

# Pogon za sušenje žitarica poljoprivredni obrt Antun Babojelić

---

**Dmejhal, Zvonimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:036727>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**POGON ZA SUŠENJE ŽITARICA „POLJOPRIVREDNI  
OBRT ANTUN BABOJELIĆ“**

**Završni rad**

**Zvonimir Dmejhal**

**Osijek, 2016.**

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 1.1. Zadatak završnog rada .....                               | 1  |
| 2. ELEKTRIČNI STROJEVI .....                                   | 2  |
| 2.1. Dijelovi i vrste električnih strojeva .....               | 3  |
| 2.2. Pogonska stanja električnih strojeva.....                 | 3  |
| 2.3 Asinkroni motor.....                                       | 4  |
| 3. OSNOVNO O SUŠARAMA .....                                    | 7  |
| 3.1. Sušenje i vrste sušara .....                              | 7  |
| 3.2. Građa sušare .....  | 8  |
| 3.3. Tipovi sušara.....  | 10 |
| 4. TEHNIČKI OPIS PROCESA SUŠENJA .....                         | 11 |
| 4.1. Tehnološki proces proizvodnje.....                        | 11 |
| 4.2. Proces pročišćavanja.....                                 | 12 |
| 4.3. Proces sušenja.....                                       | 14 |
| 4.4. Puštanje u rad.....                                       | 18 |
| 4.5. Skladištenje.....   | 19 |
| 5. TEHNIČKI OPIS POGONA SUŠARE .....                           | 20 |
| 5.1. Motori prečistača .....                                   | 20 |
| 5.2. Motori sušare .....                                       | 23 |
| 5.3. Termostati i senzori .....                                | 30 |
| 6. PRORAČUN POTROŠNJE TOPLINSKE ENERGIJE TIJEKOM SUŠENJA ..... | 37 |
| 7. ZAKLJUČAK .....   | 39 |
| LITERATURA .....   | 40 |
| POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA .....                        | 41 |
| POPIS SLIKA, SHEMA I TABLICA.....                              | 43 |
| SAŽETAK.....   | 45 |
| ABSTRACT .....   | 45 |
| ŽIVOTOPIS .....  | 46 |
| PRILOZI.....   | 47 |
| PRILOG 5.1. Jednopolna shema sušare .....                      | 47 |
| PRILOG 5.2. Jednopolna shema plamenika .....                   | 48 |
| PRILOG 5.3. Jednopolna shema termostata na pogonu.....         | 49 |
| PRILOG 5.4. Jednopolna shema glavnog ormara.....               | 50 |

## 1. UVOD

Oduvijek se čovjek susretao s problemom čuvanja žitarica za njihovu dužu upotrebu. Početkom prošlog stoljeća žito se ručno kosilo prije potpunog sazrijevanja, vezalo u snopove te slagalo. Tako složeno stajalo je na polju 30-ak dana dok se ne bi prirodno osušilo te tako osušeno kod kuće se vršilo i spremalo na tavane kuća ili u ambare. Razvojem našeg društva i ekonomije dolazi do znatnog povećanja potrebe za hranom i samim time i do potrebe skladištenja žitarica, što dovodi do razvoja novih tehnologija skladištenja umjesto tradicionalnih. Kako bi ih pravilno uskladištili potrebno ih je za to i pripremiti. Pod navedenom pripremom podrazumijevamo njezino pročišćavanje te sušenje na zadovoljavajuću razinu vlažnosti. Proces pročišćavanja podrazumijeva odstranjivanje nečistoća, primjese te biljnih ostataka koje su žetvom dospjele u spremnik za zrno. Proces sušenja podrazumijeva smanjenje vlažnosti na optimalnu vrijednost koja je pogodna za skladištenje u silos ili daljnji transport. Navedeni proces je važan zbog toga što vlaga u zrnu može prouzrokovati gubitke u procesu skladištenja kao npr. pojava gljivičnih kultura, samozapaljenje žitarica usred prevelike i neujednačene vlage te na koncu do povećane potrošnje energenata tokom sušenja kada dolazi do presušivanja proizvoda. Sušare manjeg kapaciteta odnosno do 1000 kg/h koriste manja obiteljska gospodarstva koja se većinom bave tovom junadi i proizvodnjom mlijeka za svoje potrebe. Sušare većeg kapaciteta odnosno >1000 kg/h koriste otkupljivači koji se bave trgovinom i otkupom žita. U ovom završnom radu bit će obrađena sušara (STABIL 3000) većeg kapaciteta jednog slavonskog gospodarstva koje navedenu sušaru koristi za potrebe otkupa i trgovine.

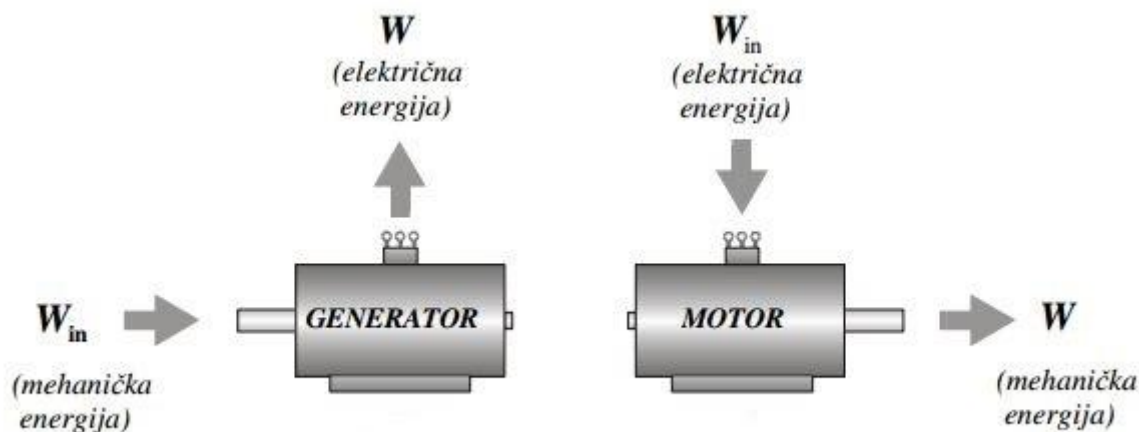
### 1.1. Zadatak završnog rada

Uvidom u pogon i dostupnu dokumentaciju elektromotornog pogona za sušenje i skladištenje žitarica „Poljopivredni obrt Antun Babojelić“ treba proučiti i opisati pogon od ulaska žitarica u njega do mjesta njezina izlaska. Posebnu pažnju posvetiti procesima i elektromotornom pogonu te utvrditi: broj elektromotora, vrste, snage i funkcije u navedenom pogonu. Sadržaj popratiti odgovarajućim skicama, fotografijama, slikama i shemama koje nam daju viziju rada i funkcije ovakvog pogona.

## 2. ELEKTRIČNI STROJEVI

Energiju u prirodi možemo pronaći u različitim oblicima a na nama je da ju pretvorimo u nama potreban odnosno koristan oblik. Prema [1] električni stroj je jedan od načina odnosno sredstava pretvorbe energije. On pretvara mehaničku u električnu energiju te obratno električnu u mehaničku ovisno o načinu rada. Mehanička energija ili mehanički rad stroja uvelike olakšava život čovjeka jer svaki rad što ga obavi stroj ne mora ga obaviti čovjek. Mana prvih strojeva koji su obavljali mehanički rad bila je da su morali biti vezani za mjesto gdje se odvijala pretvorba energije no razvojem industrije rješenje je postala električna energija. Električna energija lako se može proizvoditi te također jednostavno prenijeti i upotrijebiti tamo gdje je potrebno.

S obzirom na način rada odnosno na smjer pretvorbe energije prema [2] postoje električni generatori i električni motori. Kada stroj pretvara mehaničku u električnu energiju za njega kažemo da je električni generator, a kada pretvara električnu u mehaničku energiju za njega kažemo da je električni motor (Slika 2.1. [3]). Oba stroja zasnivaju rad na istim fizikalnim pojavama i istim principima pretvorbe energije pa tako isti stroj može raditi u oba načina rada.



Slika 2.1. Pretvorba energije u električnom stroju

Pri pretvorbi energije dolazi do gubitaka tako da iznos dovedene (primljene, ulazne) nije jednak predanoj odnosno (korisnoj) energiji. Predana energija  $W_{ou}$  uvijek je manja od primljene  $W_{in}$ .

$$W_{ou} < W_{in} \quad (2-1)$$

Prema [3] pri pretvorbi energije dolazi do gubitaka u željezu (zbog pojave vrtložnih struje i histereze), gubitaka u bakru (zbog toka struje kroz omske otpore), mehaničkih gubitaka (trenje

i ventilacija stroja) te dielektričnih gubitaka (nastaju u izolaciji) te zbog njih primljena i predana energija nisu jednakih iznosa.

$$W_{\text{og}} > 0 \quad (2-2)$$

## 2.1. Dijelovi i vrste električnih strojeva

Električni se stroj prema [3] sastoji od magnetskog (jezgra od feromagnetskog materijala) i električnog dijela(jedan ili više namota). Također stroj se sastoji od rotora (pomičnog dijela) i statora (nepomičnog dijela). Na rotoru se nalazi željezna jezgra, namot, klizni kontakti, osovina i ventilator dok se na statoru nalazi željezna jezgra, namot, priključci i kućište. U magnetski krug električnog stroja ubrajaju se i feromagnetski dijelovi statora i rotora te zračni raspod. Prema [3] namot električnog stroja je skup svih vodiča međusobno spojenih po nekom pravilu i smještenih u ili na željeznu jezgru. Ovisno o ulozi namot može biti uzbudni i armaturni.

Električni strojevi dijele se na sinkrone, asinkrone te istosmjerne strojeve. Prema [4] sinkroni strojevi su rotacijski strojevi koje pretvaraju mehaničku energiju u električnu i obratno, radeći tako da se rotor u stacionarnom stanju vrti sinkronom brzinom jednakom brzini okretnog magnetskog polja u stroju. Brzina vrtnje je sinkrona brzina i ona ovisi o broju polova stroja i frekvenciji mreže.

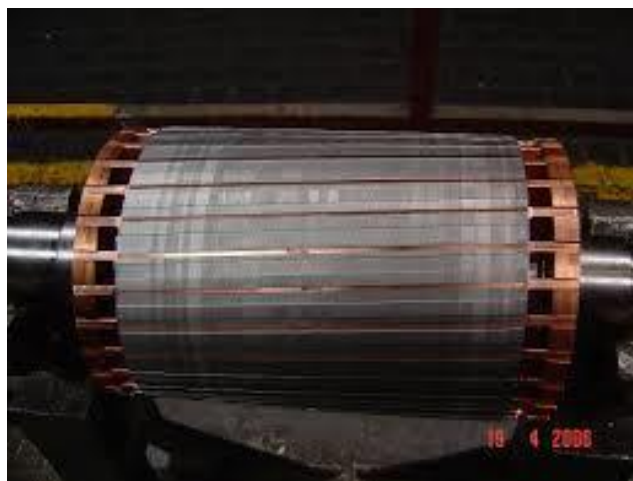
Prema [3] kod asinkronih strojeva brzina vrtnje se razlikuje od sinkrone brzine odnosno brzine vrtnje okretnog polja i mijenja se s opterećenjem.

## 2.2. Pogonska stanja električnih strojeva

Električni stroj može raditi u trajnom, kratkotrajnom ili isprekidanom pogonu. Opterećenje je osnovno pogonsko stanje koje se nalazi između dva krajnja pogonska stanja tj. praznog hoda (neopterećen stroj) i kratkog spoja (maksimalno opterećen stroj). Prazni hod je stanje u kojem nema korisne pretvorbe energije ali je stroj spreman za rad. Kratki spoj je stanje koje nastaje pretjeranim mehaničkim opterećenjem odnosno dogodi se zastoj osovine stroja.

### 2.3 Asinkroni motor

Budući da su svi motori pogona trofazni asinkroni kavezni motori u ovom poglavlju opisat ćemo njihovu izvedbu te rad. Dakle asinkroni strojevi su strojevi kod kojih je brzina vrtnje rotora različita od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja te se mijenja s promjenom opterećenja. Prema [5] asinkrone motore možemo ovisno o izvedbi podijeliti na kavezne (namot izveden u obliku kaveza) i kolutne (na rotoru se nalazi trofazni simetrični namot) motore. Statorski paket izveden je od tankih dinamo-limova kako bi se spriječila pojava vrtložnih struja. Rotor je oblika kavezne konstrukcije (Slika 2.2.[6]), odnosno u utorima rotora smješteni su štapovi koji su na krajevima spojeni prstenovima te tako zatvoreni čine kavez. Kod ovakvog motora svaki štap predstavlja fazu u kojoj u naponi i struje pomaknuti u odnosu na susjedni štap.



