

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mitja PENŠEK

**VPLIV VLAŽNOSTI IVERJA NA PORABO ENERGIJE PRI
SUŠENJU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mitja PENŠEK

VPLIV VLAŽNOSTI IVERJA NA PORABO ENERGIJE PRI SUŠENJU

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT OF PARTICLES ON ENERGY
CONSUMPTION AT DRYING**

GRADUATIN THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo deloma na sklopu priprave in sušenja iverja ter deloma v laboratoriju LESNE Tovarne ivernih plošč Otiški Vrh.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa izr. prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Mitja Penšek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 630*861.0 (847)
- KG iverje/vlažnost/sušenje/debelina/poraba energije/sušilni medij
- AV PENŠEK, Mitja
- SA MEDVED, Sergej (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2009
- IN VPLIV VLAŽNOSTI IVERJA NA PORABO ENERGIJE
PRI SUŠENJU
- TD Diplomsko delo (univerzitetni program)
- OP IX, 66 str., 32 pregl., 39 sl., 10 vir.
- IJ SI
- JI sl/en
- AI Sušenje iverja je ena od pomembnih faz pri proizvodnji ivernih plošč. Na sušenje vpliva več dejavnikov: vrsta sušilnika, vhodna in izhodna vlažnost materiala, vhodna in izhodna temperatura materiala, vhodna in izhodna relativna vlažnost grelnega medija, vhodna in izhodna temperatura grelnega medija itd. Zniževanje vhodne vlažnosti bi lahko dosegli s pomočjo večjih skladiščnih zalog lesne surovine, istočasno pa bi prispevali k manjši porabi energije pri sušenju iverja. Proučevali smo vpliv vlažnosti vhodne surovine na porabo energentov pri sušenju iverja. Z rotacijskim sušilnikom smo sušili lesno surovino, skladiščeno 12 oziroma 2 meseca. Ugotovili smo, da je za sušenje lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, treba manj energije; obremenitev gorilca je zato precej nižja, kar omogoča povečan masni pretok materiala iz silosov svežega iverja v sušilnik oziroma zniža vstopne in izstopne temperature. Vsebnost vlage suhega iverja po sušenju ni pogojena z vhodno vlažnostjo svežega materiala pred sušenjem.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 830*861.0 (847)
- CX particles/humidity/drying/thickness/energy consumption/drying medium
- AU PENŠEK, Mitja
- AA MEDVED, Sergej (supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2009
- TI INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT OF PARTICLES ON ENERGY CONSUPTION AT DRYING
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO IX, 66 p., 32 tab., 39 fig., 10 ref.
- LA SI
- AL sl/en
- AB Drying of particles is one of the important phases at production of particleboards. Factors as: type of dryer, inlet and outlet moisture of particles, inlet and outlet temperature of material, inlet and outlet relative humidity of heating medium, inlet and outlet temperature of heating medium have influence on drying. Reducing of inlet moisture could be achieved with the help of a large storage for wood raw material. In this way the consumption of energy for drying particles could also be diminished. Therefore, the influence of moisture content of wood on energy consumption at drying of particles was studied. Wood raw material previously stored 12, and the other 2, months was dried in a rotary dryer. It was found out that the first needed less energy for drying, its load of fuel was a lot lower, its mass flux increased, while its input and output temperature lowered. Moisture content of humid particles had no influence on moisture content of dried particles.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	IV
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	10
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	11
1.2 CILJ NALOGE	11
2 SPLOŠNI DEL	12
2.1 PREGLED LITERATURE	12
2.2 ROTACIJSKI SUŠILNIK.....	16
2.3 PRIPRAVA IVERJA TER VELIKOST IN GEOMETRIJA IVERJA	19
2.4 SPLOŠNO O ENERGETSKIH VIRIH	24
3 MATERIALI IN METODE	25
3.1 MATERIALI.....	25
3.1.1 Lesna surovina	25
3.1.2 Lesni prah in zemeljski plin	25
3.2 METODE	27
3.2.1 Merjenje kapacitet iznosa iverja iz posameznega silosa.....	27
3.2.2 Zajemanje podatkov na vstopu in izstopu sušilnika	28
3.2.3 Merjenje vsebnosti vlažnosti iverja	29
3.2.4 Merjenje debeline iverja.....	30
3.2.5 Izračun porabe energije sušenja iverja	30
4 REZULTATI	31
4.1 MERITVE KAPACITET IZNOSOV IVERJA IZ POSAMEZNEGA SILOSA	31
4.1.1 Merilno mesto $M_{1,1}$ (Silos 1).....	33
4.1.2 Merilno mesto $M_{1,2}$ (Silos 1).....	34
4.1.3 Merilno mesto $M_{2,1}$ (Silos 2).....	35
4.1.4 Merilno mesto $M_{2,2}$ (Silos 2).....	36
4.1.5 Merilno mesto $M_{3,1}$ (Silos 3).....	37
Silos 3 je bil napolnjen z iverjem, ki je bilo iverjeno na obročastem iverilniku. Najmanjša možna nastavitev iznosnega polža je bila pri 24.	37
4.1.6 Merilno mesto $M_{3,2}$ (Silos 3).....	38
4.1.7 Merilno mesto $M_{4,1}$ (Silos 4).....	39
4.1.8 Merilno mesto $M_{4,2}$ (Silos 4).....	40
4.1.9 Podatki o skupnem iznosu in povprečni vlažnosti iz posameznega silosa	41

4.2	MERITVE DEBELINE IVERJA.....	43
4.2.1	Iverjenje lesne surovine, skladiščene 12 mesecev.....	43
4.2.2	Iverjenje lesne surovine, skladiščene 2 meseca.....	43
4.3	PORABE ENERAGENTOV SUŠENJA LESNE SUROVINE	45
4.3.1	Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev	45
4.3.2	Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca.....	52
5	RAZPRAVA.....	61
6	SKLEPI	63
7	POVZETEK	64
8	VIRI	65

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Tehnični podatki o rotacijskem sušilniku znamke Büttner, ki ga za sušenje iverja uporablja tovarna ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh).....	18
Preglednica 2: Kurilna vrednost in temperatura vnetišča za posamezno gorivo (Majaron, 2008).....	24
Preglednica 3: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{1,1}$	33
Preglednica 4: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{1,1}$).....	33
Preglednica 5: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{1,2}$	34
Preglednica 6: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{1,2}$).....	34
Preglednica 7: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{2,1}$	35
Preglednica 8: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{2,1}$).....	35
Preglednica 9: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{2,1}$	36
Preglednica 10: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{2,2}$).....	36
Preglednica 11: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{3,1}$	37
Preglednica 12: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{3,1}$).....	37
Preglednica 13: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{3,2}$	38
Preglednica 14: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{3,2}$).....	38
Preglednica 15: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{4,1}$	39
Preglednica 16: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{4,1}$).....	39
Preglednica 17: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{4,2}$	40
Preglednica 18: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{4,2}$).....	40
Preglednica 19: Skupni iznos in povprečna vlažnost iz posameznega silosa.....	41
Preglednica 20: Vlažnost svežega in suhega iverja.....	45
Preglednica 21: Deleži iverja iz posameznega silosa.....	46
Preglednica 22: Parametri pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev.....	47
Preglednica 23: Količina vlažnega materiala, ki vstopa v sušilnik (iz posameznih silosov) ter izstop suhega materiala iz sušilnika.....	49
Preglednica 24: Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev.....	50
Preglednica 25: Poraba energentov.....	51
Preglednica 26: Vlažnost svežega in suhega iverja.....	52
Preglednica 27: Deleži iverja iz posameznega silosa.....	53
Preglednica 28: Parametri pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca.....	54
Preglednica 29: Količina vlažnega materiala, ki vstopa v sušilnik (iz posameznih silosov) ter izstop suhega materiala iz sušilnika.....	56
Preglednica 30: Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca.....	57
Preglednica 31: Poraba energentov.....	58
Preglednica 32: Primerjava parametrov.....	60

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Korelacija med porabo energije in vlažnostjo lesa (Pirkmaier, 1998).....	13
Slika 2: Odvisnost porabe energije od vlažnosti iverja (Pirkmaier, 1998)	13
Slika 3: Odvisnost časa sušenja od debeline iverja (Pirkmaier, 1998)	15
Slika 4: Odvisnost časa sušenja od vlažnosti iverja (Pirkmaier, 1998).....	15
Slika 5: Rotacijski sušilnik Büttner, ki ga za sušenje uporablja tovarna ivernih plošč (TIP Otiški Vrh)	17
Slika 6: Sušilni valj proizvajalca Büttner	18
Slika 7: Sekanci	19
Slika 8: Iverje, dobljeno z obročastim iverilnikom	20
Slika 9: Iverje, dobljeno z valjčnim diskontinuiranim iverilnikom	20
Slika 10: Žagovina	21
Slika 11: Priprava iverja pred sušenjem v tovarni ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh)	22
Slika 12: Silosi svežega iverja.....	23
Slika 13: Merilna mesta (iznosni polži iz silosov).....	23
Slika 14: Lesni prah	26
Slika 15: Laboratorijski merilnik vlažnosti.....	29
Slika 16: Ročni merilnik vlažnosti	29
Slika 17: Merjenje debeline iverja z digitalnim kljunastim merilom.....	30
Slika 18: Prikaz merilnih mest kapacitet iznosov svežega iverja iz silosov	31
Slika 19: Odvisnost kapacitete iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{1,1}$)	33
Slika 20: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{1,2}$)	34
Slika 21: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{2,1}$)	35
Slika 22: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{2,2}$)	36
Slika 23: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{3,1}$)	37
Slika 24: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{3,2}$)	38
Slika 25: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{4,1}$)	39
Slika 26: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{4,2}$)	40
Slika 27: Skupen iznos vlažnega materiala iz posameznega silosa pri različni nastavitvi iznosnega polža	42
Slika 28: Povprečna vlažnost iz posameznega silosa.....	42
Slika 29: Iznos materiala iz posameznega silosa po deležih.....	46
Slika 30: Odvisnost obremenitve gorilca od povprečne vlažnosti vhodne lesne surovine	48
Slika 31: Odvisnost obremenitve gorilca od vlažnosti suhega iverja po sušenju	48
Slika 32: Količina vhodnega svežega materiala, ki izstopa iz posameznega silosa v sušilnik	49
Slika 33: Odvisnost porabe energentov od vhodne vlažnosti lesne surovine	51
Slika 34: Iznos material iz posameznega silosa po deležih.....	53
Slika 35: Odvisnost obremenitve gorilca od povprečne vlažnosti vhodne lesne surovine	55
Slika 36: Odvisnost obremenitve gorilca od vlažnosti suhega iverja po sušenju	55
Slika 37: Količina vhodnega svežega materiala, ki izstopa iz posameznega silosa v sušilnik	56
Slika 38: Odvisnost porabe energentov od vhodne vlažnosti lesne surovine	58
Slika 39: Odvisnost vlažnosti suhega iverja od vhodne vlažnosti materiala	62

1 UVOD

Iverne plošče so izdelane iz ivernega lesa ali drugih lignoceluloznih materialov. Mehanske in fizikalne lastnosti plošč so v veliki meri odvisne od uporabljene vhodne surovine, torej drevesne vrste in vezivnega sredstva. Uporabimo lahko tako les iglavcev (smreka), kot les listavcev (bukev, hrast, topol, jelša ...). Velika prednost izdelave je možnost uporabe manjvrednih sortimentov (krajniki, veje, furnirski ostanki, skobljanci ...). S tem se je močno povečal izkoristek lesa kot surovine, močno pa se je poenostavil tudi tehnološki postopek izdelave lesnih izdelkov. Osnovne faze proizvodnje ivernih plošč so priprava lesne surovine, oblepljanje, natresanje oz. izdelava pogače, stiskanje in končna obdelava. Že sama priprava lesne surovine pa obsega več faz, vse od skladiščenja lesne surovine, izdelave iverja pa vse do sušenja lesne surovine.

Ena od pomembnih faz v pripravi iverja je tudi sušenje iverja, ki je eden od kritičnih korakov v proizvodnji ivernih plošč in obenem tehnološka faza, pri katerem delce posušimo na vlažnost, primerno za nadaljnjo obdelavo. Sušenje je kontinuiran postopek in je posledica prenosa toplote s konvekcijo (vroč zrak oziroma drugi grelni mediji) in/ali kondukcijo (kontakt z vročimi/segretimi kovinskimi deli sušilnice) na delce lesa. V sušilniku direktno s plinom ali z lesnim prahom segrevamo zrak, s katerim nato sušimo iverje. Za hitrost sušenja je odločilen prehod toplote, tako da sušenje poteka pri višji temperaturi od 100 °C in voda v delcih se upari in izhaja. Sušilniki so tako izdelani, da med sušenjem mešajo, dvigajo in razprostirajo iverje, da pride v stik s sušilnim sredstvom. Če je sušilno sredstvo zrak, govorimo o pnevmatskih sušilnikih, ki se zelo redko uporabljajo zaradi visokih stroškov sušenja. Največ se uporabljajo sušilniki, ki sušijo iverje z dimnimi plini; in to sta bobnasti rotacijski sušilnik in valjasti sušilnik s šobami.

V proizvodnji ivernih plošč je potrebno iverje pred oblepljanjem zaradi pogojev stiskanja posušiti na določeno vlažnost. Vlažnost dobavljene lesne surovine, ki jo doziramo na iverilnike, je bolj ali manj visoka, vsekakor pa takšna, da je sušenje iverja potrebno. Predvsem hočemo, da bi bil čas sušenja čim krajši, na kar pa vpliva več dejavnikov (vrsta lesa, debelina iverja, geometrija iverja, postopek sušenja, vrednost vhodne in izhodne

vlažnosti), ter da bi bila poraba energije čim manjša. Zaradi velikih stroškov, ki jih predstavlja sušenje iverja, smo se odločili, da bomo v tovarni ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh) izmerili oziroma ugotovili vpliv različne vhodne vlažnosti lesne surovine na porabo energentov sušenja iverja.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Iz tehnoloških kot tudi ekonomskih vidikov je za sušenje iverja vlažnost vhodne surovine izredno pomembna. Odvisna je predvsem od vrste lesa, časa, ki je potekel od poseka do dobave, časa skladiščenja, letnega časa itn. Pred oblepljanjem in končnim stiskanjem pogače je potrebno sveže iverje posušiti na določeno vlažnost. Zniževanje vhodne vlažnosti pred sušenjem bi lahko dosegli s pomočjo večjih skladiščnih zalog lesne surovine, istočasno pa bi prispevali k manjši porabi energije pri sušenju iverja. Sušenje iverja je ena od pomembnih začetnih faz pri proizvodnji ivernih plošč, saj nanj vplivajo še vhodna in izhodna temperatura materiala, vhodna in izhodna relativna vlaga grelnega medija, vhodna in izhodna temperatura grelnega medija, vhodna količina svežega materiala, hitrost grelnega medija, čas, ko je material v sušilniku, lesna vrsta, velikost iveri oz. vlaken. Predstavlja zelo velik strošek, zaradi tega smo se odločili, da bomo v Tovarni ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh) izmerili in poskušali ugotoviti vpliv vlažnosti vhodne lesne surovine na porabo energentov sušenja iverja.

1.2 CILJ NALOGE

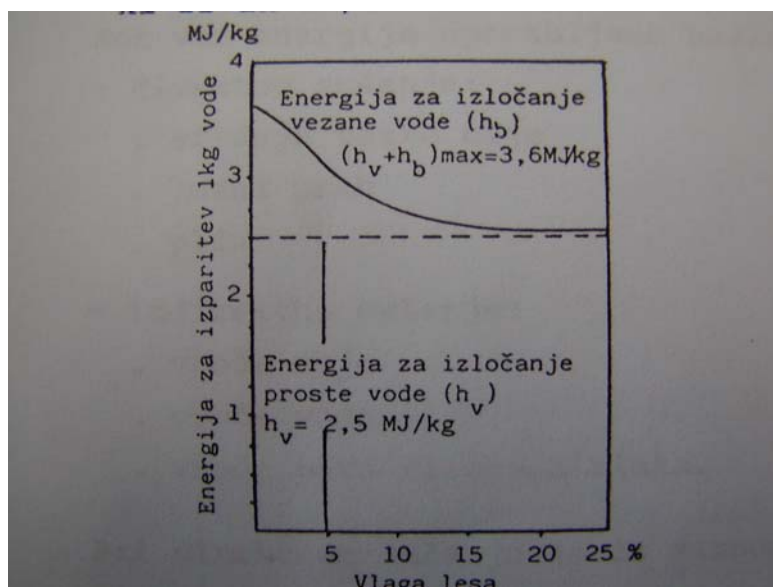
Cilj diplomske naloge je ugotoviti vpliv vlažnosti vhodne lesne surovine na porabo energentov sušenja iverja. Ugotoviti torej želimo razlike v obremenjenosti gorilca, masnem pretoku svežega materiala iz silosov svežega materiala v sušilnik, porabi energentov, vlažnosti iverja pred sušenjem in po sušenju, masi vode, ki jo je potrebno izpariti pri doziranju lesne surovine v sušilnik, skladiščene 2 meseca ter pri doziranju lesne surovine v sušilnik, skladiščene 12 mesecev. Zanima nas, kakšen vpliv ima vhodna vlažnost materiala ter masni pretok svežega materiala na obremenitev gorilca.

