

Topić M.R., Čuprić Lj.N., Dedić Đ.A., Petrović Lj.A. 2010. *An optimization of inner structures of the drying chamber of high temperature pneumatic drum drier*. Bulletin of the Faculty of Forestry 102: 101-116.

Радивоје М. Топић
Ненад Љ. Ћупрић
Александар Ђ. Дедић
Александар Љ. Петровић

UDK: 66.047.57:630*839.8
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1002101T

ОПТИМИЗАЦИЈА КОНСТРУКЦИЈЕ УНУТРАШЊЕ ИСПУНЕ КОМОРЕ ЗА СУШЕЊЕ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНЕ ПНЕУМАТСКО-ДОБОШАСТЕ СУШАРЕ

Извод: У раду се даје анализа утицаја параметара лопатица унутрашње испуне и коморе за сушење. Анализиран је утицај следећих параметара на процес рада сушаре: број, облик и ширина лопатица, степен попуњености материјалом попречног пресека коморе за сушење, број обртаја и пречник коморе за сушење. У аналитичком изразу за одређивање количине материјала која се налази на криволинијској лопатици у зависности од тренутног положаја лопатице при обртању бубња сушаре, уведен је нови члан у односу на израз за праволинијску лопатицу. Проширени аналитички израз је послужио и за оптимизацију.

Кључне речи: високо-температурна сушара, комора за сушење, лопатица, струготина

AN OPTIMIZATION OF INNER STRUCTURES OF THE DRYING CHAMBER OF HIGH TEMPERATURE PNEUMATIC DRUM DRIER

In this paper an analysis of the influence of parameters of flights from inner drying chamber structure and drying chamber is given. The influence of the following parameters on dryer working process is analyzed: number, shape and width of flights, level of coverage of cross-section drying chamber by material, rpm and drying chamber diameter. In the analytical expression for determining the amount of material seized by a curved flight, depending on the current position of the flight during drum rotation, a new parameter is introduced, compared to

др Радивоје М. Топић, ред. проф., Универзитет у Београду - Машински факултет, Београд
др Ненад Љ. Ћупрић, доцент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
(e-mail: nenad.cupric@sfb.rs или ncupric@gmail.com)

др Александар Ђ. Дедић, доцент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
Александар Љ. Петровић, ванредни проф., Машински факултет Универзитета у Београду,
Београд

expression for a rectilinear flight. The expanded analytical expression could be used for optimization.

Key words: high temperature drier, drying chamber, flight, wood chips

1. УВОД

Екологији је очигледно суђено да постане једна од најпопуларнијих научних дисциплина у новом веку. Последњих година се може приметити нова еколошка етика, која треба да се темељи на активном односу човека који своју околину гради и обнавља. Одрживи развој, енергетска ефикасност, коришћење обновљивих извора енергије и заштита околине су најактуелнија питања на почетку новог века. Светска комисија Уједињених нација за животну средину и развој, одрживи развој дефинише на следећи начин: „Задовољавање потреба садашње генерације тако да се не угрози могућност будућих генерација да задовоље своје потребе“.

Значајну улогу у изградњи новог приступа животної средини и процесу супституције фосилних горива обновљивим изворима енергије има и процес сушења, као важнија фаза у процесу припреме биомасе за енергетску употребу. Еколошке предности коришћења биомасе у облику брикета су вишеструке. Применом ових технологија проредило би се спаљивање депонија струготине, што би умањило загађење ваздуха и спречило уништавање органске материје у земљишту. Захваљујући ниском уделу влаге, килограм брикета може произвести око 5 kWh топлотне енергије. Енергија добијена сагоревањем 2 kg брикета еквивалентна је енергији добијеној сагоревањем 1 L лож уља. Низак садржај сумпора у биомаси од које се израђују брикети и слични производи, такође чини овај енергент еколошки погодним.