**Slika 2.2.** Rotor asinkronog kaveznog motora

Statorski paket sastoji se od tri fazna namota koji su izvedeni tako da su njihove geometrijske osi međusobno pomaknute za  $120^\circ$ . Kada se na stator narinu simetrični fazni naponi vremenski pomaknuti za  $120^\circ$  kroz fazne namote protoku struje istog faznog pomaka koje stvaraju jedinstveno okretno magnetsko polje koje se okreće sinkronom brzinom:

$$n_s = \frac{60f}{p} \text{ (o/min)} \quad (2-3)$$

Gdje su:

$n_s$  - sinkrona brzina vrtnje (o/min),

$f$  - frekvencija mreže (Hz),

$p$  - broj pari polova

Ukoliko je motor neopterećen brzina je približno sinkrona ( $n_s$ ), povećavajući opterećenje ona opada na vrijednost  $n$ . Relativna razlika između sinkrone brzine okretnog polja i stvarne brzine rotora naziva se klizanje  $s$  koje možemo izraziti jednačinom:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2-4)$$

Gdje su:

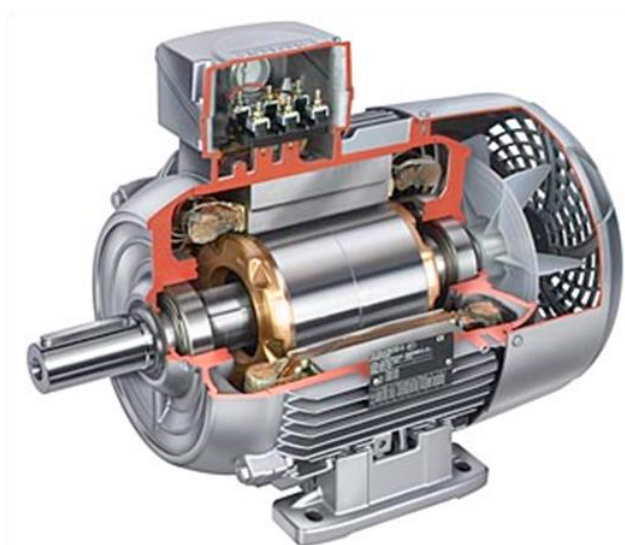
$s$  - klizanje

$n_s$  - sinkrona brzina vrtnje (o/min)

$n$  - nazivna brzina asinkronog motora (o/min)

Dakle čim motor uklopimo kroz stator poteče struja koja prouzroči okretno magnetsko polje. Dok se rotor nije zavrteo okretno polje njegove vodiče sječe velikom brzinom tada se u vodičima rotora induciraju velike struje, koje također izazivaju stvaranje također jakih struja u stator. Motor tada u trenutku pokretanja na mreži uzrokuje veliki pad napona no jednom kad se zaleti njegova se struja sama regulira prema trenutnom opterećenju.

Svakom opterećenju odgovara određena struja koju uzrokuje inducirana elektromotorna sila na rotoru. Dakle zato brzina vrtnje rotora mora biti toliko manja od brzine okretnog magnetskog polja, da to polje siječe vodiče rotora onom brzinom koja je potrebna za induciranje baš te elektromotorne sile. Na slici 2.3. prikazana je građa asinkronog motora odnosno njegova unutrašnjost.



**Slika 2.3.** Građa asinkronog motora

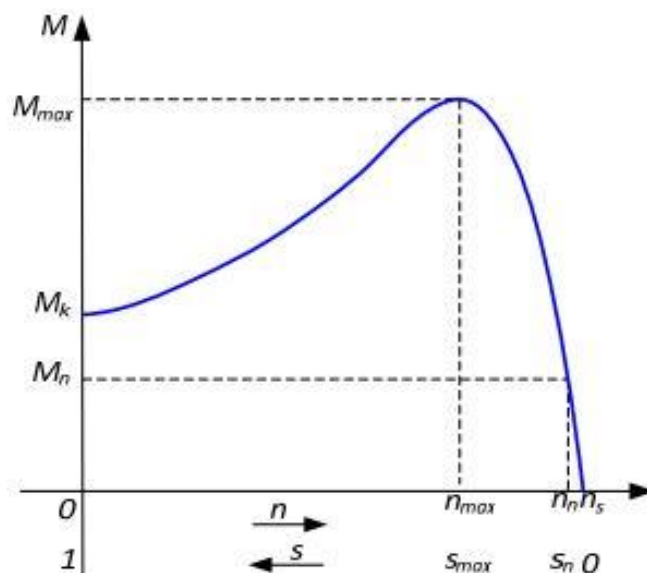


Pri pretvorbi energije u dijelovima motora javljaju se određeni gubici. U asinkronom motoru to su gubici u bakru statorskog i rotorskog namota, gubici u željeznoj jezgri statora i željezu rotora zbog vrtložnih struja i histereze, mehanički gubici koji nastaju trenjem u ležajevima te gubici koji nastaju trenjem s okolnim zrakom (ventilator), stoga dobivena snaga bit će uvijek manja od uložene.

Da bi motor mogao pokrenuti nekakav teret spojen na njega, njegov potezni moment mora biti veći od momenta tereta. Moment, snaga i brzina vrtnje povezani su jednačinom:

$$M = \frac{P_{\text{meh}}}{\omega} \quad (\text{Nm}) \quad (2-5)$$

Slika 2.4.[6] prikazuje momentnu karakteristiku asinkronog motora iz koje je vidljiva ovisnost momenta motora o brzini vrtnje stroja odnosno klizanju.



**Slika 2.4.** Momentna karakteristika asinkronog motora

### 3. OSNOVNO O SUŠARAMA

#### 3.1. Sušenje i vrste sušara

Sušara je pogon koji ima svrhu sušenja tj. smanjivanja vlage određene sirovine na željenu vrijednost. Zadaća tehnike i tehnologije sušenja jest da se sušenjem konzervira poljoprivredna kultura uz što manji potrošak energije potrebne za sušenje, sa što je moguće manjim promjenama kakvoće proizvoda i sa što manjim mogućim oštećenjem proizvoda te uz što manje onečišćenje okoliša tijekom sušenja [8]. Kako bismo ispravno koristili pojmove u sušenju važno je razjasniti koja je razlika između vlage i vlažnosti. Termin vlaga odnosi se na vodu u zrnu dok termin vlažnost predstavlja opisno stanje zrna odnosno za vlažnost kažemo da je odnos mase vode u zrnu s ukupnom masom zrna [8]. Ukupna masa zrna sastoji se od od mase suhe tvari i mase vode.

$$w = \frac{W}{M} = \frac{W}{ST + W} \quad (\%) \quad (3-1)$$

$w$  - vlažnost zrna (%)

$W$  - masa vode u zrnu (kg)

$M$  - masa vlažnog zrna (kg)

$ST$  - masa suhe tvari (kg)

Tijekom procesa sušenja udaljujemo tekućinu odnosno vodu iz materijala koji sušimo i za to moramo upotrijebiti energiju koja će ispariti vodu te dodatnu energiju koja će razbiti vezu vode sa suhom tvari materije koju sušimo. Prilikom sušenja zrnja poljoprivrednih kultura želimo udaljiti samo vodu. Prema veličini dodatne energije koju moramo iskoristiti za razdvajanje vode i suhe tvari razlikujemo četiri vrste vezanja vodu u zrnu a to su:

- Kemijski vezana voda koja je najjače vezana. To je vodikova veza koja se može uspostaviti između molekula vode i molekula suhe tvari. Ovaj dio vode uobičajenim sušenjem ne može se odstraniti te se tehnologija sušenja ne bavi problemom uklanjanja ove vode.
- Fizikalno - kemijska vezana voda podrazumijeva koloidalne otopine kojima možemo pripisati sljedeće karakteristike a to su da se vezanjem tekućine razvija toplina te prilikom vezanja tekućine nastaje kontrakcija sistema suha tvar-tekućina uslijed čega dolazi do povećanja volumena zrna bubrenjem.

- Fizikalno – mehanička vezana voda podrazumijeva vodu koja ispunjava kapilare tijela.
- Mehanički vezana voda je slobodna voda koja vlaži površinu zrna i može je biti više od 27 % [8].

Prema literaturi [9] sušare možemo podijeliti na više kategorija ili vrsta i to prema:

- Načinu dovođenja topline (konvektne i kontaktne)
- Vrsti ogrjevnog medija (zrak, plin, para, loživo ulje)
- Veličini tlaka (atmosferske i vakuum)
- Provedbi sušenja (kontinuirane i diskontinuirane)
- Uzajamnom smjeru strujanja zraka i tvari (istosmjerne, protusmjerne i unakrsne)

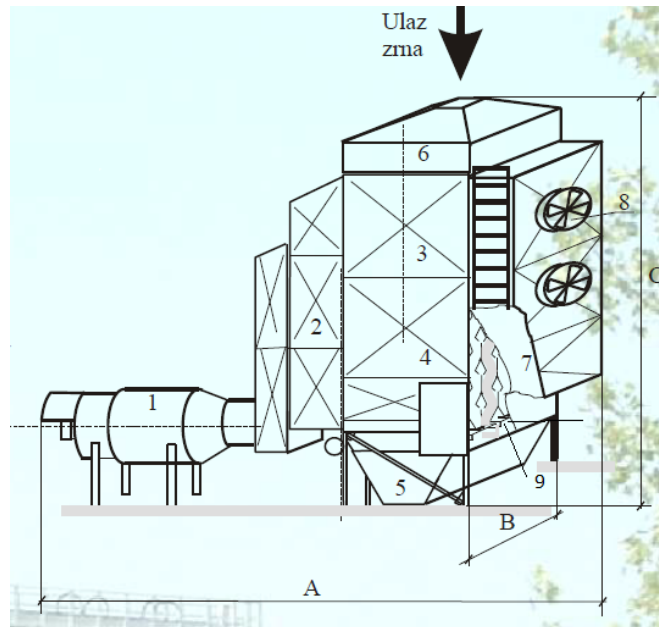
Sušara navedenog obrta je konvektivna, protočna sušara koja za energent koristi prirodni plin. Sušara ima kapacitet obrade 3000 kg/h što znači da po satu može obraditi 3000 kg ulazne sirovine. Pojam konvektivna označuje da se tvar giba u struji zraka odnosno sušenje se odvija za kratko vrijeme zbog velike površine kontakta između tvari i zagrijanog zraka dok pojam protočna sušara govori da tvar postupno prolazi kroz sušaru tj. giba se odnosno slobodno propada između ćelija koje dovode zagrijani zrak. Protočne sušare se u većini slučajeva koriste za sušenje žitarica i uljarica. Kod ove vrste sušara tvar se dovodi kroz usipni ljevak, prolazi kroz sušaru i izlazi na dnu te je važno napomenuti da je sušara uvijek ispunjena tvari.

### 3.2. Građa sušare

Sušaru ćemo podijeliti na sljedeće dijelove [10]:

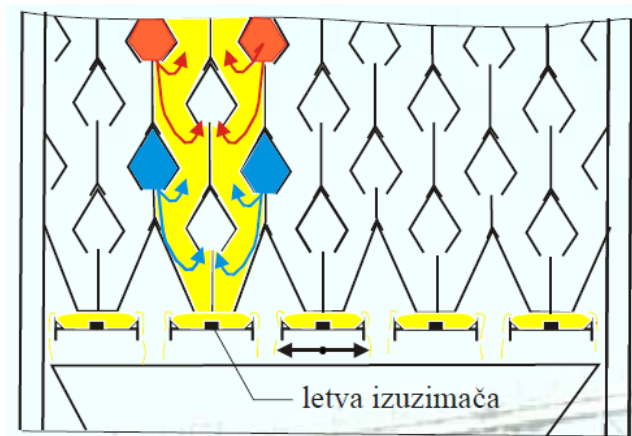
1. Generator topline s plamenikom: plinski plamenik sagorijevanjem prirodnog plina generira toplinu koju ventilator upuhuje tunelom u unutrašnjost sušare.
2. Ulazni kanal usmjerava topli zrak u zone sušenja
3. Zona sušenja
4. Zona hlađenja
5. Isipni koš – spremnik osušeno zrno
6. Usipni bunker – spremnik za sirovo zrno
7. Kanal izlaznog zraka – kroz njega se odvodi tzv. iskorišteni zrak
8. Ventilator – izvlači iskorišteni zrak, upravljiv ovisno o zadanoj temperaturi

9. Izuzimač zrna – uređaj koji ima zadaću izuzimanja (ispuštanja) zrna iz sušare. Ne mora izuzimati masu konstantno nego ima svoje intervale rada i intervale pauze koji se podešavaju vremenskim relejima.



**Slika 3.1.** Građa sušare

Unutrašnjost sušare ispunjena je nizom ćelija ili bolje rečeno krovića (Slika 3.2.[10]) kroz koje se upuhuje zrak u njezinu unutrašnjost ([10]). Krovići su postavljeni paralelno cijelom visinom sušare a njihova zadaća je provođenje toplog i hladnog zraka, ovisi o fazi sušenja. Iznad krovića nalazi se lim koji služi za usmjeravanje mase i sprječava zastoj zrna u unutrašnjosti sušare.



