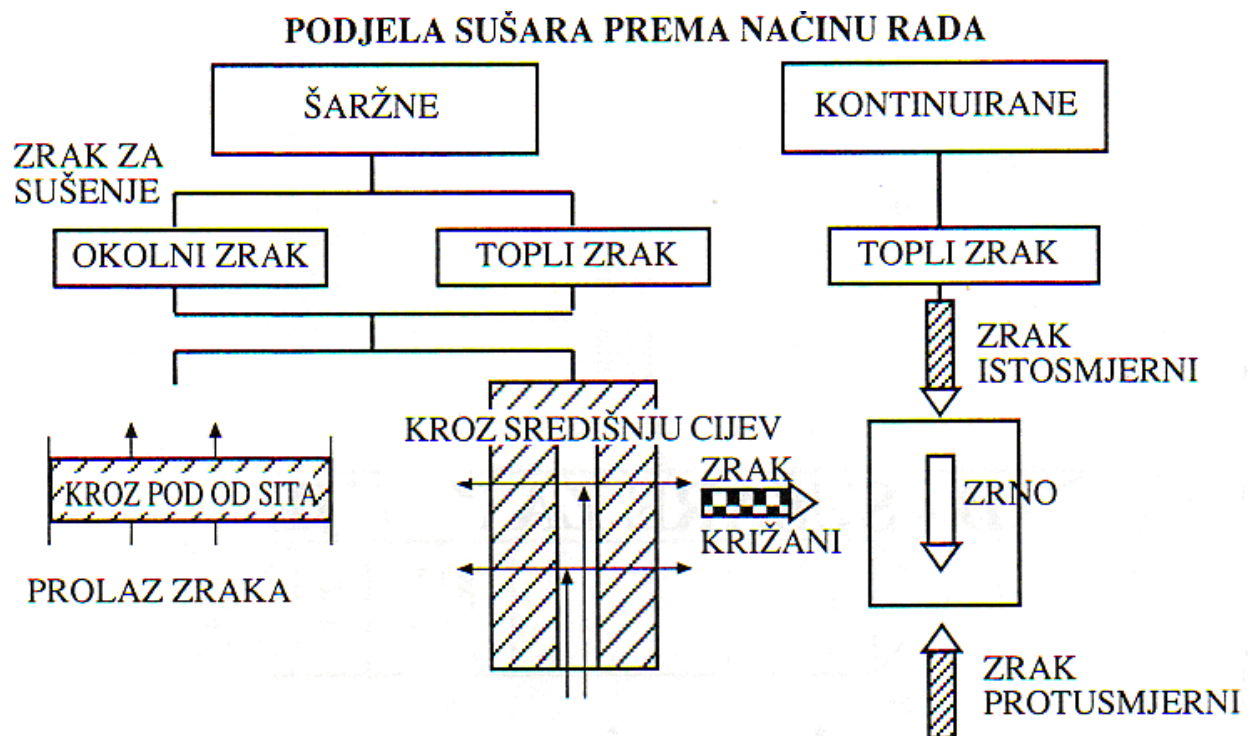
1. Sušare sa prinudnom cirkulacijom (u svrhu su koriste razni ventilatori koji omogućuju kontrolu strujanja radnog fluida i to: smjer i brzinu i
2. Sušare sa prirodnom cirkulacijom – u sustavu sušenja smjer i brzina kretanja radnog fluida nisu kontrolirani, već ovise o karakteristikama okolnog vjetra (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 2. Podjela sušara (Katić, 1997)

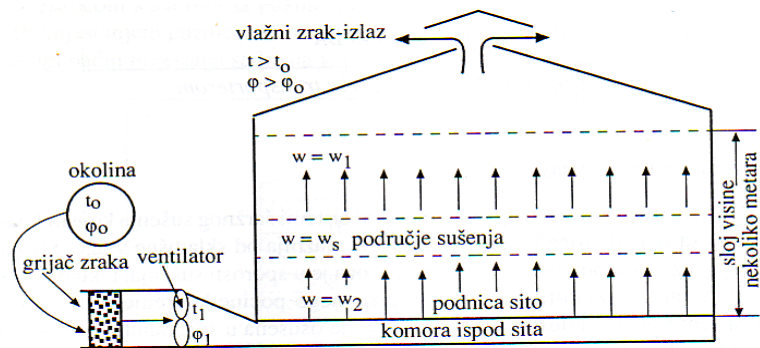
Izbor tipa i veličine sušare je u svezi s potrebnim kapacitetom i mjestom sušenja. Suši li se na jednom mjestu zrno koje se sakuplja s udaljenijih mjesta, treba računati s tim da svu robu treba dopremiti do sušare (troškovi transporta nisu zanemarivi). Ako se zrno dovozi s udaljenih mjesta na sušenje, a osušeno zrno skladištimo pored sušare, odabire se sušara koja je stalno na tom mjestu. Moguće je sušaru i prevoziti na mjesto gdje se roba ubire i nakon sušenja ostaje tamo. Onda može biti bolja odluka – prijevozna sušara (Alimpić,1985). Prijevozne sušare su ograničene veličinom, radi prolaza javnim putovima. Kapacitet im je ograničen na najviše 4-5 t/h sušenja kukuruza sa 32% smanjenja vlažnosti na 14%, (Frahs, 1994).

Sušenje zrna ječma 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 s debelim slojem zrna ječma koji iznosi od 300 mm do 1,2 m dok se nisko temperaturno sušenje obavlja isto u šaržnim sušarama (Brkić, 2006).

Sušare sa malim kapacitetom sve više su u središtu pažnje poljoprivrednih proizvođača i onih koji se bave trgovinom sa zrnastim poljoprivrednim materijalom. Razlog je, prije svega, u potrebi da se ubrani prinos kvalitetno osuši sa što manjim troškovima i sačuva za prodaju u pogodnom trenutku.

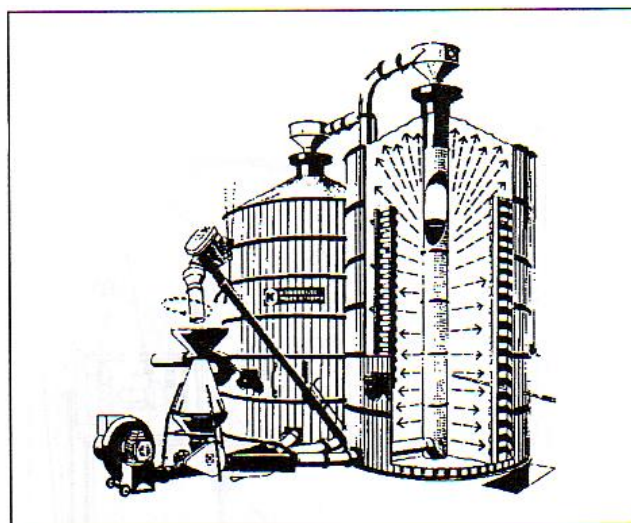
2.3.1.1. Šaržne sušare

Prema imenu je vidljivo da je sušenje u šaržnim sušarama sušenje zrna koja se tijekom sušenja ne pokreće. Roba u jednoj šarži ostaje do trenutka kada je sušenje završeno. Na tržištu se nalaze različite šaržne sušare, a sušenje je moguće obavljati na više načina. Glavna razlika u načinu sušenja kod tih sušara je u visini sloja koji se suši i načinu kako se u sušari postiže jednolikost vlažnosti osušene robe. One ne zahtijevaju veliko financijsko ulaganje, relativno brzo se otplate, omogućavaju perspektivu sporijeg, ali sigurnijeg razvoja, a istovremeno kvaliteta osušenog materijala nije ugrožena.



Slika 3. Proces sušenja šaržne sušare (Katić, 1997)

Na slici 3. 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 zrnju. 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 4. Silos-sušara "Konskilde" (Katić, 1997)

Na slici 4., 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. Pročistač je vidljiv na slici 4., kao dvostruki lijevak smješten pored sušare (Katić, 1997.).

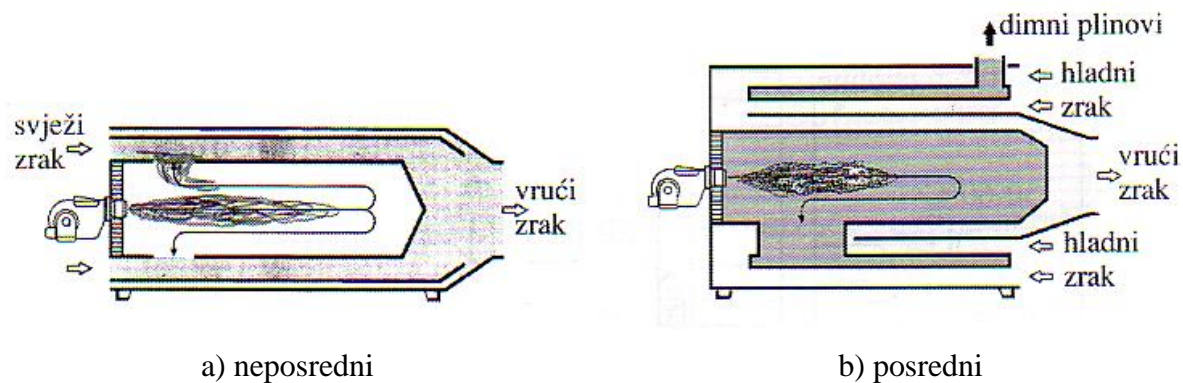
2.3.1.2. Kontinuirane sušare

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 5). 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 izgaranja medija (plina ili loživog ulja) i ugrijanog zraka izmiješana smjesa ulazi u sušaru. Pregradnja sušara s posrednog na neposredno grijanje zraka, u prosjeku donosi uštedu od 15 do 20% kod novih postrojenja, a od 20 do 25% kod starih grijača zraka. Prvenstveno se ovdje misli na plinovita goriva koja ne zagađuju robu. Lako loživo ulje se može koristiti ako ne sadrži sumpor. Moguća su rješenja i s teškim lož uljem ili čak mazutom, uz uvjet da plamenici imaju katalizatore za potpuno izgaranje i da ložišta budu obložena šamotnim ciglama.