Потенцијал биомасе шумског порекла којим располаже наша земља, пружа основу за њено економски оправдано коришћење у енергетици. Укупни годишњи прираст шума Србије износи преко 9 милиона m^3 . Шумовитост Републике Србије је 29,1% и блиска је светском нивоу који износи 30% територије. Слична је шумовитости Румуније, Шпаније, Норвешке, Француске и Грчке, али је знатно нижа у односу на европски просек који износи 46%. Њен пораст се очекује првенствено у брдско-планинском подручју, где се становништво све мање бави интензивном пољопривредом (Banković *et al.*, 2009).

Повећање захтева за осушеним материјалом довело је до потребе да се време процеса сушења што је могуће више скрати. Поред тога, неопходно је минимизирати потрошњу и омогућити коришћење еколошки прихватљивих горива. Као технолошке могућности интензификације процеса сушења наводе се (Торіć, 1996):

1. повећање вредности почетне температуре агенса сушења;
2. повећање протока агенса сушења;
3. повећање брзине струјања агенса сушења;
4. смањење димензија и одговарајућа припрема материјала на почетку процеса сушења.

Повишење температуре агенса сушења на улазу у комору за сушење омогућава: смањење специфичне „потрошње“ топлотне енергије, смањење потребне количине агенса сушења, повећање учинака и смањење трошкова рада. Наведене предности за резултат имају смањење потрошње горива у процесу сушења и смањење трошкова за припрему и транспорт агенса сушења, остваривање већег оптерећења и већег искоришћења постројења за сушење.

На конструкционом плану, интензификација процеса сушења се постиже усавршавањем унутрашње конструкције коморе за сушење. Основни задатак коморе за сушење је обезбеђење процеса преноса топлоте између агенса сушења и материјала који се суши, одузимање одређене количине влаге при једном пролазу и одношење осушених честица материјала у циклон. Задатак се остварује избором режима процеса сушења и одговарајуће унутрашње конструкције испуне коморе за сушење.

На данашњем степену технолошког развоја за интензивну припрему биомасе, крмног биља, шећера, као и неорганичних материја као што су камене фракције различите гранулације, највише се примењује технологија високотемпературног сушења. Према устаљеној терминологији из литературе, високотемпературне сушаре се деле на два основна типа: пнеуматске и добошасте. Ова подела није суштински адекватна јер се на пример, приликом сушења крмног биља струја агенса сушења користи и за пнеуматски транспорт осушеног материјала до циклона где се агенс сушења и осушени материјал раздвајају. Због тога су ове добошасте сушаре уједно и пнеуматске. Савремене високотемпературне сушаре су најчешће, проточне, ротационе, пнеуматске, добошастог типа (Торіć, 1996).

Процес сушења код високо-температурних пнеуматско-добошастих сушара се састоји од периода одлежавања (период релативног мировања материјала на дну добоша и на лопатицама), и периода сипања материјала са лопатица унутрашње испуне коморе за сушење (слика 1). Сам процес сушења је сложен, нелинеаран термодинамички процес, са комплексним преносом енергије и кретањем честица материјала, који при том мења своје стање, дуж коморе за сушење (Кетр, 2004). Све то чини процес сушења изузетно тешким за моделирање и управљање конвенционалним методама. Pirello и сарадници (2002) предлажу примену Fuzzy технологије за управљање радом ових постројења, као и проверу процеса рада и управљања симулацијом.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Са аспекта оптимизације конструкције унутрашње испуне коморе за сушење, ефикасан рад сушаре се може постићи повећањем количине материјала која, у процесу сушења, пада са лопатица, продужењем времена сипања честица материјала са лопатица, као и обезбеђивањем услова при којима се сипање честица са лопатица обавља преко целог попречног пресека коморе за сушење, што омогућава

максимално искоришћење енергије агенса сушења који их омива (Торіć, Васиљевіć, 1996). Лопатице које чине унутрашњу испуну коморе за сушење, могу бити различитог облика: праволинијске, угаоне, криволинијске, у облику корпи, тестерасте и сл. На улазу у комору се користе спиралне лопатице, којима се сиров материјал велике влажности уводи у комору за сушење.