**Slika 3.2.** Unutrašnjost sušare

### 3.3. Tipovi sušara

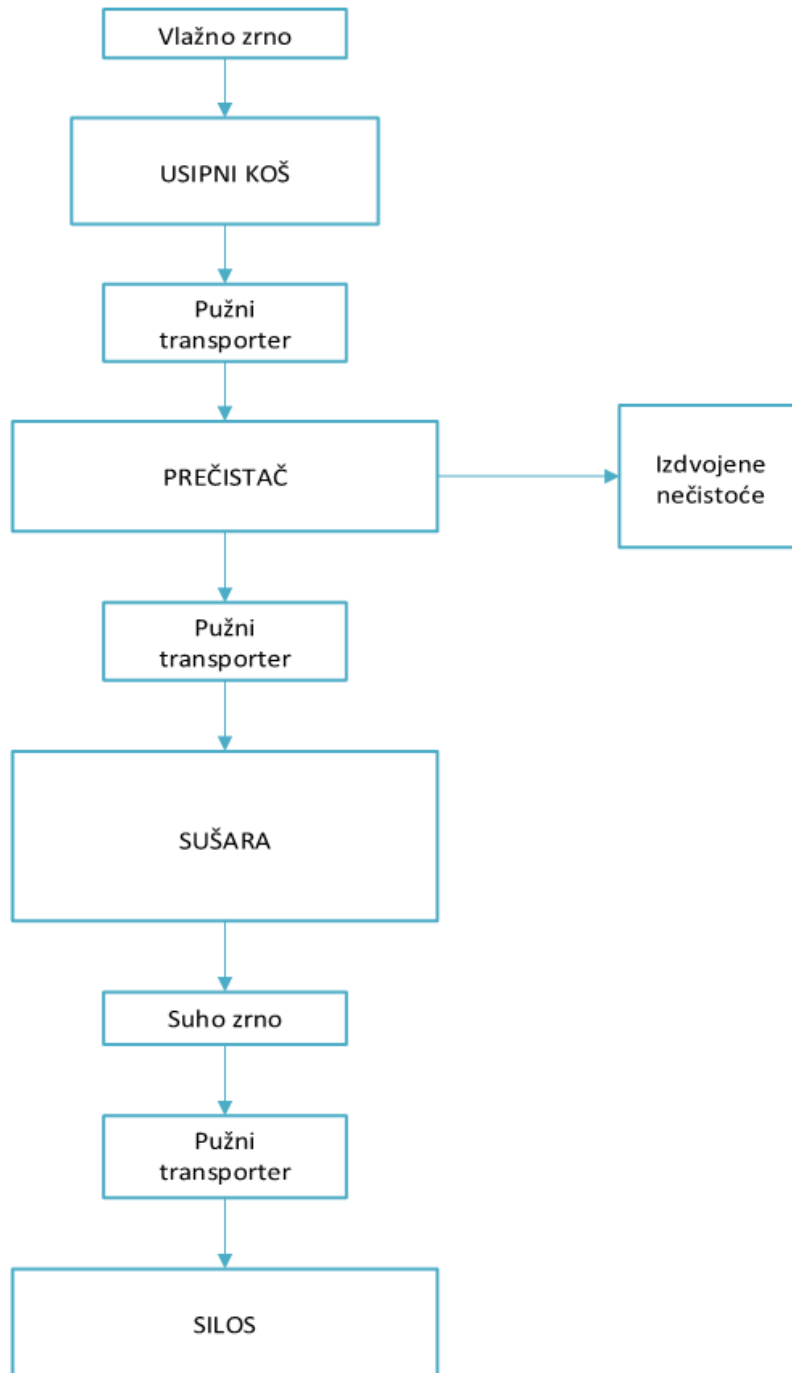
Sušare također dijelimo prema kapacitetu obrade koji se mjeri prema masi obrađene tvari po satu odnosno kg/h. Tipične vrijednosti kapaciteta obrade dane su u sljedećoj tablici [10] isto kao i tipične vrijednosti dimenzija sušare, njezinoj instaliranoj snazi električne energije te instaliranoj snazi toplinske energije te mase zapremnine sušare. Iz tablice 3.1. koja je uzeta kao primjer iz [10] je također vidljivo da ulazni kapacitet ovisi o kojoj se poljoprivrednoj kulturi radi te o ulaznoj vlazi navedene kulture.

**Tablica 3.1.** Karakteristike sušara za žitarice tvrtke „SETTING-INŽENJERING d.o.o.“

| OSNOVNE KARAKTERISTIKE SUŠARA ZA ZRNO   |         |                           |                           |                            |                            |                            |                |
|---|---------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| KARAKTERISTIKE  |         | TIP SUŠARE                | STABIL<br>1000            | STABIL<br>1500             | STABIL<br>2000             | STABIL<br>3000             | STABIL<br>4000 |
| ULAZNI<br>KAPACITET<br>SUŠARE PRI<br>SUŠENJU<br>KUKURUZA UZ<br>REDUKCIJU<br>VLAGE | 32% 14% | 1000<br>kg/h              | 1500<br>kg/h              | 2000<br>kg/h               | 3000<br>kg/h               | 4000<br>kg/h               |                |
|   | 25%-14% | 1450<br>kg/h              | 2100<br>kg/h              | 2900<br>kg/h               | 4350<br>kg/h               | 5800<br>kg/h               |                |
|   | 20%-14% | 2000<br>kg/h              | 3000<br>kg/h              | 4000<br>kg/h               | 6000<br>kg/h               | 8000<br>kg/h               |                |
| KAPACITET PRI SUŠENJU PŠENICE<br>SA 18%-14%                                       |         | 3000<br>kg/h              | 4500<br>kg/h              | 8000<br>kg/h               | 9000<br>kg/h               | 12000<br>kg/h              |                |
| DIMENZIJE<br>SUŠARA   | A (mm)  | 6350                      | 6350                      | 7200                       | 7200                       | 8000                       |                |
|   | B (mm)  | 2600                      | 2600                      | 2600                       | 2600                       | 2600                       |                |
|   | C (mm)  | 5224                      | 5724                      | 7724                       | 8724                       | 11150                      |                |
| KOLIČINA ZRNA POTREBNA ZA<br>ZAPUNITI SUŠARU                                      |         | 4 t                       | 6 t                       | 8 t                        | 10 t                       | 12 t                       |                |
| INSTALIRANA SNAGA EL.<br>ENERGIJE   |         | 5 kW                      | 6 kW                      | 10 kW                      | 14 kW                      | 20 kW                      |                |
| POTREBAN KABEL  |         | GG 5x6<br>mm <sup>2</sup> | GG 5x6<br>mm <sup>2</sup> | GG 5x10<br>mm <sup>2</sup> | GG 5x10<br>mm <sup>2</sup> | GG 5x16<br>mm <sup>2</sup> |                |
| INSTALIRANA SNAGA TOPLINSKE<br>ENERGIJE   |         | 260 kW                    | 390 kW                    | 520 kW                     | 780 kW                     | 1040 kW                    |                |

## 4. TEHNIČKI OPIS PROCESA SUŠENJA

### 4.1. Tehnološki proces proizvodnje



**Hodogram 4.1.** Tehnološki proces proizvodnje (MS Visio 2016)

## 4.2. Proces pročišćavanja

Prije nego započne proces sušenja žitarice istu je potrebno očistiti od nečistoća (ostatci biljaka poput slame i pljeve). No prije pročišćavanja kulture ista se važe te usipava u usipni koš koji je većinom izveden kao bazen u koji se usipava zrno te se iz njega uvlači pužnim transporterom u prečistač. U slučaju ovog pogona to je drugačije izvedeno kako je vidljivo na slici 4.1. [11] dakle nema bazena nego se zrno isipava neposredno na pužni transporter.



**Slika 4.1.** Usipni koš

Iz razgovora s vlasnikom pogona saznao sam da proces pročišćavanja započinje transportom žitarice pužnim transporterom (Slika 4.2. [11]) iz usipnog koša u prečistač. Prečistač se sastoji od dozera koji ravnomjerno raspoređuje masu te dvije razine sita za pročišćavanje (Slika 4.3.



[11]) pogonjene elektromotorom preko koljenastog vratila. Slika 4.2. [11] prikazuje smještaj motora na pužnom transporteru unutar prostorije u kojoj se nalazi prečistač.



**Slika 4.2.** Pužni transporter s pogonskim motorom

Na prvom situ većeg promjera rupa odvajaju se biljni ostatci (stabljika, mahune) dok na drugom situ manjeg promjera rupa odvajaju se zrna s lomom te sjemenje korova. Nečistoće s oba sita padaju u poseban odvod koji ih odvodi van pročistača na predviđeno mjesto. Očišćena masa nakon drugog sita skuplja se u jedan spremnik iz kojeg je pužni transporter transportira na vrh spremnika sušare.



**Slika 4.3.** Sita prečistača s kanalom za nečistoće



### 4.3. Proces sušenja

Prije početka procesa sušenja sušara se puni cijelim kapacitetom i započinje sa sušenjem. Iz razgovora s vlasnikom poljoprivrednog obrta saznao sam da sušara paljenjem ne dosiže odmah svoju radnu temperaturu nego se to događa nakon određenog vremena zagrijavanja stoga masa koja je pri punjenju pala na dno i preskočila faze sušenja izlazi van iz cijelog procesa te mora ponovno doći na početak procesa sušenja. Kako bi se sve kulture mogle sušiti sušara mora imati promjenjivu količinu zraka koji struji kroz sušaru jer bi u suprotnom sitnije kulture bile izvučene iz tornja sušare. Drugim riječima količina zraka koja se koristi za sušenje kukuruza prevelika je da bi se njom sušilo ljetne kulture (pšenicu, ječam, uljarice). Kod većih sušara (iznad 4 t/h, W 23 % - 14 %) ta se regulacija vrši pomoću frekvencijskih regulatora na motoru ventilatora a kod manjih sušara sa gašenjem pojedinih ventilatora.

Prema [12] nazivni kapacitet ove sušare dimenzioniran je na bazi zrna kukuruza ulazne vlažnosti  $w_1 = 32\%$  i izlazne vlažnosti  $w_2 = 14\%$  jer je to kultura koja se najviše obrađuje u ovoj sušari. Količinu vode koja se treba ispariti iz kulture računamo prema formuli :

$$W = M \frac{W_{ul} - W_{iz}}{100 - W_{iz}} \text{ (kg)} \quad (4-1)$$

$W$  - količina vode koja treba ispariti (kg)

$M$  - kapacitet sušare (kg)

$W_{ul}$  - ulazna vlaga zrna (%)

$W_{iz}$  - izlazna vlaga zrna (%)

Nazivna količina zraka u sušari ( $L$ ) sa kojom se suši kultura (tajna je svakog proizvođača) mora biti manja od brzine zraka lebdjenja zrna kulture kako zrno ne bi bilo izvučeno strujom zraka van sušare no mora biti i manje od brzine koja bi zrna podizala u fluidiziran sloj (u stanje lebdjenja u tornju) jer su sušare gravitacijske i zrno mora padati gravitacijski od vrha tornja prema dnu sušare.

Radna temperatura ili temperatura sušenja također se razlikuje za sušenje pojedine kulture jer je dozvoljena maksimalna temperatura zrna kod sušenja žitarica  $55\text{ }^\circ\text{C}$ , kod sušenja kukuruza  $80\text{ }^\circ\text{C}$  a kod sušenja sjemenske robe  $40\text{ }^\circ\text{C}$ . Stoga u sušarama tvrtke „SETTING-INŽENJERING“ koja je projektirala opisanu sušaru temperatura zraka sa kojom grijemo zrno ne prelazi  $120\text{ }^\circ\text{C}$  u višim zonama sušenja (dok je zrno još vlažno), a u nižoj zoni sušenja temperatura zraka

smanjuje se na 90 °C - 95 °C. Kod prevelikog zagrijavanja dolazimo u područje kada trajno biološki oštetimo zrno što je nepoželjno. Također zrno zbog previsoke temperature zrno napukne iznutra, drži ga na okupu samo perikarp (ljuska zrna). Unutar sušare se ono neće izlomiti jer nije izloženo udarcima pa se ne vidi sušarski lom. Do loma dolazi pri prvim udarcima u transporterima ili pri padu sa visine u silos. Za taj lom se obično ne krivi sušara već transporter i stvarni krivac je previsoka temperatura u sušari.