Slika 5. Posredni i neposredni grijači zraka (Katić, 1997)

Mora biti omogućeno da prilikom paljenja plamenika dimni plinovi izlaze izvan sušare. Vraćanje vrućih plinova izgaranja u sušaru moguće je tek onda kada se ložište zagrije i plamenik osposobi da radi bez čađenja.

Šteta na ljudima i životinjama do danas nije dokazana, iako se javljaju i mišljenja da takova ispitivanja nisu dovršena. Najveći nedostatak se primjećuje u mirisu koji zrno može poprimiti uslijed lošeg rada plamenika.

Za plinovito gorivo mogućnost potpunog izgaranja, je upotreba atmosferskih niskotlačnih plamenika, koji rade s velikim pretičkom zraka, tako da se smanji mogućnost nepotpunog izgaranja (Katić, 1997).

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. Grijač zraka je potrebno opremiti dobrim plamenicima za tekuće gorivo kako bi izgaranje sadržavalo ugljičnog dioksida (CO₂) 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 potreba 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 - (CH₄), etana - (C₂H₆), propana - (C₃H₈), butana - (C₄H₁₀), pentana - (C₅H₁₂) i heksana - (C₆H₁₄).

Navedeni ugljikovodici čine najveći dio sastava proizvedenog zemnog plina, a manji dio drugi ugljikovodici, kemijski elementi i spojevi od kojih su najčešći ugljični dioksid (CO₂), voda (H₂O), dušik (N₂), sumporovodik (H₂S) i živa (Hg).

Prirodni plin koji "INA-Naftaplin" isporučuje za tržište je pročišćena, za transport pripremljena smjesa donje ogrjevne moći od 30 MJ do 40,5 MJ po m³, 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 ogrjevna 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 " ρ_D " dobiva se iz gustoće pojedinih sastojaka, a gustoću pojedinih sastojaka prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Odnos količine zraka i dimnih plinova, (Strelec, 2001).

PLIN			ZRAK		DIMNI PLINOVI				
sastav	vol %	$\frac{vol \%}{100}$			CO ₂	H ₂ O(para)		N ₂	
1	2	3	4	3x4	5	3x5	6	3x6	7
Vodik H ₂	-	-	2,38	-			1	-	
Uglj.monoksid CO	-	-	2,38	-	1	-			
Metan CH ₄	87,82	0,8782	9,52	8,3605	1	0,8782	2	1,7564	
Etan C ₂ H ₆	5,42	0,0542	16,66	0,9029	2	0,0108 4	3	0,1626	
Propan C ₃ H ₈	2,94	0,0294	23,80	0,6997	3	0,0882	4	0,1176	
Butan C ₄ H ₁₀	1,52	0,0152	30,95	0,4703	4	0,0608	5	0,076	
Pentan C ₅ H ₁₂	-	-	38,10	-	5	-	6	-	
Teži ugljkovodici C _m H _n	0,89	0,0089	4,76+ +1,19n	0,3389	m	0,0445	n/2	0,0534	
Uglj. dioksid CO ₂	1,09	0,0109			1	0,0109			0,79Σ _{3x4} = 8,5101+N ₂ =0,0032
dušik N ₂	0,32	0,0032							
Kisik O ₂	-	-	-4,76	-4,76					
	Σ=100	Σ=1,00	Σ _{3x4} =10,7723		Σ _{3x5} =1,191		Σ _{3x6} =2,166		Σ ₇ =8,5133

Vidi se iz tablice 2., da će gustoća dimnih plinova biti to veća što je u njima veći sadržaj CO₂, odnosno to manja što je veći sadržaj H₂O.

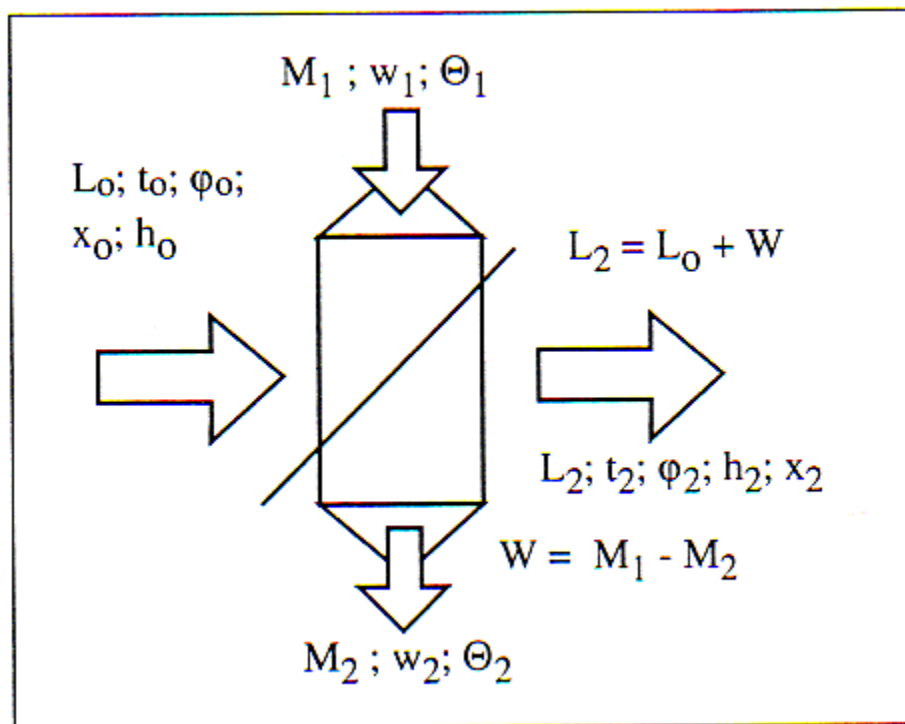
2.5. Proračun rada sušara

Proračun rada protočnih sušara je podijeljen na obračun mase i obračun energije. Masa i energija koje ulaze u sušaru, moraju biti jednolike i na izlazu iz sušare. Iz ovih postavki možemo načiniti proračun sušenja, potreban za poznavanje rada sušare. Proračun radimo za jedinicu vremena, najbolje jedan sat. Prema slici 6., vidimo da u sušaru ulazi:

M_1 = masa zrna s vlagom w_1 i temperaturom Θ_1

L_0 = masa zraka s temperaturom t_0 , i relativnom vlagom φ_0 .

Zrno i zrak donose i toplinsku energiju koja se očituje temperaturom zrna i zraka. Sušenjem se iz zrna isparava voda koja je istovjetna razlici mase zrna na ulazu i izlazu iz sušare: $M_1 - M_2 = W$. Vodu iz sušare odnosi zrak koji je povećao svoju masu za isparenu vodu: $L_2 = L_0 + W$. Izraz za proračun isti su kao i u poglavlju za proračun šaržnih sušara, samo treba izraze svesti na jedinicu vremena.

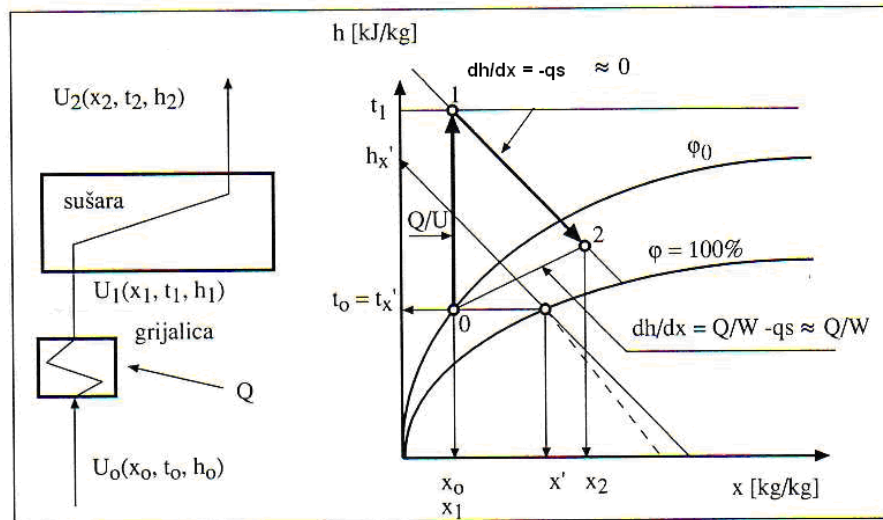


Slika 6. Obračun mase i energije (Brkić, 1987.)