На основу истраживања Торіća (2006), изабрана је криволинијска лопатица, пошто у највећем броју случајева омогућава наведене циљеве када се суши струготина дрвета. Као материјал је коришћена влажна мешана пиљевина четинара и лишћара.

Јако мало истраживања директно везаних за добошасте сушаре је досада спроведено. Приликом дефинисања параметара добошастих сушара највише се користе емпиријски добијене релације (Кемр, 2004). Математички модел за ентропијску и ексергијску анализу процеса сушења у високо-температурним пнеуматско-добошастим сушарама дао је Торіć (1995, 1993).

Анализа управљања и утицаја параметара режима процеса и коморе за сушење је приказана у литератури (Торіć, 1996). Детаљан преглед истраживања у области високотемпературних сушара дао је Торіć (1996), а истраживања процеса кретања материјала у току процеса сушења Britton и сарадници (2006) и Lisboa и сарадници (2007).

У раду је приказано одређивање аналитичког модела који описује зависност површине попречног пресека материјала на криволинијској лопатици добошасте коморе за сушење, од њеног тренутног положаја, као и угла постављања лопатице, природног угла насипања материјала и осталих сигнификантних фактора*. Развијени аналитички модел представља основу за даљу оптимизацију процеса сушења у добошастим пнеуматским сушарама.

2.1. Фактори који утичу на ефикасност рада сушаре

Осим режима сушења, на равномерност влажности појединих честица материјала утичу ширина и облик лопатица, јер од њих зависи дебљина и дужина слоја (разуђеност каскаде) који сипа у ток агенса сушења. За испуњење услова којима се обезбеђује да се највећи број честица омива агенсом сушења, важну улогу имају (Торіć, 1996):

1. степен попуњености материјалом попречног пресека коморе за сушење;
2. број лопатица постављених по ободу поречног пресека коморе за сушење;
3. облик, ширина и остале карактеристике лопатица;
4. број обртаја коморе;
5. пречник коморе и ефективна дужина коморе за сушење;
6. физичке карактеристике материјала;
7. брзина и остале карактеристике агенса сушења.

* Све коришћене величине и њихове јединице мере дати су у табели 1.

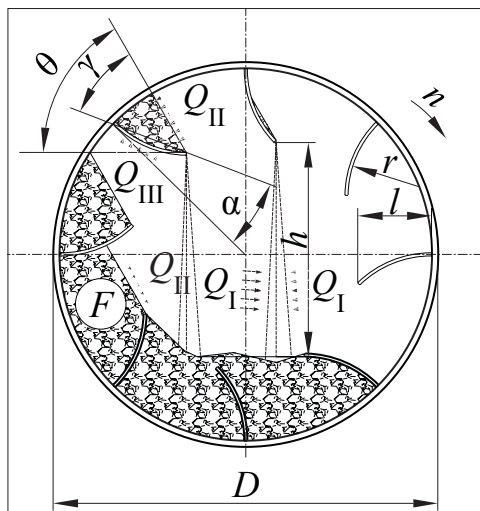
Табела 1. Коришћене величине и њихове јединице мере

Table 1. Used variables and their measurement units

Ознака Character	Назив Denomination	Јед. мере Measur. unit
B	ширина лопатице	m
C	однос тетиве лопатице и полупречника коморе за сушење ($C=B/R$)	
D	пречник коморе за сушење	m
F	површина честица материјала које су изложене агенсу сушења у процесу сипања са лопатица	m^2
h	висина падања материјала са лопатица	m
m	маса материјала	kg
n	број обртаја коморе за сушење у минути	$o \cdot min^{-1}$
R	полупречник коморе за сушење	m
S	површина попречног пресека материјала који се налази на лопатицама	m^2
V	запремина коморе за сушење	m^3
α	кофицијента прелажења топлоте, угао постављања лопатице	$W \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}, \circ$
β	централни угао сипања материјала са лопатица	\circ
γ	угао између површине материјала и тетиве лопатице	\circ
θ	угао природног насипања материјала	\circ
ϕ	угао трења материјала о лопатице	\circ
ψ	кофицијент попуњености попречног пресека коморе за сушење материјалом	\circ
ρ	густина материјала	$kg \cdot m^{-3}$
$\Delta\beta$	угао између корена лопатице и врха материјала на лопатици	\circ
Индекси		
\square_d	део запремине	
\square_v	запремински	
\square_k	укупно	
\square_{mk}	материјал у комори за сушење	
\square_m	материјал	
\square_{mo}	осушен материјал	
\square_{vm}	влажан материјал	
\square_s	спољни сегмент	
\square_t	троугао	
\square_u	унутрашњи	