2 SPLOŠNI DEL

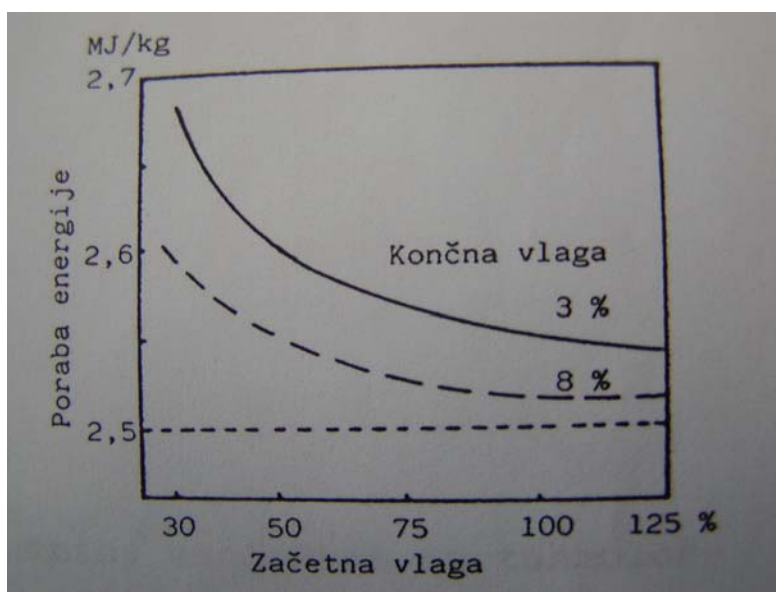
2.1 PREGLED LITERATURE

Pirkmaier (1998) navaja, da na porabo energije vpliva več faktorjev, najpomembnejši pa so naslednji: vhodna vlažnost iverja, izhodna vlažnost iverja ter postopek sušenja. Vpliv vhodne vlažnosti ni tako zelo pomemben, če upoštevamo, da potrebujemo za odstranitev proste vode, ki se nahaja v celičnih lumnih, precej manjši del energije kot za preostali del vode, ki se nahaja v celičnih stenah. Seveda pa je situacija močno različna, ko govorimo o predvideni končni vlažnosti iverja. Določanje končne vlažnosti iverja je odvisno od specifične tehnološkega postopka. Količina energije, ki je potrebna za odstranitev vode, narašča s padajočim odstotkom vlažnosti (slika 1 in 2). Energetsko ugodnejši sušilniki so indirektno ogrevani rotacijski sušilnik (medij toplote je vroča voda) ter direktno ogrevani cevni sušilnik s šobami in vračanjem toplega zraka. Seveda imajo vsi sistemi sušenja prednosti in pomanjkljivosti, tako da je potrebna dokončna odločitev pri izbiri. Poraba električne energije pri sušenju je od 16,2–61,3 kWh/m³ proizvedenih ivernih plošč, toplotne energije pa 201–580 kWh/m³ proizvedenih ivernih plošč. Delež energije za sušenje in stiskanje je v povprečju 2/3 celotne porabe. Kot vir energije se za direktno sušenje uporablja srednje težko olje, lesni prah ter plin, za indirektno sušenje pa vroče olje, vroča voda ter vroča para visokega tlaka.

Sušenje iverja je tako v tehnološkem kot v ekonomskem pogledu eno najpomembnejših faz proizvodnje ivernih plošč, zato se bomo morali v prihodnje precej bolj posvetiti temu. Predvsem bomo morali paziti na naslednje vidike: zmogljivost, ekonomičnost, varnost, vpliv na okolje, kakovost sušenja. Kazalo bi še razmišljati, ali ne bi lahko znižanja vlažnosti lesa dosegli s pomočjo večjih zalog, ki naj bi bile v prihodnje bistveno nižji strošek, istočasno pa bi prispevali k manjši porabi energije pri sušenju. Zmogljivost oziroma kapaciteto sušilnika izražamo v kg suhega (atro) iverja na uro.



Slika 1: Korelacija med porabo energije in vlažnostjo lesa (Pirkmaier, 1998)



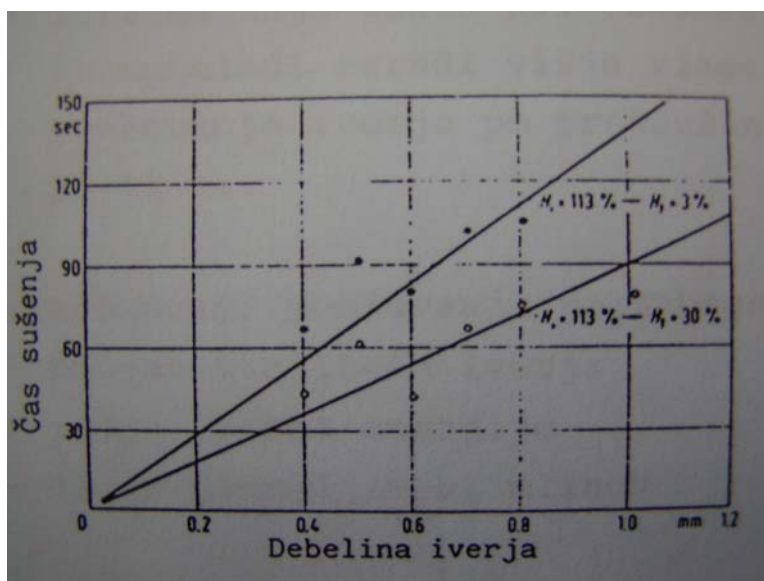
Slika 2: Odvisnost porabe energije od vlažnosti iverja (Pirkmaier, 1998)

Maloney (1977) navaja, da vlažnost surovega materiala pomembno vpliva na ekonomijo sušenja in da se porabi tudi od 1,48 do 2,11 MJ na kilogram izparjene vode. Pomemben faktor pri sušenju je, da konstantno držimo vsebnost vlage sveže lesne surovine tekom sušenja. Tudi velikost in oblika iverja pomembno vpliva na proces sušenja. Variabilnost velikosti in oblike iverja otežujejo proces sušenja. S povečevanjem velikosti iveri se povečuje strošek sušenja, kajti večje iveri zahtevajo večjo temperaturo za odstranjevanje

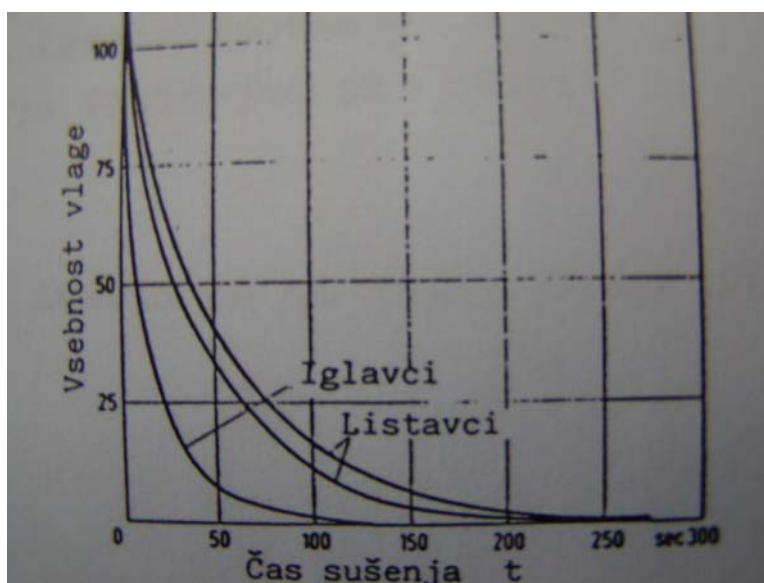
vode. Manjšo variabilnost v velikosti delcev dosežemo pri iverjenju okroglega lesa (hlodovina) in celolesnih ostankih (krajniki, očelki, veje), saj lahko kontroliraš velikost delcev, medtem ko pri drobnih lesnih ostankih (furnirski ostanki, žagovina, skobljanci) velikosti delcev ne moremo kontrolirati.

Elias in Irle (1996) sta navedla, da se pH vrednost iverja spreminja v odvisnosti od časa skladiščenja iverja. Opazovala sta razliko med vrednostmi pH iverja, ki je izpostavljeno zunanjim vplivom, skladiščeno na tleh in med iverjem, ki je ustrezno skladiščeno in pokrito. Nižja pH vrednost je bila pri iverju, ki je bilo izpostavljeno zunanjemu vplivu. Pri iverih, ki so ustrezno skladiščene, in iverih, ki so izpostavljene zunanjim vplivom, hitro naraste pH vrednost po 21. dnevu. Nato po 21. dnevu pri iverju, izpostavljenemu zunanjim vplivom, vrednosti hitro padejo, vzrok temu je mikrobní napad na les.

Pirkmaier (1998) navaja, da je vlažnost vhodnih surovin na skladišču predvsem odvisna od vrste lesa, časa skladiščenja, letnega časa. Enakomernost vlažnosti vlažnega iverja lahko zagotavljamo z ustreznim natančnim mešanjem v koritih za polnjenje iverilnika, ustreznim skladiščenjem lesa, glede na čas dobave in drevesno vrsto, ločeno iverjenje in skladiščenje iverja. Enakomernost vlažnosti suhega iverja pa lahko zagotavljamo le z natančnim mešanjem drevesne vrste, enakomernostjo debeline iverja, ustreznost časa pretoka, z enako vhodno vlažnostjo iverja, z ustreznim nivojem krmiljenja procesa. Sam čas sušenja (slika 3 in 4) pa je predvsem odvisen od vrste lesa, debeline iverja, geometrije iverja, postopka sušenja ter vrednosti vhodne in izhodne vlažnosti.



Slika 3: Odvisnost časa sušenja od debeline iverja (Pirkmaier, 1998)



Slika 4: Odvisnost časa sušenja od vlažnosti iverja (Pirkmaier, 1998)

2.2 ROTACIJSKI SUŠILNIK

Rotacijski sušilnik znamke Büttner (slika 5 in 6), ki ga za sušenje uporablja Tovarna ivernih plošč (TIP Otiški Vrh), je sodobno računalniško krmiljena naprava, ki je sestavljena iz naslednjih glavnih delov: gorilna komora z gorilcem, predušilnik, boben (glavno sušenje), ventilator, cikloni, povratni vod. Gorilec ima maksimalno moč 20 MW, kar pomeni, da lahko pri 110-odstotni vlažnosti svežega materiala na uro posušimo 22 ton iverja oziroma izparimo 18 ton vode.

V gorilniški komori se s pomočjo plinskega gorilnika in dozatorja prahu pri zgorevanju plina in prahu segreva zrak, ki ga s pomočjo ventilatorja transportiramo skozi celotno postrojenje. Za gorilec imamo možnost izbire različnih načinov delovanja (solo plin, solo prah, prednost plin in prednost prah). Sveži material doziramo v predušilnik skozi vsipno zaporo za sveži material. Tok toplega zraka večino delcev odnese naprej, grobo iverje pa pade skozi vsipno zaporo za grobi material iz sistema. Iverje se v predušilniku zadržuje le kakšno sekundo ali dve, zato se v tem času odstrani le površinska voda, medtem ko se vlaga iz notranjosti iverja odstrani v bobnu sušilnika, kjer poteka glavno sušenje. Sistem je konstruiran tako, da se v bobnu dlje zadržuje iverje, ki je težje, to je tisto, ki je bolj vlažno, ali tisto, ki je večjih dimenzij in se mora zaradi tega dlje časa sušiti. Na drugi strani bobna je glavni ventilator, skozi katerega potuje posušeno iverje. Glavni ventilator poganja celoten tok zraka in ima maksimalno moč 400 KW in 850 vrtljajev na minuto. Njegova maksimalna kapaciteta je približno 61 m³ zraka na sekundo. Maksimalna tlačna razlika je približno 39 mbar. Na izstopu iz komore je nameščen ventilator, ki pospešeno transportira iverje v izločevalne ciklone, kjer pade iverje v rotacijske dozatorje ter od tam naprej na transportni sistem, ki poskrbi, da pride suho iverje na sejalnike – sita. Zrak iz ciklonov gre delno nazaj v gorilniško komoro kot zrak, ki je potreben za zgorevanje, ostali zrak pa gre na prečiščevanje v čistilno napravo (mokri elektrofilter), kjer se dokončno očisti. Zrak, ki je nosil suho iverje, torej potuje od ciklonov naprej skozi povratni vod nazaj v sistem. S tem je tokokrog zaključen in zaradi tega omogoča sistem velike prihranke energije. Med samim obratovanjem se merijo vstopne in izstopne temperature pred in za rotacijskim sušilnikom. To je osnova za pravilno regulacijo gorilniške opreme. Skozi ventilator za

podpih gorilca vnašamo v sistem dodaten zrak (hladen in suh), zato se presežek zraka odstrani skozi dimnik oz filter. Odstranjeni zrak je vlažen in hladnejši.



Slika 5: Rotacijski sušilnik Büttner, ki ga za sušenje uporablja tovarna ivernih plošč (TIP Otiški Vrh)

Sušenje poteka na osnovi vstopne in izhodne temperature. Dodatni senzor na izhodu iz sušilnega valja spremlja le mejne vrednosti izhodne temperature. Računalnik primerja želeno (nastavljeno) vrednost izhodne temperature in v primeru odstopanj regulira nastavljeno vrednost vstopne temperature. Na osnovi le-te pa se avtomatsko ustrezno korigira obremenjenost gorilca. Da je korekcija še hitrejša, se ta korekcija izvede tudi, če pride do odstopanj med želeno in dejansko vstopno temperaturo. Računalnik kontinuirano kontrolira relevantne temperature.

Pri obratovanju rotacijskega sušilnika nastopajo nevarnosti, kot so: nevarnost pred eksplozijo, nevarnost pred rotirajočimi deli, nevarnost dotika vročih predmetov, nevarnost pri izpustu povečanih koncentracij emisij v okolje, nevarnost pred povišanimi temperaturami in pojavom isker v rotacijskem sušilniku itn. V primeru prekoračitve določene mejne vrednosti sledijo določene reakcije. Ko izstopna temperatura preseže 15 °C, je velika nevarnost, da je v sistemu požar, zato se le ta avtomatsko postavi v varni položaj in v kritičnem delu začne z gašenjem.



Slika 6: Sušilni valj proizvajalca Büttner

Za tovarno ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh) se je izdelal rotacijski sušilnik Büttner z naslednjimi karakteristikami, ki so podane v preglednici 1.

Preglednica 1: Tehnični podatki o rotacijskem sušilniku znamke Büttner, ki ga za sušenje iverja uporablja tovarna ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh)

ROTACIJSKI SUŠILNIK (BÜTTNER)		
Vhodna vlažnost	110	%
Izhodna vlažnost	1,5	% ± 0,5%
Kapaciteta izhlap. vode	18.000	kg/h
Vhodna temperatura	450–550	°C
Vrsta lesa	70 %- 100 % 0 % -30 %	iglavci listavci
Karakteristike iveri:		
-dolžina	30	mm
-širina	1,0–24	mm
-debelina	0,1–1,2	mm
Maksimalna kapaciteta	22.000	kg/h atro
Gorivo	zemeljski plin ali lesni prah	
Premer bobna	4.400	mm
Dolžina bobna	22.000	mm
Moč	20	MW

2.3 PRIPRAVA IVERJA TER VELIKOST IN GEOMETRIJA IVERJA

Posamezne delce oziroma iveri dobimo z iverjenjem. Osnovna naloga iverjenja je izdelava iverja iz lesne surovine čim bolj enakomernih velikosti. Sam čas sušenja kot tudi poraba energije sta pogojena z vrsto lesa, geometrijo in debelino iverja.

Geometrija iverja (oblika in velikost) predstavlja temeljni kamen izdelave kvalitetnih ivernih plošč. Bolj kot je geometrija iverja nekontrolirana (naključna), bolj je to neprimerno za uporabo. Iverje se izdeluje na strojih, kjer nož predstavlja osnovno orodje rezanja lesne surovine. Izdeluje se predvsem iz oblovine in celolesnih ostankov večjih dimenzij, ker iz drobnih lesnih ostankov ne moremo izdelati kvalitetnega rezanega iverja.

- Primarno drobljenje lesne surovine se opravlja na sekirostrojih. Izdelani delci (slika 7) so večjih dimenzij:
 - debelina 5 mm,
 - širina 20–25 mm,
 - dolžina 40–50 mm.



Slika 7: Sekanci

- Izdelava iverja iz celolesnih (veje, krajniki, očelki) ter drobnih lesnih ostankov (žagovina, skobljanci) z obročastim iverilnikom, kjer dobimo iverje (slika 8), ki je paličasto, rahlo ukrivljeno ter gladko in je velikosti približno:
 - debelina: do 1,5 mm,
 - dolžina: 1...30 mm,
 - širina: 1...10 mm.



Slika 8: Iverje, dobljeno z obročastim iverilnikom

- Izdelava iverja z iverjenje oblovine (hlodovina) in celolesnih ostankov na valjčnem diskontinuiranem iverilniku. Iverje (slika 9) je ploščato, rahlo ukrivljeno ter gladko in je velikosti približno:
 - dolžina: 1...50 mm,
 - širina: 1...30 mm,
 - debelina: do 0,5 mm.