Kod neposredne sušare, cjelokupna energija goriva unosi se u sušaru putem ugrijanog zraka. Posredno grijana sušara ima izmjenjivač topline u kojemu se toplina goriva prenosi na zrak preko vrućih stijena izmjenjivača, bez neposrednog dodira zraka i plinova izgaranja goriva (Brkić, 1987).

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 2. 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 dovođenjem 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.)

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. Ako sušara ne posjeduje vagu za vaganje suhog zrna, potrebno je vagati zrno na ulazu u sušaru, tj. potrebno je utvrditi koliko je vlažnog zrna ušlo u sušaru. Ovo se vaganje najčešće obavlja prilikom primanja zrna, tako da se vozilo koje dovozi zrno izvaže zajedno s zrnom na tzv. kolskoj vagi. Ova se odvaga naziva bruto-odvaga i za utvrđivanje stvarne mase zaprimljenog zrna treba poznavati masu vozila, koja se treba odbiti od ukupno izvagane mase (slika 7).



Slika 7. Kolska vaga (vlastita fotografija)



Slika 8. Kolska vaga – displej (vlastita fotografija)

Ako se zrno dovozi u sušaru više puta istim vozilom, nije potrebno svaki puta vagati prazno vozilo radi utvrđivanja njegove tara-mase, već se ova može kontrolirati samo jednom dnevno i odbijati svaki puta prilikom vaganja bruto mase kod obračuna primljenih količina zrna na sušenje (slika 8). Prilikom zaprimanja sirove robe treba iz svakog vozila koje je robu dovezlo uzeti prosječan uzorak radi utvrđivanja vlage. Prosječni uzorak se radi savjesno i prema propisima standarda (slika 9).



Slika 9. Izuzimač uzorka
(vlastita fotografija)



Slika 10. Električni vlagomjer
(vlastita fotografija)

Vlaga se može utvrditi električnim vlagomjerom (slika 10). Koliko god laboratorijsko utvrđivanje vlage daje pouzdaniju vrijednost, mjerenje vlage električnim vlagomjerom za veći broj uzoraka iz istog vozila daje često bolji prosječan rezultat od jednog laboratorijskog mjerenja, (Katić, 1997).

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 kukuruza 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_2 = srednja vlaga osušenog proizvoda, u %

Izlaznu vlagu iz zrna moramo poznavati jer je izlazna vlaga zrna, konačni cilj cijelog procesa sušenja (Katić, 1985).

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 m³. 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 prije sušenja ili mase poslije sušenja izražena u kg

W = količina isparene vode kg

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

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

Q = ukupno utrošena količina energije u kJ

G = količina goriva u kg ili Nm³, je li gorivo tekuće ili plinovito.

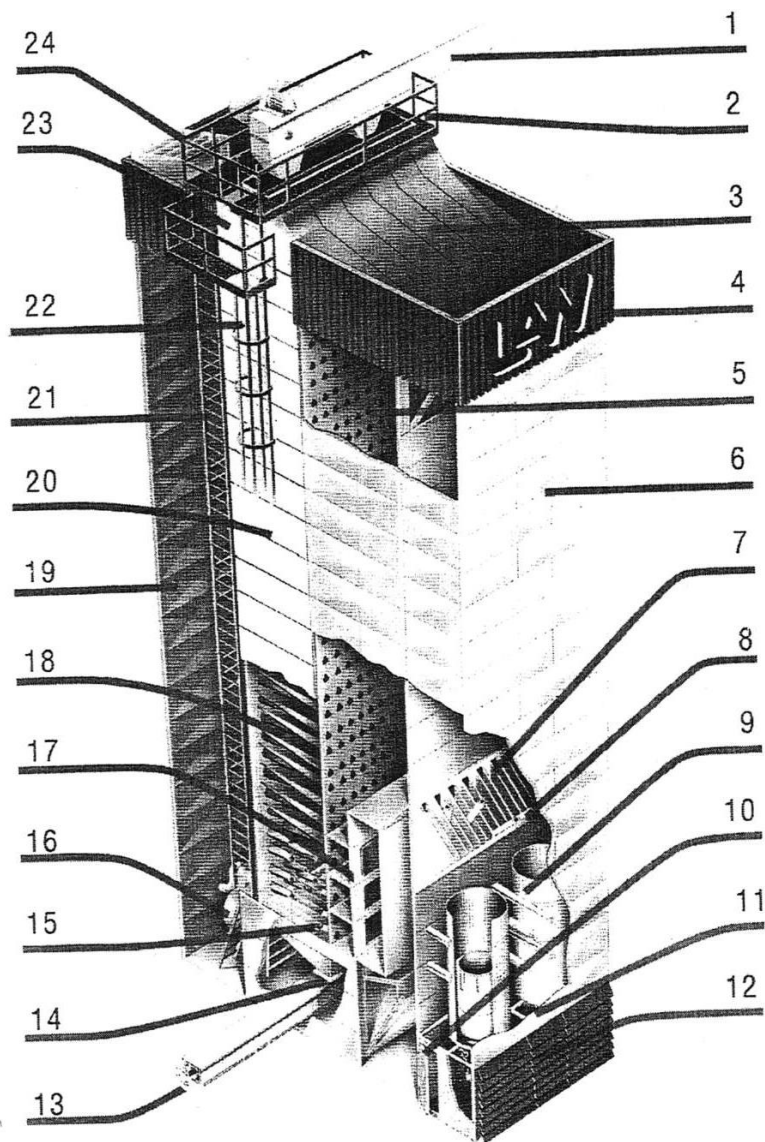
H₁ = ogrjevna moć goriva kJ/kg

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).

2.6. Sušara „LAW SBC 25 LE“ u silosu DARDA

Sušara je izrađena u stabilnoj izvedbi, utemeljena na jedinstvenim betonskim temeljima. Toranj sušare zasnovan na tipskim elementima (zbog serijske proizvodnje) sastoji se iz nosive čelične rešetke s ispunama od pocinčanog lima, kvalitetno izoliran i obložen aluminijskim limom, te

radionički okrupnjen do maksimalnih transportnih gabarita. Sa svojim postoljem, toranj je utemeljen na jednostavnim temeljima nekoliko centimetara iznad terena (slika 11. i 12.).



Slika 11. Sušara „LAW SBC 25 LE“ sa glavnim dijelovima (Katić, 1997.)

1. transporter za punjenje sušare; 2. platforma; 3, 4. krov; 5. kanal zagrijanog radnog fluida; 6, 23 zaštitini lim sa izolacijom; 7. mješači recirkuliranog i svježeg radnog fluida; 8. regulacija recirkuliranog zraka; 9. cilindrično ložište; 10. vrata; 11. plamenik; 12. žaluzine; 13. transporter; 14. izlaz zrna; 15. izuzimač; 16. ventilator za recirkulaciju izlaznog radnog fluida; 17. ulaz zraka u zonu hlađenja; 18. krovčići; 19. kanal izlaznog radnog fluida; 20. zona sušenja; 21. ljestve u unutrašnjosti kanala; 22. vanjske ljestve; 24. ventilatori

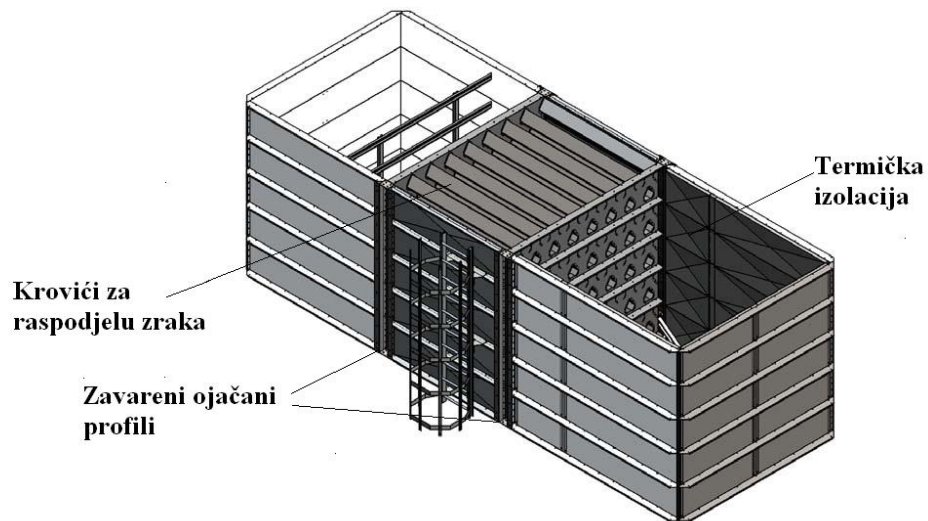
Toranj sušare sastoji se iz nosive čelične rešetkaste konstrukcije tako proračunate da odlijeva vjetru. Čelična konstrukcija je kvalitetno obrađena u skladu s " Tehničkim propisima o nosivim čeličnim konstrukcijama".