2.1.1. Степен попуњености материјалом попречног пресека коморе за сушење

Са аспекта попуњености попречног пресека коморе за сушење материјалом, рад сушаре је нерационалан када је количина материјала у комори знатно већа од количине коју могу да захвате лопатике (Valušis, 1977), а што је приказано на слици 1.



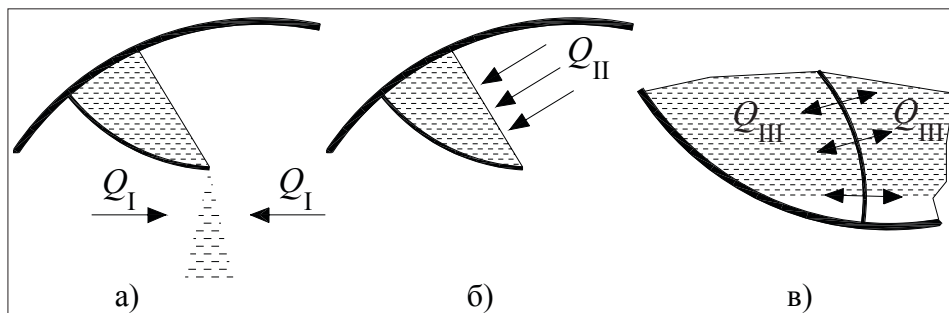
Слика 1. Расподела материјала на лопатичи по попречном пресеку коморе за сушење и карактеристичних параметара преноса топлоте између материјала и агенса сушења (Топић, 2008)

Figure 1. The distribution of material on the flights in the cross section of drying chamber and the characteristic parameters and heat transfer between the material and drying agent (Топић, 2008)

У том случају се спољна површина материјала који се налази на дну коморе, преко које се остварује контакт са агенсом сушења, само незнатно увећава. Спољна површина материјала представља део површине на коју се дозрачује енергија од агенса сушења и загрејаних огољених површина коморе за сушење. Истовремено са повећањем количине материјала се знатно смањује висина сипања честица материјала са лопатиче (h), као и површина честица које се омивају агенсом сушења у процесу конвективног преноса топлоте, као најутицајнијег начина преноса топлоте у процесу сушења.

У унутрашњости коморе за сушење топлота се материјалу предаје на три начина (Топић, Voronjес, 1984, 1985):

- конвекцијом на површине честица које падају са лопатиче (слика 2а);



Слика 2. Процес преноса топлоте у комори за сушење

Figure 2. Heat transfer process in the drying chamber

- конвекцијом и зрачењем на спољну површину материјала (слика 2б);
- кондукцијом (директним контактом) са загрејаним оголелим површинама лопатица или делова бубња (слика 2в).

Испитивања Михајлова су показала да је вредност Q_1 70 пута већа од Q_{II} , а 200 пута већа од Q_{III} (Valušis, 1977).

2.1.2. Параметри лопатице (облик, димензије и број)

Облик лопатица мора да обезбеди да се процес сипања материјала одвија симетрично у односу на вертикалну осу попречног пресека коморе за сушење и на тај начин да се омогући оптимално искоришћење енергије агенса сушења (Торић, Vasiljević, 1996).