Prema [12] količina topline koja je potrebna za rad sušare izračunava se po formuli:

$$Q = L(T_r \cdot cp_1 - T_o \cdot cp_2) \text{ (J)} \quad (4-2)$$

$Q$  - potrebna količina topline (J)

$L$  - potrebna količina zraka u sušari (kg)

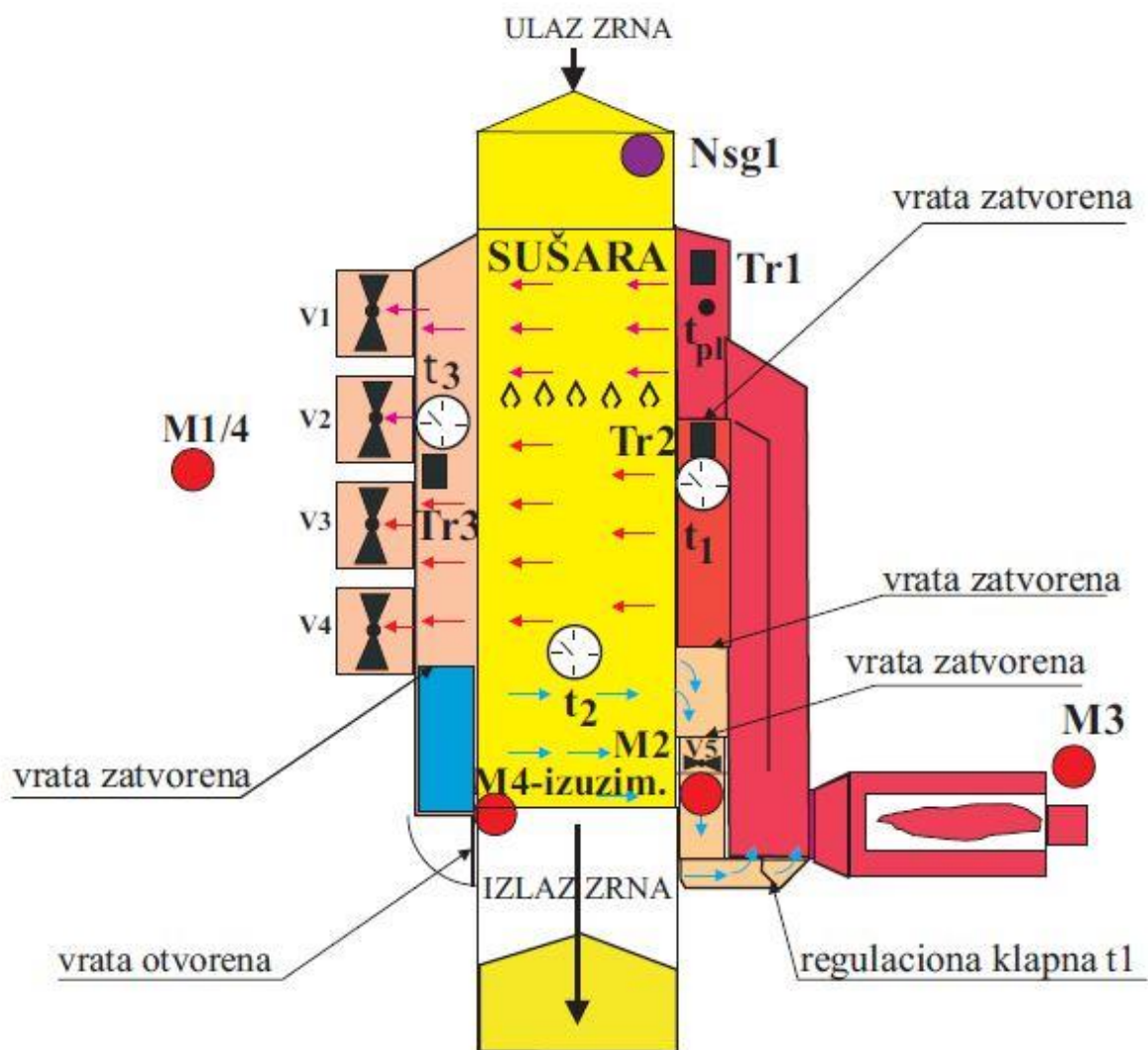
$T_r$  - radna temperatura (K)

$cp_1$  - specifična toplota zraka za  $T_r$  (J/kgK)

$T_o$  - temperatura okoline (K)

$cp_2$  - specifična toplota zraka za  $T_o$  (J/kgK)

Posebna karakteristika sušare je podjela tornja sušare po visini na dvije temperaturne zone, te recirkulacija zraka iz zone hlađenja u energetski kanal sušare radi uštede energije što je vidljivo na slici 4.4. [12]. U kontinuiranom radu sušare zrno kontinuirano teče kroz toranj sušare, što znači da konstantno radi punjenje sušare. U slučaju prepunjavanja sušare zrno aktivira senzor Nsg1 (Slika 4.4. [12]) koji automatski zaustavlja rad pužnog transportera koji puni sušaru. U zoni grijanja topli zrak koji se zagrijava na plamenoj cijevi, prolazi kroz energetski kanal, ulazni kanal zraka te sloj zrna vuku aksijalni ventilatori koji se nalaze na izlaznim kanalima zraka. U hladnjaku se zrno hladi pomoću hladnog zraka iz okoline koje se nakon prolaska kroz toplo i suho zrno reciklira u energetski toranj sušare. Pri takvom radu sušare zrno se konstantno izuzima pomoću letvastog izuzimača. Brzina izuzimanja ovisi o specifičnosti materijala (brzini sušenja) i redukciji vlage koju treba izvršiti.

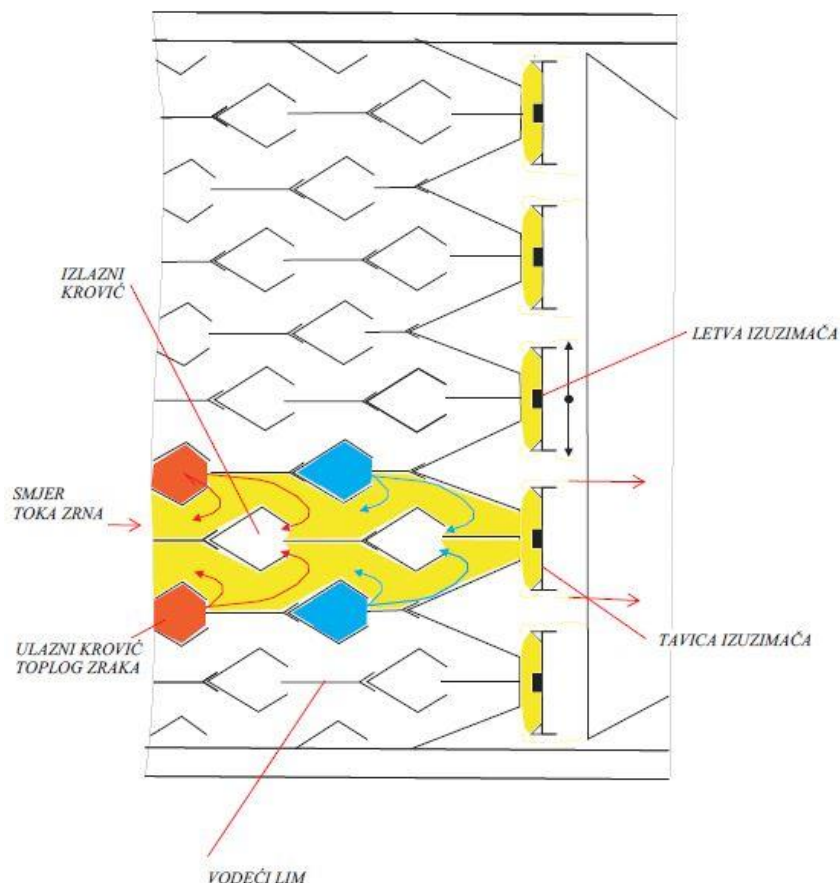


Slika 4.4. Shema sušare

Na slici 4.4.[12] koja prikazuje unutrašnjost sušare također su vidljive zone sušenja (područja iste temperature) odnosno na vrhu sušare u prvoj zoni vidljivo jest da je temperatura sušenja jednaka temperaturi plamenika. U drugoj zoni kako je već navedeno temperatura je manja od temperature plamenika dok u zadnjoj trećoj zoni upuhuje se hladni odnosno vanjski zrak koji nakon prolaska kroz tu zonu se recirkulira u energetski toranj kako bi uštedjeli na energiji te se dalje usmjerava u prvu i drugu zonu. Također je vidljivo da postoje 4 ventilatora čija je uloga provođenje zraka kroz sušaru. Ventilatori rade intenzitetom koji je potreban kako bi se održavala potrebna temperatura.

Na slici 4.5.[12] vidljivi su krovići koji su u sušari postavljeni u paralelnim nizovima od vrha do dna sušare. To je gotovo isto kod svih proizvođača sušara ali postoje neke kod kojih su postavljene u poprečnom rasporedu. Bitna karakteristika krovića jest njihova strmina odnosno

kut pod kojim su postavljeni. U slučaju ove sušare krovici su strmi jer je napravljena za sušenje visokovlažnih materijala. Upravo posebno dizajnirani krovici s vodilicama zrna omogućuju jednoliko sušenje i dobru raspodjelu zraka u tornju sušare.



**Slika 4.5.** Presjek tornja

Krovici su postavljeni unutar sušare u paralelnim nizovima te su izrađeni od aluzink lima. Budući da se krovici se razlikuju u kutu pokosa kod visokovlažnih kultura kut bi trebao biti manji što osigurava dobar protok kulture kroz sušaru. U sušarama tvrtke „SETTING-INŽENJERING“ posebnost je što je krovice moguće mijenjati a da se pri tom ne treba izvršiti demontaža tornja i vodećih limova koji su ugrađeni radi usmjerivanja zrna i prisiljavanja da teče po istoj vertikali. Ovim načinom vođenja zrna izbjegava se zastoje zrna i lutanje zrna u horizontalnom smjeru po unutrašnjosti sušare. Ovime je svako zrno prisiljeno kretati se vertikalno i vrijeme zadržavanja zrna u sušari je približno jednako za svako pojedino zrno. 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 zagrijavanja u tornju pregrijala čime bi joj se smanjila kvaliteta. Ovi limovi također omogućavaju nasjedanje nečistoća na vrhove krovica posebno mahuna pa je sušara i

samočistiva. Posebno značenje je kod zaštite od požara jer je moguće otvaranjem tavica izuzimača isprazniti samo petinu sušare.

Na slici 4.5.[12] prikazano je strujanje zraka kroz krovće sušare. Iz razgovora s vlasnikom sušare saznao sam da se u  $\frac{3}{4}$  tornja sušare po visini vrši sušenje zrna na način da ventilator kroz energetski kanal i ulazni kanal zraka, ugrijani zrak uvlači u ulazni krovć (obojen u crveno), on je blindiran na izlaznoj strani i zrak mora proći kroz sloj zrna (obojen žuto) u smjeru strujnica (crveno obojenih strelica) do izlaznog krovća (bijelo obojan) kroz izlazni kanal van sušare. Ulazni krovć blindiran je na izlaznoj strani a izlazni krovć blindiran je na ulaznoj strani. Tako zrno putuje do hladnjaka naizmjenično od ulaznog do izlaznog krovća i dolazi do  $\frac{1}{4}$  tornja sušare po visini u kojoj se vrši hlađenje zrna. Ventilator u zoni hlađenja kroz izlazni kanal zraka, hladni okolni zrak uvlači u ulazni krovć (obojen plavo), on je blindiran na izlaznoj strani, a zrak mora proći kroz sloj zrna (obojen žuto) u smjeru strujnica (plavo obojenih strelica) u krovć (bijelo obojen). Na tom putu zrnu oduzima toplinu i zrak se grije na temperaturu 50 °C - 60 °C te se pomoću ventilatora ubacuje kroz ulazni kanal u energetski toranj na dogrijavanje i natrag u zonu sušenja.

#### 4.4. Puštanje u rad

Puštanje sušare u rad uvijek se radi ručno kod svih proizvođača. Sušara je u startu uvijek potpuno puna vlažnog materijala pa se problem dovođenja sušare u radno stanje da na vrhu imamo vlažnu robu, pa sve sušu i sušu i da na dnu tornja imamo suhu i ohlađenu robu najbrže se postigne ručnim radom. Iz razgovora s vlasnikom pogona saznao sam da kada je sušara dovedena u režim određene vlage po želji kupca (to je zadano stanje) tada se sušara prebaci na automatski režim rada jer automatika radi na bazi svođenja stanja na zadano smanjivanjem ili povećavanjem pauze između dva izuzimanja o čemu će više biti u 5. poglavlju. Automatika ima obično jednu mjernu točku vlage (neposredno ili posredno preko temperature) na mjestu ulaska robe iz zone sušenja u zonu hlađenja. Na svim sušarama tvrtke „SETTING-INŽENJERING“ ugrađen je isti izuzimač zrna pa je stoga u svaku sušaru moguće ugraditi automatiku za vođenje procesa sušenja. Na nekim manjim sušarama na kojima kupci suše robu sa vlastitih površina i nije izmiješana po sortama i vlagama on unaprijed zna kad će trebati preregulirati sušaru tako da automatika niti nije potrebna. Ako na sušari ima ugrađeno barem 3 mjerne točke temperature tada je čovjek puno precizniji u vođenju sušare od automatike. On može predvidjeti događaje

dok automatika kod vrlo neujednačenog materijala i izmiješanih sorti vrši skokovitu regulaciju i ne daje precizne rezultate što se može ustanoviti mjerenjem vlage izlaznih uzoraka.