Slika 12. Sušara „LAW SBC 25 LE“ u silosu DARDA (vlastita fotografija)

Stub sušare je sastavljen od samonosećih panela izrađenih od galvanziranog čelika sa zavarenim ravnim profilima. Broj profila je u skladu sa visinom sušare. Svaki krovčić sušare fiksiran je za panel pomoću 8 jakih vijaka tako da je ostvarena vrlo čvrsta konstrukcijska struktura. Krovčići za raspodjelu zraka u panelima izrađeni su od „ALUCINK“-a. To je kvalitetan čelik presvučen

galvanskim slojem legure aluminija i cinka, koja je veoma otporna na atmosferske utjecaje. Paneli za distribuciju zraka (zračni kanali) su termički izolirani slojem mineralne vune od 50 mm, a izlazni paneli su od galvaniziranih („Alucink”) čeličnih limova (slika 13) .



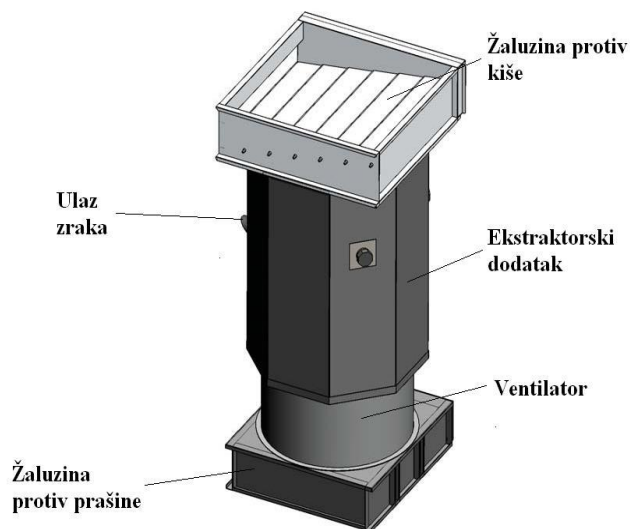
Slika 13. Stub sušare (http://www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm)

Čelična konstrukcija očišćena je i premazana specijalnim antikorozivnim premazom otpornim na kiseline i temperaturno postojanim do 150°C. Antikorozivna zaštita kompletne čelične konstrukcije izvedena je u skladu s "Tehničkim propisima o antikorozivnoj zaštiti čeličnih konstrukcija". Opskrbljena je ulaznim revizionim oknom, ulaznim otvorom za spoj transportera za punjenje, te davačem nivoa koji upravlja radom transportera za punjenje sušare. Toranj sušare tijekom rada sušare mora biti pun .

Pričvršćenje krovića i vodećih limova izvedeno je pomoću pocinčanih zakovica. Vodeći limovi usmjeravaju zrno i prisiljavaju ga da "teče" uvijek po istoj vertikali. Ovim načinom kretanja zrna izbjegava se zastoj zrna i "lutanje" zrna u horizontalnom smjeru po sušari. Time je svako zrno prisiljeno kretati se vertikalno i vrijeme zadržavanja zrna u sušari je za sva zrna približno jednako. Rezultat ovakvog načina kretanja zrna po tornju sušare je jednoliko osušeno zrno u svim dijelovima po presjeku tornja sušare, što je posebno važno za sjemensku robu koja bi se u slučaju dužeg zadržavanja u tornju pregrijala čime bi joj se smanjila kvaliteta - klijavost.

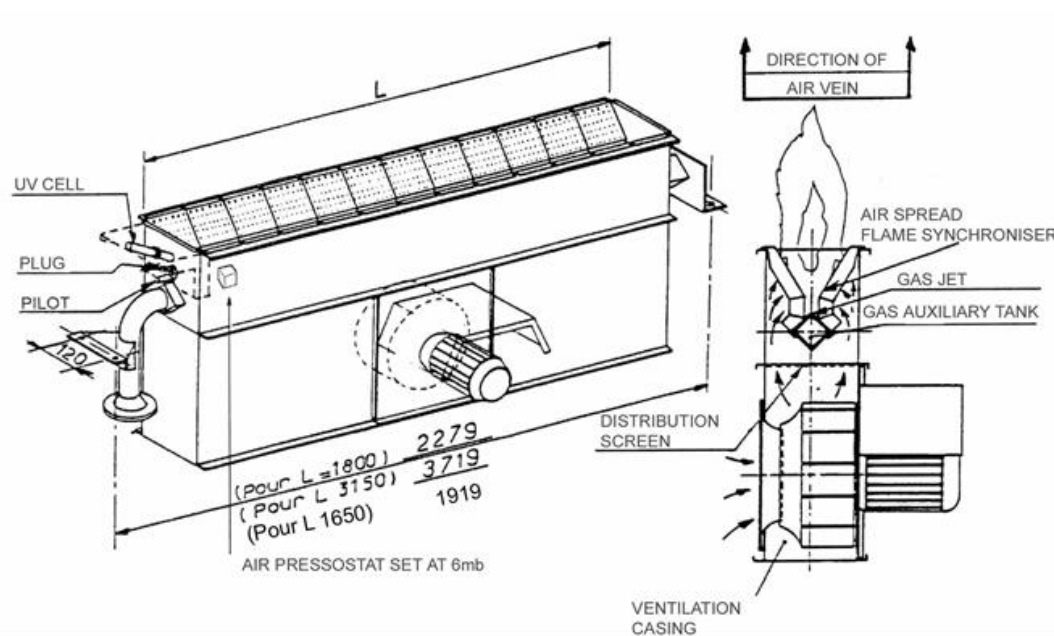
Sušara "LAW SBC 25 LE" koristi aksijalni ventilator. Čelični rotor direktno je spojen sa elektromotorom, kako bi se izbjegli gubici energije u transmisiji. Red lopatica statora, koje su smještene ispred rotora usmjeravaju struju zraka na oštrice lopatica rotora. Na taj način povećava

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 min^{-1}) koji se koristi, a da je pri tome smanjena buka. Na svakom ventilatoru je zatvarač, kojim se upravlja pneumatski. Njega čine pokretne aerodinamičke žaluzine (slika 14).



Slika 14. Ventilator (http://www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm)

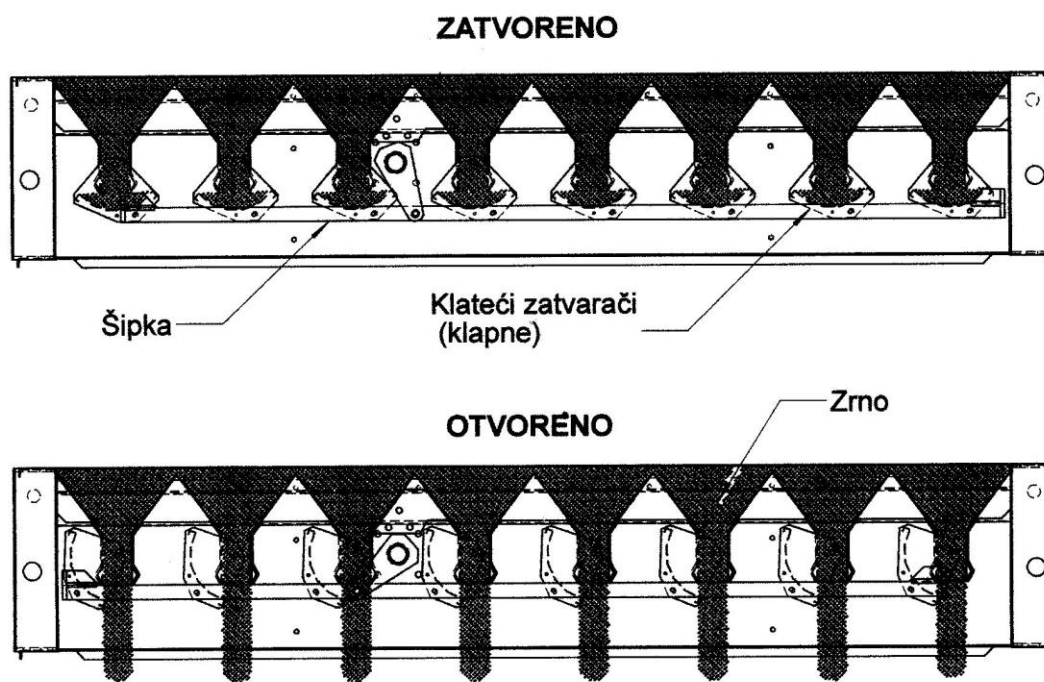
Generator topline čini jedno ili više direktnih ložišta postavljene su u vertikalni položaj po redosljedju opterećivanja. Ova ložišta mogu koristiti ekstra lako ulje za loženje EL (“dizel”) pod tlakom, prirodni plin ili tekući naftni plin. Posebna pažnja posvećena je konstrukciji ložišta od vatrootpornog nehrđajućeg čelika, koja osigurava maksimum mogućnosti miješanja produkata sagorijevanja i zraka. Tijelo glavne komore je cilindrično, a dva kraja imaju konusan oblik. To dozvoljava „apsorbiranje” termičkog širenja zbog promjena temperature i količine zraka. Kraj komore je zatvoren. Dim izlazi kroz osam naizmjenično bočno raspoređenih cijevi i direktno struji na bočnu površinu ložišta gdje se miješa sa hladnim zrakom kroz specijalne deflektore. Na taj način dobiva se specijalno visoko homogenizirano temperaturno polje mješavine, čime se izbjegava formiranje veoma opasnog strujnog jezgra vrelog zraka. Poslije miješanja sa recirkuliranim zrakom, zrak prolazi kroz red perforiranih panela, koji prouzrokuju turbulenciju i uvjetuju homogenost (ujednačenost) njegove temperature (slika 15).