По дужини коморе за сушење влажност материјала се смањује, а истовремено због контракције, се смањује и запремина материјала. Зато је оправдано, у комори за сушење, користити лопатице различите ширине и различитог профила. Лопатице по дужини коморе за сушење треба распоредити у кратким деоницама, дужине 500-600 mm, при чему деонице треба да су међусобно заротиране и да формирају „шаховски распоред” лопатица. Такође, на улазу коморе за сушење боље је користити већу ширину и веће растојање између лопатица, а удаљавањем од улаза, ширину лопатица и растојање између њих треба све више смањивати (Торић, 2006).

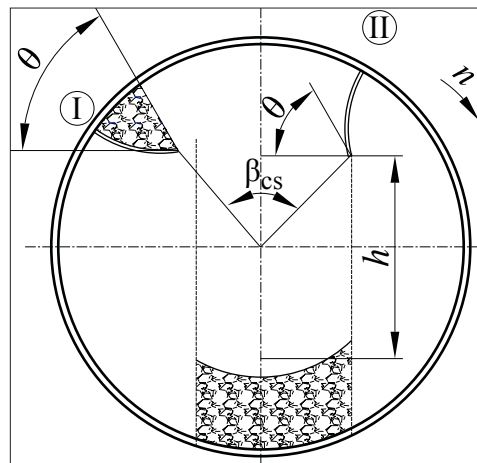
Лопатице треба да омогуће подизање целокупне количине материјала са дна коморе за сушење. Ширина лопатица у радијалном правцу треба да буде најмања могућа и одређује се из услова једнакости запремина материјала који се налази на дну коморе и материјала којег лопатице могу да подигну. Очигледно је да је ширина лопатица у тесној вези са степеном попуњености материјалом коморе за сушење. Већа количина материјала у комори захтева већу ширину лопатица.

Веза између угла постављања лопатица α , угла трења материјала о лопатице (карактеристика материјала) θ и централног угла сипања β_{CS} је дата изразом:

$$\beta_{CS} = \alpha + \theta. \dots \dots \dots (1)$$

Коришћењем ове релација се обезбеђује да сипање материјала почне у горњем делу коморе за сушење.

Правилан избора облика, ширине и угла постављања лопатица



Слика 3. Сипање честица материјала са лопатица и централни угао сипања, I и II лопатице

Figure 3. Material particulates pouring from flights & the central angle of pouring, between the first and the second flight

(Valušis, 1977), обезбеђује да почетак сипања честица материјала буде са леве стране вертикалне осе, а завршетак са њене десне стране и да се сипање обавља симетрично у односу на вертикалну осу коморе за сушење (слика 3).

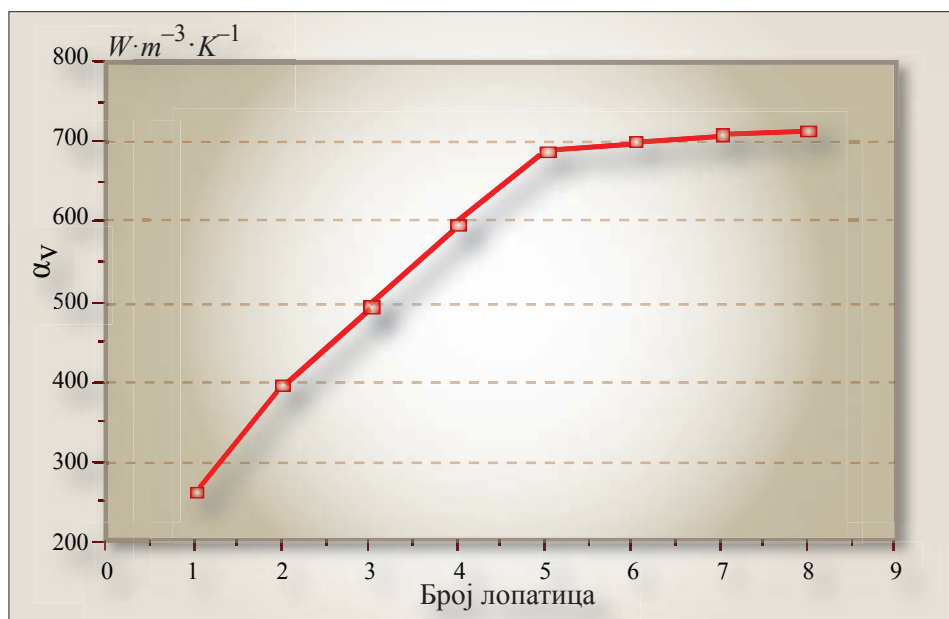
На овај начин се обезбеђује повећање вредности угла сипања β_{CS} и средње висине сипања h , у односу на случај несиметричног сипања материјала. Најповољнији резултати се постижу када је вредност централног угла сипања $\beta_{CS}=90^\circ$ (Valušis, 1977).

