

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Janez PENKO

IDEJNI NAČRT IZDELAVE SUŠILNICE ZA OREHE

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Janez PENKO

IDEJNI NAČRT IZDELAVE SUŠILNICE ZA OREHE

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**CONCEPTUAL DESIGN OF MANUFACTURING WALNUT'S
DRYING DEVICE**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na katedri za kmetijsko tehniko na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Rajka BERNIKA in recenzenta diplomskega dela prof. dr. Franca ŠTAMPARJA.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Rajko BERNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehnična Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Franci ŠTAMPAR
Univerza v Ljubljani, Biotehnična Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Janez PENKO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 634.51:631.365 (043.2)
KG	oreh/ Juglans regia/sušenje orehov/sušilnice/idejni načrt
AV	PENKO, Janez
SA	BERNIK, Rajko (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2016
IN	IDEJNI NAČRT IZDELAVE SUŠILNICE ZA OREHE
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	X, 41 str., 3 pregl., 21 sl., 26 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AL	Namen diplomskega dela je prikazati delujoče sušilnice, zbrati tehnične podatke, po katerih te sušilnice delujejo, ter izdelati sušilnice za orehe. Pri konstruiranju sušilnice bomo uporabili že obstoječe podatke, ki smo jih pridobili z ogledom na terenu. Iz zbranih podatkov smo izbrali optimalne pogoje delovanja in določili robne tehnične pogoje za delovanje sušilnice za orehe. Na osnovi le-teh smo zasnovali novo konstrukcijsko izvedbo sušilnice. Pri konstruiranju nove sušilnice smo uporabljali materiale in postopke, ki so trajnejši in človeku ter okolju prijazni. Cilj diplomske naloge je bil, da bi bila zasnova sušilnice primerna tudi za večje pridelovalce orehov (od 50 do 150 dreves), ter da bi varovala naprave pred samovžigom zaradi velike vsebnosti olja v orehovitih jedrcih. Iz izvedenega poizkusa smo razbrali, da je naprava za osušitev 53,4 kg suhih orehov porabila 207 kWh, kar znaša 3,876 kWh / kg suhih orehov.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1

DC UDC 634.51:631.365 (043.2)

CX nuts/Juglans regia/nuts drying/drying machines/drying room for walnuts

AU PENKO, Janez

AA BERNIK, Rajko (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy, Professional Study Programme in Agriculture - Agronomy and Horticulture

PY 2016

TI CONCEPTUAL DESIGN OF MANUFACTURING WALNUT'S DRYING DEVICE

DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)

NO X, 41 p., 3 tab., 21 fig. 26 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The purpose of the study is to see active drying devices, collecting technical data related with their functions and making a drying device. To design a drying device I used the existing data that I have collected with views. According to collected data, I chose the optimum operating conditions and determined the technical boundary conditions for the functioning of nuts drying device. Based on the collected data I designed a new structural implementation of drying device, using materials and processes that are more sustainable and more environmental and human-friendly. The aim of this thesis is to make the drying device that is also suitable for larger walnuts growers (from 50 to 150 trees) and to protect the devices against self-ignition due to the high oil content of the kernels. Experiment that I have made, showed that the drying device evaporate 16.6 kg of water from 53.4 kg of dry walnuts and consume 207 kWh of electricity, which amounts 3.876 kWh / kg of dry walnuts. The electricity costs for drying amounted to € 0.60 / kg of dry walnuts on the Oct. 30th 2016.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	IX
1 UVOD	1
1.1 VZROK ZA RAZISKAVO	1
1.2 NAMEN IN HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 OREH	3
2.2 BOTANIČNA RAZVRSTITEV OREHA	4
2.3 MORFOLOGIJA OREHA	4
2.3.1 Korenine	4
2.3.2 Deblo	5
2.3.3 Krošnja	5
2.3.4 Cvet	5
2.3.5 List	5
2.3.6 Brst	5
2.3.7 Plod	6
2.4 OBIRANJE IN PRIPRAVA OREHOV NA SUŠENJE	6
2.5 SUŠENJE	7
2.5.1 Postopki sušenja	11
2.6 SESTAVA IN LASTNOSTI ZRAKA	12
2.6.1 Mollierov h-x diagram	14
2.7 SUŠENJE SUŠILNEGA ZRAKA	15
2.8 VENTILATORJI	16
2.9 ZRAČNI PRETOK	17
2.10 ENERGETSKI VIRI	17
2.10.1 Sončna energija	17
2.11 NAČINI SUŠENJA	18

3 MATERIAL IN METODE DELA	20
3.1 KONSTRUKCIJSKA ZASNOVA SUŠILNICE IZ ZAHTEV ZA SUŠENJE	20
3.2 IZRAČUN NASIPNE MASE OREHOV	22
3.3 DOLOČITEV VELIKOSTI SUŠILNICE	23
3.4 OPIS MATERIALOV, UPORABLJENIH PRI IZDELAVI SUŠILNICE	24
3.5 NAČRTI SUŠILNICE	24
3.6 KONČNI IZDELEK	27
3.6.1 Upravljanje pretoka zraka, ventilatorja	28
3.6.2 Upravljanje grelca	28
3.6.3 Časovni regulator	28
3.6.4 Merilci vlage in temperature	28
4 REZULTATI MERITEV	30
4.1 TEORETIČNI IZRAČUN ČASA SUŠENJA OREHOV V NOVI SUŠILNICI	30
4.2 EKONOMIKA SUŠENJA OREHOV	33
4.3 REALNO DELOVANJE SUŠILNICE	34
4.3.1 Izračun stroškov sušenja	35
4.3.2 Opis parametrov sušenja	35
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	37
5.1 RAZPRAVA	37
5.2 SKLEPI	38
6 POVZETEK	39
7 VIRI	40
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDINIC

	str.
Preglednica 1: Parametri vlažnega zraka na liniji zasičenja, pri $p = 0,1$ MPa (Topić, 2014)	15
Preglednica 2: Prikaz termične moči ter pretoka zraka za določeno maso orehov (Solar, 2000)	18
Preglednica 3: Poraba energije in strošek sušenja za 1 tono orehov.	19

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Navadni oreh (Borzan, 2016).....	4
Slika 2: Nasad orehov.....	6
Slika 3: Komorni sušilnik.....	9
Slika 4: Kanalski sušilnik.....	9
Slika 5: Tračni sušilnik (Kincl, 1989).....	10
Slika 6: Etažni sušilnik.....	10
Slika 7: Mollierov diagram za vlažen zrak (Mollier h-x, 2016).....	14
Slika 8: Radialni ventilator (Tehnovent. si, 2016).....	16
Slika 9: Aksialni ventilator (Tehnovent.si, 2016).....	17
Slika 10: Skica sušilnice za orehe.....	21
Slika 11: Skica za oblikovanje komore z večjo površino.....	22
Slika 12: Prazni in polni zaboj za izračun tare.....	22
Slika 13: 3D prikaz sušilnice.....	25
Slika 14: Stranica košare.....	25
Slika 15: Delavniške risbe nosilcev.....	26
Slika 16: Dokončani izdelek.....	27
Slika 17: Omarica za krmiljenje sušilnice.....	27
Slika 18: Omarica za krmiljenje sušilnice.....	29
Slika 19: Mollierov diagram (Mollier h-x, 2016).....	30
Slika 20: Grafični prikaz cene stroška sušenja orehov z različnimi energenti.....	34

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

H	relativna zračna vlaga
P	gostota [kg/m^3]
ΔX	odvzeta voda [$\text{kg}_{\text{vode}} / \text{kg}_{\text{zraka}}$]
φ	vlažnost sušilnega zraka [%]
1kcal	ena kilo kalorija [kJ]
kWh	kilovatna ura [kg/m^3]
AISI 316	kromovo jeklo z izboljšano odpornostjo proti kislinam
Kromovo jeklo	je sopomenka za nerjavno pločevino
Preforirana pločevina	je sopomenka za luknjasto pločevino
A1 vstopna temperatura	je vstopna temperatura v sušilnico
A2 izstopna temperatura	je izstopna temperatura iz sušilnice
T_g	temperatura grelnika v sušilnici
T_{izstopna}	Izstopna temperatura iz sušilnika

1 UVOD

1.1 VZROK ZA RAZISKAVO

Navadni oreh poznamo tudi pod imenom perzijski oreh, saj izvira iz osrednje azijskega rodovnega središča. Pogosto uporabljeno ime je tudi grški oreh, saj so ga v Evropi prvi gojili Grki. Rimljani so ga poimenovali Jovis glans – Jupitrov želod ali sadež plodnosti. Zaslužni so tudi za njegovo razširitev po celotni Evropi (Štampar in sod., 2009).

Današnja razširjenost oreha sega čez celotno Evropo, vse do Skandinavije. Razširjen je tudi v Aziji, Ameriki, Avstraliji, severni Indiji ter na Kitajskem. V antični dobi se je oreh uporabljal kot pomembna hrana za šibke ter v prehrani za otroke kot slaščica. Orehovo olje se je nekdanje zmešalo z oljem, pridobljeno iz bukovega žira, ki so ga uporabljali v prehrani.

Drevo oreha oblikuje visoko ter ravno deblo, ki se razvije v močno in široko krošnjo. Koreninski sistem oreha je močno razvejan, glavna korenina pa seže do globine 7 metrov. Oreh sodi med vetrocvetke, kar pomeni, da za svoje opraševanje ne potrebuje čebel ali drugih žuželk. Sadimo ga na dobro osvetljenih legah, saj je izrazit helifit, najbolj–mu odgovarja zmerna klima.

Jedrce oreha so visoko energijska hrana. Orehovo jedrce, med drugim, vsebuje jod ter vitamine iz B-kompleksa. Jedrce vsebuje okoli 62 % olja, 16 % beljakovin, 12 % ogljikovih hidratov, 2,5 % celuloze in 1,5 % mineralnih snovi. Energijska vrednost je okoli 2947 kJ, od tega je v proteinih 272 kJ, v olju 2437 kJ in v ogljikovih hidratih 238 kJ/kg (Aromaterapija.si, 2016).

Oreh vsebuje maščobno kislinsko sestavo, ki zmanjšuje tveganje za nastanek nekaterih bolezni (esencialne maščobne kisline, elagostična kislina, γ -tokoferol). V zadnjem času so odkrili celo vsebnost melatonina (Madžarevič, 2006).

Včasih so orehe pridelovali na kmetijah za samooskrbo. Pridelovali so jih na sejancih. Za sajenje orehov so uporabljali in odbirali najboljše plodove. Problem takšne pridelave pa je počasna mladostna rast. Na prve pridelke oreha je potrebno čakati približno od 10 do 15 let, zato so orehi po večini rastli ob dvoriščih ter služili za senčenje.

V prejšnjem stoletju so se pojavile nove, moderne sorte orehov, ki so povečale hektarski pridelek iz 1200 na 3100 kg/ha. Cepljen oreh ima pred orehom, vzgojenim na sejancu, prednost zaradi krajše mladostne dobe. Zarodi že v tretjem letu ter da obilnejše ter lepše plodove.

Povpraševanje po orehih je večje od ponudbe, saj je oreh, pridelan v sodobnih nasadih, zelo kakovosten ter izjemno tržno zanimiv. V Sloveniji imamo trenutno okrog 500 ha nasadov cepljenih orehov. Povprečen nasad je velik okrog 1,1 ha, največji pa po površini meri 8 ha, kot navaja Heric (2010).

Sušenje orehov ima za kakovost plodov izreden pomen. Nepravilno sušenje ter neprimerne skladiščne razmere lahko povzročijo žarkost orehov, saj s tem lahko dobimo slabe senzorične ter nizke prehranske kakovosti orehov. Za zaviranje oksidacije maščobnih kislin je potrebno preprečiti dostop kisika ter uporabo visokih temperatur pri sušenju. Pomembna je tudi inaktivacija encimov.

1.2 NAMEN IN HIPOTEZE

Ogledali smo si nekaj delujočih sušilnic in zbrali tehnične parametre, po katerih te sušilnice delujejo. Iz zbranih podatkov bomo izbrali optimalne razmere obratovanja sušilnice in določili robne tehnične razmere za delovanje sušilnice za orehe. Na osnovi zbranih podatkov bomo zasnovali novo konstrukcijo izvedbe sušilnice. Pri konstruiranju nove sušilnice bomo uporabili materiale in postopke, ki so trajnejši in človeku ter okolju prijazni.

Cilj diplomske naloge je, da bi zasnovali sušilnico, ki bi bila primerna tudi za večje pridelovalce orehov (okoli 50 – 150 dreves).

Na podlagi raziskav so hipoteze raziskovalnega dela naslednje:

- orehe lahko sušimo neodvisno od vremenskih razmer,
- orehi, ki jih sušimo v sušilnici, so enakomerneje posušeni, s tem pa zmanjšamo izgube pridelka kot tudi prihodka,
- orehi, ki jih sušimo v sušilnici, so po kakovosti boljši kakor tisti, ki jih sušimo na prostem s pomočjo obsevanja sonca.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OREH

Oreh je stara sadna sorta. Uvrščamo jo med lupinarje. Navadni oreh izvira iz osrednje azijskega rodovnega središča, zato ga poznamo pod imenom perzijski oreh. Prvi kultiviran nasad orehov je bil v Babilonu 2000 let p.n.š. V Evropi so z gojenjem oreha prvi pričeli Grki, od tod izvira tudi pogovorno ime grški oreh. Za razširitev oreha po celotni Evropi si zasluge pripisujejo Rimljani, ki so ga poimenovali Jovis glans ali Jupitrov želod plodnosti. Sredi 18. stoletja so angleški misijonarji zanesli oreh v Severno Ameriko, kjer je poznan pod imenom angleški oreh.