Slika 15. Plinski generator topline (http://www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm)

Uređaj za izuzimanje zrna ima zadatak da omogući ispuštanje velike količine zrna u veoma kratkom vremenu radi izbjegavanja problema zagađivanja okoline. Pored navedenoga, uređaj ima zadatak da spriječi pojavu zagušenja zbog prisustva stranih tijela u materijalu. Na kraju (dnu) stuba sušare materijal direktno prolazi kroz paralelne otvore. Klataći zatvarač (klapna) smješten

je ispod svakog otvora, a u normalnoj poziciji sprječava ispuštanje zrna. Svi zatvarači su spojeni pojedinačno sa dvije jake šipke. Na svakoj šipki nalazi se torziona poluga, koja je dobro pričvršćena pomoću zglobova u tri centralna kugličasta ležaja. Pomoću pneumatskog klipnog uređaja aktivira se rotacija torziona poluge, što uzrokuje horizontalno pomicanje šipki i otvaranje klatećih zatvarača (klapni), uslijed čega dolazi do ispuštanja materijala naniže u bunker osušenog zrna. Ovaj pokret je izuzetno brz (od pola do jedne sekunde). Cijeli sustav je dimenzioniran tako kako bi se dobio slobodan prostor između fiksnih otvora i klatećih zatvarača (klapni), te se na taj način smanjuje rizik zagušenja zbog prisustva stranih tijela. Slika 16. Prikazuje shemu rada izuzimača zrna, odnosno regulaciju protoka zrna kroz sušaru.



Slika 16. Shematski prikaz rada izuzimača zrna (http://www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm)

Kod kontinuiranog rada sušare zrno kontinuirano "teče" kroz toranj sušare, što znači da konstantno radi punjenje sušare. U zoni grijanja - topli zrak koji se zagrijava na plamenoj cijevi, kroz energetski kanal, ulazni kanal zraka te sloj zrna "vuče" aksijalni ventilator.

Toranj sušare je po visini podijeljen (ovisno o kapacitetu sušare) na dvije ili tri zone sušenja i zonu hlađenja zrna. U svakoj zoni moguće je podešavanje temperature nositelju topline, čime se štedi energija i štiti zrno od pretjeranog tretmana u nižim zonama sušenja, uz primjenu

recirkulacije zraka. Garantirani utrošak toplinske energije u neposrednom radu pri sušenju kukuruza je 4 000 kJ (956 kcal) po kg isparene vode.

Opis rada sušare :

Materijal (zrno) spušta se gravitacijski i prolazi između poredanih slojeva krovića. Pri tome se zrno kreće “cik-cak” uz neprestano miješanje. Krovići su konstruirani tako da omogućuju jednoliko spuštanje zrna po cijelom presijeku stuba sušare, eliminirajući pojavu formiranja posebnih strujnica zrna nadolje. 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 relaksacijsku zonu, gdje nije izložen nikakvom strujanju zraka. U tom dijelu, vlaga iz središta zrna migrira ka omotaču, stvarajući uvijete za lakše sušenje u sljedećoj, drugoj zoni sušenja i ujednačavajući vlažnost materijala. U drugoj zoni sušenja otpušta se ostatak vlage sve dok se ne postigne krajnja zadata vlažnost materijala.

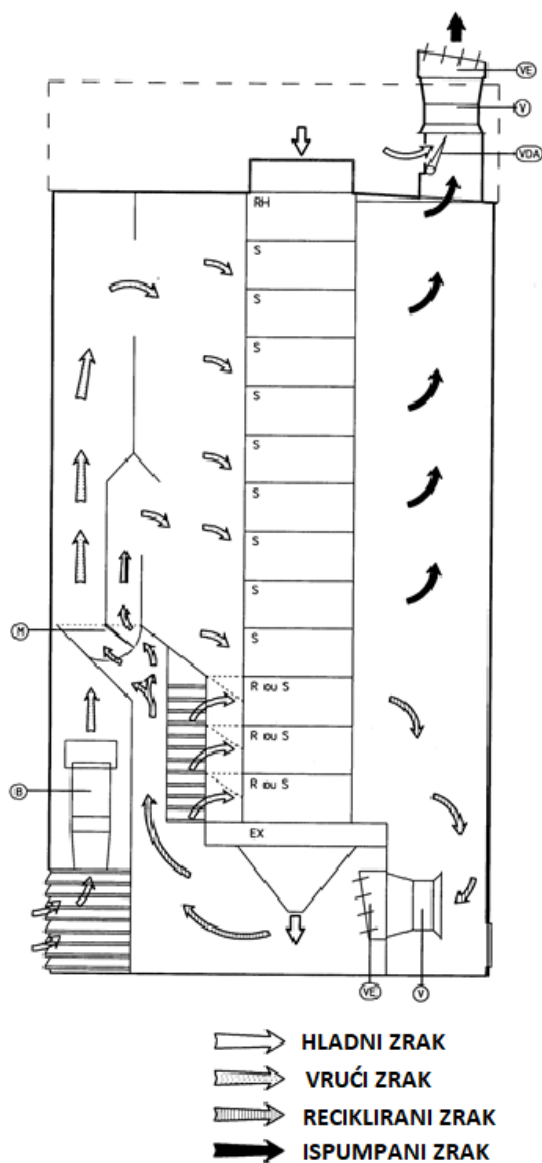
Veličina zone hlađenja je podesiva i može se povećati ili smanjiti, što zavisi od vrste materijala, temperature zraka za sušenje i stanja okolnog zraka. Osim toga, u zoni hlađenja može se podešavati količina zraka posebnim žaluzinama. U slučajevima kada se hlađenje obavlja posebno i naknadno (dvofazno sušenje ili “drajeracija”) moguće je cijelu zonu hlađenja pretvoriti u zonu sušenja, čime se povećava učinak (kapacitet) sušare.

Kretanje recirkulacije zraka je uvjetovano jednim ili više ventilatora smještenim u donjem dijelu izlaznog kanala zraka i sa jednim ili više ventilatora smještenim na gornjem dijelu sušare. Gornji ventilatori izvlače zrak koji dolazi iz gornjeg dijela stuba sušare, gdje je materijal vlažniji. Isti je zasićen i on se izbacuje u okolinu. Donji ventilatori prihvaćaju zrak koji je izašao iz donjeg dijela stuba sušare, a on je najčešće nedovoljno je zasićen. Pored toga, ovi ventilatori usisavaju zrak koji je izašao i iz zone hlađenja, donekle zagrijan, jer je preuzeo toplinu od zrna. Ovaj zrak struji kroz prolaz ispod stuba sušare direktno naviše (slika 17).

Kompletna linija **za prijem zrna** samostalna je radna cjelina koja se veže uz kolsku vagu na ulazu zrna u gospodarsko dvorište kupca. Prijam zrna obavlja se na usipnom košu radne dužine 18 m i širine 2,35m. Koš je pokriven rešetkom, otvora oka 40x40 mm, izrađenom od čeličnih traka. Polovica rešetke je nagazna dok je druga polovica obična rešetka. Po sredini koša postavljen je odbojnik kako vozila ne bi mogla prijeći na stranu rešetke koja nije nagazna. Na dnu koša nalazi

se lančani transporter aktivne dužine 21 m, kapaciteta 35 t/h, u pocinčanoj izvedbi. Lančani transporter ima iznad sebe rasteretni krović i služi za horizontalni transport zrna. Lančanim transporterom zrno se transportira prema elevatoru. Ovisno o vrsti i vlazi zrna ono se transportira: suho zrno preko pročištača ili neposredno u silose ako je pročišćeno i vlažno zrno na pročištač u sušaru.

U liniji za prijem zrna je ugrađen poseban objekt u koji su smješteni pročištač zrna gdje se obavlja *čišćenje zrna* i to vibracijskim pročištačem sa sitima i aspiracijskom komorom kapaciteta 30 t/h.



Slika 17. Shema rada sušare „LAW SBC 25 LE“

(http://www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm)

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 primjese 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.

Kao što je već spomenuto, kolona (stub) sušare je sa poredanim krovčićima. Ovi krovčići su otvoreni na jednom kraju, suprotno od zatvorene strane. Krovčići prethodnog i sljedećeg nivoa imaju otvore na suprotnim stranama. Naizmjenično su poredani nivoi krovčića sa ulaznim zrakom (ulazni krovčići) i izlaznim zrakom (izlazni krovčići). Zrak ulazi u krovčiće, potom prolazi kroz materijal (zrno) i odlazi u četiri susjedna izlazna krovčića. Svaki izlazni krovčić okružen je sa četiri ulazna krovčića. Na ovaj način kreiran je sustav razmijene vlage između zraka za sušenje i materijala (zrna), koji se naziva „miješajući protok“. Osim toga, pozicija vertikalnih redova otvorenih strana krovčića u koloni (stubu sušare) mijenja se svakih 3 metra, naizmjenično, da bi se izbjeglo da sloj materijala bude duže izložen samo toplijem zraku slično zaostalom materijalu.