Код криволинијских лопатица смањење полуречника кривине лопатице, доприноси равномернијој расподели материјала по попречном пресеку коморе за сушење, у периоду сипања са лопатица и повећању вредности централног угла сипања β_{CS} (Valušis, 1977).

Са аспекта броја лопатица оправдано је поставити максимални број лопатица и растојање између њих дефинисати само из услова слободног премештања материјала. Утицај броја лопатица постављених по попречном пресеку коморе за сушење на вредност запреминског коефицијента прелажења топлоте, дефинисаног изразом:

$$\psi = 100 \cdot \frac{V_d}{V_k}, \dots \dots \dots (2)$$

који је приказан на слици 4.



Слика 4. Утицај броја лопатица на запремински коефицијент прелажења топлоте (Valušis, 1977)

Figure 4. The influence of the number of flights on the coefficient of heat transfer (Valušis, 1977)

Зависност показује да је минималан број лопатица 6. Ако је број лопатица 4, α_v се смањује за 20-30%. Повећање броја лопатица изнад 6 даје незнатан ефекат и оправдано је само тада када је то из неких других разлога неопходно, на пример за сушење веома дисперзних материјала у коморама великог пречника.

Lisboa и сарадници (2007) дају анализу перформанси добошасте сушаре у зависности од броја лопатица. Анализирана је искључиво праволинијска двосегментна лопатица, са независним углом између сегмената. Коришћене су аналитичке зависности разних аутора и упоређене са резултатима добијеним експериментом. Аутори су закључили да је за сушење прашкастих материјала, типа вештачког ђубрива, најповољније резултате дала комора са седам лопатица и степеном попуњености од 16,0%.

2.1.3. Параметри коморе за сушење

Степен попуњености попречног пресека коморе за сушење ψ представља однос запремине материјала V_d и запремине коморе V_k изражен у процентима и дефинише се изразом:

$$\psi = 100 \cdot \frac{V_d}{V_k} \dots \dots \dots (3)$$

Ако се има у виду да је маса материјала m_{mk} у комори, чија је густина ρ_m дефинисана изразом:

$$m_{mk} = \psi \cdot \rho_m \cdot V_k, \dots \dots \dots (4)$$

добија се да је

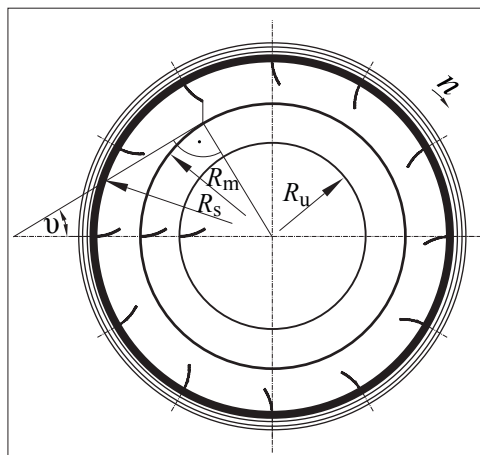
$$V_d = \frac{m_{mk}}{\rho_m} \dots \dots \dots (5)$$

Према препорукама у литератури, степен попуњености коморе за сушење у износи од 3-15%, а најчешће је у распону од 8-12 %. Што се тиче његове апсолутне вредности, она мора бити у тесној вези са бројем, обликом и дужином лопатица и режимом сушења.