Najbolj komercialno pomembna vrsta je angleški oreh, kljub temu pa v svetu poznamo še druge sorte. Celotna pridelava orehov v svetu znaša (1 183 898 ton). Vodilna sila pri pridelavi orehov v letu 2000 je Kitajska s (300.000 tonami), sledita ji ZDA z (222.260 tonami) ter Iran z (142.906 t). Največja evropska pridelovalka orehov je Francija, ki zaseda 6. mesto po pridelavi (27.780 ton) orehov (Prasad, 2003).

V Sloveniji je bila včasih pridelava orehov bolj ekstenzivnega pomena. Orehe so ljudje pridelovali za samooskrbo. Večina orehov je bila posajena ob dvoriščih, kjer so služili tudi za senco.

Prvi intenzivni nasad za pridelavo orehov v Slovenije je postavil Ivan Jarc iz Rogoze pri Mariboru. »Od obdobja 1950 – 1955 do danes se je število sejancev zmanjšalo od 311.000 na 170.000, pridelek pa se je povečal od 1.200 na 3.000 ton. K povečanju pridelka znatno prispevajo sortni orehi, ki jih sadimo v intenzivnih nasadih. Trenutno imamo v Sloveniji 500 ha nasadov žlahtnih orehov s 100 do 140 drevesi/ha.« (Solar, 2006).

V Sloveniji meri največja posajena površina z orehi 7,3 ha, najmanjša pa 0,2 ha. Približno 50 % vseh površin, zasajenih z orehi, je obdelanih po načelih ekološke oziroma integrirane pridelave (Solar, 2006).

Razširjenost oreha v Sloveniji je omejena nekako do 1000 m nadmorske višine. Najrentabilnejša pridelava orehov pa je do 800 m nadmorske višine. Največ intenzivnih nasadov orehov je zabeleženih v JV Sloveniji.

Največji zabeležen propad orehov se je zgodil leta 1984-1985. Takrat je v Sloveniji propadlo 30 % orehov, 20 % pa je bilo hudo prizadetih, vendar so se le-ti ponovno obrasli (Ocepek, 1995). Pozeba je tudi v letošnjem letu (2016) močno prizadela orehe med 25. ter 28. aprilom. Najbolj je prizadela JV del Slovenije.

Za konzumno uporabo uporabljamo navadni oreh (*Juglans regia*). Druge vrste orehov, kot je npr. črni oreh (*Juglans nigra*) pa uporabljamo za pridobivanje orehovega lesa, ki ga uporabljajo za izdelavo pohištva. Korenina oreha je zelo cenjena tudi pri puškarjih, ker iz njih izdelujejo kopita za puške.



Slika 1: Navadni oreh (Borzan, 2016)

2.2 BOTANIČNA RAZVRSTITEV OREHA

Navadni oreh (*Juglans regia*) razvrstimo v botanično družino (*Juglandaceae*), orehovke, ki imajo štiri rodove z več kot 70 vrstami. Najbolj razširjen rod je *Juglans*, poznamo pa še *Carya* (pekan in hikori), *Pterocarya* ter *Platycarya*. Najbolj razširjena predstavnika iz rodu *Juglans* sta črni oreh (*Juglans nigra* L.) ter navadni oreh (*Juglans regia* L.), ki vsekakor zavzema najpomembnejše mesto. V tem rodu najdemo številne sorte našega oreha. Manj pomembne sorte, ki so primernejše za pridobivanje lesa, so: *Juglans mandshurica* (mandžurski oreh), *Juglans cinerea* (ameriški oreh), *Juglans pterocarpa* (kavkaški oreh), *Juglans insularis* (kubanski oreh), *Juglans sieboldiana* (japonski oreh), *Juglans olanchana* Stand. Will (olanhanski oreh), *Juglans major* Heller (arizonski oreh) ter *Juglans boliviensis* (bolivijski oreh) (Solar, 1992; Bulatović 1985).

2.3 MORFOLOGIJA OREHA

Oreh (*Juglans regia* L.) se razvije v mogočno drevo. V višino zraste do 20 m, deblo se lahko odebeli do premera 150 cm, krošnja pa se lahko razteza tudi 20 metrov široko. Življenjska doba je 120 let, lahko pa doseže ter preseže starost 200 let (Bulatović, 1985).

2.3.1 Korenine

Če je oreh nastal iz semena – generativno, se korenina hitro razvija ter prodira v globlje plasti tal. Na začetku je rast stranskih korenin omejena. Ko se zaustavi rast srčne korenine, zraste tudi do globine 7 metrov, se začnejo razvijati tudi stranske korenine, vendar ne prodirajo globoko v zemljo. Cepljenje sadike imajo v primerjavi z orehi, vzgojenimi na

sejancih, več stranskih korenin ter manjše srčne korenine. Srčna korenina cepljenega oreha v globino prodre do neke enega metrov (Ocepek, 1995).

2.3.2 Deblo

Je del drevesa od koreninskega vratu do prve veje. Deblo oreha je ravno ter gladko. Večina vzgojenih sadik ima velikost debla med 1,5 do 1,8 metra. Deblo pri sejancu zraste do višine 3 - 5 metrov, šele potem se razvije prva veja. Višja debela so manj občutljiva za pozebo. Mlado deblo je gladko, svetlo pepelnate barve. S staranjem lubja popoka, njegova barva pa potemni (Ocepek, 1995).

2.3.3 Krošnja

Krošnja oreha je široka, vendar slabo razvejana. Naravna oblika krošnje je piramidasta oblika z izrazito voditeljivo. V sredini je krošnja v povprečju »gola«, aktivni del pa se izoblikuje na vrhu krošnje. To je posledica rasti krošnje proti svetlobi (Ocepek, 1995).

2.3.4 Cvet

Oreh je enodomna rastlina. Ženski ter moški cvetovi se razvijejo na vrhu krošnje. Razvijejo se na enoletnih poganjkih. Moški cvetovi se razvijejo na enoletnem lesu. Ženski cvet se razvije na vrhu mladike.

Moški cvet ima med 18 in 36 prašnikov, nahaja se na mačici, ki ima lahko do 160 cvetov. V dolžino zraste med 5 - 20 centimetrov. Ženski cvetovi so lahko 2 – 3 skupaj. Nimajo venčnih listov. Plodnica je dvokarpna in porasla z dlačicami. Ima eno jajčno celico. Brazda pestiča je dvodelna. Če je skupaj več ženskih cvetov (24), imenujemo to grozdasti oreh. Cvetni brsti so kopasti (Ocepek, 1995).

2.3.5 List

Oreh ima deljene listke, na njem je od 7 - 9 listkov. Mladi listi so nežni ter svetlo zeleni, medtem ko so stari listi trdi ter temno zelene barve. Vrhnji list je neparen ter največji. Po obodu so nazobljeni. Listi se lahko formirajo pred ali v nastanku moških cvetov. Dolžina orehovega lista je med 15 – 40 centimetri, površina pa znaša okrog 45 cm².

2.3.6 Brst

Poznamo vegetativne, cvetne ter mešane brste. V času vegetacije se razvijejo vegetativni brsti, iz njih pa se naslednje leto razvijejo listi ali poganjki z listi. Med vegetativne brste štejemo tudi speče brste, ti so skriti pod lubjem, ter rezervne brste, ki se nahajajo v listni pazduhi.

2.3.7 Plod

Sestavljen je iz zunanjega zelenega ovoja ali eksokarpa ter trdnega endokarpa ali olesenele luščine. Luščina je svetlo rjave barve. Razvije se iz zunanjega dela plodnice. Njena debelina je sortna značilnost. Sortno sta pogojeni velikost plodu ter izplen jedrca. Izplen jedrca je najmanjši pri francoski sorti Franquette (42 - 46 %), največji pa pri slovenski sorti Krka (49 - 54 %).

Endokarp je sestavljen iz dveh simetričnih polovic, ki sta zrasli s šivom. Oblika plodov je sortna značilnost. Poznamo jajčasto, kopasto, srčasto, okroglo, cilindrično in druge oblike. V notranjosti lupine je jedrce, ki je sestavljeno iz dveh polovic. Loči ju tanka olesenela pregrada, katera pri pravilno suhem orehu poči (Ocepek, 1995c).

Jedrce oreha vsebuje 2724 kJ/100g energije, 3,5 % vode, 18 g/100 g beljakovin, 1,1 g/100 g mineralov, 2 - 3 % balastnih snovi in 14,5 % skupnih sladkorjev (Štampar in sod. 2009). Da ohranimo snovi v takšnih razmerjih, je potrebno pazljivo ravnati, saj lahko že previsoka temperatura pri sušenju nad 40 °C povzroči žarkost maščob.



Slika 2: Nasad orehov

2.4 OBIRANJE IN PRIPRAVA OREHOV NA SUŠENJE

Obiranje orehov v Sloveniji poteka ročno. Za pobiranje je potrebno tla posebej pripraviti. Pod orehi je potrebno travo mulčiti ali pa zatreti s totalnim herbicidom. Ročno pobiranje dopušča tudi slabše pripravljeno površino pod orehi. Ko je oreh starejši, se zaradi vsebnosti tanina v listih trava pod krošnjo postopoma redči. V letu, ko jesen ni izrazito mokra, lahko orehe pobiramo postopoma. Prvo pobiranje lahko opravimo že, ko je na tleh 20 % plodov, glavino (60 % zrelih orehov) pobremo v drugem terminu, ostanek 20 % pa pobremo ob koncu zorenja. Kot pomoč pri pobiranju uporabljajo posebne pobiralce. Pobiralci so kot nekakšni valji, narejeni iz kovinskih žic. Pobiralce valjamo po tleh. Ko med tla in žice pride oreh, se žice razmaknejo, oreh pa ostane v notranjosti valja. Orehe pridelovalci pobirajo tudi samo ročno in jih vstavijo v košare ali vedra (Solar, 2002).

Veliki pridelovalci v Franciji, Italiji in drugje, ki obdelujejo po nekaj deset in več hektarjev na ravnini ali v bregovih, za pobiranje uporabljajo stroje. Za stresanje orehov je sestavljen poseben stresalnik, ki lahko stresa drevo za deblo ali pa vsako ogrodno vejo posebej ter ponjavo, ki jo napne okrog debla. V uporabi je tudi stroj, ki je bil preventivno namenjen za

pobiranje lešnikov. Ta stroj grabi lešnike, v našem primeru orehe, ki so pod drevesom. Na stroju je močan sesalnik, kateri posega lešnike v »zalogovnik«. Za ta sistem pobiranja je potrebna popolnoma čista površina, kajti drugače imamo preveč ostale mase, pomešane z orehi. Pobiranje orehov v povprečju poteka v enem obhodu, ko je zrelih 80 % vseh plodov (Solar, 2002).

Orehe, ki so namenjeni prodaji v luščini, je potrebno pred začetkom sušenja obdelati s tako imenovanim procesom, ki mu pravimo beljenje orehov. Orehi, ki so primerni za to, morajo biti celi, na pogled privlačni ter s čisto lupino in brez ostankov lupine ter drugih primesi. Orehe je potrebno sprati z močnim curkom takoj, ko jih poberejo. Pri tem je potrebno biti pozoren, da voda ne prodre do jedrca (Solar, 1995).

S postopkom beljenja orehov naredimo orehe še bolj vizualno privlačne ter s tem pritegnemo marsikatero kupca. Pred pričetkom beljenja je potrebno orehe sprati ter jih osušiti. Za ta postopek se uporablja raztopina klorovega apna in sode. Priprava raztopine je takšna, da v eni posodi raztopimo 1,5 kg klorovega apna, v drugi pa 1 kg sode. Obe raztopini zmešamo ob dodajanju vode do skupne količine 50 l. Mešanica za beljenje je uporabna po osemindesetih urah (Solar, 1995).

Belilo se lahko uporablja samo na orehih s celo luščino, ki je trdno spojena ter brez poškodb. V primeru, da belilo pride do jedrca, mu spremeni okus. Beljenje lahko poteka največ eno minuto. Po tem postopku je potrebno orehe ponovno sprati s čisto vodo ter jih osušiti (Solar, 1995).

2.5 SUŠENJE

S sušenjem odstranjujemo iz trdnih snovi hlapno tekočino z odpihovanjem ali odparjanjem. Pri sušenju z procesom odhlapljevanja je temperatura sušene stvari manjša od vrelišča vode. Hlapenje je posledica razlike med parnim tlakom vode v snovi in parcialnim tlakom vode v plinu, ki obdaja vlažno snov. To razliko vzdržujemo tako, da hlapo odvajamo s tokom plina, največkrat je to zrak. S pomočjo plina obenem tudi dovajamo izparilno toploto v sistem (Modic, 1978).

Sušenje orehov lahko razdelimo na:

- Naravno sušenje.
- Tehnično sušenje.