Najvažnije od svega je da sušara u podpritisku (pritisak manji od okolnog) i da je iskorišteni zrak usisan lako i direktno ventilatorima. Zbog toga nema rasipanja prašine u zoni radnog prostora. Ako promatramo sušaru tijekom rada lako možemo zapaziti da je emisija prašine najveća u momentu kretanja materijala u njoj. Ako se materijal ne kreće, emisija prašine je, zaista, mala. Na ovaj način, ako se naizmjenično zaustavljaju kretanje materijala i protoka zraka, zadržavaju se čestice prašine.

Samo tijekom ispuštanja može se uočiti emisija prašine. Nekoliko desetina 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. Za ovu namjenu postoje izgrađeni kanali (krovčići) za prolazak zraka sa velikom ulaznom površinom zraka u materijal, sa protokom zraka do $70 \text{ m}^3/\text{h}$ na površini od $0,37 \text{ m}^2$. Optimalna cirkulacija zraka osigurana je postojanjem velikih distributivnih komora (kanali ulaznog i izlaznog zraka), kojima se sprečavaju pojave brzih struja zraka.

3. MATERIJAL I METODE

Istraživanje je provedeno na neposrednoj sušari "LAW SBC 25 LE" 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 BELJE PLUS PC TSH Darda, je postavljena gore navedena sušara koja koristi kao energent zemni plin. Ukupna količina ječma (vlažnosti veće od 14,5%) 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 "Dickey-John". Osušeni ječam 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 ječma sa izrađenim lijevkom (slika 18.), kojim se izuzima osušeni ječam po ciklusima te vaganjem uzorka dobije se količina osušenog ječma.



Slika 18. Lijevak za izuzimanje osušenoga ječma (vlastita fotografija)

Odvagom osušenog ječma iz sušare, te izračunom rada izuzimača i vremenu protoka zrna dobit će se masa ječma u jedinici vremena (t/h). Mjerenje količine protoka zraka utvrđuje se anemometrom kod aksijalnog ventilatora više puta radi utvrđivanja točne vrijednosti količine protoka zraka na izlazu iz sušare.

Sušara koristi energent zemni plin, ima ugrađeno 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 19.



Slika 19. Mjerenje potrošnje plina plinskom turbinom (vlastita fotografija)

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Količina protoka zrna ječma i količina protoka zraka u sušari

Količinu protoka zrna ječma kroz sušaru određuje više parametara, a jedan od njih je i sam rad izuzimača. Dana 23. lipnja 2019. godine u Silosu Darda uzimanjem odvaga ječma lijevkom, utvrdio sam (u deset odvaga) prosjek od 8,75 kg osušenog ječma. Daljnjim izračunom dobio sam količinu protoka zrna ječma, u vremenskom periodu od jednog sata i ono iznosi 23,625 tona osušenog ječma, tablica 3.

Tablica 3. Srednja vrijednost odvaga zrna ječma u „Silosu Darda“

BROJ UZORAKA	VRIJEME RADA IZUZIMAČA rad + pauza	KOLIČINA UZORKA (kg)
10	ispod 1 kolone	prosjek 8,75
prosjek (t/h)		23,625

U tablici 4. proračunski utvrđene srednje vrijednosti količine protoka zraka od 114.024 kg_{zraka}/h koje proizvode tri gornja aksijalna ventilatora.

Tablica 4. Količina protoka zraka u silosu DARDA

BROJ UZORAKA	KOLIČINA ZRAKA (kg/h) prosjek:
5	114 024

4.2. Vлага i temperatura zrna ječma na izlazu iz sušare „LAW SBC 25 LE“

Tablica 5. pokazuje rezultate mjerenja izlazne vlage i temperature ječma nakon procesa sušenja (10 mjerenja). Iz tablice se može vidjeti da je prosječna vlaga nakon sušenja bila oko 13.5% te da su izlazne temperature varirale između 20°C i 22°C što nam je bilo zadovoljavajuće te smo na osnovu tih parametara završili proces sušenja.

Tablica 5. Vrijednosti vlage i temperature ječma nakon sušenja

Redni broj	Vlaga (%) zrna ječma	Temperatura zrna ječma (°C)
1.	13,6	21,6
2.	13,5	20,6
3.	13,3	21,2
4.	13,4	20,5
5.	13,5	20,2
6.	13,5	20,3
7.	13,5	20,7
8.	13,6	20,4
9.	13,3	20,7
10.	13,7	20,6

4.3. h-x dijagram rada sušare „LAW SBC 25 LE“

Na osnovu provedenog istraživanja rezultata iz točke 4.1, dana 23. lipnja 2019. godine napravljen je proračun rada sušare. Temperature su mjerene pomoću termometara koji su postavljeni na sušari u određenim zonama sušenja. Tijekom ispitivanja temperatura okoline iznosila je 20°C, a relativna vlaga iznosila je 74 %. Vlažnost zrna ječma na ulazu u sušaru iznosila je $w_1 = 19\%$ uz temperaturu zrna od 22°C, a nakon sušenja prije zone hlađenja vlaga zrna $w_3 = 11,7\%$ i temperatura $\theta_3 = 45^\circ\text{C}$.

Zrak

$$t_0 = 20^\circ\text{C temp. okoline}$$

$$\varphi_0 = 74\% \text{ rel. vlažnost}$$

$$t_1 = 90^\circ\text{C}$$

$$L_0 = 114.024 \text{ kg/h}$$

$$t_2 = 38^\circ\text{C}$$

$$\varphi_2 = 70\% \text{ rel. vlaž. zraka}$$

Simboli:

t temperatura zraka

φ relativna vlaga

L količina zraka

θ temperatura zraka

zrno

$$\theta_u = 22^\circ\text{C}$$

$$w_1 = 19\%$$

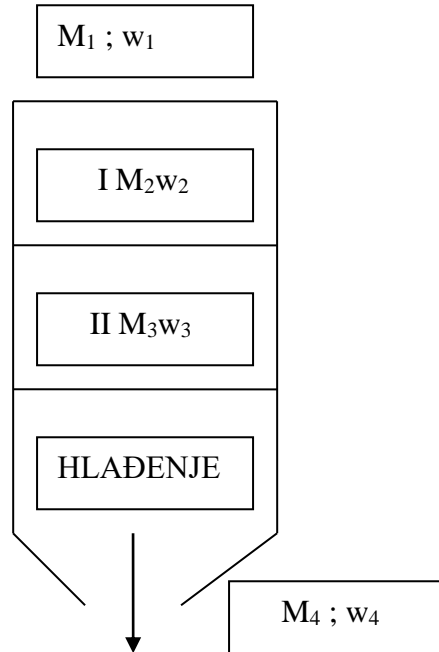
$$w_3 = 13,5\%$$

$$\theta_t = 40^\circ\text{C}$$

$$w_4 = 12,3\%$$

$$t_4 = 25^\circ\text{C}$$

H_d donja ogrjevna vrijednost



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

Razlika temperature zraka za sušenje

$$\Delta t = t_1 - t_0 = 90^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta h = C_p \cdot \Delta t = 1,005 \cdot 70 = 70 \text{ kJ/kg}_{SZ}$$

Okolina

$$t_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 74\%$$

a) sadržaj vode u zraku

$$x_0 = 10,5 \text{ g/kg} = 0,0105 \text{ kg/kg}$$

b) entalpija zraka

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

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

$$h_0 = 20 + 0,0105 \cdot (2.500 + 1,93 \cdot 20)$$

$$h_0 = 46,65 \text{ kJ/kg}$$

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

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

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

c) gustoća zraka

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

$$V = \frac{V_o}{273,15} \cdot T = \frac{0,773}{273,15} \cdot 283,15 = 0,801 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\zeta = \frac{1}{0,801} = 1,248 \text{ kg/m}^3$$

Količina suštog zraka

$$Z = L / (1 + x_{iz}) = 114024 / (1 + 0,0305) = 110649 \text{ kg/h}$$

$$Q_g = Z \cdot \Delta h = 110649 \cdot 70 = 7.745.444 \text{ kJ/h}$$

$$G_{gor} = Q_g / H_d = 7745444 / 35795 = 216 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$G_{gor} = 0,59 \text{ kg/m}^3 \cdot 216 = 127,66 \text{ kg/h}$$