Количина материјала m_{mk} се лако одређује експериментом, међутим тешкоће се јављају при дефинисању густине материјала, чија се вредност у процесу сушења мења. За практичне прорачуне узима се средња вредност густине влажног и осушеног материјала, односно:

$$\rho_m = \frac{\rho_{vm} + \rho_{om}}{2} \dots \dots \dots (6)$$

Код вишепролазних комора за сушење (слика 5) међупростор између цилиндара се најбоље искористи када се обезбеди сипање материјала по обе стране унутрашњег цилиндра (Severnjov *et al.*, 1980). Услов да се то постигне је да је угао нагиба тангенте у средњој тачки сипања материјала с лопатица на спољну површину унутрашњег цилиндра, једнак углу трења материјала о зид коморе за сушење ϕ .



Слика 5. Услов за сипање материјала по обе стране унутрашњег цилиндра
Figure 5. The condition for material falling on both sides of the inner cylinder

Број обртаја и пречник коморе за сушење, такође, утичу на интензитет процеса сушења. У општем случају број обртаја коморе за сушење је дефинисан изразом:

$$n < \sqrt{\frac{g}{4 \cdot \pi^2 \cdot R}} \dots \dots \dots (7)$$

Неједначина (7) показује, до које границе је могуће повећати број обртаја коморе за сушење при датом полупречнику коморе, или, обрнуто, полупречник при датом броју обртаја.

Повећање интензитета процеса сушења је могуће повећањем вредности броја обртаја и полупречника коморе за сушење, јер се повећава трајање периода сипања материјала, а смањује се трајање периода одлежавања. Међутим, повећање вредности броја

обртаја и полупречника коморе за сушење доводи до повећања центрифугалних сила, и при одређеној вредности материјал престаје да сипа са лопатица и технолошки процес рада се нарушава. Због тога се, имајући у виду конструкционе параметре коморе за сушење, узима три пута мања вредност од вредности добијене из израза (7) (Valušis, 1977, Severnjov *et al.*, 1980).

3. АНАЛИТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОЛИЧИНЕ МАТЕРИЈАЛА НА ЛОПАТИЦИ

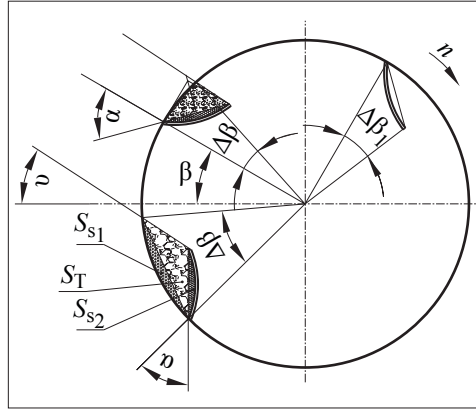
У литератури се може наћи велики број аналитичких модела који су предложени за одређивање параметара лопатица и количине материјала које оне могу да прихвате. Преглед најчешће коришћених модела је дат у (Lee, Sheehan, 2010). Такође, предложен је нови геометријски модел за двосегментне праволинијске лопатице који је при поређењу са експерименталним резултатима дао задовољавајуће резултате.

Аналитички модел, приказан од стране Severnjov-а и сарадника (1980), послужио је као полазна основа за развој новог геометријског аналитичког модела за одређивање количине материјала на криволинијским лопатицама. Површина попречног пресека материјала, који се налази на криволинијским лопатицама, дефинисана је изразом (Торић, 2006):

$$S_m = S_{\Gamma} + S_{S_1} + S_{S_2} = C \cdot R^2 \cdot \sin \frac{\Delta\beta}{2} \cdot \cos \left(\frac{\Delta\beta}{2} + \alpha \right) + \frac{R^2}{2} \cdot \left(\frac{\pi \Delta\beta}{180} - \sin \beta \right) +$$

$$+ \frac{C^2 \cdot R^2}{8 \cos^2(90-\alpha)} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2 \cdot \alpha}{180} - \sin 2 \cdot \alpha \right), \quad (8)$$