Sušara je stroj koji se izregulira za rad (sušenje) određene kulture prema slici 4.4. [12]. Znači ona je postavljena u radne uvjete za određenu kulturu bez obzira na vlagu određene kulture. Ona zagrijava uvijek zrak na zadanu temperaturu prema navedenoj slici. Trošiti će više ili manje energije ovisno o vanjskim vremenskim uvjetima dakle ovisno o vanjskoj temperaturi. Znači potrošnja goriva se mijenja ako zrak zagrijavate na 120 °C ovisno o okolnoj temperaturi što možete prikazati na primjer uvrštavajući okolnu temperaturu 25 °C ili 5 °C u jednadžbu 4-1. I vlaga okolnog zraka utječe na kvalitetu rada sušare. Kod visokih okolnih vlaga zraka dolazi do velikog navlaživanja zrna pri hlađenju u hladnjaku stoga su u sušarama tvrtke „SETTING-INŽENJERING“ sušarama uveli sistem regulacije zraka u hladnjaku za vlažno vrijeme. Jer ako te regulacije nema dolazi do velikih gubitaka energije. Sušara je uvijek dimenzionirana na jednu kulturu (obično kukuruz ako kupac sadi kukuruz jer se on najteže suši i najvlažniji je).

### 4.5. Skladištenje

Osušeno zrno pužnim transporterom transportira se u skladište tj. silos (Slika 4.6.[11]). Ipak prije isipavanja u silos zrno prolazi kroz čistač prašine iz kojeg se ista odstranjuje te iz njega ponovno pužnim transporterom se transportira prema elevatoru pričvršćenom za krov skladišta koji masu raspoređuje po skladištu i tek ovdje cijeli proces završava i sada je zrno spremno za skladištenje i transport.



Slika 4.6. Silos



## 5. TEHNIČKI OPIS POGONA SUŠARE

### 5.1. Motori prečistača

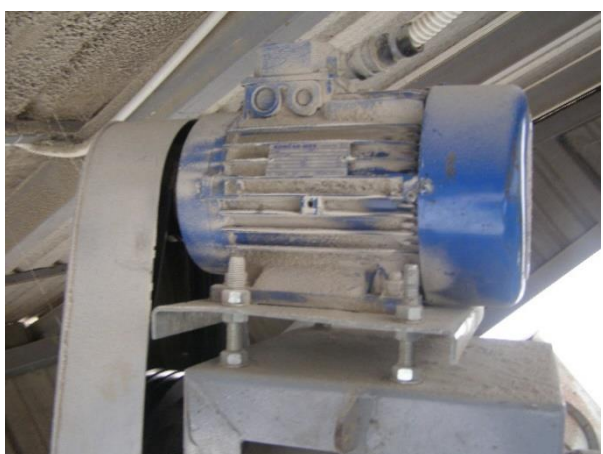
U dijelu pogona u kojem se pročišćava zrno djeluju dva motora. U dozer (Slike 5.1. i 5.2.[11]) koji je privremeni spremnik za zrno prvi motor marke Končar (Slika 5.3. [11]) transportira kulturu iz usipnog koša. Njegova oznaka je 5AZ 100LB-4 te se radi o trofaznom asinkronom motoru. Motorom se upravlja preko sklopke koja se nalazi u glavnom ormaru. Motor je projektiran za rad u uvjetima u intervalu temperature  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Priključni napon i može varirati za  $\pm 10\%$  a ostale karakteristike dane su u tablici 5.1. [11] te su također vidljive na slici 5.4. [11].



Slika 5.1. Dozer



Slika 5.2. Unutrašnjost dozera



Slika 5.3. Motor pužnog transportera



Slika 5.4. Natpisna pločica motora

**Tablica 5.1.** Karakteristike motora „Končar 5AZ 100LB-4“

| Podatak            | Vrijednost         |
|--------------------|--------------------|
| Proizvođač i model | Končar 5AZ 100LB-4 |
| Nazivna snaga      | 3 kW               |
| Nazivni napon      | 400 V              |
| Nazivna struja     | 6,9 V              |
| Brzina vrtnje      | 1400 o/min         |
| Korisnost          | 0,82               |
| Faktor snage       | 0,8                |
| $I_k / I_n$        | 5,7                |
| Nazivni moment     | 20 Nm              |
| $M_k / M_n$        | 2,5                |
| Broj polova        | 2                  |

Trofazni motor tipa MS100L/4 preko koljenaste osovine pogoni dva sita koja su oprečno postavljena tj. pod suprotnim kosinama, njihovu ulogu objasnili smo u poglavlju 4.1. Koljenastom osovinom koja je prikazana na slici 5.5. [11] postiže se suprotno gibanje dvaju sita (Slika 5.6. [11]) a sve to kako bi se poboljšalo prečistavanje same sirovine odnosno žitarice. Ovaj motor također pogoni i ventilator koji izbacuje prašinu i sitne nečistoće van pogona. Motorom se također upravlja s glavnog ormara na kojem postoji sklopka za njegovo uključanje. U tablici 5.2. prikazane su karakteristike spomenutog motora.





**Slika 5.5.** Koljenasta osovina



**Slika 5.6.** Sita prečistača

**Tablica 5.2.** Karakteristike motora „FiM“

| Podatci        | Vrijednost |
|----------------|------------|
| Tip            | MS 100L/4  |
| OP             | 0411-52    |
| Nazivna snaga  | 3 kW       |
| Nazivni napon  | 230/400 V  |
| Nazivna struja | 11,1/6,3 A |
| Brzina vrtnje  | 1400 o/min |
| Faktor snage   | 0,82       |
| $F$            | 24 kg      |
| Frekvencija    | 50 Hz      |

Slika 5.7. [11] prikazuje motor u njegovu radnom okruženju a na slici 5.8. [11] vidljiva je natpisna pločica spomenutog motora.

**Slika 5.7.** Motor koji pokreće sita**Slika 5.8.** Natpisna pločica motora

## 5.2. Motori sušare

Iz razgovora s vlasnikom pogona saznao sam da se izuzimanje zrna iz tornja sušare vrši se prisilno, pomoću letvastog izuzimača zrna. Izuzimač je tvornički podešen tako da naknadno podešavanje nije moguće, čime se postiže eventualno nestručno podešavanje. Princip rada izuzimača osigurava jednoliko izuzimanje zrna po presjeku sušare tako da nema mrtvih zona. U slučaju ulaska krupnijeg elementa u izuzimač neće doći do mjestimičnog zastoja toka zrna, već će element biti prisilno izguran. Motor izuzimača također je trofazni asinkroni motor snage

550 W. Motor preko reduktora koji mu reducira okretaje te preko ekscentra koji pretvara kružno u pravocrtno gibanje otvara ili zatvara otvor sušare kroz koji zrno izlazi van u spremnik za zrno. Regulacija kapaciteta protoka robe kroz sušaru vrši se podešavanjem vremenskih releja koji upravljaju zastojem (pauzom) i radom elektromotora izuzimača dakle pomicanjem letve motor uvjetuje sušenje jer on zadržava zrno u sušari. Ovakva regulacija omogućava veliku fleksibilnost regulacije kapaciteta izuzimanja. Izuzimač u svakom prolazu izuzima konstantno istu količinu zrna koja se vrlo lako može izmjeriti vaganjem. Letva izuzimača prikazana je na slici 4.5. u prethodnom poglavlju sa crnim kvadratićima koji se kreću lijevo i desno po tavicama na dnu sušare (Slika 5.9. [11]) i tim se pokretom prisilno ruši zrno na lijevu odnosno desnu stranu sa tavnice. Zrno je obojano žutom bojom i kreće se okomito na izuzimač. U tablici 5.3. prikazani su podatci o motoru prikupljeni s natpisne pločice.

**Tablica 5.3.** Karakteristike motora izuzimača

| Podatci        | Vrijednost    |
|----------------|---------------|
| Tip            | 55AZ 71B-2    |
| Nazivna snaga  | 0,55 kW       |
| Nazivni napon  | D/Y 230/400 V |
| Nazivna struja | 25/145 A      |
| Broj okretaja  | 2750 o/min    |
| Faktor snage   | 0,83          |
| Korisnost      | 0,7           |
| $I_k / I_n$    | 4,2           |
| $M_k / M_n$    | 2,2           |
| $M_n$          | 1,9           |





**Slika 5.9.** Izuzimač



**Slika 5.10.** Spremnik za zrno ispod izuzimača

Na slici 5.10. [11] nalazi se privremeni spremnik za zrno koje je prošlo proces sušenja i spremno je za skladištenje. U tablici 5.4. [12] dane su karakteristične vrijednosti rada odnosno pauze izuzimača. Kod sušenja pšenice nižih vlaga potrebno je smanjivati radnu temperaturu u sušari kako zrno ne bi pretoplo izlazilo iz sušare. Pauzu i rad treba podesiti prema ovim uputstvima s tim ako je zrno na izlazu iz sušare prevlažno pauzu treba povećati. Rad se ne smije dirati. Ukoliko transporteri za punjenje i pražnjenje ne mogu svojim kapacitetom pratiti ovakav rad sušare potrebno je sniziti radne temperature sušare. Pravilno namještanje vremenskih releja vrlo je bitno za pravilnu regulaciju sušare. Ukoliko, nakon podešavanja releja, roba nije dovoljno suha, potrebno je povećati pauzu odnosno ako je presuha, potrebno je pauzu smanjiti. Ova podešenja potrebno je vršiti polagano što znači „sekundu po sekundu“ kako ne bi dobili suprotan efekt. Kod svakog podešavanja treba voditi računa o tome da je roba da se osuši ( npr. sa 20 % na 14 %) potrebno vrijeme ( otprilike 2 sata) što znači da će se i efekt vašeg podešavanja manifestirati tek za određeno vrijeme.

**Tablica 5.4.** Preporuke za puštanje sušare (STABIL 3000) u rad pri sušenju žitarica

| Ulazna vlaga | Kapacitet na vlažnu pšenicu | Kapacitet na vlažnu pšenicu | Rad izuzimača          |                             |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
|              |                             |                             | Rad                    | Pauza                       |
| 20 %         | 6414 kg/h                   | 6000 kg/h                   | 18 sekundi<br>6 okreta | 36 sekundi<br>4 na releju   |
| 19 %         | 7936 kg/h                   | 7500 kg/h                   | 18 sekundi<br>6 okreta | 27 sekundi<br>3 na releju   |
| 17 %         | 8279 kg/h                   | 8000 kg/h                   | 18 sekundi<br>6 okreta | 25 sekundi<br>2 ½ na releju |
| 16 %         | 8697 kg/h                   | 8500 kg/h                   | 18 sekundi<br>6 okreta | 18 sekundi<br>2 na releju   |
| 15 %         | 9104 kg/h                   | 9000 kg/h                   | 18 sekundi<br>6 okreta | 15 sekundi<br>1 ½ na releju |

Sušara ima u funkciji 4 ventilatora (Slika 5.11. [11]) čija je zadaća provlačenje vrućeg zraka kroz krovne sušare te njegov odvod van nje. Sva 4 motora su trofazni asinkroni kavezni motori snage 2,2 kW. Motori ventilatora se također pale manualno na glavnom ormaru preko sklopke a kasnije se njima automatski upravlja. Upravljeni su ovisno o potrebnoj toplini odnosno temperaturi koja je potrebna za sušenje žitarica tj. upravlja se njihovom brzinom vrtnje.



**Slika 5.11.** Ventilatori sušare

U cijelom pogonu postoje 3 pužna transportera, prvi od njih kako je već napisano transportira sirovo zрно u prečistač, drugi transportira zрно iz prečistača na vrh sušare dok treći zрно transportira u silos. Ovdje se radi o drugom transporteru (Slika 5.12. [11]) koji je istih karakteristika kao i motor s početka poglavlja (Tablica 5.5. prikazuje njegove karakteristike) Motor nije direktno spojen na pužni transporter nego remenskim prijenosom pokreće transporter. Motor se uključuje na glavnom ormaru, no kada ga prebacimo na automatski rad upravljan je senzorom koji signalizira da je spremnik za zрно pun te on isključuje motor pužnog transportera.



**Tablica 5.5.** Karakteristike motora

| Podatak        | Vrijednost  |
|----------------|-------------|
| Tip            | 5AZ 100LB-4 |
| Nazivna snaga  | 3 kW        |
| Nazivni napon  | 400 V       |
| Nazivna struja | 6,9 A       |
| Brzina vrtnje  | 1400 o/min  |
| Korisnost      | 0,82        |
| Faktor snage   | 0,8         |
| $I_k/I_n$      | 5,7         |
| Nazivni moment | 20 Nm       |
| $M_k/M_n$      | 2,5         |
| Broj polova    | 2           |

**Slika 5.12.** Pužni transporter

U prilogu P.5.1. [12] priložena je jednopolna shema svih električnih uređaja sušare spojenih na napajanje

Plamenik (Slika 5.13. [11]) sušare za energent koristi prirodni plin te se u njemu odvija izgaranje. Kod dimenzioniranja plamenika (bez obzira da li je on plinski ili na lož ulje ili kombinirani) potrebno je izračunati maksimalnu potrebnu količinu topline sa maksimalnom potrebnom količinom zraka i radnom temperaturom 120 °C te minimalnu potrebnu količinu topline uz minimalnu potrebnu količinu zraka i minimalnu radnu temperaturu. Kada se izračuna minimalna i maksimalna potrebna količina topline izabire se plamenik. Ako razlika između minimalne i maksimalne temperature dozvoljava izbor dvostepenog plamenika izabiremo njega. Dvostepeni, što znači da se pri paljenju plamenika nakon iskre upali mali plamen tj. prvi stupanj (30 % – 40 % ukupne snage plamenika), a iza toga veliki plamen tj. drugi stupanj (60 % – 70 % ukupne snage plamenika).