Naravno sušenje spada med najstarejše načine konzerviranja hrane. Naravno sušenje je tudi energijsko najcenejši način sušenja. Največji problemi takšnega sušenja so predvsem velika poraba prostora, odvisnost od vremenskih, klimatskih razmer, dolg čas sušenja ter količina potrebnega, dolgo vezanega kapitala v zalogah. Čas sušenja orehov je tako odvisen od sorte orehov, klimatskih razmer ter debeline lupine. Klimatske razmere se močno razlikujejo tudi glede na mikrolokacijo, zato je vlažnost orehov in s tem tudi čas sušenja orehov močno odvisen od lokacije nasada. Z naravnim sušenjem se lahko doseže omejeno osušenost orehov, katera je enaka ravnovesni vlagi, ki jo je mogoče doseči v posameznih klimatskih conah.

Glede na podane informacije lahko pridemo do naslednjih sklepov. Hitrost sušenja orehov je odvisna od temperature zraka, relativne zračne vlage ter hitrosti zraka nad površino plasti sušečih se orehov.

Pri naravnem sušenju je hitrost sušenja spremenljiv dejavnik. Možno je tudi, da pride do navlaževanja orehov, kar pomeni, da orehova lupina zaradi svoje higroskopičnosti vlago iz zraka vpija, zato ker je trenutna ravnovesna vlaga višja od vsebnosti vlage v orehovi lupini in jedrcu.

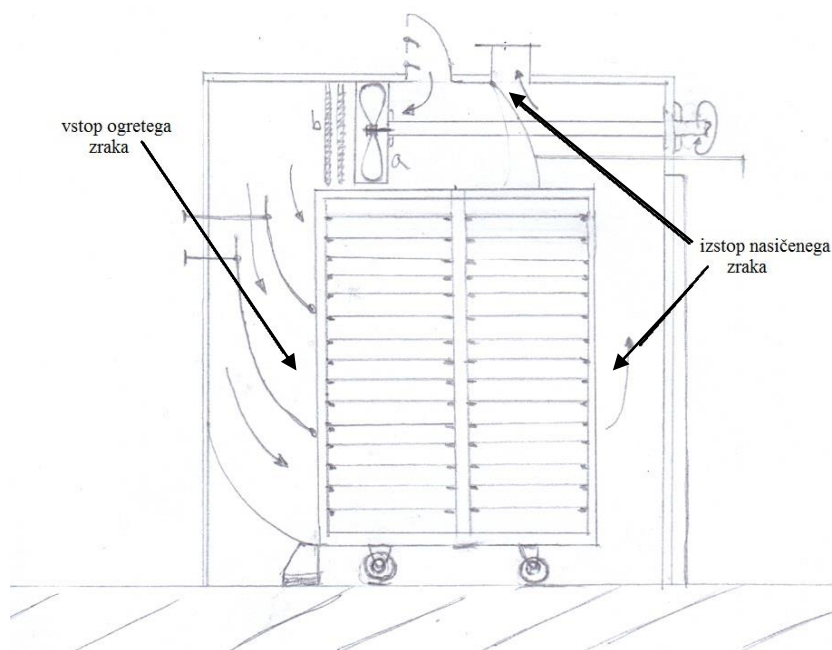
Tehnično sušenje orehov se je pričelo razvijati skladno s naraščajočo potrebo po hrani (v našem primeru potrebe po suhih orehih) ter s pomočjo tehnoloških postopkov, ki so to omogočili.

Zato lahko tehnično sušenje delimo na:

a) Sušilniki, v katerih se material ne obrača

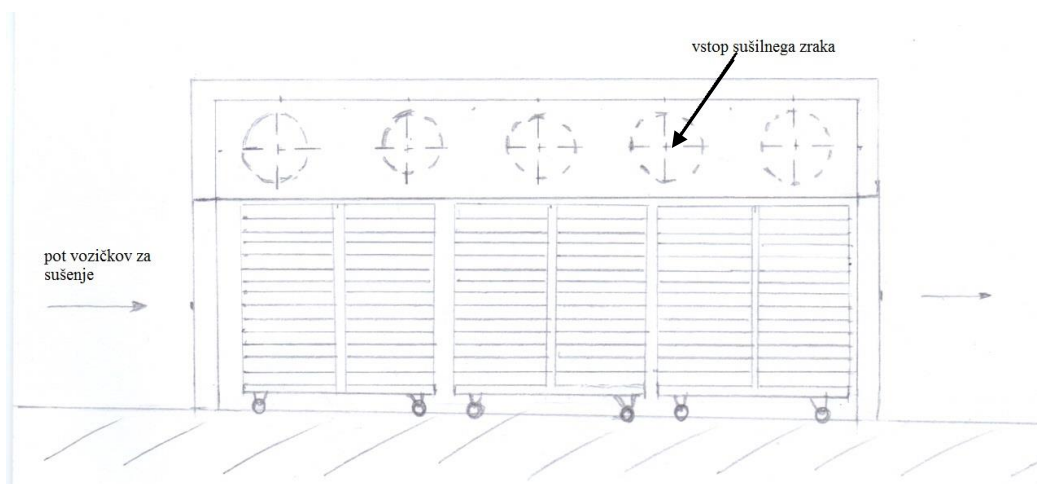
- Komorni sušilniki: uporabljajo se za sušenje razmeroma majhnih količin. Sušeno trdno snov (vlažno) naložimo na sušilne pladnje ter jih potisnemo v sušilno komoro. Pladnji imajo lahko prepusto ali neprepustno dno. Zračni tok lahko povzročimo z ventilatorji ali naravnim vlekrom, le-ta pa potuje skozi sloj sušečega »materiala«, če je ta zanj prepusten, ali pa nad njegovo površino, če ni. V primeru, ko varčujemo z energenti, pustimo zraku navadno delno recirkulirati. Pred vstopom zraka v komoro ga segrejemo ter s tem omogočimo boljšo vezavo vlage na zrak. Posledično s segrevanjem tudi pridobimo konstantno in nekoliko višjo temperaturo (Modic, 1978).

Na spodnji sliki je pod črko a označen ventilator za dovajanje zraka, pod črko b pa grelec, ki služi sušenju zraka.



Slika 3: Komorni sušilnik

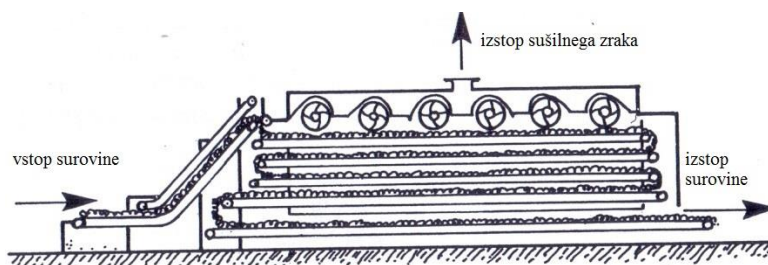
- Kanalski sušilnik: je uporaben predvsem za kontinuirano obratovanje. Skozi sušeni tunel potiskamo regalne vozičke, na katerih je naložena vlažna snov. Zračni tok poteka vzdolž tunela, možno je tudi povprek, glede na njegovo os.



Slika 4: Kanalski sušilnik

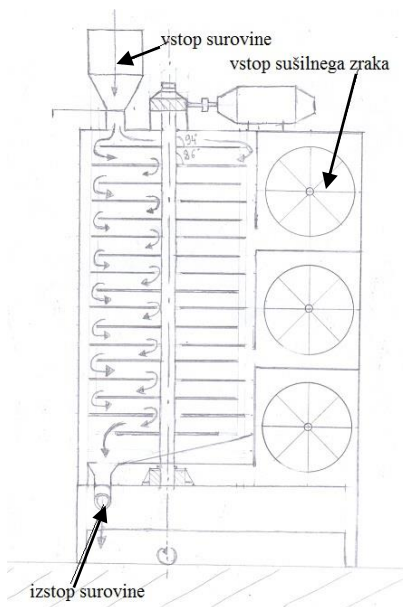
- Tračni sušilnik: uporabljajo ga za kontinuirano sušenje vlaknastega ali kosmatega materiala. Glavni sestavni del sušilnika je brezkončen trak. Trak ali več takih potuje drug proti drugemu v nasprotni smereh. Sušeni material naložimo nanj. Ta potem potuje

z njim do konca sušilnika, kjer ga nato odvrže. Zračni tok poteka vzporedno ali pa skozi sušeni material (Modic, 1978).



Slika 5: Tračni sušilnik (Kincl, 1989)

- Etažni sušilnik: je sušilnik, ki sestoji iz pokončnega valja. Valj ima več vzporednih, horizontalno nameščenih etaž (krožnikov), ki imajo skupno vertikalno os. Nad vsako etažo je nameščeno strgalo, ki ga poganja navpična pogonska gred. Material, ki ga položimo na sušilnik, se na vrhu sušilnika strga od sredine proti stranem, v naslednji etaži od strani proti sredini in tako naprej. Na prerezu sušilnika bi lahko pot materiala označili kakor črko S. Ko doseže zadnji krožnik, material pade na dno ter ven skozi odprtino. Potek zraka skozi takšen sušilnik je nasproten poteku materiala. Temu pravimo protitočni princip (Modic, 1978).



Slika 6: Etažni sušilnik

- Valjni sušilnik delimo na dve vrsti. Poznamo sušilnik z enim valjem ter sušilnik z dvema valjema. Sušilniki se predvsem uporabljajo za kontinuirano sušenje gostejših tekočin ter pastoznih in kašastih snovi. Sušilnik je sestavljen iz enega ali dveh valjev, na katerega (v fazi rotiranja) nanašamo plitev sloj sušene snovi. Val z notranje strani

ogrevamo s pomočjo pare. Ko se snov posuši, jo postrga nož. Sušilnik, ki ima en valj, se uporablja za sušenje gostejših tekočin. Tekočine se na valj nanaša tako, da se valj delno potopi vanjo. Sušilnik, ki ima nameščena dva valja, pa uporabljamo za sušenje pastoznih ter kašastih snovi. Sušeno snov v tem primeru šaržiramo v prostor med dvema valjema (Modic, 1978).

b) Sušilniki, v katerih se material obrača

- Rotacijski sušilnik je sušilnik, kjer se sušeni material obrača. S tem postopkom je sušenje hitrejše ter enakomernejše. Posledično je tudi manjša poraba energenta. Sestavljen je iz nagnjene cevi, katera leži na valjih ter se počasi vrti. Sušeni material polnimo kontinuirano na zgornjem koncu cevi. Med potovanjem proti spodnjemu delu sušilnika ga sušimo s pomočjo vročega zraka ali dimnih plinov v protitoku ali sotoku (Modic, 1978).
- Razpršilni ali pršilni sušilnik: v tej vrsti sušilnika lahko sušimo tekoče ali pastozne snovi, kot so suspenzije, paste itd. Na vrhu sušilnika se material razprši. Material s pomočjo prostega pada počasi pada skozi vroči zračni tok proti dnu sušilnika. Ker pri tem nastanejo fine razpršene kapljice, se med padanjem hitro posušijo. Na dnu pade praškasti material. Večje delce materiala ločimo s pomočjo celičnega dodelilnika. Ta se nahaja na koncu sušilnika. Uporabljajo ga v farmacevtski ter prehrabni industriji (Čelik, 1996).
- Mešalni sušilniki se uporabljajo pri lepljivih ter tistih materialih, ki se med samim sušenjem spečejo. Sušilnik je sestavljen iz ležečega valja ter vodoravnega mešala. Mešalnik ogrevamo skozi plašč. Vlažen material se polni na enem koncu. Med mešanjem materiala ga mešalo potiska iz enega konca proti drugemu. Temu sistemu pravimo kontinuirano sušenje. Dejavnika, ki ju je potrebno pri takšnem sušenju optimizirati sta konstrukcija, ki mora biti dovolj nagnjena, ter dolžina sušilnika. Če sušilnik ne zadošča tem parametrom (se snov med mešanjem ne pomika iz enega proti naslednjemu koncu), pride do diskontinuiranega sušenja (Modic, 1978).

c) Vakuumski sušilnik

- Vakuumski sušilnik je primeren za sušenje materialov, ki so občutljivejši na višje temperature ter radi oksidirajo na zraku. Za sušenje v vakuumu uporabljajo zaprte komorne, valjčne ter mešalne sušilnike. Sušenje poteka tako, da dovajamo toploto sušeči se snovi s kondukcijo preko podlage ali z radiacijo sten. Sušilnike za atmosferski tlak je potrebno opremiti s tesnim pokrovom. Vodo, ki nastane pri sušenju, odstranjujemo s kondenziranjem v površinskih ali brizgalnih kondenzatorjih ali pa jo odstranimo z adsorpcijo. Če vakuumski pokrov pravilno ne tesni, moramo pline odvesti s pomočjo odsesavanja z vakuumsko črpalko.

2.5.1 Postopki sušenja

S sušenjem neke snovi odstranjujemo vodo (vlago), ki je vezana na tej trdi fazi. Postopek sušenja je odvisen od tega, na kakšen način je vlaga (voda) prisotna v snovi, ki jo sušimo.