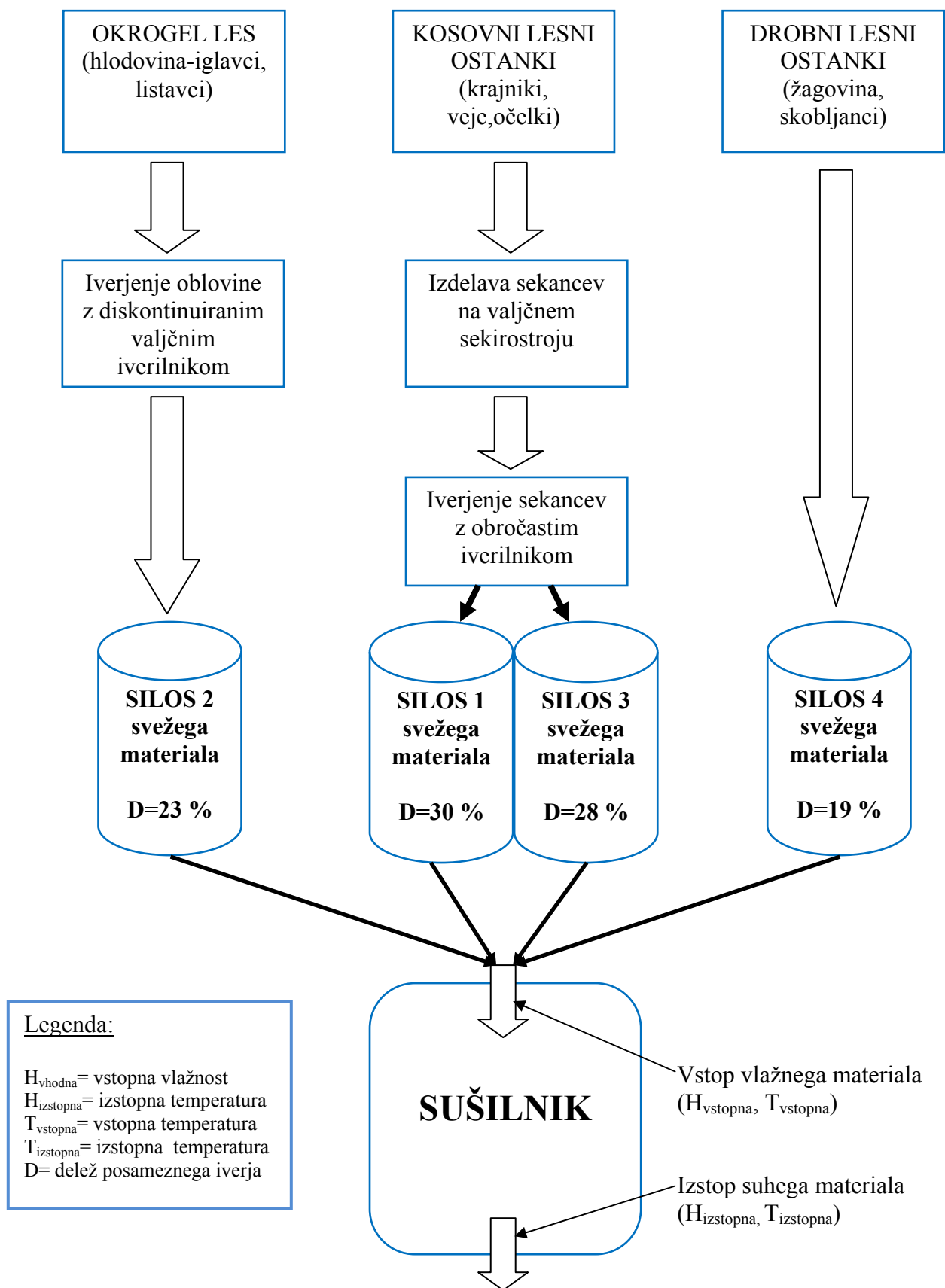
Slika 9: Iverje, dobljeno z valjčnim diskontinuiranim iverilnikom

- Sekundarno drobljenje oziroma pomlevanje prevelikih iveri (ostanek po sortiranju). Za pomlevanje grobih frakcij iverja uporabljamo mline s kladivi.
- Drobne lesne ostanke (žagovina, skobljanci) (slika 10) lahko iverimo z obročastim iverilnikom ali jih direktno skladiščimo v silos svežega iverja in nato transportiramo v sušilnik.



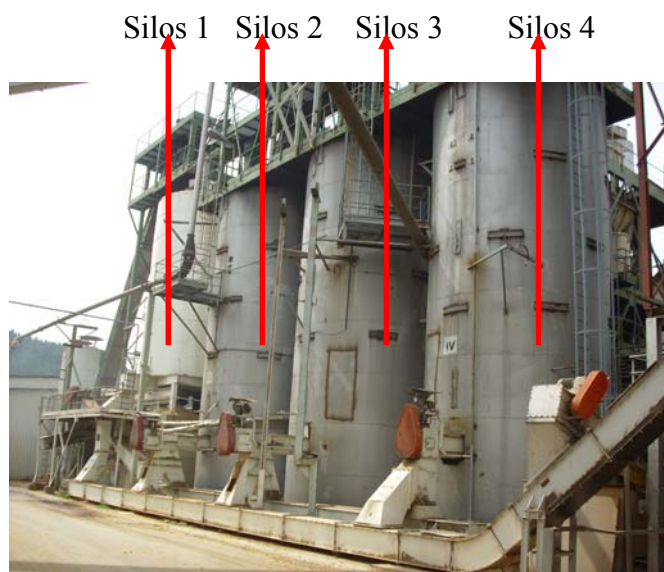
Slika 10: Žagovina

Za lažjo predstavbo poteka procesa od same priprave lesne surovine, iverjenja, skladiščenja iverja v posameznih silosih do nadaljnega vstopa svežega iverja v sušilnik (v podjetju Lesna TIP Otiški Vrh) je podana slika 11.



Slika 11: Priprava iverja pred sušenjem v tovarni ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh)

Slika 12 prikazuje silose svežega iverja. Iverje potuje od iverilnikov po mehanskem transporterju do silosov. Vsak silos ima 2 iznosna polža (slika 13), in sicer na levi in na desni strani. Iznosna polža dozirata material ponovno v mehanski transporter, po katerem potuje iverje v sušilnik.



Slika 12: Silosi svežega iverja



Slika 13: Merilna mesta (iznosni polži iz silosov)

Iznosni polž

2.4 SPLOŠNO O ENERGETSKIH VIRIH

V tovarni ivernih plošč (Lesna TIP Otiški Vrh) za sušenje uporabljajo lesni prah ter zemeljski plin.

Zemeljski plin je energent, katerega uporaba zelo hitro narašča, ker je med fosilnimi gorivi energetsko najučinkovitejši in ekološko daleč najprimernejši. Je zmes različnih plinov, od katerih je največ metana (tudi do 99 %). V manjših količinah so prisotni še etan, propan, butan, primesi težjih ogljikovodikov, dušik in ogljikov dioksid. Zemeljski plin je lažji od zraka (gostota zraka je $1,293 \text{ kg/Sm}^3$, gostota zemeljskega plina pa $0,68 \text{ kg/Sm}^3$), zato se v zraku hitro dviga. Količino zemeljskega plina podajamo v **standardnih kubičnih metrih**.

Standardni kubični meter (kratica Sm^3 , površno pisano tudi $\text{Sm}3$) je dogovorna enota za količino snovi, zlasti plina. Količina snovi je sicer opredeljena z maso, vendar je tekočine in pline nerodno tehtati in raje merimo prostornino. Zaradi raztezanja snovi s temperaturo moramo pri natančnejših meritvah podati temperaturo snovi, pri plinih pa tudi tlak. Za primerjavo količin moramo meritve preračunati na enak tlak in temperaturo. Pri navajanju količine v Sm^3 so privzeti naslednji standardni pogoji: tlak $1,01325 \text{ bar}$ ($101,325 \text{ kPa}$) in temperatura $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Količino lesnega prahu pa podajamo v kilogramih. Lesni prah predstavlja odbrušen material pri brušenju ivernih plošč, prav tako ga dobimo pri separiranju suhega iverja ter iz drugih sklopov (oplemenitnje, krojenje, proizvodnja).

Preglednica 2: Kurilna vrednost in temperatura vnetišča za posamezno gorivo (Majaron, 2008)

Gorivo	Kurilnost- kalorična vrednost	Temperatura vnetišča
Lesna biomasa-prah	$12,17 \text{ TJ}/10^3\text{t}$	$250\text{--}280 \text{ }^\circ\text{C}$
Zemeljski plin	$0,03408 \text{ TJ}/10^3\text{Sm}^3$	$595\text{--}630 \text{ }^\circ\text{C}$

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Lesna surovina

Za izdelavo iverja smo uporabili deleže naslednjih vrst lesa:

- les iglavcev (smreka, jelka in bor),
- les trdih listavcev (bukev in hrast),
- les mehkih listavcev (breza, topol, lipa in jelša).

Sušili smo 3 različne vrste iverja različnih velikosti in oblik, ki so pred vstopom v sušilnik skladiščena v posameznem silosu.

1. Iverje, ki je bilo dobljeno z iverjenjem na diskontinuiranem valjčnem iverilniku, je predstavljalo 23-odstotni delež.
2. Iverje, dobljeno iz oblovine in celolesnih ostankov pri iverjenju na obročastem iverilniku, je predstavljalo 58-odstotni delež.
3. Drobni lesni ostanki (žagovina) so predstavljali 19-odstotni delež.

3.1.2 Lesni prah in zemeljski plin

Za sušenje iverja smo uporabili 2 medija, in sicer 90 % lesnega prahu ter 10 % zemeljskega plina. Iz stroškovnega vidika si vseskozi prizadevamo, da bi lesni prah (slika 14) kot medij za sušenje iverja predstavljal največji delež. Vendar je količina prahu precej odvisna od količine odbrusnega materiala pri brušenju ivernih plošč, dobimo ga pri separiranju suhega iverja ter iz drugih sklopov (oplemenitenje, krojenje, proizvodnja). 98 % delcev lesnega prahu naj bi bilo debelo 0,6–0,8 mm, 2 % pa do 1 mm. Tako je njegova razpoložljivosti odvisna od zapolnjenosti silosa, v katerega se skladišči. Če lesnega prahu

ni dovolj, sušenje iverja poteka v kombinaciji z zemeljskim plinom. Tako se količina zemeljskega plina nato uravnava v odvisnosti od količine lesnega prahu. Če lesnega prahu popolnoma zmanjka, se sušenje iverja nadaljuje samo z zemeljskim plinom, kar pa predstavlja velike stroške.



Slika 14: Lesni prah

3.2 METODE

3.2.1 Merjenje kapacitet iznosa iverja iz posameznega silosa

Opravili smo meritve kapacitet iznosa iverja iz posameznega silosa na merilnih mestih, ki so označena na sliki 18. To je bil pogoj za naše nadaljnje delo. Vsako merilno mesto je imelo po 2 izhoda (torej 2 iznosna polža) in pri vsakem izhodu smo zaradi večje natančnosti dvakrat izmerili kapaciteto iznosa ter nato podali povprečje. Pri vsakem izhodu smo merili kapacitete iznosa iverja pri različnih nastavitvah iznosnih polžev, in sicer pri 20, 40 in 60. Tako smo skupaj opravili 48 meritev. Pri nekaterih iznosnih polžih ni bilo možno izvajati meritev pri določeni nastavitvi, zato smo jo opravili pri najmanjši oziroma pri največji možni nastavitvi. Te smo označili z *. Vzporedno smo pri vsakem izmerjenem iznosu izmerili vlažnost posameznemu iverju, da smo lahko nato rezultate podali v kg (atro) iverja/h. Nato smo z grafikonom prikazali odvisnost kapacitete iznosa od nastavitve iznosnega polža. Dobili smo enačbo v eksplicitni obliki, s katero smo lahko izračunali vrednosti kapacitet iznosa iz polžev za nastavitve polža od 10 do 100. Čas merjenja iz posameznega iznosnega polža je bil 60 sekund. Pri nekaterih iznosnih polžih je prišlo do prevelikih kapacitet, zato smo čas merjenja zmanjšali na 30 sekund, izjemoma na enem iznosnem polžu na 15 sekund. V času merjenja kapacitet iznosa iverja iz posameznih silosov se je doziral les iglavcev (75 %) in les listavcev (25 %).

Sledila je obdelava podatkov ter rezultati, ki so prikazovali kapaciteto iznosa iverja iz posameznega silosa v sušilnik pri posamezni nastavitvi iznosnega polža.

Enačba za izračun mase suhega materiala:

$$M_0 = \frac{M_v}{1 + H}$$

H..... vlažnost lesa (%), M_v..... teža surovega lesa (kg), M₀.....teža suhega lesa (kg)

3.2.2 Zajemanje podatkov na vstopu in izstopu sušilnika

Merili smo porabo energentov sušenja iverja pri doziranju lesne surovine v sušilnik, ki je bila skladiščena 12 mesecev oziroma 2 meseca.

Les, skladiščen 12 mesecev, se je doziral v sušilnik 480 minut. Merjenje ter popisovanje vseh parametrov, ki so nas zanimali, pa je potekalo na vsakih 30 minut. Skupno smo torej opravili 16 meritev v 8 urah. Merili smo vstopne vlažnosti pred sušenjem, izstopne vlažnosti iz sušilnika, porabo energentov, obremenitev gorilca, vstopne temperature, izstopne temperature, masni pretok materiala v sušilnik. Pri merjenju vstopne vlažnosti materiala smo iz vsakega silosa na vsakih 30 minut vzorčili 0,5 kg iverja, ki smo ga nepredušno zaprli v pvc vrečko (ohranitev vlažnosti), kjer je počakalo do merjenja. Porabo energentov, obremenitev gorilca ter vstopne in izstopne temperature smo popisali vsakih 30 minut s komandnega zaslona. Vzporedno smo še popisovali nastavitve na vseh iznosnih polžih iz silosov svežega iverja, da smo lahko dobili masni pretok materiala v sušilnik.

Izmerili smo debelino iverja, in sicer iverju, ki je bilo dobljeno iz obročastega iverilnika, ter iverju, dobljeno iz valjčnega iverilnika. Drobnim lesnim ostankom (žagovina) zaradi majhnosti posameznih delcev ni bilo možno izmeriti debeline.

Po podobnem postopku, kot je opisan zgoraj, so se nato merili vsi parametri pri doziranju lesne surovine, ki je bila skladiščena 2 meseca.

3.2.3 Merjenje vsebnosti vlažnosti iverja

Za merjenje vlažnosti iverja pred sušenjem ter po njem smo uporabili laboratorijski merilnik vlažnosti (moisture meter/balance-U 200). Postopek merjenja je enostaven in hiter. Posodo z iverjem smo vstavili v merilnik, ki po kratkem času prikaže vlažnost iverja.



Slika 15: Laboratorijski merilnik vlažnosti

Vlažnost lesne surovine (okrogel les ter kosovne ostanke) pred iverjenjem smo izmerili s pomočjo ročnega merilnika vlažnosti (Holzmeister LG6NG).



Slika 16: Ročni merilnik vlažnosti

3.2.4 Merjenje debeline iverja

Debeline iverja smo merili z digitalnim kljunastim merilom (slika 17). Debelino smo izmerili iverju, ki smo ga dobili z iverjenjem na valjčnem ter obročastem iverilniku. Drobnih lesnih ostankov nismo merili zaradi njihove majhnosti. Vzeli smo približno 1 kg vzorca ter nato iz vzorca izbrali 10 najdebelejših iveri ter podali povprečno vrednost, nato še 100 iveri normalnih debelin ter podali njihovo povprečno vrednost.



Slika 17: Merjenje debeline iverja z digitalnim kljunastim merilom

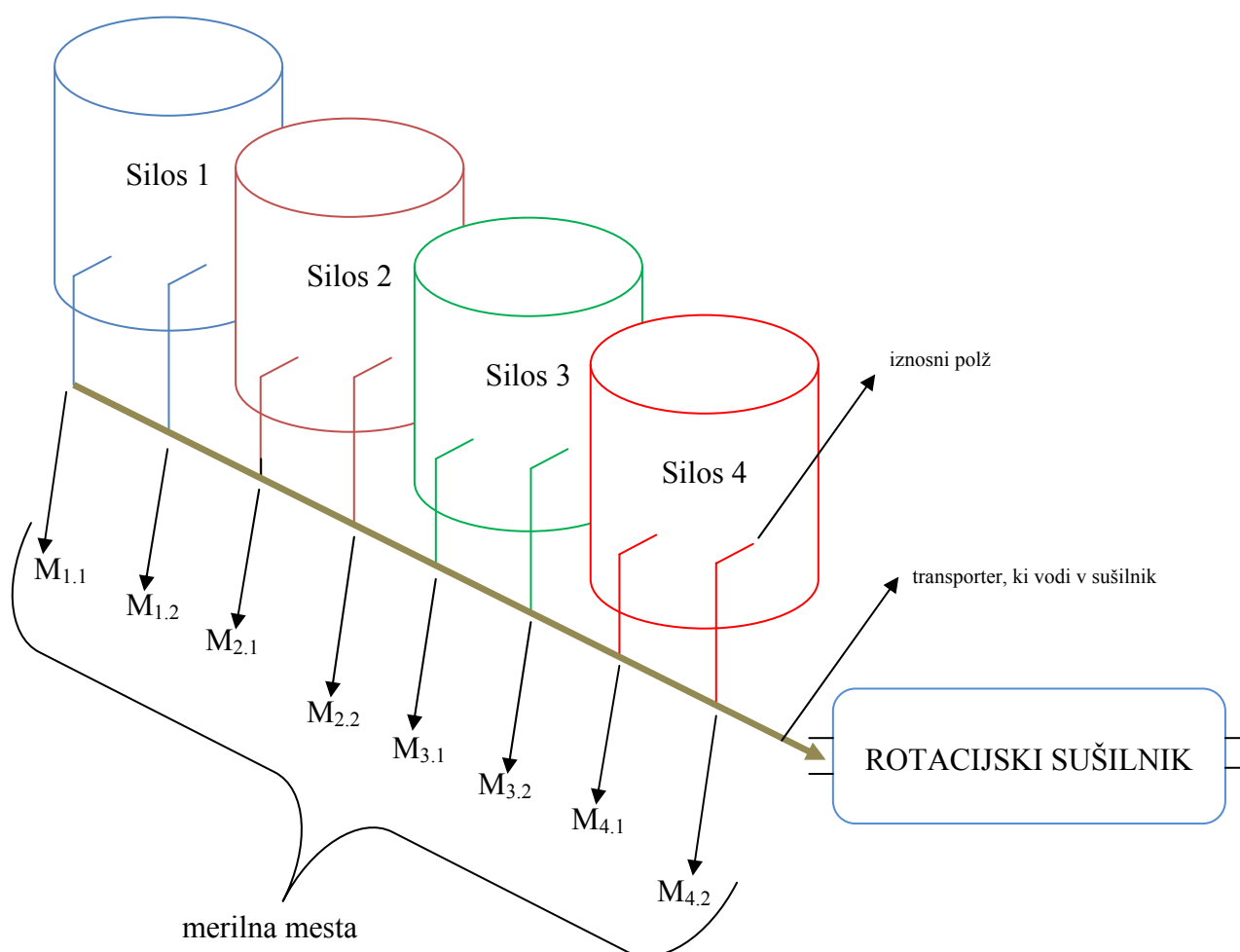
3.2.5 Izračun porabe energije sušenja iverja

Za sušenje iverja smo uporabili zemeljski plin ter lesni prah. Porabo zemeljskega plina smo podajali v standardnih kubičnih metrih (Sm^3). Ker smo vedeli gostoto zemeljskega plina, ki je $0,68 \text{ kg/Sm}^3$, smo ga lahko podali v kilogramih. Porabo lesnega prahu pa podajamo v kilogramih. Porabo energije v MW_h ($1\text{W}_h=3600 \text{ J}$) smo preračunali iz kaloričnih vrednosti (preglednica 2) za posamezno gorivo, ki jih je Republika Slovenija navedla v svojih zadnjih nacionalnih evidencah toplogrednih plinov.