Kada plamenik postigne zadanu radnu temperaturu ugasi se veliki plamen i radi samo mali plamen dok temperatura ne padne za 3 °C – 5 °C ispod zadane temperature. Tada se ponovo pali veliki plamen i rade oba dok se ne postigne zadana temperatura. Kad razlika između minimalne i maksimalne temperatura to ne dozvoljava izabire se modulirani plamenik. Prilog 5.2. [12] prikazuje jednopolnu shemu plamenika.



**Slika 5.13. Plamenik**



Na slici 5.14. [11] prikazan je početak tunela koji odvodi toplinu na kojem se nalaze lopatice koje usmjeruju zrak kako bi došlo do njegova vrtloženja. Energetski toranj je dio sušare u kojem struji topli (vrući) te je podijeljen na dva dijela, prvi dio vodi zrak prema vrhu sušare u koje se odvija faza zagrijavanja žitarice. Drugi dio vodi zrak u zonu sušenja u kojoj je manja temperatura a to se postiže miješanjem toplog sa hladnijim vanjskim zrakom zakretanjem šibera.



**Slika 5.14.** Lopatice za usmjeravanje

### 5.3. Termostati i senzori

Za svoj ispravan rad sušara koristi i termostate te senzore. Na sušari (Slika 4.4. [12]) postoje 3 termometra koji mjere temperaturu u različitim fazama procesa ( $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, \mathcal{G}_3$ ) a njihova uloga je uglavnom kontrola temperature. Termostati  $T_{r_1}$  i  $T_{r_2}$  (Slika 5.15. [11]) služe kako bi u trenutku prekoračenja temperature zaustavili proces sušenje i upalili alarm kako bi upozorili

na opasnost od zapaljenja zrna te cijelog pogona. U prilogu 5.3. [12] prikazana je jednopolna shema termostata na pogonu.



**Slika 5.15.** Termometar

Na vrhu sušare (Slika 4.4. [11]) u spremniku za zrno postoji senzor punjenja Nsg1 sušare koji u trenutku svoje reakcije odnosno kada razina zrna u spremniku dosegne njegovu isključuje pužni transporter kako ga ne bi prepunio.

Glavni ormar za upravljanje nalazi se u prostoriji za upravljanje. Na glavnom ormaru nalaze se sve sklopke za upravljanje svim motorima. Slika 5.16.[11] prikazuje sve sklopke za upravljanje te shemu cijelog pogona. Sklopke imaju dva položaja (0 i 1) omogućavaju samo ručno paljenje motora. Jednopolna shema glavnog ormara dana je u prilogu 5.4 [12].



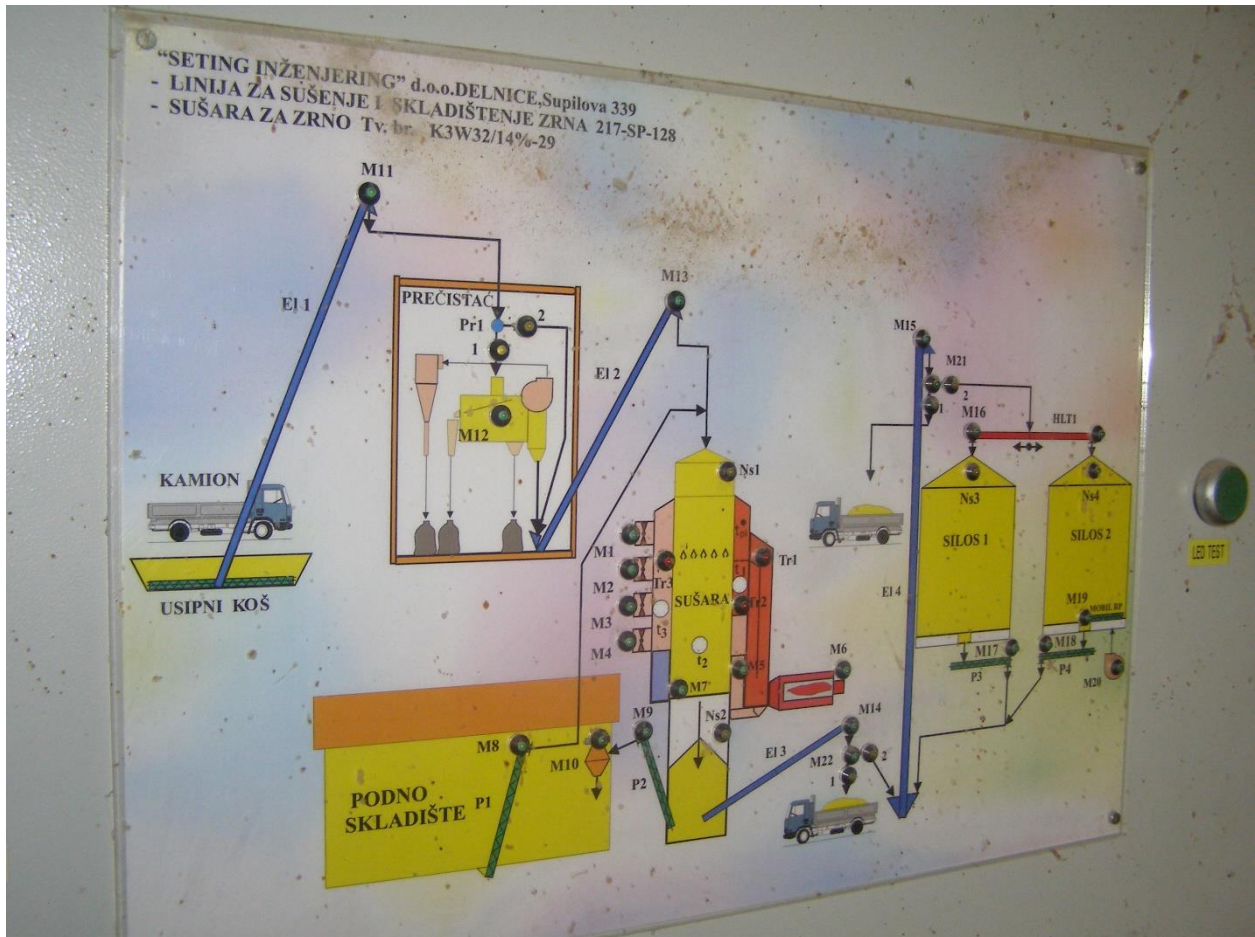
Slika 5.16. Glavni ormar

Dijelovi glavnog ormara:

1. Sklopka za uključivanje ventilatora (M-1, M-2, M-3, M-4)
2. Sklopka za ventilator M-5 (odspojen s pogona)
3. Sklopka za paljenje plamenika (M-6)
4. Sklopka za uključivanje pužnog transportera za punjenje sušare (M-8)
5. Sklopka za uključivanje pužnog transportera za pražnjenje sušare (M-9)
6. Sklopka za uključivanje prečistača 1 (M-10)
7. Sklopka izuzimača (M-7)
8. Potencijometar za najmeštanje vremena izuzimanja
9. Sklopka za uključivanje lančanog elevatora 1 (M-11, 1. dio, silos)
10. Sklopka za uključivanje prečistača 2 (M-12)
11. Sklopka za uključivanje lančanog elevatora 2 (M-13, 2. dio, silos)
12. Sklopka za uključivanje lančanog elevatora 3 (M-14, 3. dio, silos)
13. Sklopka za uključivanje lančanog elevatora 4 (M-15, 4. dio, silos)
14. Sklopka za punjenje silosa (2 položaja, 1 – silos1, 2- silos2)
15. Sklopka za uključivanje lančanog transportera (M-16)
16. Sklopka za pužni transporter P3 (M-17)
17. Sklopka za pužni transporter P4 (M-18)
18. Sklopka za uključivanje pužnog transportera silosa (M-19, silos)
19. Sklopka za uključivanje ventilatora u silosu (M-20)
20. Sklopka za uključivanje dvokrake priključnice (M-21)
21. Sklopka za uključivanje dvokrake priključnice (M-22)
22. Sklopka za uključivanje pužnog transportera u silos
23. Sklopka za uključivanje redlera u skladištu
24. Nivo sklopke
25. Sklopka za deblokadu pužnog transportera u silosu
26. Sklopka za upravljanje sustavom
27. Zaslona za namještanje vremena izuzimanja te temperatura u sušari
28. Sklopka za deblokadu pogona
29. Tipkalo za deblokadu zvučnog alarma
30. Signal alarma
31. Led test



Iznad upravljačkog dijela glavnog ormara nalazi se shematski prikaz pogona (Slika 5.17. [11]) koji omogućuje pregledan prikaz svih motora u prečistaču, sušari te silosu. Na shemi su također prikazani i senzori spomenuti u podpoglavlju 5.3. Signalizacija (LED diode) uvelike olakšava upravljanje pogonom zbog spomenute preglednosti uključenih dijelova (motora) pogona.



Slika 5.17. Shematski prikaz pogona

Osim opisanih dijelova pogon još sadrži i skladište (podno skladište) gdje se spomenute nečistoće i primjese skupljaju u vreće te privremeno skladište nakon čega ih se odvozi na odlagalište. Slike 5.18. [11] i 5.19.[11] mjerni instrument za mjerenje kakvoće napona te prikazuju sklopke za rasvjetu pogona i silosa dok je na slici 5.20. [11] vidljiv kompletan pogon.



Slika 5.18. Mjerni instrument za napon



Slika 5.19. Sklopke za rasvjetu



**Slika 5.20.** Kompletan pogon

## 6. PRORAČUN POTROŠNJE TOPLINSKE ENERGIJE TIJEKOM SUŠENJA

Energiju koja nam je potrebna za sušenje mase uskladištenog zrna možemo izračunati iz zbroja energije koja je potrebna za isparavanje vode te energije koja je potrebna kako bi ugrijali ili ohladili zrno. Važno je napomenuti kako je energija za isparavanje vode iz zrna veća od energije koja je potrebna za isparavanje vode sa slobodne površine. Proučavajući [8] došao sam do spoznaje kako izračunati energiju potrebnu za sušenje pšenice te sam na temelju toga izradio sljedeći proračun.

U tablici 6.1. zadane su sljedeće veličine:

**Tablica 6.1.** Zadane veličine

| Veličina | Iznos      |   |
|----------|------------|---|
| $w_1$    | 17 %       | ulazna vlaga  |
| $w_2$    | 13 %       | izlazna vlaga   |
| $M_1$    | 40 000 kg  | masa pšenice prije sušenja                                |
| $c_z$    | 1,5 kJ/kgK | specifični toplinski kapacitet pšenice [8]                |
| $c$      | 2600 kJ/kg | toplina potrebna za isparavanje 1 kg vode kod pšenice [8] |
| $t_1$    | 15 °C      | početna temperatura                                       |
| $t_2$    | 30 °C      | konačna temperatura                                       |

Vodu koju treba ispariti da bi izlazna vlaga iznosila 13 % računamo prema formuli:

$$M_1 - M_2 = W = M_1 \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} = 40000 \times \frac{17 - 13}{100 - 13} = 1839 \text{ kg}$$

Masa suhog zrna nakon sušenja iznosi:

$$M_2 = M_1 - W = 40000 - 1839 = 38161 \text{ kg}$$



Toplina potrebna za isparavanje 1839 kg vode:

$$Q_1 = W \times c = 1839 \times 2600 = 4781,4 \text{ MJ}$$

Toplina potrebna za grijanje zrna sa 15 °C na 30 °C:

$$Q_2 = M_1 \times c_z \times (T_1 - T_2) = 40000 \times 1,5 \times (303 - 288) = 900 \text{ MJ}$$

Ukupna toplinska energija potrebna za sušenje 40 t pšenice:

$$Q_{\text{uk}} = Q_1 + Q_2 = 4781,4 + 900 = 5681,4 \text{ MJ}$$

Za tonu suhog zrna potrebno je utrošiti 148,88 MJ toplinske energije.

$$q = \frac{Q_{\text{uk}}}{M_2} = \frac{5681,4}{38,161} = 148,88 \text{ MJ/t}$$

## 7. ZAKLJUČAK

Završni rad obuhvaća uvid u tehničke opise sušare, opis procesa sušenja te elektromotore kojima je to postignuto. Uloga sušare jest svesti vlagu žitarica na optimalnu vrijednost kako bi se ista mogla dugoročno skladištiti. Opisani pogon primjer je kako si je čovjek uspio olakšati rad i to pomoću struje odnosno elektromotora. Uvidom u dokumentaciju pogona uvidio sam da su svi motori trofazni asinkroni kavezni motori a odabrani su iz razloga jer su dugotrajni te jeftini za održavanje. Osim sušenja žitarica ova sušara također može vršiti sušenje kukuruza, uljarica te soje. Ovaj pogon najviše se koristi za sušenje kukuruza zbog velike proizvodnje kukuruza na ovim prostorima (zapadna Slavonija) ali i zbog činjenice da se branje kukuruza odvija u vlažnijim vremenskim uvjetima (jesen) te je samim time i zrno kukuruza vlažnije naspram žitarica. Opisani pogon ima dva načina rada a to su automatsko (računalo upravlja sustavom) te ručno ili manualno (čovjek upravlja sustavom). Ručno upravljanje obavlja se na glavnom ormaru u prostoriji pokraj pogona.