Vodo, ki nastopa v procesu sušenja, razdelimo po štirih različnih kriterijih:

- a) V tekoči obliki: voda lahko odteče, zato jo pred sušenjem moramo odstraniti. Odstranimo jo s pomočjo filtriranja ali centrifugiranja. To izločanje se uporablja predvsem zato, ker so te operacije cenejše kakor sušenje.
- b) Kot tekočina: voda se drži na površini trdne snovi, temu pravimo površinska vlažnost. Zadržujejo jo velike kapilare. Površinske sile so v tem primeru tako slabe, da ne zadržujejo parnega tlaka. Takšna oblika vlage se imenuje nevezana vlaga. Tiste snovi, ki imajo le nevezano vlago, so nehigroskopične ter nakazujejo na polni parni tlak vode. Snov lahko posušimo v zračnem toku, kateri ni nasičeno vlažen.
- c) Kot voda v tekoči obliki, katero zadržujejo drobne kapilare: površinske sile so v tem primeru zelo velike, zato občutno znižujejo njen parni tlak. Snovi, katere imajo fine kapilare, se obnašajo tako, dokler so zelo mokre, so kot nehigroskopične snovi, pri določeni vsebnosti vlage pa se začne parni tlak zmanjševati. Takšne snovi lahko osušimo samo do ravnotežne vlažnosti, ki pa je odvisna od temperature in vlažnosti zraka v okolici ter od same snovi. Pri tem načinu je potrebno ravnotežno vlažnost določiti eksperimentalno z osuševanjem v kondicioniranem plinu. Kondicioniran plin je plin z določeno vlažnostjo in temperaturo. V primeru, da je vlažnost sušene snovi manjša od ravnotežne glede na kondicijo plina v okolici, snov vpija vlago, dokler ne doseže ravnotežne vlažnosti.
- d) Kot voda v plinastem stanju (vlaga), ki se veže na molekule. Takšno vrsto opazimo samo pri gelih, kateri z vodo nabrekajo, ter pri snoveh, pri katerih pride do kristalizacije ob stiku z vodo (Modic, 1978).

Pri večini tehničnih postopkov sušenja se ne dosega absolutne sušine, pač pa sušimo do vnaprej dogovorjene vlažnosti produkta (Čelik, 1996).

Pri orehih je vlažnost primerna za spravilo med 8-12 %. Maksimalna temperatura sušenja je 40 °C.

Glede na način sušenja materiala ločimo::

- a) Adiabatni proces sušenja se odvija ob adiabatnih razmerah, ko ni prenosa med komponentami in okolico, in ob pogoju, da je temperatura materiala pri vstopu v sušilnico 0 °C ter da v procesu sušenja ni ogrevanja materiala.
- b) Adiabatni proces izparevanja je proces, ki se odvija na površini proste tekočine ali pa na nasičeni površini vlažnega materiala, pri temperaturi 0 °C. Temperatura je enaka temperaturi vlažnega termometra in je konstantna. Z aspekta vlage se pojavlja proces adiabatnega izparevanja, z aspekta zraka pa proces adiabatnega nasičenja.

2.6 SESTAVA IN LASTNOSTI ZRAKA

Zrak spada med mešanico plinov, ki ga sestavljajo 21 % kisika, 78 % dušika ter 1 % drugih plinov. Tej mešanici plinov rečemo suhi zrak. Zrak, ki je v okolju, pa je sestavljen iz suhega zraka ter določene količine vodne pare, ki ustreza določenim razmeram. Definicija

absolutne vlažnosti zraka je razmerje med maso vodne pare ter maso suhega zraka (Novak, 2008).

$$Y = m_{vp} / m_{sz} \quad \dots (1)$$

Y = absolutna vlažnost zraka [kg/kg]

m_{vp} = masa vodne pare [kg]

m_{sz} = masa suhega zraka [kg]

Molska masa zraka je 28,96 kg/mol; plinska konstanta: 287,0 J/kg K, specifična toplota: 1005 J/kg K ter gostota: 1,2928 kg/m³ (Kraut, 1981). Absolutna vlažnost zraka je pri različnih temperaturah vedno enaka, saj temperatura nanj nima nobenega vpliva. Relativna zračna vlaga izraža stopnjo zasičenosti zraka z vodno paro. S spremembo temperature se spreminja količina vodne pare, ki jo sprejme zrak. Zrak je nenasičen, ko je v območju sprejemanja vodne pare, z določeno količino relativne zračne vlage, ter nasičen, ko ne more sprejemati več vodne pare. Zrak, ki je popolnoma nasičen, ima relativno zračno vlago 100 %. To pomeni, da pri tej temperaturi ne more sprejemati več vodne pare, oziroma se višek voden pare izloči v obliki kondenzata. Glede na odstotek relativne zračne vlage v zraku je odvisna hitrost sušenja. Pri nizki relativni zračni vlagi je sušenje hitro, pri 100 % zračni vlagi pa je proces sušenja skoraj nemogoč (Novak, 2008).

Formula za izračun relativne zračne vlage:

$$\phi = p_v / p_n \quad \dots (2)$$

ϕ relativna zračna vlaga [%]

p_v delni tlak vodne pare [Pa]

p_ntlak nasičenja vodne pare [Pa]

Večja kot je razlika med nasičenim parnim tlakom (p_n) vlažne snovi, ki se suši in parcialnim tlakom vodne pare v sušilnem zraku (p_z), hitrejša je sušenje.

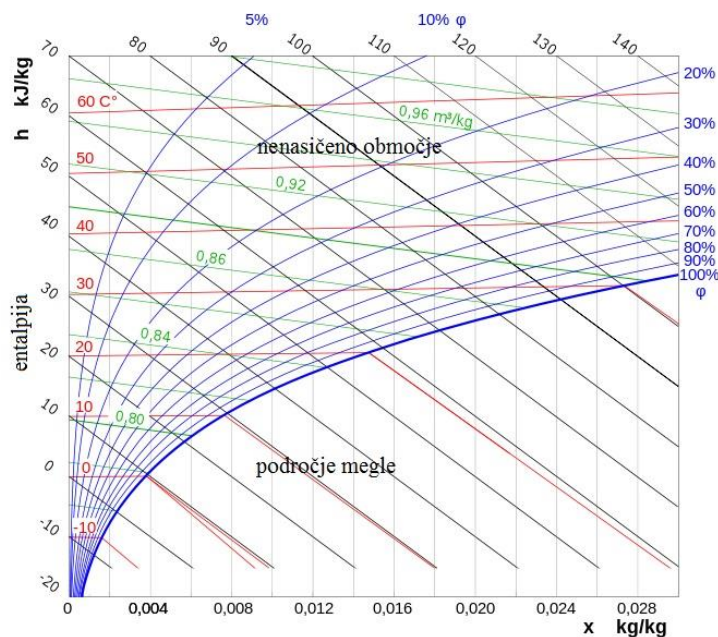
$$\Delta p = p_n - p_z \quad \dots (3)$$

Δp ...hitrost sušenja

p_ntlak nasičenja vodne pare [Pa]

p_zparcialni tlak vodne pare [Pa]

2.6.1 Mollierov h-x diagram



Slika 7: Mollierov diagram za vlažen zrak (Mollier h-x, 2016)

Ta diagram je grafična predstavitev enačbe za vlažen zrak. Je rezultat dela dveh raziskovalcev in sicer R. Molliera in L. K. Razmina v dobi petih let. R. Mollier je svoje raziskave objavil leta 1923, Razmin pa leta 1918. Diagram je izdelan za eno konstantno vrednost pritiska in tako je stanje vlažnega zraka v diagramu določeno z dvema parametroma (Topić, 2014).

Mollierov diagram se uporablja za določanje stanje vlažnosti zraka. Diagram je prikaz parametra pri stalnem tlaku, v povprečju je to 1 bar = 10^5 Pa. Pri stalnem tlaku je entalpija funkcija temperature in nasičenosti zraka. Entalpija je termodinamična funkcija, ki je sestavljena iz produkta tlaka s prostornino telesa in iz notranje energije.

$$H = U + pV \quad \dots (4)$$

Hentalpija sistema [kJ/kg]

U.....notranja energija sistema [kJ]

p.....tlak sistema [Pa]

V.....volumen sistema [m^3]

Entalpija vlažnega zraka je enaka vsoti entalpije vodne pare in suhega zraka.

$$H_{vz} = C_{pz}\vartheta + (C_{pvp}\vartheta + \Delta H_{v0})Y \quad \dots (5)$$

H_{vz} ... entalpija vlažnega zraka

$C_{pz}\vartheta$ specifična toplota suhega zraka (kJ/Kg)

C_{pvp9} ... vodna para (kJ/kgK)

ΔH_{v0} entalpija

Y zmes vodne pare in suhega zraka

Diagram je sestavljen iz premic, ki se lomijo na rosilni krivulji, to so izotermne temperature ($\varphi = 1$). Rosilna krivulja loči nasičen ter nenasičen zrak, sama krivulja pa prikazuje stanje nasičenega zraka. Krivulje, ki imajo enako relativno vlažnost, se nahajajo nad mejno krivuljo ($\varphi = \text{konstanta}$). Za določanje s pomočjo diagrama je potrebno poznati temperaturo zraka ter njegovo relativno vlažnost. Za merjenje vlažnosti uporabljamo vlagomer (higrometer) (Bernik, 2008).

Preglednica 1: Parametri vlažnega zraka na liniji zasičenja, pri $p = 0,1$ MPa (Topić, 2014)

Temperatura [°C]	Parcialni tlak vodne pare [10 ⁴ MPa]	Absolutna vlažnost [kg _a /kg _L]	Specifična entalpija [kJ/kg _L]
25	31,66	0,02034	76,9
26	33,60	0,02163	81,2
27	35,64	0,02299	85,8
28	37,79	0,02442	90,5
29	40,04	0,02594	85,4
30	42,41	0,02755	100,6
31	44,91	0,02925	106,0
32	47,53	0,03104	111,6
33	50,29	0,03294	117,5
34	53,18	0,03494	123,7
35	56,22	0,0370	130,3
36	59,40	0,0392	137,1
37	62,74	0,0416	144,2
38	66,24	0,0441	151,7
39	69,91	0,0467	159,6
40	73,75	0,0495	167,8

2.7 SUŠENJE SUŠILNEGA ZRAKA

Za hitrejšo sušenje je potrebno zagotoviti optimalne razmere za čim večjo vezavo vlage na zrak. To dosežemo tako, da povečujemo temperaturo zraka. S tem procesom zrak osušimo ter mu omogočamo večjo vezavo vlage. Boljše sušenje dosežemo tudi s hitrejšo menjavo zraka, s tem pa povečujemo zračni tok skozi sušilnico (orehe).

Sušilnice lahko razdelimo glede na način delovanja, na tiste z zaprtim sistemom in tiste na odprti sistem. Zaprti sistem je tisti, ki je varčnejši pri porabi energentov. Pri višjih

temperaturah sušenja je to še toliko pomembnejše. Nekatere večje sušilnice imajo vgrajen rekuperator, ki vrača visoko stopnjo energije. Sistem deluje tako, da izstopni zrak ohladimo za nekaj $^{\circ}\text{C}$. S tem iz zraka izločimo vodno paro v obliki kondenzata. Zrak se v grelni komori ponovno segreje do želene temperature. Odprti sistem sušenja je energetsko bolj potraten sistem, zato ker se segreti zrak v tem primeru izloča, s tem pa tudi energija (toplota).

2.8 VENTILATORJI

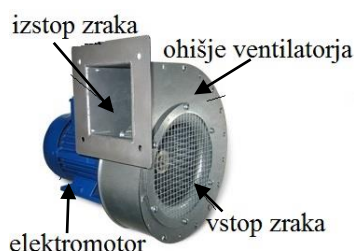
Ventilator je propeler, ki s svojimi vijačnimi ploskvami spravlja v gibanje zajeti zrak ter ga pospešuje. Naloga ventilatorjev je odpihovanje ter odsesovanje zraka v prostor ter iz njega. Izbiro ventilatorja pogojujemo glede na različne dejavnike kot so npr. masa, volumen, ekonomičnost, potreben pretok, itd. (Šmigoc, 2008; Kraut, 1981).

Ventilator je sestavljen iz rotorja, elektromotorja ter okrova. Rotor žene elektromotor in vsesava zrak skozi luknjo sredi okrova. Rotor je sestavljen iz dveh okroglih plošč z vmesnimi spiralnimi kanali. Kolo da zraku na potki skozi razpirajoči se kanal rotorja pospešek, da izstopa iz izpušne odprtine z večjo hitrostjo in s tlakom (Kraut, 1981).

Ventilatorje razdelimo glede na smer pretoka v tekaču, razlikujemo med radialnimi in aksialnimi ventilatorji.

a) Radialni ventilatorji

Imenujemo jih tudi cetrifugalni ventilatorji. Po videzu so podobni turbokompresorjem. Takšni ventilatorji imajo tekače, ki so lahko ravni, usmerjeni v nasprotno smer pretoka ali v samo smer pretoka. Zrak v ventilator doteka skozi sesalni nastavek, nato teče skozi tekač ter se zbira v spiralnem ohišju ventilatorja, da lahko potem odhaja v odtočno cev pod nadtlakom. Nadtlak, dosežen v odtočnem kanalu pri nizkotlačnih radialnih ventilatorjih, znaša do 1000 Pa, pri srednjetačnih je tlak med 1000 do 4000 Pa ter pri visokotlačnih ventilatorjih med 4000 do 10 000 Pa. Radialni ventilatorji se uporabljajo, kadar je potrebno zagotoviti velike pretoke plinov (Čelik, 1994).



Slika 8: Radialni ventilator (Tehnovent.si, 2016)

b) Aksialni ventilatorji

Imenujemo jih tudi propelerski ventilatorji. Takšni ventilatorji dobavljajo velike količine zraka ter proizvedejo manjši nadtlak. V ohišju je nameščen velik propeler, ki leži na vrtljivi gredi, tako da je smer pretoka plina vzporedna z osjo ventilatorja. Pri vrtenju se impulz s propelerja prenaša na plin. Ta se zaradi podeljenega impulza premika v smeri osi vedno

hitreje. Ventilatorji se v največji meri uporabljajo za prezračevanje ter hlajenje elektromotorjev (Čelik, 1994).