4 REZULTATI

4.1 MERITVE KAPACITET IZNOSOV IVERJA IZ POSAMEZNEGA SILOSA

Imeli smo torej 4 silose za skladiščenje svežega iverja pred sušenjem. Vsak silos svežega iverja ima po 2 iznosna polža (oz. 2 merilni mesti), ki dozirata material v transporter, ki vodi do sušilnika (slika 18). Vsak iznosni polž je bil naše merilno mesto. Skupno smo izmerili kapacitete iznosa iverja iz 8 iznosnih polžev. V nadaljevanju so prikazane posamezne kapacitete iznosa, ki so bile merjene na posameznih merilnih mestih.



Slika 18: Prikaz merilnih mest kapacitet iznosov svežega iverja iz silosov

V nadaljevanju so podani podatki (**4.1.1- 4.1.8**), ki so bili dobljeni pri meritvah kapacitet iznosa iverja iz posameznega silosa na vseh merilnih mestih oziroma na vseh iznosnih polžih, ki jih prikazuje slika 18.

Vsako merilno mesto ima podano preglednico (Rezultati meritev kapacitet iznosa), v kateri so pri vsaki nastavitvi iznosnega polža podane meritve iznosa v kg(vlažnega)/h ter nato z upoštevanjem vlažnosti preračunane na kg(atro suhega)/h. Pri nekaterih iznosnih polžih ni bilo možno izvajati meritev pri nastavitvi, ki smo jo predhodno določili, zato smo jo opravili pri najmanjši oziroma pri največji možni nastavitvi. Te smo označili z *.

Pod preglednico (Rezultati meritev kapacitet iznosa) je podan grafik, ki prikazuje odvisnost kapacitete iznosa od nastavitve iznosnega polža. V zgornjem desnem kotu grafikona smo podali enačbo v eksplicitni obliki, s katero smo lahko nato izračunali vrednosti kapacitet iznosa iz polžev za nastavitve polža od 10 do 100.

Grafikonu sledi preglednica, ki za vsako merilno mesto oziroma vsak iznosni polž posebej prikazuje kapaciteto iznosa za nastavitve od 10 do 100.

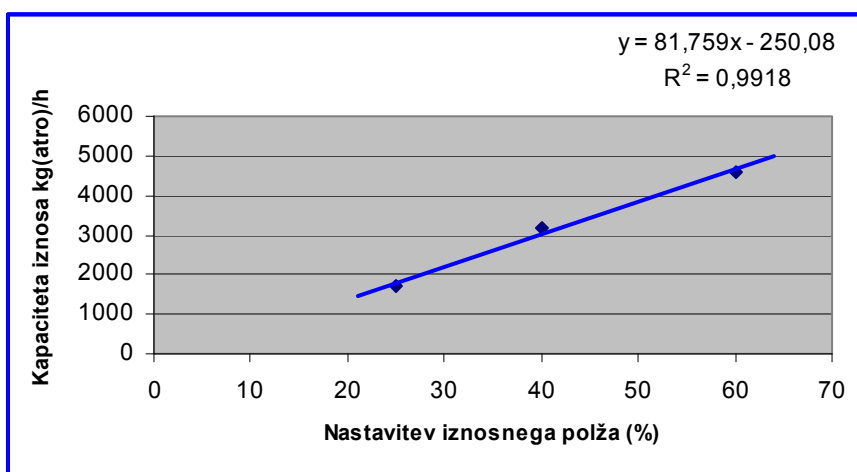
Čas merjenja iz posameznega iznosnega polža je bil 60 sekund. Pri nekaterih iznosnih polžih je prišlo do prevelikih kapacitet, zato smo čas merjenja zmanjšali ter to upoštevali pri končnem izračunavanju.

4.1.1 Merilno mesto $M_{1,1}$ (Silos 1)

V preglednici 3 imamo podane mase svežega materiala, ki vstopa v sušilnik pri vsaki nastavitvi iznosnega polža, in maso suhega iverja po sušenju. Razlika med tema dvema podatkom nam pove, koliko mase vode je potrebno izpareti.

Preglednica 3: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{1,1}$

SILOS 1- merilno mesto $M_{1,1}$			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža (%)	*25	40	60
1. meritev iznosa (kg/min)	47	86	136
2. meritev iznosa (kg/min)	52	92	126
povprečje iznosa (kg/min)	49	89	131
vlažnost (%)	73	68	71
iznos v kg(vlažnega)/h	2955	5340	7860
iznos v kg(atro)/min	28	53	77
iznos v kg(atro)/h	1708	3170	4591



Slika 19: Odvisnost kapacitete iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{1,1}$)

Preglednica 4: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitvev (merilno mesto $M_{1,1}$)

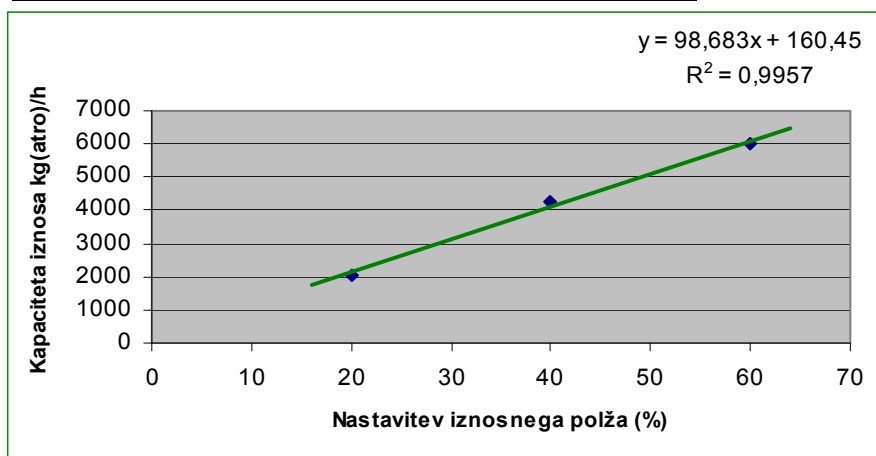
SILOS 1-merilno mesto $M_{1,1}$	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	568
20	1385
30	2203
40	3020
50	3838
60	4655
70	5473
80	6291
90	7108
100	7926

4.1.2 Merilno mesto $M_{1,2}$ (Silos 1)

Silos 1 je bil napolnjen z iverjem, ki je bilo iverjeno na obročastem iverilniku.

Preglednica 5: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{1,2}$

SILOS 1- merilno mesto $M_{1,2}$			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
1. meritev iznosa(kg/min)	59	122	166
2. meritev iznosa(kg/min)	57	123	176
povprečje iznosa (kg/min)	58	123	171
vlačnost (%)	69	73	71
iznos v kg(vlažen)/h	3480	7350	10260
iznos v kg(atro)/min	34	71	100
iznos v kg(atro)/h	2059	4258	6006



Slika 20: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{1,2}$)

Preglednica 6: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto $M_{1,2}$)

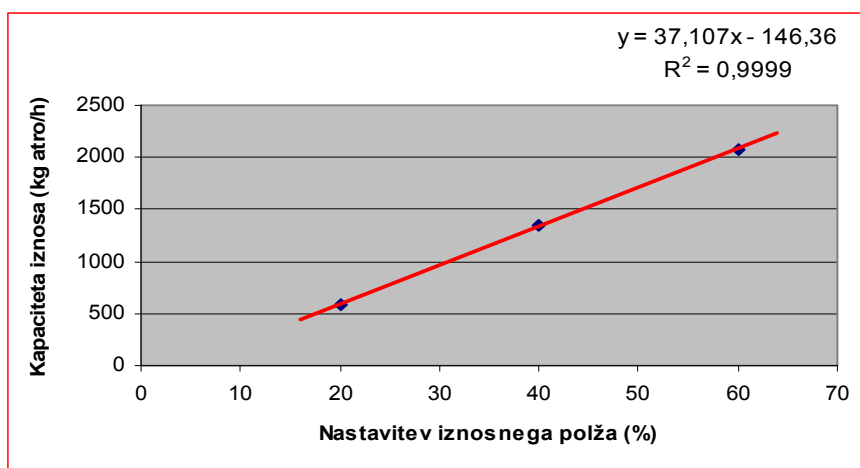
SILOS 1-merilno mesto $M_{1,2}$	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	1147
20	2134
30	3121
40	4108
50	5095
60	6081
70	7068
80	8055
90	9042
100	10029

4.1.3 Merilno mesto $M_{2,1}$ (Silos 2)

Silos 2 je bil napolnjen z iverjem, ki je bilo iverjeno na diskontinuiranem valjčnem iverilniku.

Preglednica 7: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu $M_{2,1}$

SILOS 2- merilno mesto $M_{2,1}$			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
1. meritev iznosa (kg/min)	17	37	50
2. meritev iznosa (kg/min)	16	35	50
povprečje iznosa (kg/min)	17	36	50
vlažnost (%)	67	59	44
iznos v kg(vlažen)/h	990	2145	2985
iznos v kg(atro)/min	10	22	35
iznos v kg(atro)/h	592	1347	2076



Slika 21: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto $M_{2,1}$)

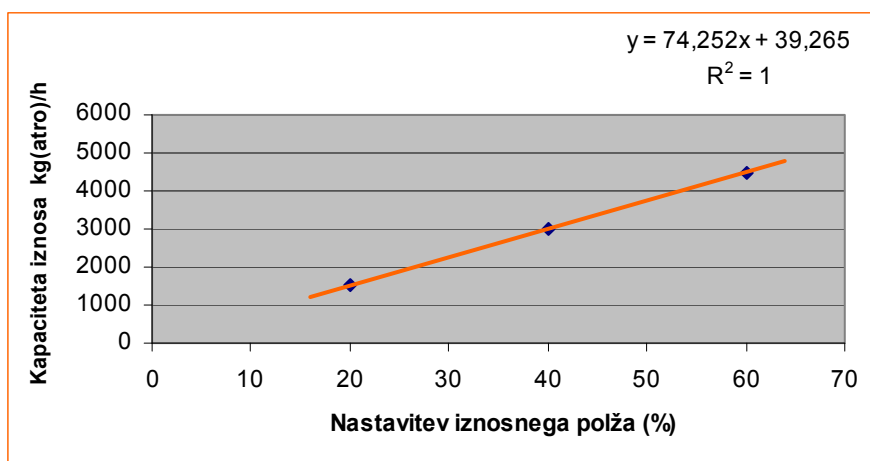
Preglednica 8: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitve (merilno mesto $M_{2,1}$)

SILOS 2-merilno mesto $M_{2,1}$	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	225
20	596
30	967
40	1338
50	1709
60	2080
70	2451
80	2822
90	3193
100	3564

4.1.4 Merilno mesto M_{2,2} (Silos 2)

Preglednica 9: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu M_{2,1}

SILOS 2- merilno mesto M_{2,2}			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
1. meritev iznosa(kg/min)	42	78	113
2. meritev iznosa (kg/min)	34	74	113
povprečje iznosa (kg/min)	38	76	113
vlažnost (%)	50	51	51
iznos v kg(vlažen)/h	2280	4545	6780
iznos v kg(atro)/min	25	50	75
iznos v kg(atro)/h	1520	3018	4490



Slika 22: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto M_{2,2})

Preglednica 10: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitvev (merilno mesto M_{2,2})

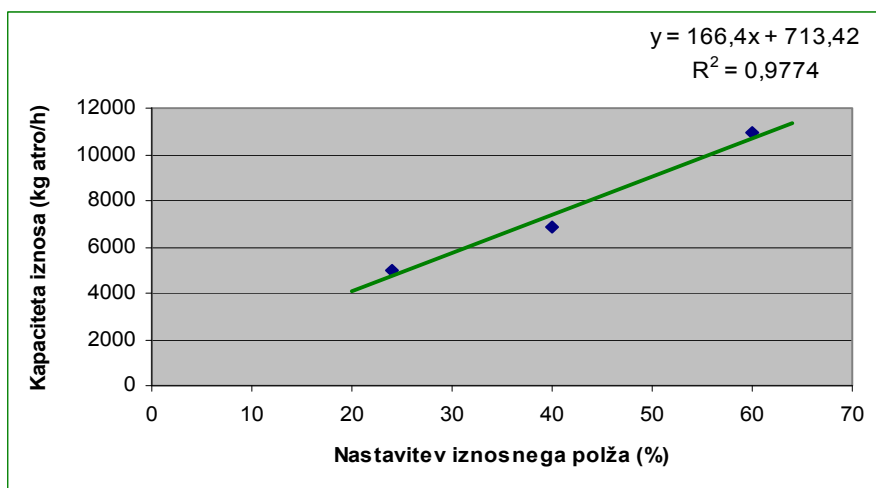
SILOS 2-merilno mesto M_{2,2}	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	782
20	1524
30	2267
40	3009
50	3752
60	4494
70	5237
80	5979
90	6722
100	7464

4.1.5 Merilno mesto M_{3,1} (Silos 3)

Silos 3 je bil napolnjen z iverjem, ki je bilo iverjeno na obročastem iverilniku. Najmanjša možna nastavitev iznosnega polža je bila pri 24.

Preglednica 11: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu M_{3,1}

SILOS 3- merilno mesto M_{3,1}			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža (%)	24	40	60
1. meritev iznosa (kg/min)	153	202	354
2. meritev iznosa (kg/min)	138	244	326
povprečje iznosa (kg/min)	146	223	340
vlažnost (%)	75	96	87
iznos v kg(vlažen)/h	8730	13380	20400
iznos v kg(atro)/min	83	114	182
iznos v kg(atro)/h	4999	6844	10931



Slika 23: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto M_{3,1})

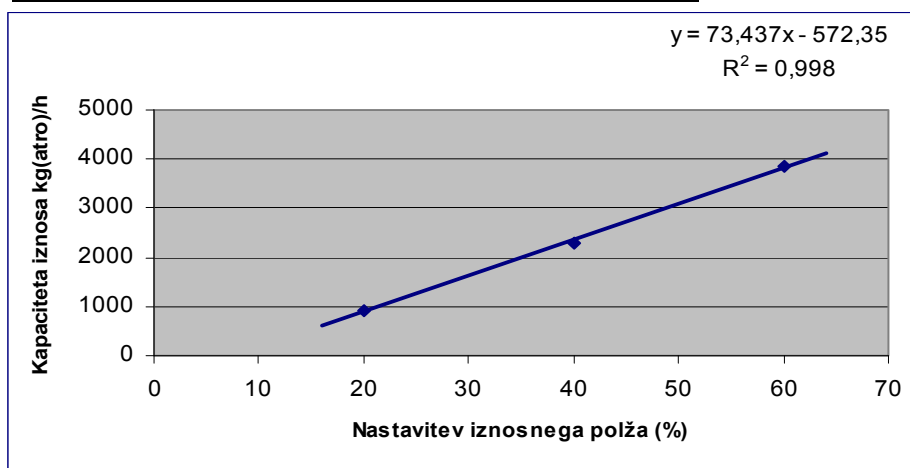
Preglednica 12: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto M_{3,1})

SILOS 3-merilno mesto M_{3,1}	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	2377
20	4041
30	5705
40	7369
50	9033
60	10697
70	12361
80	14025
90	15689
100	17353

4.1.6 Merilno mesto M_{3,2} (Silos 3)

Preglednica 13: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu M_{3,2}

SILOS 3- merilno mesto M_{3,2}			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža	20	40	60
1. meritev iznosa(kg/min)	27	62	108
2. meritev iznosa (kg/min)	26	69	110
povprečje iznosa (kg/min)	27	65	109
vlažnost (%)	70	71	69
iznos v kg(vlažen)/h	1590	3915	6540
iznos v kg(atro)/min	16	38	65
iznos v kg(atro)/h	934	2289	3872



Slika 24: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto M_{3,2})