**LITERATURA**

- [1] R. Wolf, Osnove električnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- [2] SINKRONI I ASINKRONI ELEKTRIČNI STROJEVI, url;  
<https://bib.irb.hr/datoteka/629238.SinAsin.pdf> (7.6.2016.)
- [3] Električni strojevi, url:  
[https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1357750337-0-predavanje14.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1357750337-0-predavanje14.pdf) (7.6.2016.)
- [4] Sinkroni stroj, url:  
[https://www.fer.unizg.hr/download/repository/skripta\\_sinkroni\\_EEP\\_v2%5B1%5D.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/skripta_sinkroni_EEP_v2%5B1%5D.pdf) (7.6.2016.)
- [5] Asinkroni motori, url:  
[http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd.../Pred\\_EAP\\_07\\_asinkroni\\_motori.ppt](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd.../Pred_EAP_07_asinkroni_motori.ppt) (30.1.2016.)
- [6] ASINKRONI STROJEVI I POGONI, url:  
[https://www.fer.unizg.hr/download/repository/EEPE\\_2010\\_2011\\_AM.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/EEPE_2010_2011_AM.pdf) (7.6.2016.)
- [7] Slika preuzeta sa <http://deakdoo.com/usluge.html> (7.6.2016.)
- [8] dr. sc. Zvonko Katić, Sušenje i sušare u poljoprivredi, Multigraf d.o.o., Zagreb, 1997.
- [9] Sušenje, url:  
[www.pbf.unizg.hr/content/download/2618/25111/version/1/file/SUSENJE.pdf](http://www.pbf.unizg.hr/content/download/2618/25111/version/1/file/SUSENJE.pdf) (7.6.2016.)
- [10] Sušare za zrno, url:  
[http://www.seting-inzenjering.hr/uploads\\_pdf/SUSARE%20STABIL.pdf](http://www.seting-inzenjering.hr/uploads_pdf/SUSARE%20STABIL.pdf) (7.6.2016.)
- [11] Osobne fotografije – fotografirano 30.1.2016.
- [12] Dokumentacija vlasnika sušare

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA

| Oznaka ili simbol | Naziv                                     | Mjerna jedinica |
|-------------------|---|-----------------|
| $w$               | vlažnost zrna                             | %               |
| $W$               | masa vode u zrnu                          | kg              |
| $M$               | masa zrna                                 | kg              |
| $ST$              | masa suhe tvari                           | kg              |
| $W_{in}$          | primljena (ulazna) energija               | W               |
| $W_{ou}$          | korisna (predana) energija                | W               |
| $W_g$             | gubici                                    | W               |
| $n_s$             | sinkrona brzina okretnog magnetskog polja | o/min           |
| $f$               | frekvencija mreže                         | Hz              |
| $p$               | broj pari polova                          |                 |
| $s$               | klizanje                                  | %               |
| $n$               | nazivna brzina okretaja motora            | o/min           |
| $M$               | moment motora                             | Nm              |
| $P_{meh}$         | mehanička snaga                           | W               |
| $\omega$          | kružna frekvencija                        | rad/s           |
| $w_1$             | ulazna vlažnost kukuruza                  | %               |
| $w_2$             | izlazna vlažnost kukuruza                 | %               |
| $W$               | količina vode koja treba ispariti         | kg              |
| $M$               | kapacitet sušare                          | kg              |
| $W_{ul}$          | ulazna vlažnost zrna                      | %               |
| $W_{iz}$          | izlazna vlažnost zrna                     | %               |
| $L$               | potrebna količina zraka u sušari          | kg              |
| $Q$               | potrebna količina topline                 | J               |
| $T_r$             | radna temperatura                         | K               |
| $cp_1$            | specifična toplota zraka za $T_r$         | J/kgK           |
| $T_o$             | temperatura okoline                       | K               |

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA

|   |  |       |
|---|--|-------|
| $cp_2$                                    | specifična toplina zraka za $T_o$                          | J/kgK |
| $I_k/I_n$                                 | omjer struje kratkog spoja i nazivne struje                |       |
| $M_k/M_n$                                 | omjer momenta kratkog spoja i nazivnog momenta             |       |
| $F$                                       | sila   | N     |
| $M_n$                                     | nazivni moment   | Nm    |
| $(\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3)$ | temperatura  | °C    |
| $Tr_1$                                    | prvi termostat   |       |
| $Tr_2$                                    | drugi termostat  |       |
| Nsg1                                      | senzor punjenja  |       |
| $M_1$                                     | masa zrna prije sušenja                                    | kg    |
| $M_2$                                     | masa zrna poslije sušenja                                  | kg    |
| $Q_1$                                     | toplina potrebna za isparavanje vode                       | J     |
| $Q_2$                                     | toplina potrebna za grijanje zrna                          | J     |
| $c$                                       | toplina potrebna za isparavanje 1 kg vode kod pšenice      | kJ/kg |
| $c_z$                                     | specifični toplinski kapacitet pšenice                     | J/kgK |
| $Q_{uk}$                                  | ukupna toplinska energija potrebna za sušenje 40 t pšenice | MJ    |
| $q$                                       | toplina potrebna za sušenje 1 t pšenice                    | MJ/t  |

## POPIS SLIKA, SHEMA I TABLICA

**Slika 2.1.** Pretvorba energije u električnom stroju

**Slika 2.2.** Rotor asinkronog kaveznog motora

**Slika 2.3.** Građa asinkronog motora

**Slika 2.4.** Momentna karakteristika asinkronog motora

**Slika 3.1.** Građa sušare

**Slika 3.2.** Unutrašnjost sušare

**Hodogram 4.1.** Tehnološki proces proizvodnje (MS Visio 2016)

**Slika 4.1.** Usipni koš

**Slika 4.2.** Pužni transporter s pogonskim motorom

**Slika 4.3.** Sita prečistača s kanalom za nečistoće

**Slika 4.4.** Shema sušare

**Slika 4.5.** Presjek tornja

**Slika 4.6.** Silos

**Slika 5.1.** Dozer

**Slika 5.2.** Unutrašnjost dozera

**Slika 5.3.** Motor pužnog transportera

**Slika 5.4.** Natpisna pločica motora

**Slika 5.5.** Koljenasta osovina

**Slika 5.6.** Sita prečistača

**Slika 5.7.** Motor koji pokreće sita

**Slika 5.8.** Natpisna pločica motora

**Slika 5.9.** Izuzimač

**Slika 5.10.** Spremnik za zrno ispod izuzimača



**Slika 5.11.** Ventilatori sušare

**Slika 5.12.** Pužni transporter

**Slika 5.13.** Plamenik

**Slika 5.14.** Lopatice za usmjeravanje

**Slika 5.15.** Termometar

**Slika 5.16.** Glavni ormar

**Slika 5.17.** Shematski prikaz pogona

**Slika 5.18.** Mjerni instrument za napon

**Slika 5.19.** Sklopke za rasvjetu

**Slika 5.20.** Kompletan pogon

**Tablica 3.1.** Karakteristike sušara za žitarice tvrtke „SETING-INŽENJERING d.o.o.“

**Tablica 5.1.** Karakteristike motora „Končar 5AZ 100LB-4“

**Tablica 5.2.** Karakteristike motora „FiM“

**Tablica 5.3.** Karakteristike motora izuzimača

**Tablica 5.4.** Preporuke za puštanje sušare u rad pri sušenju žitarica

**Tablica 5.5.** Karakteristike motora transportera

**SAŽETAK**

U završnom radu opisan je postupak sušenja žitarica tj. procesi od njenog ulaza u pogon, prečišćavanja i sušenja do skladištenja. Budući da pogon pokreću asinkroni motori u završnom radu je opisan njihov princip rada te njihova građa. Postupak sušenja odvija se kroz 3 faze jer je zagrijava ili hladi na 3 različite temperature i tek nakon toga skladišti se u silos. Također je opisana i zadaća svakog pojedinog elektromotora u ovom pogonu te je isti popraćen fotografijom te podacima s natpisne pločice. Osim motora opisani su i neki drugi uređaji koji omogućavaju ispravan rad pogona.

**Ključne riječi:** elektromotor, asinkroni motor, natpisna pločica, sušara, sušenje, temperatura, vlaga, žitarice, izuzimač.

**ABSTRACT**

In this final paper it is described the process of drying grain respectively process since its entry into operation, purification and drying to storage. Since the drive is run by asynchronous motors in this final paper it is described the principles of their work and their structure. The drying process takes place through three phases because grain is the heated or cooled at 3 different temperatures and only after that it is stored in grain tank. It is also described the tasks of each electromotor in the drive and the same is accompanied by a photograph and the data on the nameplate. Except electromotors there are described and other devices that enable proper operation of the drive.

**Key words:** electromotor, asynccronus motor, nameplate, drier, drying, temperature, moisture, grain, extractor.

**ŽIVOTOPIS**

Zvonimir Dmejhal rođen je 23.11.1994. u Virovitici. Odrastao je u Duhovima, a osnovnu školu pohađao je Dežanovcu gdje je svih osam razreda završio s odličnim uspjehom. Nakon završene osnovne škole 2009. godine upisuje Tehničku školu u Daruvaru smjer računalni tehničar te i ovdje sva četiri razreda završava s odličnim uspjehom. Tijekom svog obrazovanja bavio se izvannastavnim aktivnostima kao što je GLOBE program.

Vrlo dobro se služi engleskim jezikom, računalno je pismen te se vrlo dobro snalazi u MS Office paketu (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint) te također poznaje osnove programskog jezika C.

Nakon završene srednje škole upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, te se na drugoj godini odlučuje za smjer elektroenergetike. Po završetku preddiplomskog studija namjera mu je upisati diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija.

Zvonimir Dmejhal

U Osijeku , rujan 2016.

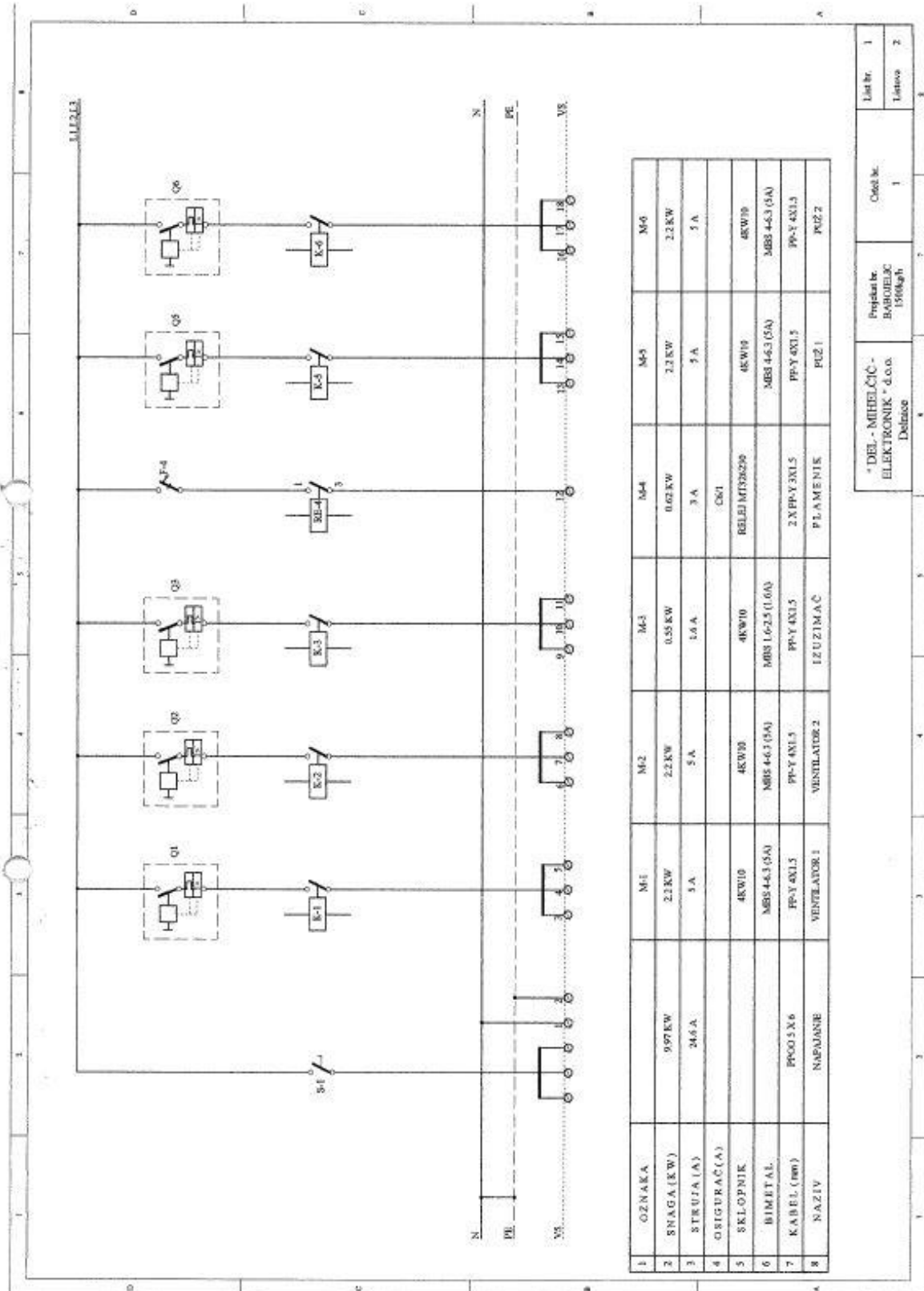


---

(Vlastoručni potpis)