Slika 9: Aksialni ventilator (Tehnovent.si, 2016)

2.9 ZRAČNI PRETOK

Večji zračni pretok omogoča večje odvajanje zraka skozi plast orehov. S tem se poveča tudi odvajanje vodne pare ter pospeši sušenje. Pretok mora biti dovolj velik, da se oreh lahko suši (od znotraj navzven). Za 1 m visoko plast orehov je priporočen pretok med 1300 do 2000 m³/h/m². Z večjim zračnim pretokom dosežemo tudi bolj enakomerno sušenje. Zrak, ki ga dovajamo v sušilnico, mora imeti maksimalno vlažnost 40 %. V primeru, da bi zračni pretok povečali za dvakratnik, bi za eno tretjino dosegli hitrejše sušenje, vendar bi s tem povečali porabo energentov (Grant in Thompson, 1990).

Z debelino sušečih se orehov se pretok zraka zmanjša. Pomemben podatek je tudi velikost orehov, saj manjši kot so, bolj je njihova plast neprepustna. Med drobnimi delci – orehi je manjša plast zraka kakor pri debelih orehih. Večja kakor je gostota, večji je padec tlaka posledično pa tudi manjši zračni pretok. Zato je potrebno za sušenje drobnih orehov uporabiti močnejše ventilatorje, ki zagotovijo večji zračni pretok (Kadivec, 2005).

Shahbazi in Rajabipor (2003) navajata, da ima debelina sušečega sloja velik vpliv na pretok zraka. Meritve sta opravila na debelinah 25, 50, 75 ter 100 cm debeli plasti orehov. Meritev je pokazala največji padec tlaka pri debelini 100 cm, najmanjši pa pri 25 cm. Pojav sta razložila tako, da je razmerje med debelino orehov ter zračnim pretokom (prepustnostjo) obratno sorazmerno. Tako je zaradi naraščanja trenja med orehi in zrakom.

2.10 ENERGETSKI VIRI

Kot energetski vir lahko uporabimo obnovljive ali neobnovljive vire. Obnovljivi viri energije vključujejo vse vire, ki jih lahko zajamemo iz stalnih naravnih procesov. To so: sončno obsevanje, veter, vodni tok v rekah in potokih, geotermalna energija in biomasa. Med neobnovljive vire pa vključujemo vsa fosilna goriva, premog in zemeljski plin.

2.10.1 Sončna energija

Sončno energijo na zemlji dobimo v obliki elektromagnetnega valovanja. Je del naravnih energetskih tokov. Sončna energija ohranja ravnovesje na našem planetu, saj življenje brez nje nebi bilo možno.

Sončni kolektorji omogočajo izrabo sončne energije za proizvodnjo toplote. Najpogosteje jih uporabljamo za pripravo tople sanitarne vode ter podporo ogrevanju. V Sloveniji je

najbolj osončena pokrajina Primorska, vse ostale regije pa imajo za 15 % manjšo osončenost. Povprečna vrednost za Slovenijo je 1100 kWh vpadle sončne energije na m² horizontalne površine.

Sezona pobiranja ter sušenja orehov se prične meseca septembra ter poteka do oktobra. Za sušenje orehov so primerne nižje temperature (do 40°C), zato je smotrna uporaba sončne energije za sušenje. V državah, ki so večje pridelovalke orehov (Francija, Španija, ZDA, Kalifornija), je takšen način sušenja že zelo uveljavljen. Pri nas bi s takšnim sistemom prihajalo do težav, ker je v jesenskem času višje razmerje med deževnimi ter sončnimi dnevi ter tudi krajši čas obsevanja (kratek dan).

2.11 NAČINI SUŠENJA

Umetno sušenje orehov v sušilnicah traja med 48 -72 ur. Sušenje poteka po principu prehoda toplega zraka skozi plasti orehov. Razdelimo ga v dve fazi. Pred sušenje ter dokončno sušenje. Obe fazi sta pomembni, saj le tako zagotovimo pravilno posušene orehe ter ohranimo pravilno vsebnost maščob. Zreli orehi vsebujejo med 35 do 50 % vode, za prodajo ter daljše skladiščenje pa ne smejo imeti celi plodovi v luščini več kot od 10-12 %; jedrca pa od 6 – 8 %. V fazi pred sušenja orehi izgubijo tretjino odvečne vlage. Sušenje poteka v temperaturnem območju od 25 – 30 °C in traja do 10 ur. V primeru, da sušenje v začetni fazi presega 35 °C, pride do pojava odpiranja luščin po šivih. Sledi faza sušenja, ki poteka od 20 – 50 ur. Temperature povišamo za 5 °C. Zračni pretok mora biti med 1500 – 2000 m³/h/m² za 1 m visoko plast orehov, da zrak poteka skozi ter skrbi za odnašanje nasičenega zraka z vodno paro. Temperatura sušenja ne sme presegati 40 °C, saj lahko zaradi oksidacije nenasičenih maščobnih kislin pride do žarkosti jedrc. S hitrim postopkom sušenja se izognemo razvoju plesni na luščinah in v jedrcih, ohrani se svetla barva jedrc in stabilnost maščob v njih, preprečimo pa oksidacijo nasičenih maščobnih kislin. S tem se izognemo tudi žarkosti jedrc. Z nepravilnim postopkom sušenja lahko izgubimo tudi 50 % pridelka, k ni primeren za trženje (Solar, 2002).

Preglednica 2: Prikaz termične moči ter pretoka zraka za določeno maso orehov (Solar, 2000)

Pridelek (t)	volumen (m ³)	masa (kg suhih orehov)	Skupni pretok zraka (m ³ /h) s 40% rel. vlage	Toplotna moč	
				(kW)	kJ/h
do 2	2	600	3000 - 4000	20 - 27	71128 - 96232
od 2 do 4	3	900	4500 - 6000	30 - 40	108784 - 146440
od 4 do 6	4	1300	6000 - 8000	40 - 54	146440 - 196648
od 6 do 8	6	2000	9000 - 12000	61 - 80	221752 - 288696
od 8 do 10	7	2300	10500 - 14000	71 - 95	255224 - 343088

Preglednica 3: Poraba energije in strošek sušenja za 1 tono orehov.

Vir energije	Poraba na 1 t orehov	Cena (brez DDV) (30.8.2016)	Skupni strošek (€/1t orehov)
Elektrika	700 - 1000 kWh	0,156 €/kWh	109,2 - 156
Propan	50 - 75 kg	0,329990 €/kg	16,50 - 24,75
Olje	65 - 97,5 l	0,78600 €/l	51,09 - 76,64
Drva	225 - 337,5 kg	0,11538 €/kg	25,96 - 38,94
Peleti	140 - 200 kg	0,252 €/kg	35,28 - 50,4

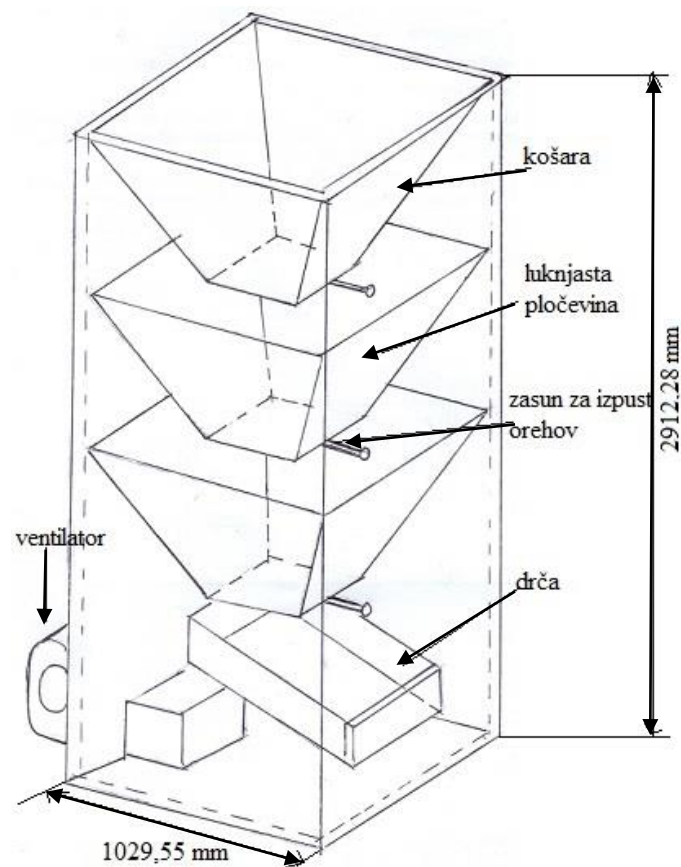
3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 KONSTRUKCIJSKA ZASNOVA SUŠILNICE IZ ZAHTEV ZA SUŠENJE

Dozorevanje orehov je odvisno od sorte in traja več kot mesec dni – od septembra do sredine oktobra. Zaradi neenakomernega dozorevanja orehov, jih je potrebno pobirati najmanj trikrat. Ni priporočljivo, da jih na silo otresamo z drevesa. V primeru, da orehe otresamo s pomočjo sile, poleg zrelih plodov odpadejo tudi nezreli plodovi, ki jih je zelo težko izluščiti. V primeru, ko oreh pustimo dalj časa v lupini, pa ta zelo potemni (Ocepek, 1995).

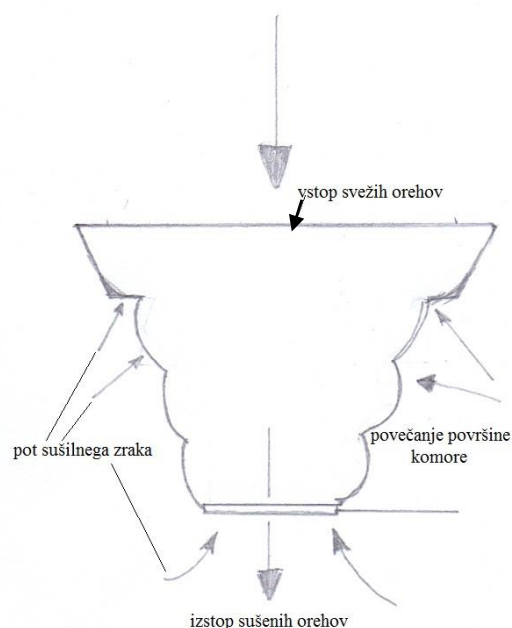
Zaradi bolj racionalne izrabe tlorisa prostora smo pri konstruiranju sušilnice izbrali tip komornega sušilnika s protitočnim delovanjem. Za sušenje morajo biti izpolnjene razmere, po katerih temperatura ne sme presegati 38 °C zaradi pojava žarkosti jedrc, odstotek vlage pa se mora zmanjšati s 30 – 40 % na 8 – 10 % vlage. Pravilnik dopušča 12 % vlažnost orehov, ki so primerni za prodajo.

Izgradnjo sušilnice smo naredili v obliki »stolpa« ali tako imenovanega komornega sušilnika, ki ga sestavljajo košare, katera je nameščena ena nad drugo. Košare so narejene iz nerjavne luknjaste pločevine, saj smo s tem dosegli dober zdrs orehov ter dobro prepustnost sušilnega zraka preko pločevine. Vsaka košara ima na dnu odprtino, ki jo z loputo zapremo ali odpremo. Sveže orehe nasujemo v zgornjo košaro, nabrane po vsakem dnevu pa spuščamo v nižjo košaro. Orehi se iz košare v košaro spuščajo s pomočjo gravitacijske sile. S takšnim sistemom smo dosegli, da se orehi med spuščanjem iz ene košare v drugo tudi premešajo. Ko bi orehi po treh dneh prišli skozi celotno sušilnico in bi imeli vlažnost od 8 – 12 %, bi jih s pomočjo drče na strani sušilnice spustili v zaboj. Za izdelavo košar ter ogrodja smo uporabil nerjavno pločevino AISI 316, saj je odporna na kisline ter rjavenje. Osnovna konstrukcija, ki nos košare ter ostale elemente, je izdelana iz nerjavnih kvadratnih cevi. Nanjo je pritrjena izolacija zaradi zmanjševanja toplotnih izgub. Radialni ventilator je nameščen na dnu sušilne komore. Grelci pripomorejo, da lahko zrak sprejme večji odstotek vlage, vendar se temperatura ne sme dvigniti nad 40 °C, sicer bi orehi postali žarki.



Slika 10: Skica sušilnice za orehe

Oblika komor v sušilnici je bila dimenzionirana tako, da je njena površina kar se da največja. Površina komore bi bila še večja, če bi bile stranice lahko v obliki »krivulje«, kar pa bi lahko povzročilo ostajanje orehov na njih. Izdelava košare bi se tudi precej podražila.



Slika 11: Skica za oblikovanje komore z večjo površino

3.2 IZRAČUN NASIPNE MASE OREHOV

Po nemški literaturi imajo sveži orehi nasipno maso od $450 - 550 \text{ kg/m}^3$. Ker v literaturi nismo zasledili podatka o nasipni masi suhih orehov, smo le-to določil s tehtanjem in ugotovili, da je nasipna masa suhih orehov 390 kg/m^3 .