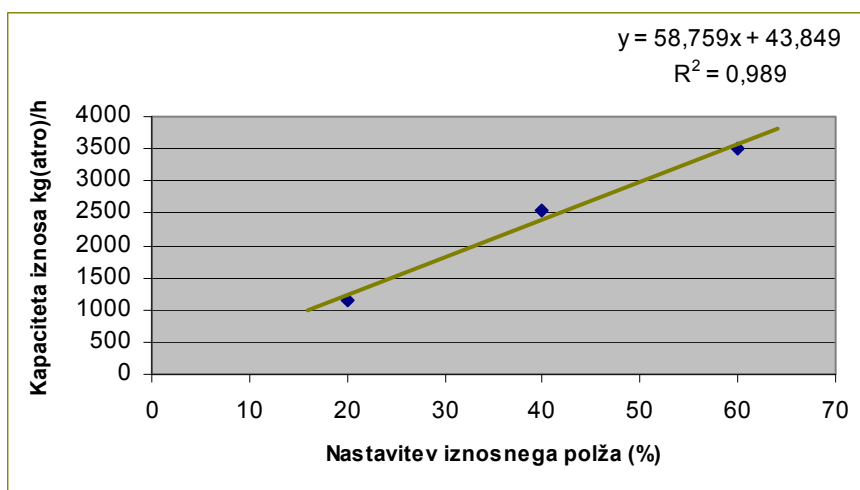
Preglednica 14: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitev (merilno mesto M_{3,2})

SILOS 3-merilno mesto M_{3,2}	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	162
20	896
30	1631
40	2365
50	3100
60	3834
70	4568
80	5303
90	6037
100	6771

4.1.7 Merilno mesto M_{4,1} (Silos 4)

Preglednica 15: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu M_{4,1}

SILOS 4- merilno mesto M_{4,1}			
čas merjenja (s)	60	60	60
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
1. meritev iznosa (kg/min)	35	89	128
2. meritev iznosa (kg/min)	37	86	132
povprečen iznos (kg/min)	36	88	130
vlažnost (%)	88	107	123
Iznos v kg(vlažen)/h	2157	5250	7800
Iznos v kg(atro)/min	19	42	58
Iznos v kg(atro)/h	1147	2537	3498



Slika 25: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto M_{4,1})

Preglednica 16: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitvev (merilno mesto M_{4,1})

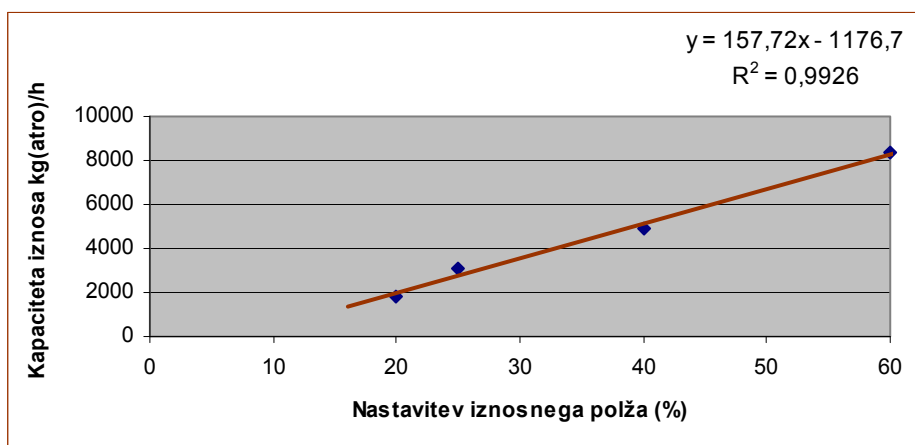
SILOS 4-merilno mesto M_{4,1}	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	631
20	1219
30	1807
40	2394
50	2982
60	3569
70	4157
80	4745
90	5332
100	5920

4.1.8 Merilno mesto M_{4,2} (Silos 4)

Pri merilnem mestu M_{4,2} je bilo mogoče iznosni polž nastaviti na največ 25. Silos 4 je bil napolnjen z drobnimi lesnimi ostanki (žagovino). Žagovina se skladišči v silos direktno iz skladišča.

Preglednica 17: Rezultati meritev kapacitet iznosa na merilnem mestu M_{4,2}

SILOS 4- merilno mesto M _{4,2}		
čas merjenja (s)	60	60
Nastavitev iznosnega polža (%)	20	*25
1. meritev iznosa (kg/min)	65	101
2. meritev iznosa (kg/min)	53	102
povprečje vlažen (kg/min)	59	102
vlažnost (%)	98	97
iznos v kg(vlažen)/h	3540	6090
iznos v kg(atro)/min	30	52
iznos v kg(atro)/h	1787	3091



Slika 26: Odvisnost kapacitet iznosa od nastavitve polža (merilno mesto M_{4,2})

Preglednica 18: Kapaciteta iznosa za posamezno nastavitvev (merilno mesto M_{4,2})

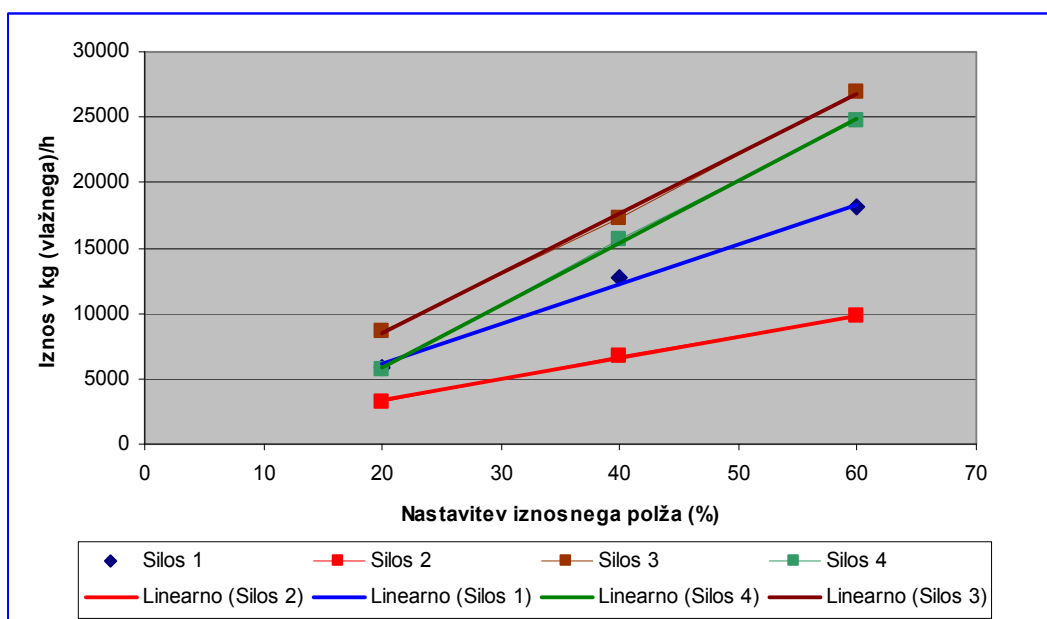
SILOS 4-merilno mesto M _{4,2}	
Nastavitev	Kapaciteta kg(atro)/h
10	401
20	1978
30	3555
40	5132
50	6709
60	8287
70	9864
80	11441
90	13018
100	14595

4.1.9 Podatki o skupnem iznosu in povprečni vlažnosti iz posameznega silosa

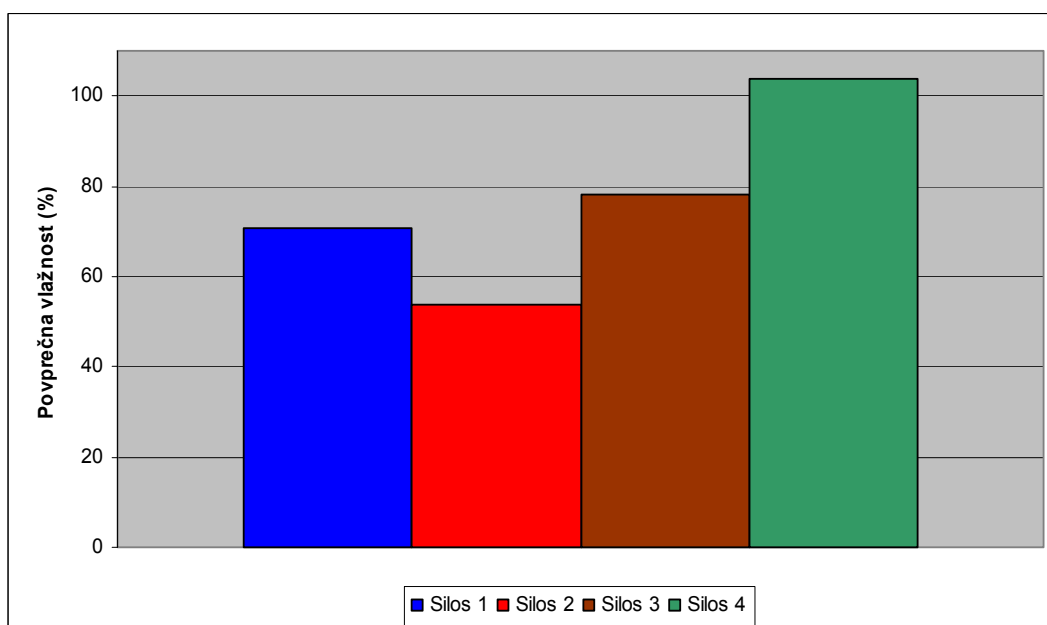
Preglednica 19 prikazuje skupne iznose in povprečne vlažnosti pri določeni nastavitvi iznosnega polža iz posameznega silosa. Razvidno je, da je imela najvišjo vlažnost žagovina (slika 28), saj se velikokrat dozira sveže pripeljana žagovina direktno preko sejalnikov v silos. Najnižjo vlažnost pa je imelo ploščato, gladko iverje, debeline do 0,5 mm, dobljeno z valjčnim iverilnikom, ki je bilo skladiščeno v silosu 2. Iverje, dobljeno z obročastimi iverilniki ter skladiščeno v silosu 1 in 3, pa je imelo nekoliko višjo vlažnost, kar je normalno, saj je to paličasto iverje, debeline tudi do 1,5 mm. Največji iznosi iverja v kg(atro)/h so bili pri silosu 3 (slika 27), v katerem je bilo skladiščeno paličasto iverje, debeline do 1,5 mm. Sledita mu silos 4 in silos 1. Najmanjše iznose je imel silos 2, v katerem je bilo skladiščeno ploščato, rahlo ukrivljeno iverje, debeline do 0,5 mm. Na kapaciteto iznosa vpliva več dejavnikov, kot so: delovanje rotirajočih lopat na dnu silosa, ki material dozirajo v oba polža, zapolnjenost silosa, velikost in oblika iverja, vlažnost iverja itn.

Preglednica 19: Skupni iznos in povprečna vlažnost iz posameznega silosa

Silos 1			
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
povprečna vlažnost (%)	71	70,5	71
iznos v kg (vlažnega)/h	5876	12690	18120
iznos v kg (atro)/min	57	124	177
iznos v kg (atro)/h	3444	7428	10597
Silos 2			
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
povprečna vlažnost (%)	58,5	55	47,5
iznos v kg (vlažnega)/h	3270	6690	9765
iznos v kg (atro)/min	35	72	110
iznos v kg (atro)/h	2112	4365	6566
Silos 3			
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
povprečna vlažnost (%)	72,5	83,5	78
iznos v kg (vlažnega)/h	8661	17295	26940
iznos v kg (atro)/min	83	152	247
iznos v kg (atro)/h	4975	9133	14803
Silos 4			
nastavitev iznosnega polža (%)	20	40	60
povprečna vlažnost (%)	93	105,5	113,5
iznos v kg (vlažnega)/h	5697	15719	24705
iznos v kg (atro)/min	49	128	196
iznos v kg (atro)/h	2934	7669	11785



Slika 27: Skupen iznos vlažnega materiala iz posameznega silosa pri različni nastavitvi iznosnega polža



Slika 28: Povprečna vlažnost iz posameznega silosa

4.2 MERITVE DEBELINE IVERJA

4.2.1 Iverjenje lesne surovine, skladiščene 12 mesecev

Iverje dobljeno z iverjenjem na obročastem iverilniku:

- povprečna debelina iveri normalnih debelin: **0,96 mm**
- povprečna debelina najdebelejših iveri: **2,91mm**

Iverje dobljeno z iverjenjem na valjčnem iverilniku:

- povprečna debelina iveri normalnih debelin: **0,75 mm**
- povprečna debelina najdebelejših iveri: **3,24 mm**

4.2.2 Iverjenje lesne surovine, skladiščene 2 meseca

Iverje dobljeno z iverjenjem na obročastem iverilniku:

- povprečna debelina iveri normalnih debelin: **0,83 mm**
- povprečna debelina najdebelejših iveri: **2,43 mm**

Iverje dobljeno z iverjenjem na valjčnem iverilniku:

- povprečna debelina iveri normalnih debelin: **0,58 mm**
- povprečna debelina najdebelejših iveri: **3,09 mm**

Debelin drobnih lesnih ostankov (žagovine) zaradi njihove majhnosti ni bilo mogoče izmeriti.

Do razlik v debelini je prišlo predvsem zaradi vhodne vlažnosti lesne surovine. Pri iverjenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, je bila povprečna vlažnost 64 % in s tem tudi debelina iverja večja. Pri iverjenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca, pa je bila povprečna vlažnost za 12 % višja.

Vzroke za razliko v debelini iverja lahko iščemo že v sami razliki v strukturi lesne surovine (iglavci:listavci). Na podlagi rezultatov lahko sklepam, da je odrezovanje oziroma iverjenje boljše pri lesni surovini z višjo vlažnostjo. Na razliko v debelini lahko vpliva samo stanje nožev na obročastem in valjčnem iverilniku.

4.3 PORABE ENERAGENTOV SUŠENJA LESNE SUROVINE

4.3.1 Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev

V času merjenja se je na diskontinuirani valjčni iverilnik in obročasti iverilnik doziral predvsem okrogel les (hlodovina). Na obročasti iverilnik se je doziralo 72 % hlodovine, na valjčni iverilnik pa 28 % vse hlodovine. Doziralo se je v razmerju (80 % iglavcev in 20 % listavcev). Povprečna vlažnost hlodovine pred doziranjem je bila 45 % do 65 %.

Najvišjo vlažnost vhodne lesne surovine so imeli drobni lesni ostanki, sledi iverje, dobljeno z iverjenjem okroglega lesa (oblovine) na obročastem iverilniku, najnižjo vlažnost pa je imelo iverje, dobljeno z iverjenjem kosovnih lesnih ostankov ter oblovine na valjčnem iverilniku. Povprečna vlažnosti svežega iverja je bila 64,47 %, povprečna vlažnost suhega iverja po sušenju pa 1,48 % (Preglednica 20).

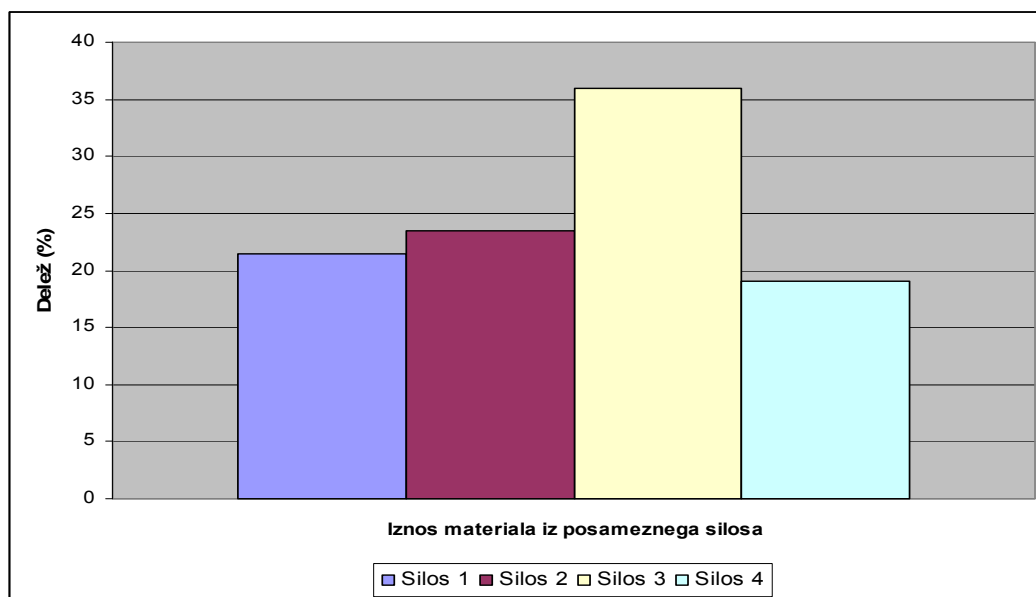
Preglednica 20: Vlažnost svežega in suhega iverja

Čas	Silos 1	Silos 2	Silos 3	Silos 4	Vlažnost suhega iverja	Povprečna vlažnost iverja
(min)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)
0:00	0	0	0	0	0	0
0:30	70,50	44,20	70,50	109,00	1,26	72,67
1:00	99,00	55,60	99,00	102,00	1,26	90,30
1:30	64,50	65,90	64,50	106,00	1,26	73,22
2:00	51,70	61,00	51,70	100,00	1,97	63,39
2:30	44,80	45,30	44,80	109,00	1,97	56,95
3:00	71,10	46,30	71,10	118,00	1,97	73,97
3:30	45,10	68,90	45,10	106,00	1,35	62,19
4:00	56,90	49,30	56,90	102,00	1,35	63,54
4:30	53,30	49,80	53,30	119,00	1,35	64,77
5:00	51,80	36,70	51,80	114,00	1,47	59,85
5:30	52,20	49,00	52,20	108,00	1,47	61,89
6:00	46,40	48,00	46,40	107,00	1,47	58,14
6:30	44,70	50,20	44,70	101,00	1,41	56,56
7:00	43,60	58,90	43,60	116,00	1,41	60,82
7:30	37,60	48,90	37,60	111,00	1,39	54,05
8:00	47,30	49,70	47,30	108,00	1,39	59,25
Povprečje	55,03	51,73	55,03	108,50	1,48	64,47
Variance					0,06	77,81
St. odklon					0,25	9,11

Na preglednici 21 vidimo, da se je v silos 1 in silos 3 skladiščilo iverje, dobljeno z iverjenjem na obročastem iverilniku. Tega iverja je bilo povprečno skupno največ (57,47 %). Sledi iverje, dobljeno z iverjenjem na valjčnem iverilniku (silos 2), pri katerem je bil povprečni delež (23,46 %). Najnižji delež pripada drobnim lesnim ostankom (silos 4).