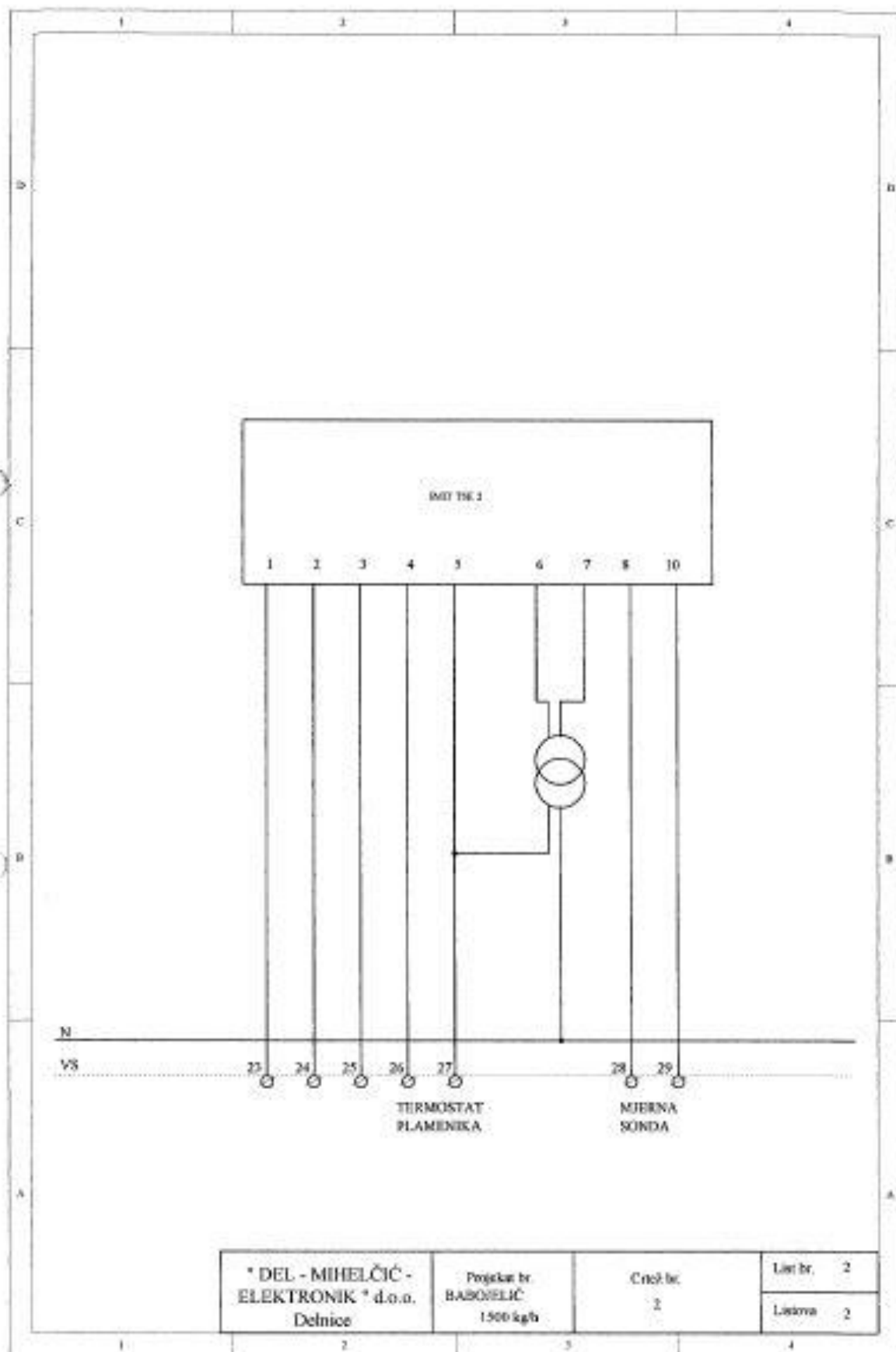
PRILOZI

PRILOG 5.1. Jednopolna shema sušare

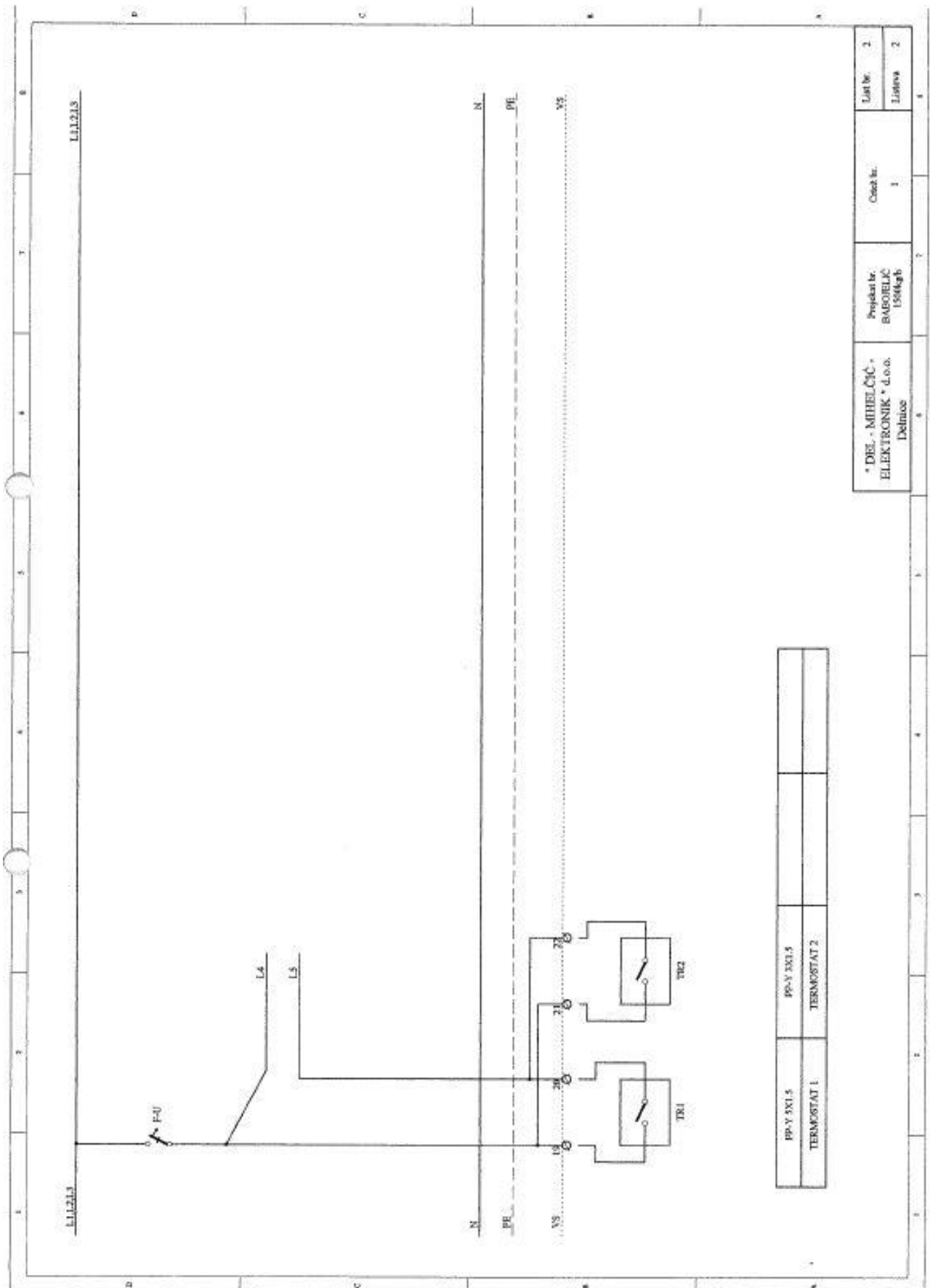


|   |           |   |
|---|-----------|---|
| Projektor<br>BOBICE<br>1000gh                       | Češt. br. | 1 |
| *DEB - MIHELČIČ -<br>ELEKTRONIK * d.o.o.<br>Delfino | Letovce   | 2 |

## PRILOG 5.2. Jednopolna shema plamenika

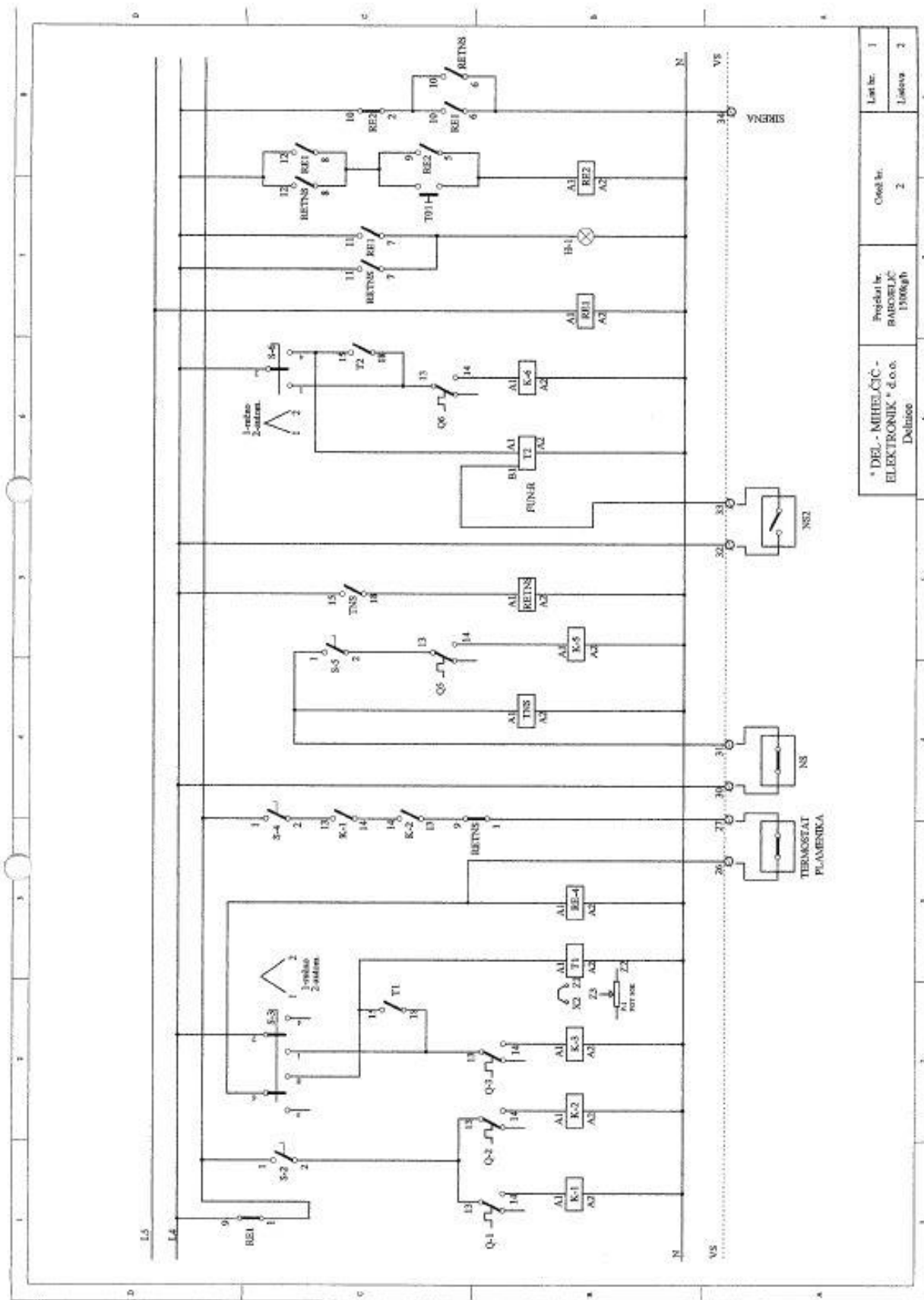


**PRILOG 5.3. Jednopolna shema termostata na pogonu**





**PRILOG 5.4. Jednopolna shema glavnog ormara**



|  |  |                 |                        |
|--|--|-----------------|------------------------|
| * DEL - MIHELČIČ -<br>ELEKTRONIK * d.o.o.<br>Delnice | Projektir. by<br>BARBARIJE<br>13006/gb | Čovšt. br.<br>2 | Let. br. 1<br>Letava 2 |
|--|--|-----------------|------------------------|