Slika 12: Prazni in polni zaboj za izračun tare

$$V = a \cdot b \cdot c$$

$$V = 4 \cdot 2 \cdot 2,5$$

$$V = 20 \text{ dm}^3 = 20 \text{ l}$$

... (6)

$$20 \text{ l} \dots \dots \dots 7,848 \text{ kg}$$

$$1 \text{ l} \dots \dots \dots 0,3924 \text{ kg}$$

$$1000 \text{ l} \dots \dots \dots 392,4 \text{ kg}$$

Ker je vlaga suhih orehov zmanjšana za 30 – 40%, s tem določimo faktor 1,3.

$$392,4 \text{ kg} \cdot 1,3 = 510,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ali:

... (7)

$$\frac{510,12}{1000} = 0,51 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

... (8)

Za izračun odvedene vlage iz orehov vzamemo srednjo vrednost nasipne mase vlažnih orehov, ki je 500 kg/ m³. Količina odvedene vlage je tako:

$$500 - 390 = 110 \text{ kg}$$

... (9)

3.3 DOLOČITEV VELIKOSTI SUŠILNICE

Velikost sušilnice določimo na osnovi predpostavkah:

1. Povprečni pridelek na drevo: 30 kg.
2. Povprečno število dreves v nasadu: 100 dreves.
3. Skupni pridelek: 3000 kg, ki imajo skupni volumen 6000 l.

$$30 \text{ kg (orehov na drevo)} \cdot 100 \text{ (dreves)} = 3000 \text{ kg (orehov)} \quad \dots (10)$$

4. Čas sušenja orehov po razpoložljivih podatkih pridelovalcev: od 3 do 6 dni.
5. Predvideno število pobiranja orehov: 8-krat
6. Volumen pobranih orehov ob vsakokratnem pobiranju:

$$6000 \text{ l} : 8 = 750 \text{ l} \quad \dots (11)$$

Iz teoretičnega predpostavka, da zorenje orehov v povprečju poteka 45 dni, bi bero orehov opravili 8- krat. Količinsko bi tako enkratno nabrali 382,5 kg orehov, s 50 % vlažnostjo plodov.

Izberemo velikost sušilnice z volumnom 750 l, ker to predstavlja ob vsakokratnem obiranju rezervo enega dneva in pol oziroma 40 % rezervo.

Glede na zgornje podatke izberemo srednji pretok ventilatorja, 2000 m³/h.

3.4 OPIS MATERIALOV, UPORABLJENIH PRI IZDELAVI SUŠILNICE

Pri izdelavi sušilnice smo uporabili materiale, ki so trajnejši ter s tem posledično pripomogli k varovanju okolja. Uporabljali smo nerjavno jeklo, ki je tudi odporno na kisline.

Nerjavna jekla so železove zlitine. Vsebujejo najmanj 50 % železa (Fe). Največja prednost, kot tudi lastnost legiranih jekel je odpornost proti kislinam ter rjavenju. To pomeni, da kljub dolgotrajnemu stiku z vodo ne zarjavijo. Rja je zmes železovega oksida ter železovega hidroksida.

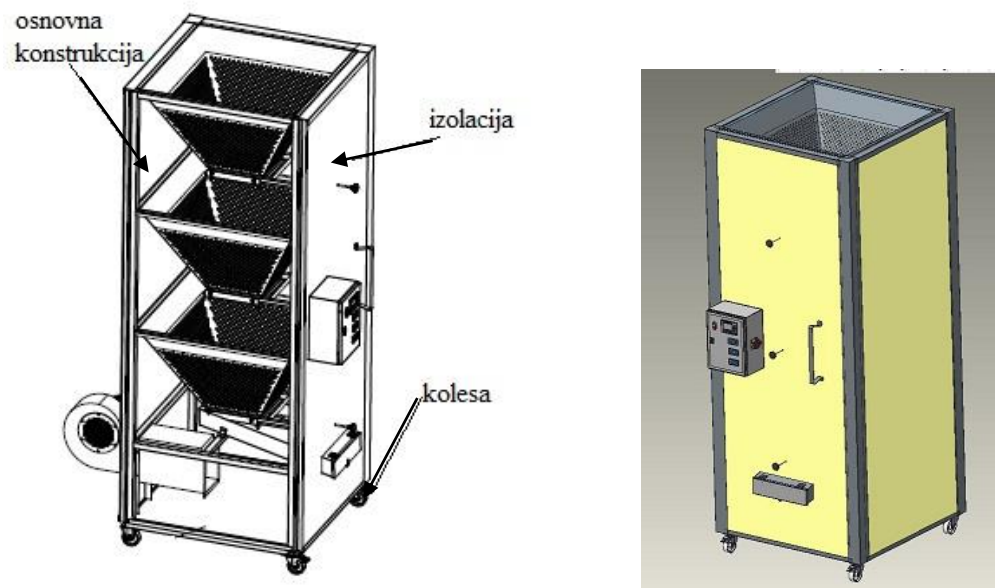
Da jeklo ne rjavi, so zasluženi elementi. Osnovna elementa te spojine sta: Krom (Cr) ter Nikelj (Ni). Ostali elementi zlitine pa so: Molibden (Mo), Dušik (N), Žveplo (S), Titan (Ti), Niobij (Nb), Mangan (Mn), Aluminij (Al) in Silicij (Si).

Krom (Cr), daje železu splošno odpornost, že pri koncentraciji 12,5 %. S takšno koncentracijo postane zlitina pasivna. Nerjavna kovina spremeni svoje kemične lastnosti ter s tem postane odporna na rjavenje. V povezavi z ogljikom se povečata trdnost jekla ter toplotna odpornost.

Nikelj (Ni) je drugi pomembni zlitinski element. Z že 7 % prisotnostjo povzroča odpornost jekla proti korodiranju ter povečuje žilavost jekla (Ramainox.si, 2016).

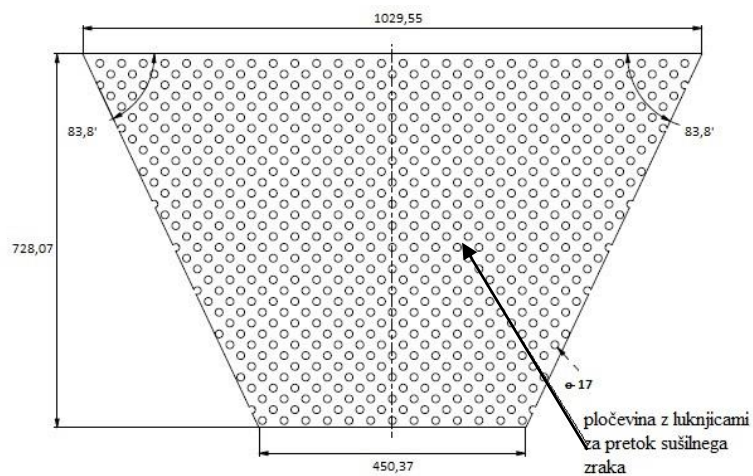
3.5 NAČRTI SUŠILNICE

Načrt za sušilnico smo izdelali s pomočjo računalniškega programa Creo 3.0. Zaradi lažjega premikanja sušilnice v prostoru za sušenje smo se odločili dodati kolesa.



Slika 13: 3D prikaz sušilnice

Posamezna košara, izdelana iz luknjaste pločevine z luknjami preseka $\varnothing 17$ mm. Koti košare so bili določeni pod takšnimi parametri, da orehi lepo zdrsnejo iz nje ob njenem odpiranju.



Slika 14: Stranica košare

3.6 KONČNI IZDELEK

Sliki 16 in 17 prikazujeta končni izdelek.



Slika 16: Dokončani izdelek



Slika 17: Omarica za krmiljenje sušilnice

Zaradi bolj učinkovitega sušenja ter prilagajanje sušilnih parametrov in zmanjšanja porabe po energentih smo na sušilnico namestili krmilno omarico, kjer lahko krmilimo ter naravnomo optimalne pogoje za električni grelec in ventilator.

3.6.1 Upravljanje pretoka zraka, ventilatorja

Sušenje lupinarjev poteka s pomočjo ventilatorja ter elektro grelca. Na sušilnici je nameščen ventilator s pretokom zraka $2000 \text{ m}^3/\text{h}$. Ker se vsaka sorta orehov suši različno, je treba pretok zraka regulirati, s tem pa dosežemo optimalne pogoje sušenja. Zrak reguliramo s pomočjo frekvenčnega regulatorja, ki omogoča brezstopenjsko nastavitvev pretoka zraka.

3.6.2 Upravljanje grelca

V sušilnici imamo nameščen elektro grelec, s katerim dosežemo, da se zrak ogreje ter boljše absorbira zračno vlago, kar nam nakazuje mollierov h-x diagram. Grelec se krmili s pomočjo termostatskega stikala. Na njem lahko naravnamo temperaturo vklopa ali izklopa grelca. Termostatsko stikalo nam tako služi kot varovalo, da temperatura ne preseže stopinj, pri katerih postanejo orehova jedrca žarka. Zaradi temperaturne vztrajnosti grelca je potrebno, da ventilator deluje še 3 minute po izklopu grelcev.

S krmilnim sistemom smo dosegli, da:

- jedrca ne postanejo žarka, ker je temperaturo možno naravnati po izklopu ventilatorja;
- nastavitvev gretja v odvisnosti od zunanje temperature;
- prihranek električne energije;
- temperatura grelca je vedno večja, kot je dejanska temperatura sušilnega zraka.

3.6.3 Časovni regulator

Orehovo jedrce vsebuje okoli 60 % olja, kar močno pripomore k njegovi vnetljivosti. Zaradi te nevarnosti smo se odločili, da sušilnico lahko upravljamo z naravnanim časovnim vklopom ali izklopom. Da smo lahko to dosegli, smo na sušilnico vgradili časovni regulator. Časovni regulator je »stikalo«, ki se vklopi ter izklopi ob točno določenem času. Na regulator lahko naravnamo ure za vklop grelca, ko smo doma, preostale ure pa nastavimo, da grelec ne greje. S tem sistemom nekako omejimo možnost nastanka večjega požara. Regulator ima možnost vsakodnevnih nastavitvev, ciklus po 2, 3, 4 dni, ter tedensko nastavitvev delovanja.

S tem sistemom smo zagotovili:

- Zmanjšano možnost za nastanek požara.
- Elegantno upravljanje sušenja, brez naše prisotnosti.
- Možnost sušenja z gretjem zraka ali brez, odvisno od vlažnosti okolice ter nasičenosti zraka z vodno paro.

3.6.4 Merilci vlage in temperature

Da bi lahko sušenje potekalo kar se da učinkovito ter hitro, smo v vsako košaro posebej namestili merilec vlage ter temperature. S tem smo omogočili, da lahko s preprostim

pogledom na krmilno omarico odčitamo vlažnost ter temperature vsake komore posebej. Temperatura v komori je vedno nižja od temperature vstopnega sušilnega zraka.

S tem sistemom smo zagotovili:

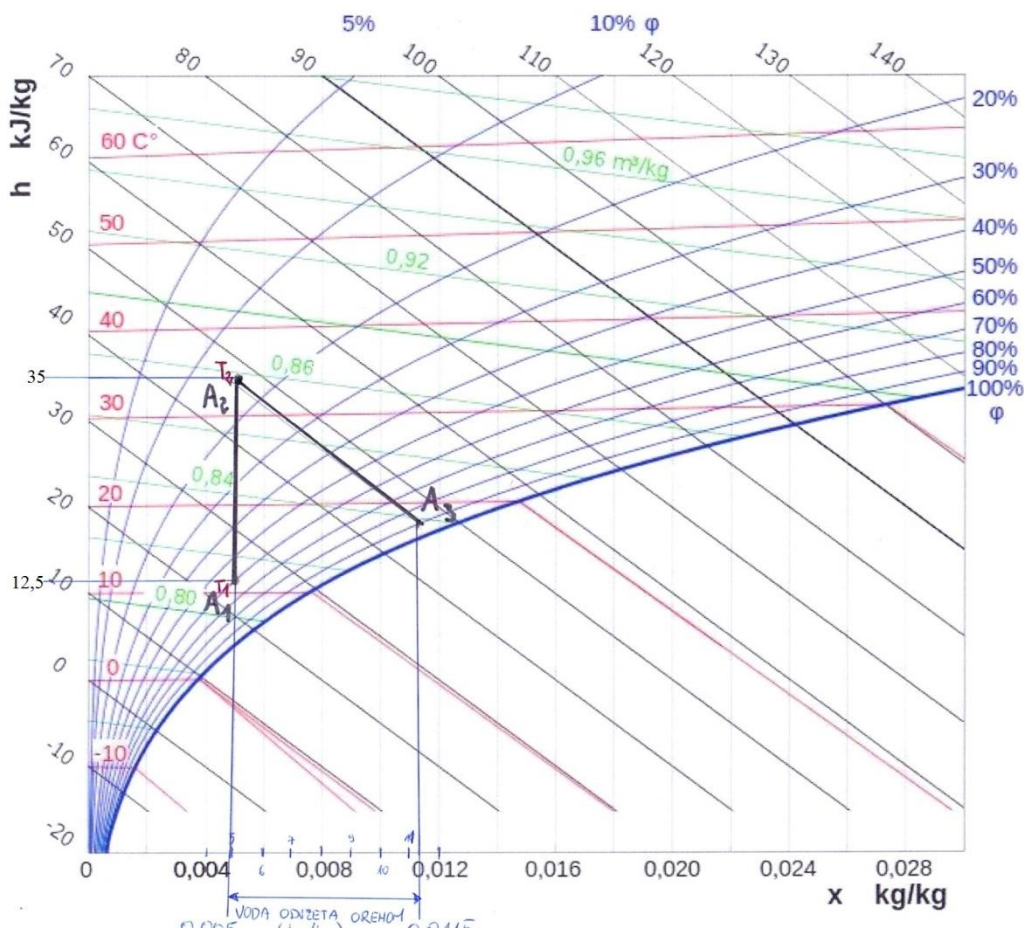
- orehe lahko ob pravočasni vlažnosti spustimo v nižjo komoro;
- prihranimo energente za nepotrebno sušenje;
- pospešimo sušenje;
- dobimo informativne podatke o vlažnosti orehov, brez da jih spuščamo iz sušilnice;
- določimo optimalni pretok zraka na frekvenčnem regulatorju, motorju ventilatorja;
- povečujemo ali zmanjšujemo toplotno energijo sušilnega zraka, ki služi za sušenje.