Preglednica 21: Deleži iverja iz posameznega silosa

Čas (min)	Silos 1 delež (%)	Silos 2 delež (%)	Silos 3 delež (%)	Silos 4 delež (%)
0:00	0	0	0	0
0:30	20,02	21,45	38,24	20,28
1:00	20,02	21,45	38,24	20,28
1:30	20,02	21,45	38,24	20,28
2:00	19,18	24,75	36,64	19,43
2:30	22,07	23,86	35,33	18,74
3:00	22,07	23,86	35,33	18,74
3:30	22,07	23,86	35,33	18,74
4:00	22,07	23,86	35,33	18,74
4:30	22,07	23,86	35,33	18,74
5:00	22,07	23,86	35,33	18,74
5:30	22,07	23,86	35,33	18,74
6:00	22,07	23,86	35,33	18,74
6:30	22,07	23,86	35,33	18,74
7:00	22,07	23,86	35,33	18,74
7:30	22,07	23,86	35,33	18,74
8:00	22,07	23,86	35,33	18,74
Povprečje	21,51	23,46	35,96	19,07



Slika 29: Iznos materiala iz posameznega silosa po deležih

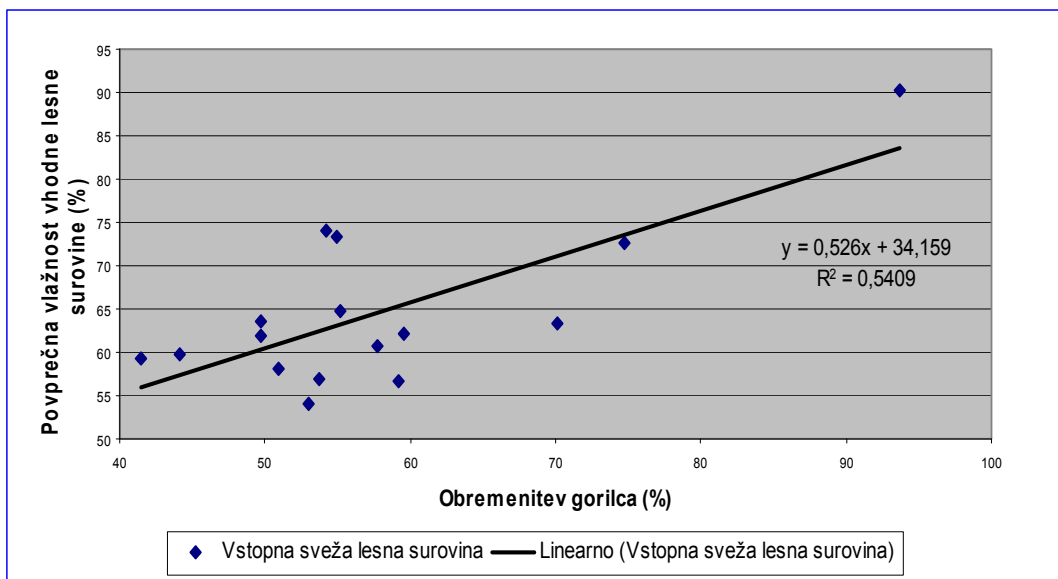
Meritve parametrov pri sušenju lesne surovine, ki so trajale 480 minut, so podane v preglednici 22. Vsakih 30 minut smo popisovali parametre, ki so nas zanimali. Lesnega prahu je bilo dovolj, zato smo za sušenje iverja uporabili 90 % prahu ter 10 % plina. Merili smo porabo plina, porabo prahu, vstopno temperaturo v sušilnik ter izstopno temperaturo iz sušilnika.

Preglednica 22: Parametri pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev

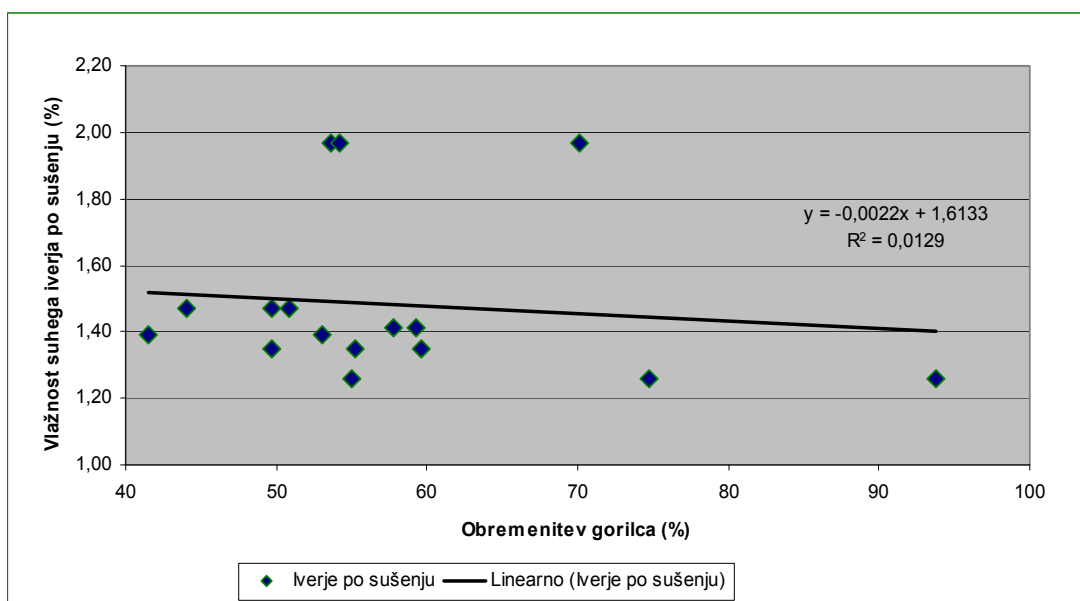
Čas (min)	Obremenitev gorilca (%)	Plin (%)	Prah (%)	Poraba prahu (kg)	Poraba plina (kg)	Poraba plina (Sm ³)	Vstopna temp. (°C)	Izstopna temp. (°C)
0:00	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
0:30	74,68	10	90	1558	68,68	101	238,0	127,3
1:00	93,73	10	90	1638	72,76	107	249,5	124,3
1:30	54,95	10	90	1334	70,04	103	217,0	128,7
2:00	70,14	10	90	1409	69,36	102	225,0	124,8
2:30	53,67	10	90	1401	70,04	103	229,5	127,3
3:00	54,25	10	90	1460	70,04	103	230,0	126,4
3:30	59,58	10	90	1280	70,72	104	223,0	127,6
4:00	49,68	10	90	1241	70,04	103	223,0	127,0
4:30	55,19	10	90	1399	70,72	104	227,0	127,0
5:00	44,08	10	90	1136	72,76	107	220,0	128,7
5:30	49,72	10	90	1065	69,36	102	219,0	126,0
6:00	50,9	10	90	1330	74,8	110	214,0	125,0
6:30	59,23	10	90	1163	63,92	94	219,8	128,0
7:00	57,76	10	90	1340	72,08	106	216,4	125,5
7:30	53,01	10	90	1217	70,72	104	215,0	127,1
8:00	41,49	10	90	1255	74,80	110	204,0	126,8
Vsota				21226	1131	1663		
Povprečje	57,63	10	90	1327	71	104	223,1	126,7

Povprečna obremenitev sušilnika je bila 57,63 % kar je nekoliko več od njegove polovične obremenitve. Vidimo, da z manjšo obremenitvijo gorilca, pri kateri je vlažnost lesne surovine nižja, padajo tudi vstopne in izstopne temperature sušilnika. Skupna poraba lesnega prahu v času merjenja je bila 21226 kg, plina pa 1663 Sm³.

Naslednji 2 sliki (slika 30 in slika 31) prikazujeta odvisnost obremenitve gorilca od vlažnosti materiala (slika 30), ki vstopa v sušilnik, ter odvisnost obremenitve gorilca od vlažnosti suhega materiala, ki pride iz sušilnika (Slika 31). Obremenitev gorilca narašča z naraščajočo vlažnostjo vhodne lesne surovine.



Slika 30: Odvisnost obremenitve gorilca od povprečne vlažnosti vhodne lesne surovine

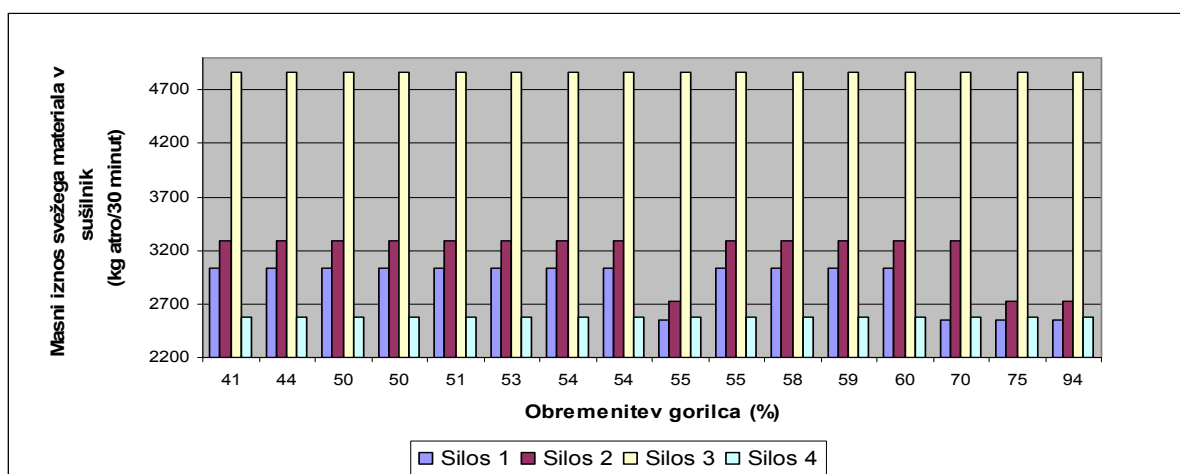


Slika 31: Odvisnost obremenitve gorilca od vlažnosti suhega iverja po sušenju

Slika 32 predstavlja vpliv obremenitve gorilca na maso iznosa svežega materiala iz posameznega silosa. Masni iznos svežega iverja iz posameznih silosov je odvisen od obremenitve gorilca, saj se iznosi pri višjih obremenitvah znižajo.

Preglednica 23: Količina vlažnega materiala, ki vstopa v sušilnik (iz posameznih silosov) ter izstop suhega materiala iz sušilnika

Čas (min)	Silos 1 (kg atro)	Silos 2 (kg atro)	Silos 3 (kg atro)	Silos 4 (kg atro)	Vstop vlažnega materiala v sušilnik (kg svežega)	Izstop suhega materiala iz sušilnika (kg atro suhega)	Količina uparjene vode (kg)
6:00	0	0	0	0	0	0	0
6:30	2548	2730	4867	2581	21974	12726	9248
7:00	2548	2730	4867	2581	24218	12726	11492
7:30	2548	2730	4867	2581	22044	12726	9318
8:00	2548	3287	4867	2581	21703	13283	8420
8:30	3041	3287	4867	2581	21621	13776	7845
9:00	3041	3287	4867	2581	23966	13776	10190
9:30	3041	3287	4867	2581	22343	13776	8567
10:00	3041	3287	4867	2581	22529	13776	8753
10:30	3041	3287	4867	2581	22699	13776	8923
11:00	3041	3287	4867	2581	22021	13776	8245
11:30	3041	3287	4867	2581	22302	13776	8526
12:00	3041	3287	4867	2581	21785	13776	8009
12:30	3041	3287	4867	2581	21568	13776	7792
13:00	3041	3287	4867	2581	22155	13776	8379
13:30	3041	3287	4867	2581	21222	13776	7446
14:00	3041	3287	4867	2581	21938	13776	8162
Vsota	46684	50921	77872	41296	356088	216773	139315
Povprečje	2918	3183	4867	2581	22256	13548	8707



Slika 32: Količina vhodnega svežega materiala, ki izstopa iz posameznega silosa v sušilnik

IZRAČUN PORABE ENERGIJE:

Kurilna vrednost za prah: $12,17 \text{ TJ} / 10^3 \text{ t} = 12170 \text{ MJ/t}$

Poraba energije prahu = $21,226 \text{ t (poraba prahu)} \times 12170 \text{ MJ/t} = 258320 \text{ MJ}$
 $= 258320 \text{ MJ} / 3600 = \mathbf{71,75 \text{ MW}_h}$

Kurilna vrednost za zemeljski plin: $0,03408 \text{ TJ} / 10^3 \text{ Sm}^3 = 34,08 \text{ MJ/Sm}^3$

Poraba energije plina = $1663 \text{ Sm}^3 \text{ (poraba plina)} \times 34,08 \text{ MJ/Sm}^3 = 56675 \text{ MJ}$
 $= 56675 \text{ MJ} / 3600 = \mathbf{15,74 \text{ MW}_h}$

Skupna poraba energije: = $71,75 \text{ MW}_h + 15,74 \text{ MW}_h = \mathbf{87,49 \text{ MW}_h}$

= $87,49 \text{ MW}_h \times 3600 = \mathbf{314964 \text{ MJ}}$

= $314964 \text{ MJ} / 139315 \text{ kg (para)} = \mathbf{2,26 \text{ MJ/kg izparjene vode}}$

Za sušenje smo porabili 2,26 MJ/kg izparjene vode

($1 \text{ W}_h = 3600 \text{ J}$, $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$, $1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ J}$, $t = \text{masa-ton}$)

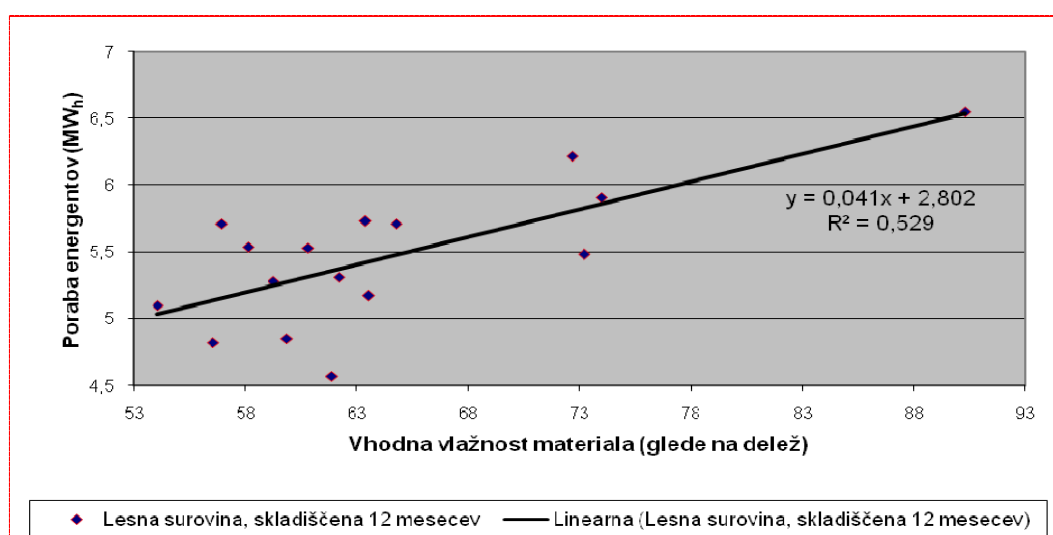
Preglednica 24: Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev

Poraba energije prahu	258320 MJ
Poraba energije plina	56675 MJ
Skupna poraba energije (plin + prah)	314964 MJ
Skupna poraba energije	2,26 MJ/kg izparjene vode

Poraba energentov (slika 33) zelo niha do približno 65 % vlažnosti vstopnega svežega materiala. Nato začne pri 73 % vlažnosti strmo naraščati in nato narašča vse do 90 % vlažnosti.

Preglednica 25: Poraba energentov

Čas (min)	Prah (MW _h)	Plin (MW _h)	Plin + Prah (MW _h)	Poraba energije (MJ/kg izparjene vode)
0:00	0	0	0	0
0:30	5,27	0,96	6,22	2,42
1:00	5,54	1,01	6,55	2,05
1:30	4,51	0,98	5,48	2,12
2:00	4,76	0,97	5,73	2,45
2:30	4,74	0,98	5,71	2,62
3:00	4,94	0,98	5,91	2,09
3:30	4,33	0,98	5,31	2,23
4:00	4,20	0,98	5,17	2,13
4:30	4,73	0,98	5,71	2,31
5:00	3,84	1,01	4,85	2,12
5:30	3,60	0,97	4,57	1,93
6:00	4,50	1,04	5,54	2,49
6:30	3,93	0,89	4,82	2,23
7:00	4,53	1,00	5,53	2,38
7:30	4,11	0,98	5,10	2,47
8:00	4,24	1,04	5,28	2,33
Vsota	71,76	15,74	87,50	36,35
Povprečje	4,48	0,98	5,47	2,27



Slika 33: Odvisnost porabe energentov od vhodne vlažnosti lesne surovine

4.3.2 Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca

V času merjenja se je na diskontinuirani valjčni iverilnik in obročasti iverilnik doziral predvsem okrogel les (hlodovina) ter obrezline. Na obročasti iverilnik se je doziralo 80 % vse lesne surovine, na valjčni iverilnik pa 20 % vse lesne surovine. Doziralo se je v razmerju (75 % iglavcev in 25 % listavcev). Povprečna vlažnost hlodovine pred doziranjem je bila 75 % do 95 %.