Količina vode iz goriva

Metan	CH ₄	87,82%	x	2,00	1,7564
Etan	C ₂ H ₆	05,42%	x	3,00	0,1626
Propan	C ₃ H ₈	02,94%	x	4,00	0,1176
Butan	C ₄ H ₁₀	01,52%	x	5,00	0,076
1m ³ plina				Σ	2,11 m ³ /m ³ H ₂ O

$$\varphi_{H_2O} = 0,8504 \text{ kg/m}^3$$

$$W_g = G_g \cdot w_g = 127,66 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2,11 \text{ m}^3_{H_2O}/\text{m}^3_{plina} = 269,37 \text{ m}^3_{H_2O}/\text{h}$$

$$X_g = W_g / Z = 269,37 / 110649 = 2,4 \text{ g/kg}$$

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

TOČKA "0"

$$h_0 = 46,61 \text{ kJ/kg}$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_0 = 74\%$$

$$x_0 = 10,5 \text{ g/kg}$$

TOČKA "1"

$$\text{-direktna sušara } t_1 = 90^\circ\text{C}; \quad x_1' = x_0 + x_g = 12,9 \text{ g/kg}$$

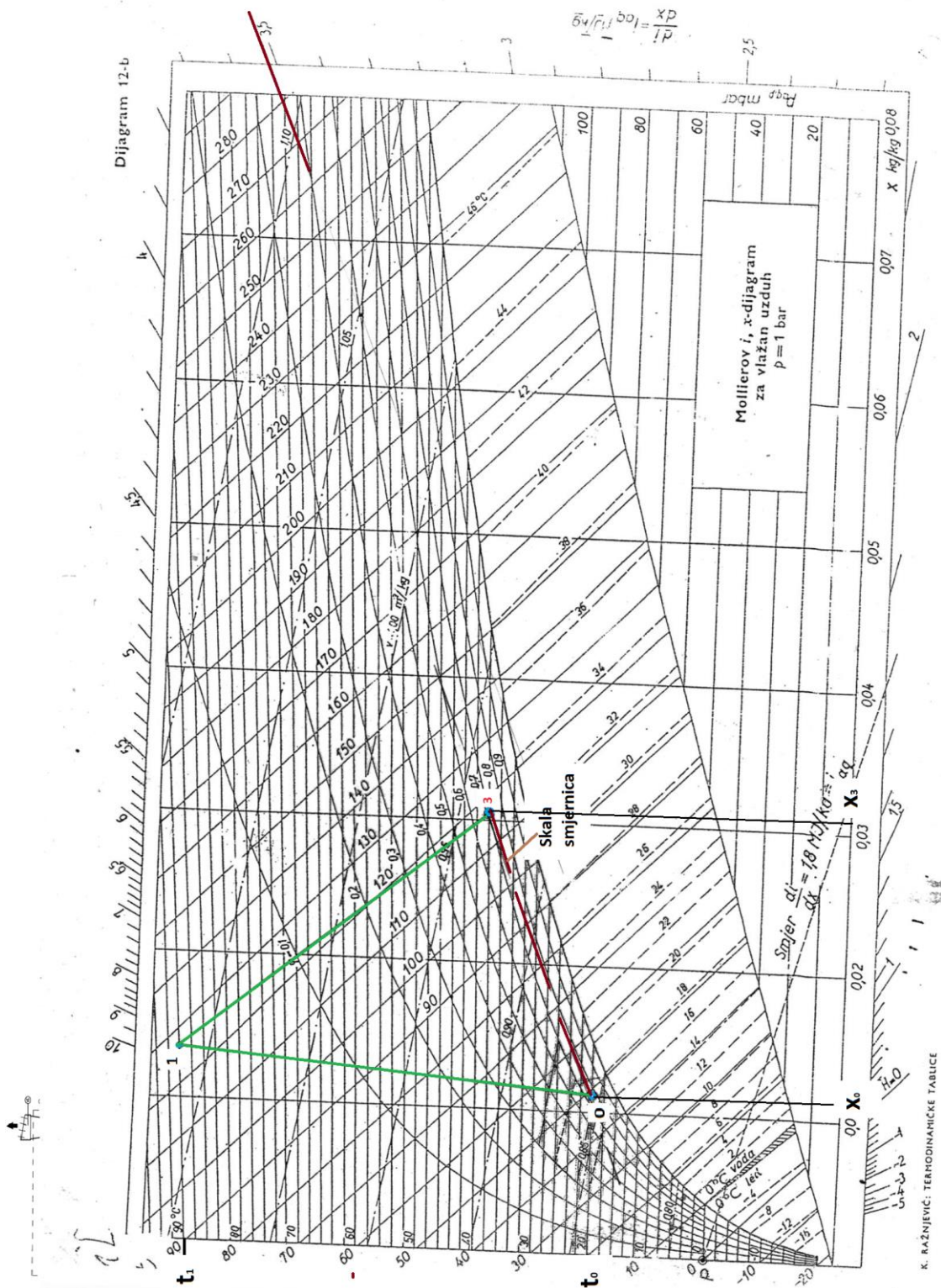
$$\text{Očitano } h_1 = 128 \text{ kJ/kg}$$

TOČKA "3"

$$t_3 = 38^\circ\text{C} \quad \varphi_3 = 70\% \quad x_3 = 30,5 \text{ g/kg}$$

$$\text{Skala smjernica: } q_{hi} = 3\,510 \text{ kJ/kg}_{\text{ispr. vode}}$$

Dijagram 2. Mollier-ov h-x dijagram sušenja u sušari „LAW SBC 25 LE“



5. RASPRAVA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

5.1. Protoka zrna ječma i količine protoka zraka u sušari

Usporede li se dobiveni rezultati (tablica 3.) količine protoka zrna sa deklaracijom sušare uz redukciju vlage sa 19% na 14%, može se utvrditi da su isti približno jednaki deklariranim.

U tablici 5. proračunski utvrđene srednje vrijednosti količine protoka zraka od 114.024 kg_{zraka}/h koje proizvode tri gornja aksijalna ventilatora.

5.2. Vlage i temperature zrna ječma na izlazu iz sušare „LAW SBC 25 LE“

Iz tablice 5. se može vidjeti da je prosječna vlaga nakon sušenja bila oko 13.5% te da su izlazne temperature varirale između 20°C i 22°C što nam je bilo zadovoljavajuće te smo na osnovu tih parametara završili proces sušenja.

5.3. Potrošnja energije i h-x dijagram rada sušare „LAW SBC 25 LE“

Na osnovu provedenog istraživanja rezultata iz točke 4.1, dana 23. lipnja 2019. 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 $x_0 = 10,5 \text{ g/kg}_{\text{suštog zraka}}$ i sadržaj energije $h_0 = 46,65 \text{ kJ/kg}_{\text{suštog zraka}}$. U zoni sušenja zagrijani zrak (pomiješan sa dimnim plinovima) sadrži količinu vode od $x'_1 = 12,9 \text{ g/kg}$ s energijom $h'_1 = 128 \text{ kJ/kg}$. Izlaskom zraka iz zone sušenja s temperaturom t_3 zrak dolazi u stanje 3. Iz razlike konačnog i početnog stanja zraka $\Delta x = x_3 - x'_1 = 20 \text{ g/kg}_{\text{suštog zraka}}$ saznajemo koliko je zrak na sebe primio vode u doticaju sa zrnom. Spajanjem točke 0. i točke 3. dobivena je skala smjernica $q_{hi} = 3510 \text{ kJ/kg}_{\text{isp. vode}}$ za gornji dio sušare iza gornjih tri ventilatora. Možemo zaključiti da je sušara dobro podešena.

Želimo li prikazati cijenu sušenja za 1 kg isparene vode, istu ćemo dobiti iz jednadžbe uz cijenu (1 m³ zemnog plina = 5,10 kuna sa PDV-om).

$$3510 \text{ kJ /kg} : 35795 \text{ kJ/m}^3 = 0,098 \text{ m}^3 / \text{kg}_{\text{isp. vode}} \times 5,10 \text{ kn} = 0,50 \text{ kn/kg}_{\text{isp. vode}}$$

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 sušarama „LAW SBC 25 LE“ su u skladu sa rezultatima koje navodi proizvođač.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih istraživanja sušenjem zrna ječma u sezoni 2019. godine na sušari „LAW SBC 25 LE“ koja su koristi kao energent zemni plin, mogu se izvesti slijedeći zaključci:

1. Na sušari „LAW SBC 25 LE“ koja koristi kao energent zemni plin, uz pomoć h-x dijagrama dobivena je energetska potrošnja 3 510 kJ/kg isparene vode, pa možemo zaključiti da je sušara toga dana bila dobro podešena.
2. Kako je u pogonu Darda te godine bilo malo ječma vlažnosti veće od 14,5% (oko 410 t), predlažem da se partije ječma vlažnosti od 14,5% do 17% ne suše već u noćnim satima primjenom uređaja za rashlađivanje zraka (GRANIFRIGO) hlade. Tim postupkom ujedno bi i ohladili zrno ječma i skinuli postotak vlage oko 2,5%, pa se kao takovo zrno ječma može sigurno skladištiti do uporabe za tvornicu stočne hrane u sklopu silosa.
3. Cijena sušenja za kilogram isparene vode kod sušare „LAW SBC 25 LE“ iznosi 0,50 kune po kg isparene vode.
4. Analizom uzorka osušenoga ječma nije uočen povećani postotak loma nakon sušenja što ukazuje i na dobar protok zrna kroz istu (nema čepova zadržavanja) i temperature zraka konvektivnog-konduktivnog načina sušenja.