Slika 18: Omarica za krmiljenje sušilnice

4 REZULTATI MERITEV

4.1 TEORETIČNI IZRAČUN ČASA SUŠENJA OREHOV V NOVI SUŠILNICI



Slika 19: Mollierov diagram (Mollier h-x, 2016)

Če orehe vstavimo po pobiranju še v stroj za pranje in čiščenje orehov, imajo vlažnost 65 %. Vlago smo izmerili v sušilniku za merjenje vlage. Orehi so pred sušenjem imeli maso 80,87 g, po sušenju pa 48,89 g.

Izračunana masa vode v suhih orehih je bila:

$$\frac{80,87 - 48,89}{48,89} \cdot 100 = 65 \%$$

... (12)

Ker orehe sušimo do vlažnosti 15 %, jim moramo odvzeti 50 % vode.

V primeru, da smo očiščene orehe en dan pustili na zraku na sušilni lehi, so po mokrem postopku meritev imeli vlažnost 47,03 %.

Masa vlažnih orehov: 100 kg

Vlažnost orehov: od 50 – 65 %

Vlažnost orehov je odvisna od časa pobiranja do vstavitve orehov v prvo komoro.

Iz orehov je potrebno odvzeti vodo: [kg]

$$G_{vode} = \frac{m. \text{ vlažnih orehov } (F1 - F2)}{100 - F2}$$

... (13)

mmasa vlažnih orehov [kg]

F1začetna vlažnost orehov [%]

F2končna vlažnost orehov [%]

$$G_{vode} = \frac{100 * (65 - 15)}{100 - 15}$$

$$G_{vode} = 58,82 \text{ kg}$$

... (14)

Vstopna temperatura zraka: A1 = 15,5 °C

Vstopna vlažnost zraka: $\phi = 60 \%$

Vsebnost vode v sušilnem zraku X na vstopu v sušilnico: 0,005 kg_{vode} / kg_{zraka}

Izstopna temperatura iz sušilnice: A2 = 35 °C

Izstopna vlažnost zraka iz sušilnice: $\phi = 90 \%$

Vsebnost vode v sušilnem zraku X na izstopu iz sušilnice: 0,015 kg_{vode} / kg_{zraka}

Entalpija je: 48 kJ / kg zraka, odčitamo jo iz Mollierovega diagrama.

$$\text{Izračun odvzete vode: } \Delta X = X_{\text{izstopa}} - X_{\text{vstopa}}$$

$$\Delta X = 0,0115 - 0,005 = 0,0065 \text{ kg}_{\text{vode}} / \text{kg}_{\text{zraka}}$$

... (15)

Gostota vode pri: 20 °C: 1,164 kg / m³

Volumen, pridobljen iz diagrama delovanja ventilatorja: 2000 m³

$$\text{Masni pretok zraka: } m = \rho \cdot V = 1,164 \cdot 2000$$

$$m = 1,164 \cdot 2000$$

$$m = 2328 \text{ kg/h}$$

... (16)

Gostota zraka pri 20 °C: $\rho = 1,164 \text{ kg} / \text{m}^3$

Izračun za volumen potrebnega zraka:

$$Volumen\ zraka = \frac{Q\ zraka}{\rho}$$

$$Volumen\ zraka = \frac{9049,23}{1,164} = 7774,25\ m^3 \quad \dots (17)$$

Iz slike Mollierovega h-x diagrama lahko odčitamo, da je sušilni zrak sposoben prevzemanja vode $X' = 0,0065\ kg/kg\ zraka$. Iz teh podanih predpostavk lahko izračunamo, kolikšno maso zraka potrebujemo, da lahko iz vlažnega oreha odvedemo vodo.

$$Q\ potr.\ zraka = \frac{G_w\ vode}{X\ odv.\ vode} = \frac{58,82}{0,0065} = 9049,23\ kg\ zraka \quad \dots (18)$$

Sušilnica ima vgrajen ventilator z volumskim pretokom zraka: $500\ m^3$. Izračun časa, potrebnega za sušenje orehov:

$$t = \frac{\text{volumen potrebnega sušilnega zraka}}{\text{pretok zraka ventilatorja}}$$

$$t = \frac{V}{V_v} = \frac{7774,25}{500} = 15,54\ h\ sušenja \quad \dots (19)$$

Za sušenje orehov bi v teoriji potrebovali 15,54 ure. Takšno sušenje bi bilo izvedljivo ob nespremenjenih parametrih vstopne temperature sušilnega zraka ter vlažnosti zraka.

Izračun potrebne energije za sušenje:

Da lahko zrak sprejme večjo maso vode, ga predhodno segrejemo na $35\ ^\circ C$.

$$E_{\text{potrebna}} = r \cdot G_{\text{vode odvzete orehom}}$$

r izparilna toplota [KJ/kg]

$$E = 2500 \cdot 58,82$$

$$E = 147050\ kJ = \frac{147050}{3600} \quad \dots (20)$$

$$1\ kWh = 3600\ kJ$$

$$E = 40,84\ kWh$$

Izračun pokaže, da za 100 kg orehov potrebujemo 40,84 kWh.

Potrebno energijo za izparitev vode izenačimo s kurilnostjo goriva (H_i), maso goriva (m) ter izkoristkom naprave (η) za pridobivanje toplote.

$$E_{\text{potrebna}} = Q_{\text{potrebna}} = H_i \cdot m \cdot \eta_{\text{naprave}}$$

$$m = \frac{E_{\text{potrebna}}}{H_i \cdot \eta_{\text{naprave}}} = \frac{147050}{41200 \cdot 0,8} = 2,8 \text{ kg} \quad \dots (21)$$

E_{potrebna} potrebna energija [kJ]

Q_{potrebna} toplota [kJ]

H_ikurilnost goriva [kJ/kg]

mmasa goriva [kg]

ηizkoristek naprave [%]

Gostota plinskega olje je: $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2,8}{0,940} = 2,94 \text{ l} \quad \dots (22)$$

Če bi sušilna naprava takšnih dimenzij in z izkoristkom peči 0,8 delovala na plinsko olje, bi za osušitev 100 kg orehov iz 65 % vlažnosti na 15 % vlažnost potrebovali približno 3 l plinskega olja, pri kurilni vrednosti 41200 kJ/kg.

4.2 EKONOMIKA SUŠENJA OREHOV

Potrebna električna energija za segrevanje zraka za osušitev 100 kg orehov: 40,84 kWh
Cena električne energije (24.10. 2016): 0,156 €/kWh (Petrol.si, 2016).

$$\text{Strošek sušenja} = 40,84 \cdot 0,156\text{€} = 6,378\text{€} \quad \dots (23)$$

Potrebna količina plinskega olja za segrevanje zraka za osušitev 100 kg orehov: 2,94l.
Cena plinskega olja (24. 10. 2016): 0,801 €/l (Petrol.si, 2016).

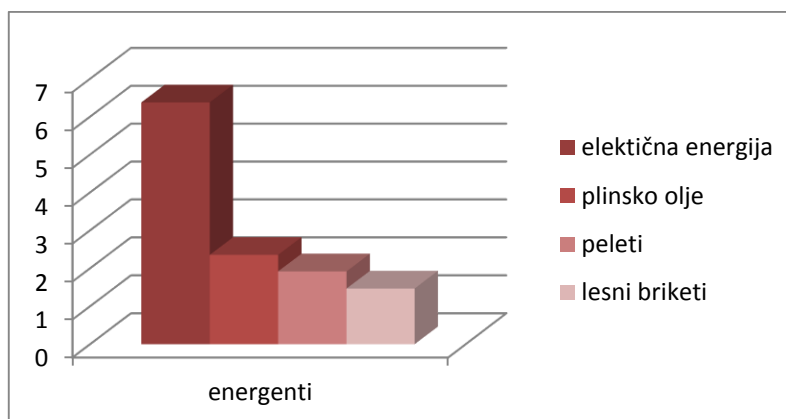
$$\text{Strošek sušenja} = 2,94 \cdot 0,801\text{€} = 2,35494\text{€} \quad \dots (24)$$

Potrebna količina peletov z energijo 5,1 kWh za segrevanje zraka za osušitev 100 kg orehov: 8 kg. Cena peletov (24.10.2016): 0,24 €/kg (Petrol.si, 2016).

$$\text{Strošek sušenja} = 8 \text{ kg} \cdot 0,24\text{€} = 1,92\text{€} \quad \dots (25)$$

Potrebna količina lesnih briketov z energijo 5,0 kWh za segrevanje zraka za osušitev 100 kg orehov: 8,2 kg. Cena lesnih briketov (24.10.2016): 0,179 €/kg (Petrol.si, 2016).

$$\text{Strošek sušenja} = 8,2 \text{ kg} \cdot 0,179 \text{ €/kg} = 1,4678\text{€} \quad \dots (26)$$



Slika 20: Grafični prikaz cene stroška sušenja orehov z različnimi energenti

4.3 REALNO DELOVANJE SUŠILNICE

Sušilnico za orehe smo preizkusili tudi v realnem delovanju. Preizkus smo opravili tako, da smo izmerili porabljeno električno energijo, ki jo potrebuje sušilnica za sušenje, in maso osušenih orehov pri izstopu iz sušilnice.

Za merjenje porabljene električne energije smo uporabili 3 fazni merilnik porabljene električne energije. Porabo energije smo spremljali 9 dni. Sočasno ob merjenju električne energije smo spremljali tudi okoljske parametre sušenja in tehnične parametre, ki so bili v sušilnici pri sušenju orehov.

Začetna vrednost na merilniku porabe električne energije je bila: 7165,8 kWh.

Končna vrednost na merilniku porabe električne energije po sušenju je bila: 7476,6 kWh.

V času sušenja smo porabili 310,8 kWh električne energije, ker pa smo sočasno sušili v treh komorah v sušilnici, pride na eno komoro 103,6 kWh električne energije ali 16,16 € na komoro.

1. Primer sušenja

Za prvi primer sušenja smo v prvo sušilno komoro vstavili 86,9 kg vlažnih orehov. Orehi so bili vstavljeni v komoro takoj po pranju. Njihova vlažnost je bila 65 %. Po sušenju je bila masa suhih orehov 45,2 kg. Pri sušenju je bilo iz orehov odvzeto 41,7 kg vode.

Parametri sušenja:

Temperatura okolice: $T_0 = 8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Relativna zračna vlažnost: $\rho = 88\%$ - zelo neugodno za sušenje orehov.

V sušilnici so bili sledeči parametri:

Vrtilna hitrost ventilatorja: 510 vrt./min^{-1}

Temperatura grelca: $T_g = 35,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura v komorah in relativna zračna vlaga:

1. komora: $T_1 = 29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. komora: $T_2 = 27,9\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. komora: $T_3 = 15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Merili smo tudi lastnosti vlažnega izstopnega zraka. Izstopni zrak iz sušilnice je imel temperaturo: $T_{\text{izstopa}} = 14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter relativno zračno vlago: $\rho = 99\text{ }\%$.

V primeru 1. sušenja je sušilnica porabila 34,5 kWh električne energije na dan. Podatek smo izračunali iz skupne porabe električne energije v času sušenja in porabo razdelili na 9 dni. Sušilnica je obratovala od 10:00 do 17:30 ure ali 7,5 ure na dan. V tem času devetih dni so se orehi prekomerno osušili na suhost: 6%. Ta suhost pri realnem sušenju ni potrebna, kar pomeni, da bi pri relativnem sušenju porabili manj s električen energije.

2. Primer sušenja

V komoro je bilo vstavljenih 70 kg vlažnih orehov. Orehi so imeli vlažnost 47,03 %. Orehi so bili predhodno po pranju na lesi (površina za zračno sušenje) izpostavljeni en dan, zato je bila njihova vlažnost zmanjšana za 17,97 %.

Po šestih dneh sušenja so orehi tehtali 53,4 kg. Iz orehov je bilo od začetka vlažnosti odvzeto 16,6 kg vode ali 31 %.