Najvišjo vlažnost vhodne lesne surovine so imeli drobni lesni ostanki, sledi iverje, dobljeno z iverjenjem okroglega lesa (oblovine) na obročastem iverilniku, najnižjo vlažnost pa je imelo iverje, dobljeno z iverjenjem kosovnih lesnih ostankov ter oblovine na valjčnem iverilniku. Povprečna vlažnosti svežega iverja je bila 85,28 %, povprečna vlažnost suhega iverja po sušenju pa 1,51 % (Preglednica 26).

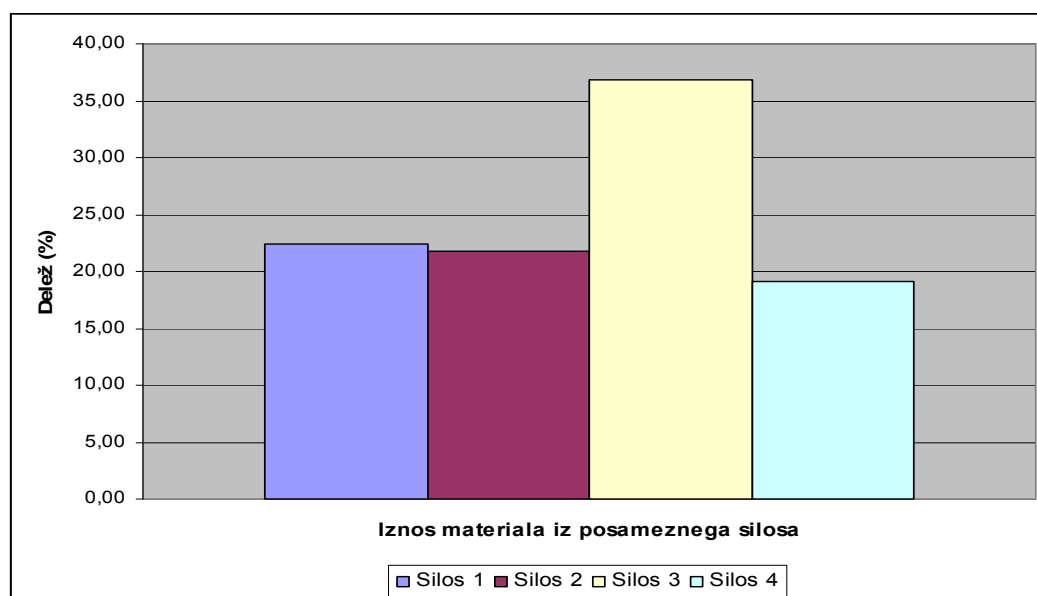
Preglednica 26: Vlažnost svežega in suhega iverja

Čas	Silos 1	Silos 2	Silos 3	Silos 4	Vlažnost suhega iverja	Povprečna vlažnost iverja
(min)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)
0:00	0	0	0	0	0	0
0:30	62,80	39,30	62,80	111,00	1,57	65,89
1:00	62,00	46,63	62,00	102,00	1,41	65,69
1:30	79,41	72,60	79,41	106,00	1,23	82,46
2:00	83,00	67,00	83,00	100,00	1,47	82,3
2:30	99,60	92,60	99,60	109,00	1,47	99,63
3:00	94,00	87,30	94,00	118,00	1,41	95,84
3:30	87,00	86,00	87,00	106,00	1,39	90,51
4:00	89,00	82,00	89,00	102,00	1,39	89,92
4:30	85,40	80,00	85,40	119,00	2,16	91,27
5:00	87,20	86,50	87,20	114,00	1,47	93,15
5:30	86,00	84,00	86,00	108,00	1,47	90,47
6:00	83,40	60,00	83,40	107,00	1,47	83,72
6:30	84,00	62,00	84,00	101,00	1,41	82,58
7:00	83,51	95,70	83,51	116,00	1,33	92,46
7:30	65,20	92,30	65,20	111,00	2,01	79,58
8:00	67,40	88,70	67,40	104,00	1,54	79,07
Povprečje	81,18	76,41	81,18	108,38	1,51	85,28
Varianca					0,05	87,50
St. odklon					0,24	9,66

Na sliki 34 vidimo, da se je v silos 1 in silos 3 skladiščilo iverje, dobljeno z iverjenjem na obročastem iverilniku z povprečnim deležem 59,16 %. Sledi iverje, dobljeno z iverjenjem na valjčnem iverilniku (silos 2), pri katerem je bil povprečni delež 21,76 %. Najnižji delež pripada ponovno drobnim lesnim ostankom (silos 4).

preglednica 27: Deleži iverja iz posameznega silosa

Čas (min)	Silos 1 delež (%)	Silos 2 delež (%)	Silos 3 delež (%)	Silos 4 delež (%)
0:00	0	0	0	0
0:30	26,34	20,35	36,27	17,04
1:00	26,34	20,35	36,27	17,04
1:30	23,03	22,79	36,86	17,32
2:00	23,03	22,79	36,86	17,32
2:30	23,03	22,79	36,86	17,32
3:00	23,35	25,02	36,98	14,65
3:30	21,96	23,54	34,79	19,71
4:00	21,96	23,54	34,79	19,71
4:30	21,09	24,14	33,41	21,36
5:00	22,24	12,73	42,50	22,53
5:30	21,46	15,80	41,00	21,74
6:00	18,47	22,05	36,28	23,20
6:30	18,02	23,95	35,40	22,63
7:00	21,20	22,72	37,04	19,03
7:30	21,56	23,22	37,56	17,65
8:00	24,44	22,37	36,19	17,00
Povprečje	22,34	21,76	36,82	19,08



Slika 34: Iznos material iz posameznega silosa po deležih

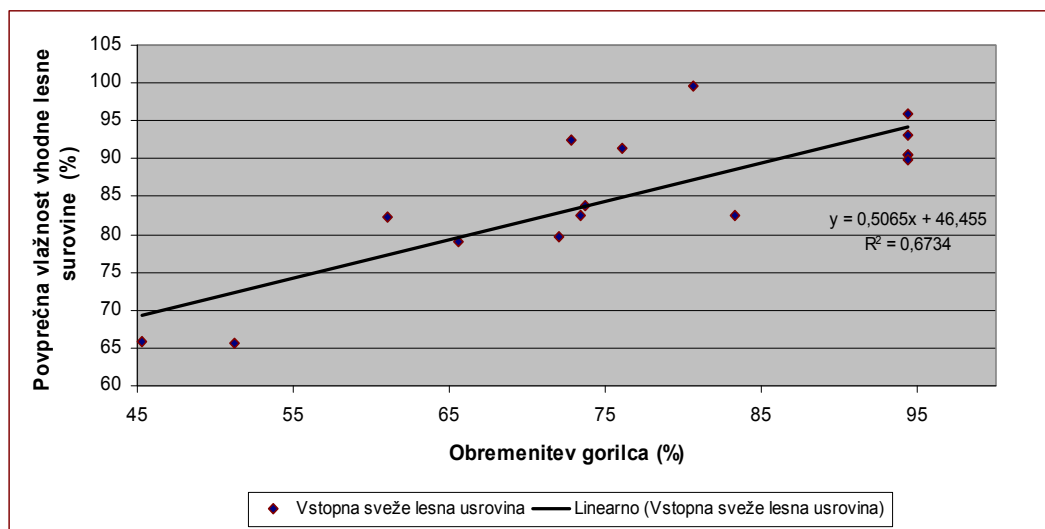
Vsakih 30 minut smo popisovali parametre, ki so nas zanimali. Za sušenje iverja smo uporabili 90 % prahu ter 10% plina. Čas merjenja je bil ponovno omejen na 480 minut. Iz preglednice 28 lahko vidimo, da vstopne in izstopne temperature padajo z manjšo obremenitvijo gorilca oziroma se povečujejo z višjo obremenitvijo gorilca.

Preglednica 28: Parametri pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca

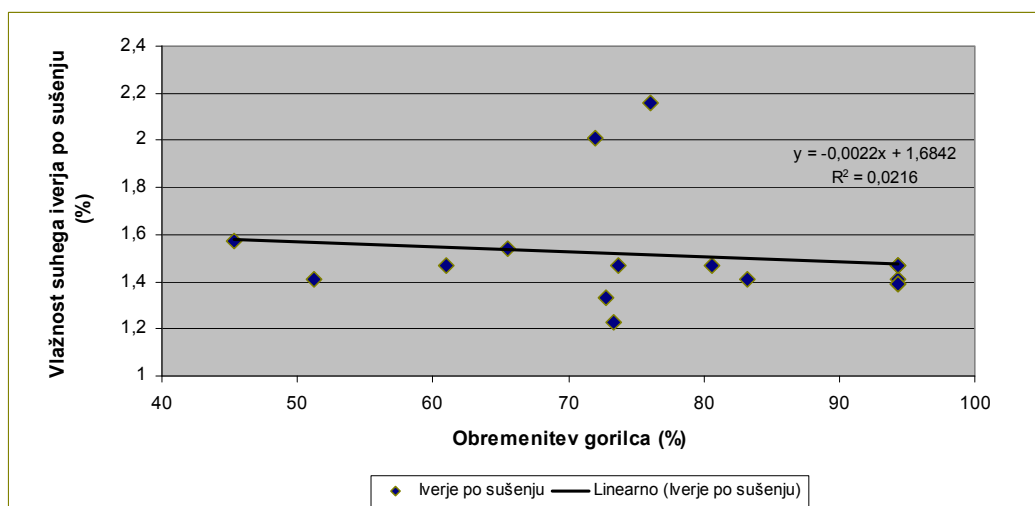
Čas	Obremenitev gorilca	Plin	Prah	Poraba prahu	Poraba plina	Poraba plina	Vstopna temp.	Izstopna temp.
(min)	(%)	(%)	(%)	(kg)	(kg)	(Sm ³)	°C	°C
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:30	45,30	10	90	875	53,04	78	221,7	126,6
7:00	51,27	10	90	1305	66,64	98	241,6	129,0
7:30	73,38	10	90	1380	74,8	110	223,4	125,5
8:00	61,00	10	90	1280	65,96	97	245,9	128,7
8:30	80,60	10	90	1568	69,36	102	240,0	127,1
9:00	94,33	10	90	1552	67,32	99	243,0	122,9
9:30	94,33	10	90	1622	72,08	106	255,8	124,6
10:00	94,33	10	90	1523	65,28	96	248,0	124,1
10:30	76,10	10	90	1480	67,32	99	243,1	128,0
11:00	94,36	10	90	1705	68,68	101	256,3	125,0
11:30	94,33	10	90	1477	65,28	96	257,0	130,6
12:00	73,64	10	90	1427	68	100	247,8	125,9
12:30	83,25	10	90	1642	74,12	109	248,0	126,0
13:00	72,80	10	90	1280	64,6	95	262,0	129,0
13:30	72,04	10	90	1377	68,68	101	235,0	129,9
14:00	65,54	10	90	1332	65,28	96	235,0	129,0
Vsota				22825	1076	1583		
Povprečje	76,66	10	90	1427	67	99	244,0	127,0

Povprečna obremenitev sušilnika je bila 76,44 %. Skupna poraba lesnega prahu v času merjenja je bila 22825 kg, plina pa 1583 Sm³.

Iz grafa (slika 35) vidimo, da obremenitev gorilca ponovno nekako niha z naraščajočo vlažnostjo vhodne lesne surovine, vendar nam trend prikaže, da se obremenitev gorilca povečuje z višanjem vlažnosti sveže surovine. Če hočemo sveže iverje posušiti na čim nižji odstotek vlažnosti, moramo bolj obremeniti gorilec.



Slika 35: Odvisnost obremenitve gorilca od povprečne vlažnosti vhodne lesne surovine

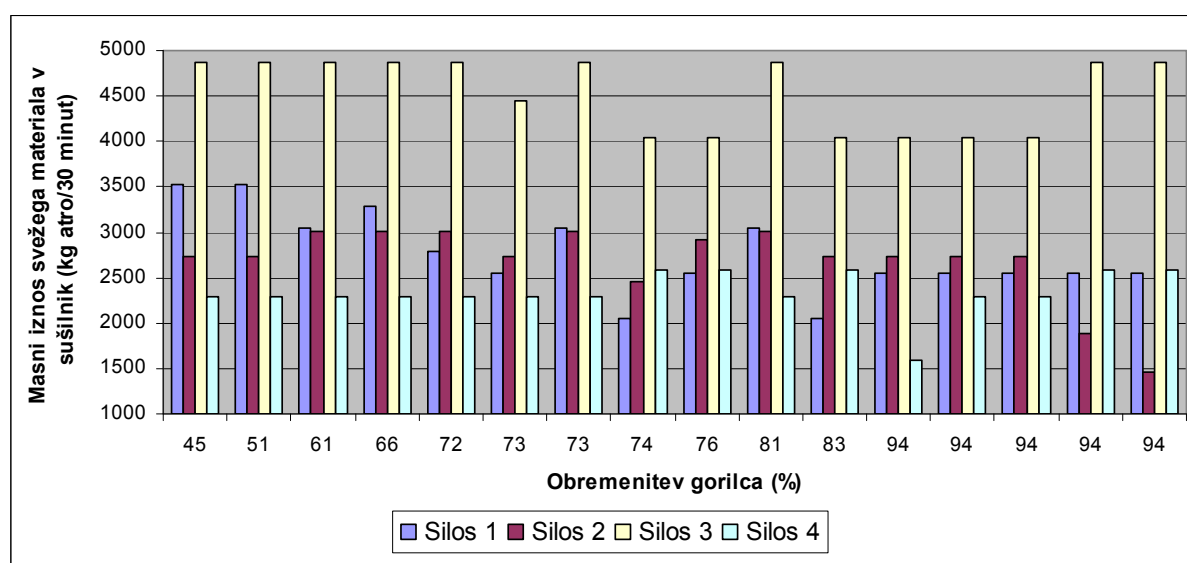


Slika 36: Odvisnost obremenitve gorilca od vlažnosti suhega iverja po sušenju

Iz preglednice 29 je razvidno, koliko pare moramo izpareti, da posušimo sveže iverje na določen odstotek vlažnosti. Masni iznos svežega iverja iz posameznih silosov v sušilnik (slika 37) je odvisen od obremenitve gorilca, saj se iznosi iz silosov svežega iverja v sušilnik pri višjih obremenitvah precej znižajo.

Preglednica 29: Količina vlažnega materiala, ki vstopa v sušilnik (iz posameznih silosov) ter izstop suhega materiala iz sušilnika

Čas (min)	Silos 1 (kg atro)	Silos 2 (kg atro)	Silos 3 (kg atro)	Silos 4 (kg atro)	Vstop vlažnega materiala v sušilnik (kg vlažnega)	Izstop suhega materiala iz sušilnika (kg atro suhega)	Količina uparjene vode kg
0:00	0	0	0	0	0	0	0
0:30	3534	2731	4867	2287	22260	13418	8841
1:00	3534	2731	4867	2287	22233	13418	8814
1:30	3041	3009	4867	2287	24090	13203	10887
2:00	3041	3009	4867	2287	24069	13203	10866
2:30	3041	3009	4867	2287	26357	13203	13154
3:00	2548	2731	4035	1599	21369	10912	10458
3:30	2548	2731	4035	2287	22099	11600	10499
4:00	2548	2731	4035	2287	22030	11600	10430
4:30	2548	2916	4035	2580	23103	12079	11024
5:00	2548	1458	4867	2580	22121	11453	10668
5:30	2548	1876	4867	2580	22610	11871	10739
6:00	2054	2452	4035	2580	20432	11121	9311
6:30	2054	2731	4035	2580	20814	11400	9414
7:00	2548	2731	4451	2287	23126	12016	11110
7:30	2794	3009	4867	2287	23267	12957	10311
8:00	3287	3009	4867	2287	24084	13450	10635
Vsota	44211	42859	72464	37367	364064	196902	167162
Povprečje	2763	2679	4529	2335	22754	12306	10448



Slika 37: Količina vhodnega svežega materiala, ki izstopa iz posameznega silosa v sušilnik

IZRAČUN PORABE ENERGIJE:

Kurilna vrednost za prah: $12,17 \text{ TJ} / 10^3 \text{ t} = 12170 \text{ MJ/t}$

Poraba energije prahu = $22,825 \text{ t (poraba prahu)} \times 12170 \text{ MJ/t} = 277780 \text{ MJ}$
 $= 277780 \text{ MJ} / 3600 = 77,16 \text{ MW}_h$

Kurilna vrednost za zemeljski plin: $0,03408 \text{ TJ} / 10^3 \text{ Sm}^3 = 34,08 \text{ MJ/Sm}^3$

Poraba energije plina = $1538 \text{ Sm}^3 \text{ (poraba plina)} \times 34,08 \text{ MJ/Sm}^3 = 52415 \text{ MJ}$
 $= 52415 \text{ MJ} / 3600 = 14,56 \text{ MW}_h$

Skupna poraba energije: = $77,16 \text{ MW}_h + 14,56 \text{ MW}_h = 91,72 \text{ MW}_h$

= $91,72 \text{ MW}_h \times 3600 = 330192 \text{ MJ}$

= $330192 \text{ MJ} / 167162 \text{ kg (para)} = 1,98 \text{ MJ/kg izparjene vode}$

Za sušenje smo porabili 1,98 MJ/kg izparjene vode

($1 \text{ W}_h = 3600 \text{ J}$, $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$, $1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ J}$, $t = \text{masa-ton}$)

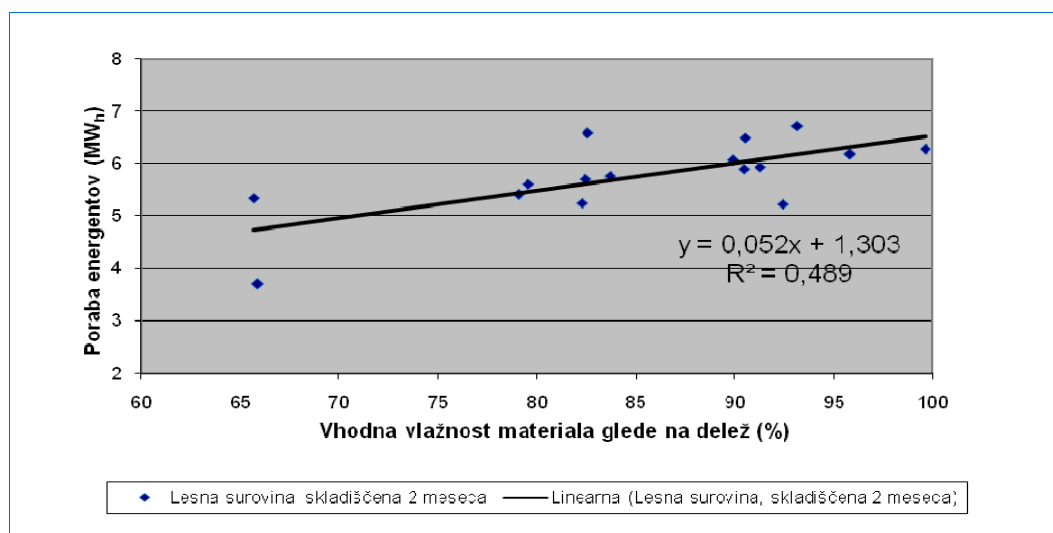
Preglednica 30: Poraba energentov pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca

Poraba energije prahu	27780 MJ
Poraba energije plina	52415 MJ
Skupna poraba energije (plin + prah)	330192 MJ
Skupna poraba energije	1,98 MJ/kg izparjene vode

Poraba energentov zelo niha, podobno kot pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, vendar narašča z višjo vhodno vlažnostjo.