7. POPIS LITERATURE

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. Kovačević, V. i Rastija, M., (2009): Modul osnove proizvodnje žitarica; Poljoprivredni fakultet Osijek; Sveučilišni preddiplomski studij smjer bilinogojstvo; Osijek, 2009.
8. Krička, Tajana., (1993): Utjecaj perforiranja zrna kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, Doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
9. Ritz, J., (1978): Osnovi uskladištenja ratarskih proizvoda, Liber, Zagreb.
10. Sadadinović, J. (2008): Organska tehnologija, Tuzla, 2008
11. Strelec, (2001): Strojarski priručnik, 6. Izdanje, Energetika marketing, Zagreb.
12. Šunić, M., (2001): Regulatori tlaka plina i regulacijske stanice, Energetika marketing, Zagreb.
13. Topličanec, B., Buljak, V., (2007): Plinski uređaji u praksi, Projektiranje, izvođenje i održavanje, Tipomat, Zagreb.
14. Ujević, A., (1988): Tehnologija dorade i čuvanja sjemena, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
15.(2020): www.belje.hr
16. ... (2020): www.dzs.hr.
17. ... (2019): [www. Fao.org](http://www.Fao.org).
18. ... (2020): www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm

8. SAŽETAK

U radu su ispitana neposredna kontinuirana sušara koja koristi zemni plin kao energent. Ciljevi ovoga rada bili su: 1. utvrditi energetske potrošnje sušare pri sušenju ječma izraženu u kJ/kg isparene vode; 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 „LAW SBC 25 LE“, tijekom sezone sušenja 2019. 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 zraka kroz sušaru u jedinici vremena za gornji dio sušare, temperature i relativne vlage zraka prije plamenika, na ulazu i izlazu iz gornje zone sušenja. Na osnovu izmjerenih veličina tijekom dana, pomoću Mollier-ovog "h-x" dijagrama, na sušari koja koristi zemni plin kao energent utvrđena je energetska potrošnja od 3510 kJ/kg isparene vode, što pokazuje dobru podešenost ispitivanih sušara.

Analizom uzorka osušenoga ječma nije uočen povećani postotak loma nakon sušenja što ukazuje i na dobar protok zrna kroz istu (nema čepova zadržavanja) i temperature zraka konvektivni-konduktivnog načina sušenja.

Upotreba sušare „LAW SBC 25 LE“ za velika poljoprivredna poduzeća u kojima završava i roba lokalni obiteljskih gospodarstava, opravdava se kroz isplativost s obzirom na njenu iskoristivost i specifičnu potrošnju goriva, laku montažu i mogućnost iskorištenja energenta zemnog plina što je u današnjem vremenu sa stanovišta ekologije sve više prihvatljivo.

Ključne riječi: ječam, sušenje, energetske vrijednosti,

9. SUMMARY

In the present work, a direct continuous dryers that uses natural gas as an energy source. The objectives of this study were: 1 determine the energy consumption of the dryer drying barley expressed in kJ / kg evaporated water, 2 measure the grain temperature at the entrance of the dryer, the drying and the exit of the dryer to determine grain damage internal stress;

The research was carried out of the drier „LAW SBC 25 LE“ during the drying season 2019th year.

To calculate the capacity of drying kilns and energy consumption measurements were carried out moisture and grain temperature at the entrance of the dryer, the moisture content and grain temperature at the exit of the dryer, the amount of air flow through the dryer in the unit of time for the upper part of the dryer, temperature and relative humidity of air before the burner at the entrance and exit of the upper zone drying. Based on the measured values during the day, using the Mollier's "h-x" diagrams, the drier, which uses natural gas as an energy source is determined by the energy consumption of 3510 kJ/kg_{evaporated water}, which shows a good adjustment examined driers.

Analyzing a sample dried corn not observed an increased fracture rate after drying it points to the good flow of grain through the same (no plugs retention) and air temperature convective-conductive drying methods.

Use the dryer „LAW SBC 25 LE“ for large agricultural companies in which the ends and goods local family farms, is justified by the cost-effectiveness with regard to its efficiency and specific fuel consumption, easy installation and the possibility of utilization of natural gas as fuel in today's time in ecology more acceptable.

Keywords: barley, drying, energy values

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Prosječan kemijski sastav ječmenog zrna

Tablica 2. Odnos količine zraka i dimnih plinova

Tablica 3. Srednja vrijednost odvaga zrna ječma u „Silosu Darda“

Tablica 4. Količina protoka zraka u silosu DARDA

Tablica 5. Vrijednosti vlage i temperature ječma nakon sušenja

11. POPIS SLIKA

Slika 1. Logo dioničarskog društva Belje d.d.

Slika 2. Podjela sušara

Slika 3. Proces sušenja šaržne sušare

Slika 4. Silos-sušara "Konskilde"

Slika 5. Posredni i neposredni grijači zraka

Slika 6. Obračun mase i energije

Slika 7. Kolna vaga

Slika 8. Kolna vaga - displej

Slika 9. Izuzimač uzorka

Slika 10. Električni vlagomjer

Slika 11. Sušara „LAW SBC 25 LE“ sa glavnim djelovima

Slika 12. Sušara „LAW SBC 25 LE“ u silosu DARDA

Slika 13. Stub sušare

Slika 14. Ventilator

Slika 15. Plinski generator topline

Slika 16. Shematski prikaz rada izuzimača zrna

Slika 17. Shema rada sušare „LAW SBC 25 LE“

Slika 18. Lijevak za izuzimanje osušenoga ječma

Slika 19. Mjerenje potrošnje plina plinskom turbinom

Slika 20. Rezultati mjerenje izlazne vlage i temperature ječma

12. POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. h-x dijagram

Dijagram 2. Mollier-ov h-x dijagram sušenja u sušari „LAW SBC 25 LE“

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Diplomski rad

SUŠENJE JEČMA U SEZONI 2019. U SILOSU BELJE PLUS PC TSH DARDA

Mateo Ambrinac

Sažetak:

U radu su ispitana neposredna kontinuirana sušara koja koristi zemni plin kao energent. Ciljevi ovoga rada bili su: 1. utvrditi energetska potrošnja sušare pri sušenju ječma izraženu u kJ/kg isparene vode; 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 „LAW SBC 25 LE“, tijekom sezone sušenja 2019. 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 zraka kroz sušaru u jedinici vremena za gornji dio sušare, temperature i relativne vlage zraka prije plamenika, na ulazu i izlazu iz gornje zone sušenja. Na osnovu izmjerenih veličina tijekom dana, pomoću Mollier-ovog "h-x" dijagrama, na sušari koja koristi zemni plin kao energent utvrđena je energetska potrošnja od 3510 kJ/kg isparene vode, što pokazuje dobru podešenost ispitivanih sušara. Analizom uzorka osušenoga ječma nije uočen povećani postotak loma nakon sušenja što ukazuje i na dobar protok zrna kroz istu (nema čepova zadržavanja) i temperature zraka konvektivni-konduktivnog načina sušenja. Upotreba sušare „LAW SBC 25 LE“ 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, laku montažu i mogućnost iskorištenja energenta zemnog plina što je u današnjem vremenu sa stanovišta ekologije sve više prihvatljivo.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: Prof. dr. sc. Darko Kiš

Broj stranica: 48

Broj grafikona i slika: 19

Broj tablica: 5

Broj literaturnih navoda: 14

Broj priloga:

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: ječam, 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 BARLEY IN SEASON 2019. IN THE SILO BELJE PLUS PC TSH DARDA

Mateo Ambrinac

Abstract

In the present work, a direct continuous dryers that uses natural gas as an energy source. The objectives of this study were: 1 determine the energy consumption of the dryer drying barley expressed in kJ / kg evaporated water, 2 measure the grain temperature at the entrance of the dryer, the drying and the exit of the dryer to determine grain damage internal stress; The research was carried out of the drier „LAW SBC 25 LE“ during the drying season 2019th year. To calculate the capacity of drying kilns and energy consumption measurements were carried out moisture and grain temperature at the entrance of the dryer, the moisture content and grain temperature at the exit of the dryer, the amount of air flow through the dryer in the unit of time for the upper part of the dryer, temperature and relative humidity of air before the burner at the entrance and exit of the upper zone drying. Based on the measured values during the day, using the Mollier's "h-x" diagrams, the drier, which uses natural gas as an energy source is determined by the energy consumption of 3510 kJ/kg evaporated water, which shows a good adjustment examined driers. Analyzing a sample dried corn not observed an increased fracture rate after drying it points to the good flow of grain through the same (no plugs retention) and air temperature convective-conductive drying methods. Use the dryer „LAW SBC 25 LE“ for large agricultural companies in which the ends and goods local family farms, is justified by the cost-effectiveness with regard to its efficiency and specific fuel consumption, easy installation and the possibility of utilization of natural gas as fuel in today's time in ecology more acceptable.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: Prof. dr. sc. Darko Kiš

Number of pages: 48

Number of figures: 19

Number of tables: 5

Number of references: 14

Number of appendices:

Original in: Croatian

Key words: barley, 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