4.3.1 Izračun stroškov sušenja

V eni komori smo za sušenje porabili 34,5 kWh električne energije na dan. Pri upoštevanju cene električne energije 0,156 € / kWh dobimo vrednost stroškov sušenja 5,382 € na dan. Ker smo sušenje opravljali 6 dni, izračunamo porabo električne energije za celotno obdobje sušenja:

$$34,5\text{ kWh} \cdot 6\text{ dni} = 207\text{ kWh} \quad \dots (27)$$

Glede na maso orehov, ki smo jo posušili v šestih dneh (53,4 kg), je vrednost porabljene energije 3,876 kWh / kg suhih orehov, oziroma izraženo v denarni vrednosti:

$$3,876\text{ kWh} \cdot 0,156\text{ € / kWh} = 0,60\text{ € / kg suhih orehov} \quad \dots (28)$$

V nadaljnjem tehničnem izboljšanju sušilnice in regulacije časa sušenja se bo navedeni znesek oziroma strošek sušenja še zmanjšal.

4.3.2 Opis parametrov sušenja

Temperatura okolice: $T_0 = 19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Relativna zračna vlažnost: $\rho = 52 \%$ - zelo ugodno za sušenje

Parametri sušenja v sušilnici:

1. Komora: $T_1 = 34,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 18 \%$
2. Komora: $T_2 = 35,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 23 \%$
3. Komora: $T_3 = 24,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho = 47 \%$

V nadaljnjih izboljšavah na sušilnici bomo potek sušenja še optimizirali in s tem znižali stroške ter čas sušenja.

To je bil naš prvi poizkus delovanja sušilnice, žal pa več poizkusov nisem moral opraviti, ker je bila sezona pobiranja orehov končana.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V diplomskem delu predstavljamo problem, s katerim se soočajo pridelovalci orehov z okrog 100 drevesi. Za sušenje takšne količine orehov so neprimerne večje industrijske sušilnice, saj so cenovno nedostopne, za svoje delovanje pa bi porabile preveč energentov. Zato smo zasnovali sušilnico, ki bi kljubovala vremenskim razmeram ter imela dolgo življenjsko dobo, saj bi amortizacija takšne sušilnice predstavljala majhen strošek za kmetijo, usmerjeno v pridelavo orehov. Izhajajoč iz teh načel smo sušilnico izdelali iz odpornih materialov, ki dobro kljubujejo staranju in vlagi.

Pri konstruiranju sušilnice smo razvili več variant, vendar so nekatere zaradi velikih denarnih vložkov ostale samo v idejnih skicah. Obliko košar bi lahko še spremenili tako, da bi jim povečali površino. S takšno zasnovo košar bi pospešili sušenje, vendar bi za njeno izdelavo potrebovali dvojno količino pločevine, sama izdelava pa bi se zaradi večjega obsega dela močno podražila.

Sušilnica je bila skonstruirana na podlagi izračunov. Prostornino sušilnice smo izračunali na podlagi različnih sort orehov. Vanjo so bili vključeni plodovi orehovih sort: 'Fernor', 'Lara', 'Fernette', 'Parisienne', 'MB 24', ter 'G-139'. Iz izračunane nasipne vrednosti teh sort orehov smo dobili povprečje, ki smo ga nato uporabili pri risanju skic ter posledično pri konstruiranju sušilnice.

V poizkusu smo izmerili da je bila masa orehov pred sušenjem bila 80,87 g, po sušenju pa 48,89 g. Orehi so bili po pobiranju oprani. Izračunali smo, da je v orehih 31,98 g vode ali 65 %. Ker pa orehe sušimo do vlažnosti 15 %, smo jim morali odvzeti 50 % vode. Ko smo v drugem poizkusu orehe pustili en dan na lehi, so imeli le ti vlažnost 47,03 %. Med poizkusoma smo merili vlago na izstopu iz sušilnice. Ta je znašala 90 %.

S pomočjo Mollierovega h-x diagrama smo odčitali, da en kilogram sušilnega zraka sprejem 0,0065 kg vode.

Sušenje orehov smo opravljali med 10:00 in 17:00 uro, saj je bilo v dopoldanskem času vstopna vlažnost sušilnega zraka prevelika. Če bi s sušenjem začeli v jutranjih urah, bi za sušenje orehov potrebovali nekoliko manj časa. Pridobljeni čas pa bi predstavljal ekonomsko neupravičen strošek. Sušilni zrak zaradi visoke zračne vlage okolice nebi mogel sprejemati ekonomsko upravičeno količino vode.

V drugim primeru sušenja smo ugotovili, da je predhodno sušenje na lesi velikega pomena. S tem postopkom smo privarčevali na električni energiji. Orehi so bili hitreje posušeni, saj smo vlago katero smo povečali s pranjem osušili že na lehi.

Če bi želeli orehe sušiti z lesenimi peleti ali plinskim oljem, bi morala biti sušilnica drugače konstruirana. Imeti bi morala gorilnik za plinsko olje, regulacijo ter rezervoar za gorivo. Prav tako bi se konstrukcija sušilnice spremenila v primeru, če bi želeli orehe sušiti s pomočjo lesnih briketov. V vseh treh primerih bi bilo reguliranje sušilnega zraka veliko

težje ter manj natančno. V vseh primerih bi se močno povečala tudi nevarnost požara. Za regulacijo je najboljša električna energija. Vsi ostali načini ogrevanja sušilnega zraka bi bili dolgoročno problematični. Pri takšnih napravah bi bilo potrebno stalno vzdrževanje, imeti bi morala tudi dimnik za dimne pline zgorevanja energentov. V vseh primerih bi se posledično podražila tudi izvedba sušilne naprave.

5.2 SKLEPI

Izdelali smo sušilnico, ki je primerna za kmetijo, če je ta usmerjena v pridelavo orehov.

Sklepamo, da bo izdelek marsikateremu pridelovalcu pomagal pri kakovostnejšem sušenju ter bolj ekonomični pridelavi orehov.

Zaradi slabe letine orehov leta 2016, sušilnice nismo mogli temeljito preizkusiti ter s tem natančno določiti obratovalnih stroškov, hitrosti sušenja ter optimalnih razmer na podlagi preizkusa. Opravili smo dva preizkusa delovanja sušilnice. Ugotovili smo, da je strošek sušenja 0,60 €/kg suhih orehov. Ob tem smo spremljali okoljske parametre sušenja relativne zračne vlage in temperature vstopnega zraka.

Z dograditvijo sušilnice s toplotno črpalko, ki bi odvzela toploto izstopnemu zraku iz sušilnice in jo oddajala z zračnim tokom v ventilator, bi energetska bilanca sušenja še izboljšali.

6 POVZETEK

Pri majhni (dvoriščni) pridelavi orehov majhna količina pridelanih orehov ne predstavlja posebnega problema pri sušenju. Takšno količino orehov lahko posušimo tudi na peči ali pa na zračnem mestu. Pri večjih pridelovalcih, ki so usmerjeni v pridelavo orehov, ter imajo okrog 100 dreves, pa je poleg kakovostnega pridelka potrebno le-tega še kakovostno posušiti ter ga pripraviti za prodajo. Takšno količino orehov je potrebno v čim krajšem času posušiti, saj se zaradi obilice vlažnosti zgodi, da orehi postanejo neuporabni za prehrano ter posledično za prodajo. V jesenskem letnem času se tudi na naravo nikakor ne moremo zanesti, saj se dež in sonce izmenjujeta kar čez dan. Zaradi takšnih dejavnikov se lahko zanesemo samo na dobro opremo za sušenje – sušilnico. Zaradi pogostih padavin je zrak nasičen z vodo, zato samo prepihanje zraka skozi plast orehov ne koristi dovolj. Za dober odvzem vlage je potrebno ogrevanje zraka, pri tem pa se pojavijo težave, ker lahko ob pregretju orehov postanejo ti žarki, zaradi velike vsebnosti olja v orehih pa lahko nastane požar. V naši sušilnici smo te težave odpravili z gretjem zraka s pomočjo grelcev, varovanje pa smo prepustili sami elektriki in pravilni konstrukciji ter razporeditvi sestavnih elementov.

Orehi v letu 2016 zaradi blagega poletja vsebujejo večjo količino vode kot običajno. Zrel oreh je ob bratvi vseboval od 55 – 60 % vode, ob skladiščenju pa mora imeti od 8 – 12 % vode.

Nakup obstoječih linij za sušenje predstavlja velik strošek za kmetijo. Strojna linija je tudi zasnovana za drugačne pogoje ter zelo intenzivno pridelavo, kakor je videti v Franciji in Španiji. Stroji so konstruirani tudi za drugačne vremenske razmere (vstopna vlažnost zraka je manjša), kakor jih imamo v Sloveniji.

Z izračunom, ki temelji na povprečnih vremenskih pogojih, značilnih za Slovenijo, smo ugotovili, da bi za sušenje orehov v tej sušilnici potrebovali (teoretično) 15,54 ure. Izdelana sušilnica bi teoretično porabila 40,84 kWh. S pomočjo ekonomskega izračuna pa smo spoznali, da bi za sušenje 100 kg orehov porabili pri električni energiji: 6,38 € suhih orehov, plinskem olju: 2,36 €, lesnih peletih: 1,92 € ter lesnih briketih: 1,47 €.

V našem primeru smo v prvih poizkusih sušenja porabili 0,60 € / kg suhih orehov. Pri dejanskih meritvah smo upoštevali vse izgube toplotne energije, ki nastajajo pri sušenju. Teh izgub teoretični izračun ne upošteva, zato je tudi izračunani strošek sušenja manjši.

7 VIRI

Aromaterapija.si. 2015 Orehovo olje.

http://www.aromaterapija.si/index.php?option=com_content&view=article&id=147:orehovo-olje&catid=11&Itemid=111 (15.6.2016)

Bernik R. 2008. Tehnika v kmetijstvu. Spravilo in konzerviranje voluminozne krme in žit. Ljubljana, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo: 131 str.

Borzan Z. 2013. English Walnut (*Juglans regia* L.)

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1379036> (15.9.2016)

Bulatović S. 1985. Orah, lešnjak, baden. Beograd, Nolit: 368 str.

Čelik L. 1996. Kemijska tehnika. Ljubljana, Založništvo Jutro: 456 str.

Grant J. A., Thompson J. F. 1990. Walnut dehydrators vary in performance. California Agriculture, 44, 1:12-13

Heric D. 2010. Letošnja letina srednje dobra. Kmečki glas, 51:16

Kadivec L. 2005. Vpliv tehnologije sušenja in skladiščenja orehov (*J. regia*) na stopnjo oksidacijo maščob. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 67 str.

Kincl-Smaka V. 1989. Procesna tehnika v živilstvu. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 121 str.

Kraut B. 1981. Strojniški priročnik. Ljubljana, Strojniški vestnik: 684 str.

Modic R. 1978. Termične in difuzijske operacije. Ljubljana, DDU Univerzum: 148 str.

Mollier h-x.svg. 2012. Wikimedia. Org.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mollier_h-x.svg (15.9.2016)

Novak M. 2008. Sušenje lesa. Višješolski učbenik. Maribor, Lesarska šola Maribor, Višja strokovna šola: 132 str.

Ocepek R. Oreh pridelovanje in uporaba. Ljubljana, Kmečki glas: 98 str.

Petrol.si. 2014. Peleti in Briketi.

<https://eshop.petrol.si/> (25.10.2016)

Prasad R. B. N. 2003. Walnuts and pecans. V: Encyclopedia of food Sciences and nutrition. Vol. 10. 2nd ed. Caballero B., Trugo C. L., Fingalss M. P. (eds.). Amsterdam, Academic Press: 6071-6076

Radio maxi. 2016

<http://www.radiomaxi.si/1111> (17.8.2016)

Ramainox. 2016. Splošno o inox jeklu.

http://ramainox.si/produkti/splosno_o_inox_jeklu/ (1.9.2016)

Shahbazi F., Rajabipor A. 2003 Airflov of walnuts and affected by nuts size and bed depth. V: 31. Simpozij aktualni zadaci mehanizacije poljeprivrede, Opatija, 2003. Zagreb, Zavod za mehanizacijo poljeprivrede, Agronomski fakultet Sveučilišta: 225-234

Solar A. 1995. Zorenje, bratev in sušenje orehov. SAD, 6, 9: 12-14

Solar A. 1992. Identifikacija kultivarjev oreha (*Juglans regia* L.) na osnovi morfoloških značilnosti in elektroforetskih analiz izoencimov. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo: 66 str.

Solar A. 2002. Ustrezno spravilo za kakovost orehovit in lešnikovih jedrc. Kmečki glas, priloga Brstika, 59, 37:11-12.

Solar A. 2006. Oreh – dodatni vir zaslužka na kmetiji. Kmečki glas, 64:10

Tehnovent. 2009. Ventilatorji.

<http://www.tehnovent.si/stran/proizvodnja/ventilatorji/aksialni.php> (1.9.2016)

Šmigoc S. 2008. Klimatske naprave in njihova avtomatizacija. Diplomsko delo. Maribor. Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko: 65 str.

Štampar F., Verbič R., Solar A., Koron D., Usenik V., Hudina M., Osterc G. 2009. Sadjarstvo. Ljubljana, Kmečki glas: 416 str.

Topić M. R. 2014. Sušenje i sušare. Beograd, Smeits: 720 str.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju, prof. dr. Rajku BERNIKU.

Za lektorski pregled diplomskega dela se zahvaljujem lektorici Nevi BRUN.

Hvala družini, da mi je v tem času stala ob strani ter mi omogočila študij.

Zahvaljujem se tudi kolektivu podjetja Prins d.o.o., Ilirska Bistrica, ker mi je s svojimi nasveti in delom ter opremo pomagal pri izdelavi sušilne naprave.