Preglednica 31: Poraba energentov

Čas (min)	Prah (MW _h)	Plin (MW _h)	Plin +Prah (MW _h)	Poraba energije (MJ/kg izparjene vode)
0:00	0	0	0	0
0:30	2,96	0,74	3,70	1,51
1:00	4,41	0,93	5,34	2,18
1:30	4,67	1,04	5,71	1,89
2:00	4,33	0,92	5,25	1,74
2:30	5,30	0,97	6,27	1,71
3:00	5,25	0,94	6,18	2,13
3:30	5,48	1,00	6,49	2,22
4:00	5,15	0,91	6,06	2,09
4:30	5,00	0,94	5,94	1,94
5:00	5,76	0,96	6,72	2,27
5:30	4,99	0,91	5,90	1,98
6:00	4,82	0,95	5,77	2,23
6:30	5,55	1,03	6,58	2,52
7:00	4,33	0,90	5,23	1,69
7:30	4,66	0,96	5,61	1,96
8:00	4,50	0,91	5,41	1,83
Vsota	77,16	14,99	92,15	31,89
Povprečje	4,82	0,94	5,76	1,99



Slika 38: Odvisnost porabe energentov od vhodne vlažnosti lesne surovine

Na porabo energije pri sušenju iverja vpliva več faktorjev, kot so: vhodna vlaga iverja, izhodna vlaga iverja, postopek sušenja, vstopne, izstopne temperature itn.

Za lažjo primerjavo vseh rezultatov, ki so nas v preizkusu zanimali, smo podali tabelo primerjave parametrov sušenja lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, ter lesne surovine, skladiščene 2 meseca (preglednica 32).

Preglednica 32: Primerjava parametrov

Vrednosti (označene z *) so povprečne vrednosti 16 meritev, merjenje vsakih 30 minut	Doziranje lesne surovine, skladiščene 12 mesecev	Doziranje lesne surovine, skladiščene 2 meseca
Povprečna vlažnost mešanice pred sušenjem (%)*	64,47	85,28
Povprečna vlažnost mešanice po sušenju (%)*	1,48	1,51
Čas sušenja (min)	15-20	15-20
Povprečna vstopna temperatura (⁰ C) sušilnik*	223,1	244,0
Povprečna izstopna temperatura (⁰ C) sušilnik*	126,7	127,0
Povprečna obremenjenost gorilca (%)*	57,63	76,66
Povprečna vlažnost iz silosa 1 (%)*	55,03	81,18
Povprečna vlažnost iz silosa 2 (%)*	51,73	76,41
Povprečna vlažnost iz silosa 3 (%)*	55,03	81,18
Povprečna vlažnost iz silosa 4 (%)*	108,50	108,38
Povprečni delež iverja iz silosa 1 (%)*	21,51	22,34
Povprečni delež iverja iz silosa 2 (%)*	23,46	21,76
Povprečni delež iverja iz silosa 3 (%)*	35,96	36,82
Povprečni delež iverja iz silosa 4 (%)*	19,07	19,08
Povprečna poraba prahu (kg) *	1327	1427
Povprečna poraba plina (kg) *	71	67
Povprečna poraba plina (Sm ³) *	104	99
Povprečne kapacitete iznosa iverja iz polžev, Silos 1 (kg atro) *	2918	2763
Povprečne kapacitete iznosa iverja iz polžev, Silos 2 (kg atro) *	3183	2679
Povprečne kapacitete iznosa iverja iz polžev, Silos 3 (kg atro) *	4867	4529
Povprečne kapacitete iznosa iverja iz polžev, Silos 4 (kg atro) *	2581	2335
Povprečni vstop vlažnega materiala v sušilnik (kg vlažnega) *	22256	22754
Povprečni izstop suhega materiala po sušenju (kg atro) *	13548	12306
Povprečna poraba energije prahu (MW _h) *	4,48	4,82
Povprečna poraba energije plina (MW _h) *	0,98	0,94
Poraba energije (MJ/kg izparjene vode) *	2,26	1,98
Skupna poraba energije prahu (MW _h)/480 min	71,75	77,16
Skupna poraba energije plina (MW _h)/480 min	15,74	14,99
Izhlapevanje vode (kg/480 min)	8707	10448
Povprečna poraba energije prah + plin (MW _h) *	5,47	5,76
Skupna poraba energije prah + plin (MW _h)/480 min	87,50	92,15
Debelina iverja	Iverje večjih debelin	Iverje manjših debelin

5 RAZPRAVA

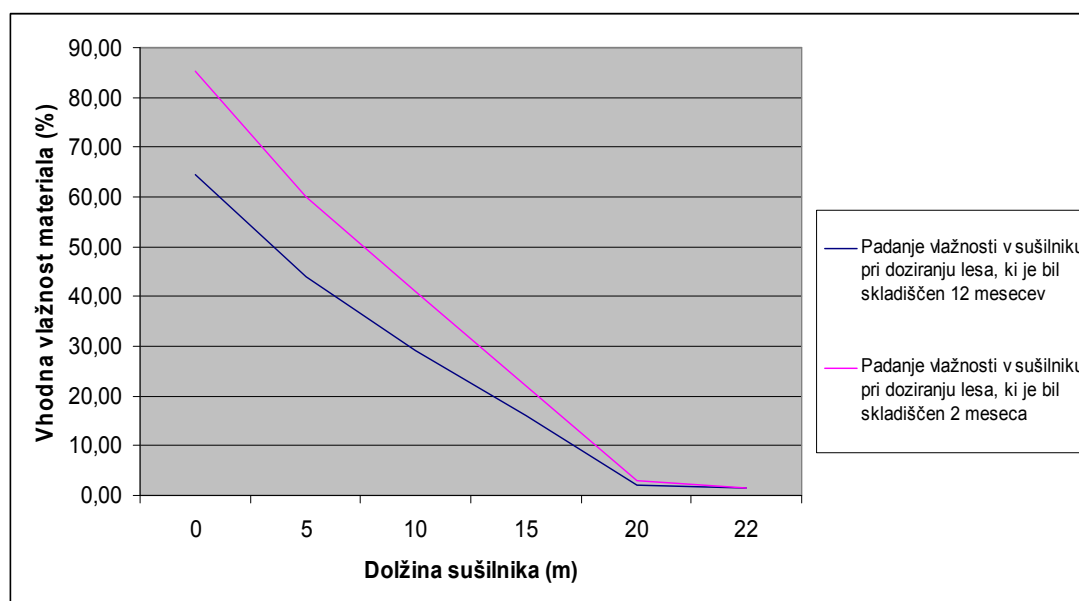
S sušenjem iverja delce posušimo na vlažnost, primerno za nadaljnjo obdelavo. Potrebno jih je posušiti na določeno vlažnost, ki naj bi bila čim bolj izenačena, da bo primerna za naslednjo tehnološko fazo, ki je separiranje in kasneje oblepljanje iverja.

Pomemben faktor pri sušenju je, da konstantno držimo vsebnost vlažnosti lesne surovine tekom sušenja. Čeprav je prišlo do manjših odstopanj, smo poskušali držati vsebnost vlage lesne surovine čim bolj konstantno.

Predpostavljali smo, da specifična poraba energije, ki je potrebna za odstranitev vode, narašča s padajočim odstotkom vlažnosti. Te predpostavke lahko potrdimo, saj smo pri doziranju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, s povprečno vlažnostjo glede na delež 64,47 %, porabili večjo količino energije, ki je potrebna za odstranitev vode kot pri doziranju lesne surovine, skladiščene 2 meseca, pri kateri je bila povprečna vlažnost glede na delež 85,28 %. Vpliv vhodne vlage ni tako zelo pomemben, če upoštevamo, da potrebujemo za odstranitev proste vode, ki se nahaja v celičnih lumnih, precej manjši del energije kot za preostali del vode, ki se nahaja v celičnih stenah.

Pri našem preizkusu se je na obročasti ter valjčni iverilnik doziral večinoma okrogel les in dobljeno iverje je predstavljalo približno 80-odstotni delež. Ostanek so predstavljali drobni lesni ostanki (žagovina). Tako smo dosegli manjše razlike v velikosti delcev. V literaturi (Modern Particleboard, 1977) avtor omenja, da manjšo variabilnost v velikosti delcev dosežemo pri iverjenju okroglega lesa (hlodovina) in celolesnih ostankih (krajniki, očelki, veje), saj lahko kontroliramo velikost delcev, medtem ko jih pri drobnih lesnih ostankih ne moremo.

Ugotovili smo, da končna izhodna vlažnost iverja po sušenju nima vpliva na količino energije, ki je potrebna za odstranitev vode. Pri povprečni izhodni vlažnosti 1,48 % smo sicer dobili večjo porabo energije kot pri povprečni izhodni vlažnosti 1,51 %, vendar so razlike zanemarljive. Ugotovili smo, da vsebnost vlage suhega iverja po sušenju ni pogojena z vhodno vlažnostjo svežega materiala pred sušenjem (slika 39).



Slika 39: Odvisnost vlažnosti suhega iverja od vhodne vlažnosti materiala

Tudi velikost in oblika iverja pomembno vpliva na proces sušenja. Variacije v velikosti in obliki iverja otežujejo proces sušenja. S povečevanjem velikosti iveri se povečuje strošek sušenja, kajti večje iveri zahtevajo večjo temperaturo za odstranjevanje vode. Pri našem preizkusu je bila količina energije, ki je potrebna za odstranitev vode, višja pri večji debelini iverja.

Pri iverjenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, smo dobili tako na obročastem kot na valjčnem iverilniku nekoliko večje debeline iverje kot pri iverjenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca. Ugotovili smo, da je prišlo do razlike predvsem zaradi razlik v povprečni vlažnosti, saj je bila vlažnost pri iverjenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca, višja za 12 %. Iz rezultatov lahko sklepamo, da je boljše odrezovanje oziroma iverjenje pri lesu z višjo vlažnostjo. Na razliko lahko vpliva delež listavcev in iglavcev na dan merjenja. Bolj grob ali finejši material je lahko povezan s stanjem nožev na dan merjenja.

Slika 2 nam prikazuje odvisnost porabe energentov od vlažnosti. Vidimo, da količina energije, ki je potrebna za odstranitev vode, narašča s padajočim odstotkom vlažnosti. Tudi pri našem poizkusu smo pri doziranju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev pri 64,47 % vlažnosti, porabili v 8 urah skupno 36,16 MJ/kg izparjene vode. Pri doziranju lesne surovine, skladiščene 2 meseca ter pri 85,28 % vlažnosti, pa smo porabili 31,68 MJ/kg izparjene vode.

6 SKLEPI

Na podlagi primerjave rezultatov opravljenih preizkusov lahko ugotovimo naslednje.

- Skupna poraba energentov (prah + plin v MW) ter povprečna obremenjenost gorilca je bila pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, manjša kot pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca.
- Vstopne temperature so bile pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, nižje. Razlike v izstopni temperaturi so bile minimalne. Gorilec se uravnava glede na izstopno temperaturo.
- Pri obeh preizkusih je bil približno enak masni vstop svežega iverja iz silosov v sušilnik, vendar je bil gorilec pri sušenju iverja z manjšo vsebnostjo vlage precej manj obremenjen. S tem pa so se lahko povečali masni iznosi (kapacitete) svežega iverja iz posameznega silosa v sušilnik.
- Razlike v vlažnostih iverja v posameznem silosu so bile pogojene z vlažnostjo hlodovine, obrezlin, kosovnih ostankov, ki so se v času preizkusa iverili.
- Pri sušenju iverja, dobljenega z iverjenjem lesne surovine, skladiščene 2 meseca, je bilo potrebno za sušenje na določen odstotek vlažnosti precej več vode izpareti.
- S padanjem vlažnosti vhodne lesne surovine se povečuje poraba energije, potrebna za izparitev 1 kg vode. Pri nižji izstopni vlažnosti suhega iverja po sušenju je potrebna za izparitev 1 kg vode večja energija.
- Končna izstopna vlažnost iverja po sušenju je odvisna od začetne vhodne vlažnosti svežega iverja. Pri višji začetni vhodni vlažnosti svežega materiala je tudi končna vlažnost suhega iverja po sušenju nekoliko višja.
- Količina energije, ki je potrebna za odstranitev vode, narašča s padajočim odstotkom vlažnosti.

7 POVZETEK

Ugotavljali smo vpliv različne vhodne vlažnosti surovine na porabo energentov sušenja iverja. Vpliv smo ugotavljali pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, ter nato podobno pri doziranju lesne surovine, skladiščene 2 meseca.

Sušili smo 3 različne vrste iverja različnih velikosti in oblik, ki so bila pred vstopom v sušilnik skladiščena v posameznem silosu. Največji delež je predstavljalo iverje, dobljeno z iverjenjem na obročastem iverilniku, sledil je nižji delež iverja, dobljenega z iverjenjem na valjčnem diskontinuiranem iverilniku. Najnižji delež so predstavljali drobni lesni ostanki, ki je bila žagovina.

Najprej je potekalo merjenje iznosa masnega pretoka svežega iverja iz silosov v sušilnik. Rezultate smo izrazili v kg (atro) suhega/h. Nato je sledilo merjenje porabe energentov in ostalih parametrov, ki so nas zanimali pri doziranju svežega iverja iz silosov v sušilnik, dobljenega z iverjenjem lesne surovine, skladiščene 12 mesecev ter z iverjenjem lesne surovine, skladiščene 2 meseca.

Rezultati so pokazali, da je skupna poraba energentov sušenja iverja (prah + zemeljski plin) pri sušenju lesne surovine, skladiščene 12 mesecev, manjša kot pri sušenju lesne surovine, skladiščene 2 meseca. Za sušenje je bilo potrebno izpareti precej manj vode. Povprečna obremenjenost gorilca je bila manjša, s tem pa se je lahko posledično povišal masni iznos svežega materiala iz silosov v sušilnik.

8 VIRI

Maloney M. T. 1977. Modern particleboard & Dry-Process Fiberboard Manufacturing. San Francisco, Miller Freeman: 282–303

Pirkamier S. 1998. Izbrana poglavja pri predmetu vlakninska in iverna lesna tvoriva. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za lesarstvo: 94–108

Elias R., Irle M. A. 1996. The acidity of stored Sitka spruce chips. Holz als Roh-und Werkstoff, : 65–68

Büttner. 2008. Operating instruction. Chip dryer. Gesellschaft für Trocknungs-und Umwelttechnik mbH, Germany: 25–35

Majaron M. T. 2008. Značilne neto kalorične vrednosti in emisijski faktorji za leto 2008. <http://rte.arso.gov.si/CommonCode/Modules/Znacilne%20NCV%20in%20EF.pdf> (25. februar 2009)

Medved S. 2009. Gradivo za predavanje pri predmetu vlakninska in iverna lesna tvoriva. <http://les.bf.uni-lj.si/predmetnik/univerzitetni-program/vlak-in-iverna-les-tvoriva-uni/gradiva/> (26. februar 2009)

Grudnik J. 2007. Vpliv velikosti iverja in delež dodanega lepila na stopnjo oblepljenosti. Diplomsko delo, Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 7–14

Statistični urad RS. 2009. Standardni kubični meter. http://www.stat.si/vodic_oglej.asp?ID=415&PodrocjeID=18 (15. januar 2009)

Geoplin plinovodi. 2009. Fosilno gorivo. <http://www.geoplin-plinovodi.si/MainFrame.asp?meni1=2&Jezik=> (1. april 2009)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za mentorstvo in pomoč pri izvedbi in zasnovi diplomske naloge. Za recenzijo se zahvaljujem izr. prof. dr. Željku Gorišku.

Zahvaljujem se podjetju LESNA Tovarna ivernih plošč Otiški Vrh, ki je omogočila delo v lastnem laboratoriju ter na sklopu priprave in sušenja iverja.

Za mentorstvo v podjetju LESNA Tovarna ivernih plošč Otiški Vrh se zahvaljujem g. Andreju Lahu.

Posebna zahvala družini, ki mi je omogočila študij, ter vsem ostalim, ki so mi bili v oporo in mi pomagali v času izdelave diplomske naloge.