и представља збир површина троугла, сегмента S_T , S_{S_1} и S_{S_2} (слика 6). Према препорукама Severnјова и сарадника (1980), вредности бездимензионог параметра лопатице C у изразу (8) је у границама 0,2-0,4. Прва два члана на десној страни израза (8) се односе на праволинијску лопатицу (Severnјов *et al.*, 1980), а трећи члан се додаје када се ради о криволинијској лопатици (Торіћ, 2006). Из истог израза (8) запажа се да је запремина материјала на лопатици променљива величина у току обртања коморе за сушење, а дефинисана је зависношћу $S_m = f(C, R, \Delta\beta, \alpha)$.



Слика 6. Површине које дефинишу количину материјала на лопатицама
 Figure 6. Areas that define amount of material on the flights

Угао између корена лопатице и врха материјала на лопатици је дефинисан изразом (Топић, 2006):

$$\Delta\beta = \theta - \beta + \arcsin \left\{ \sqrt{C^2 - 2 \cdot C \cdot \cos \alpha + 1} \cdot \sin \left[\beta + \arctg \frac{C \cdot \sin \alpha}{1 - C \cdot \cos \alpha} - \theta \right] \right\}, \dots \quad (9)$$

или зависношћу $\Delta\beta = f(\theta, \alpha, \beta, C)$.

Израз (9) је могуће написати и у облику:

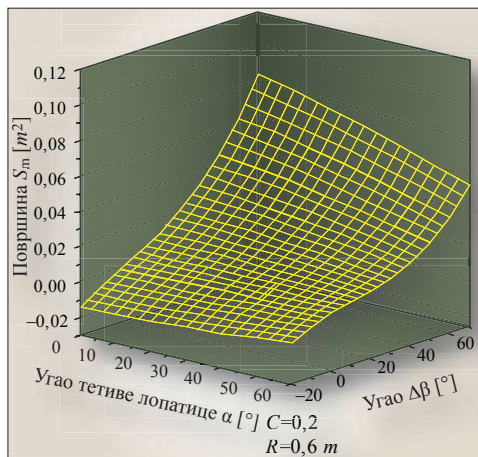
$$\Delta\beta = \theta - \beta + \arcsin \left\{ \sqrt{C^2 - 2 \cdot C \cdot \cos \alpha + 1} \cdot \sin \left[\beta + \arcsin \frac{C \cdot \sin \alpha}{\sqrt{C^2 - 2 \cdot C \cdot \cos \alpha + 1}} - \theta \right] \right\}, \dots \quad (10)$$

4. ДИСКУСИЈА

На слици 7 је приказан утицај угла постављања криволинијске лопатице (α) на количину материјала на лопатици S_m при вредности односа тетиве и полупречника коморе за сушење од $C=0,2$, користећи израз (8).

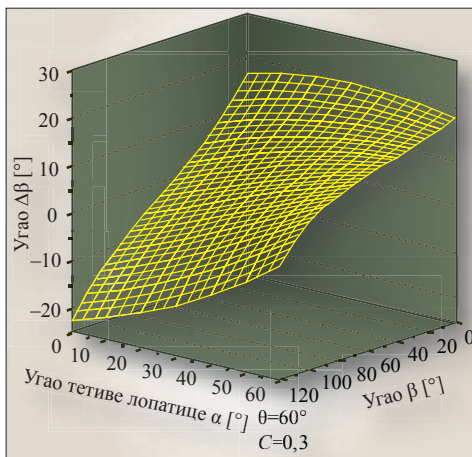
Очигледно је да пораст угла постављања лопатице α , при малим вредностима угла $\Delta\beta$ не утиче значајно на количину материјала на лопатици (слика 7), док се при већим вредностима угла $\Delta\beta$ количина материјала на лопатици знатно мења. Уочава се, такође, и други карактер криве при малим вредностима $\Delta\beta$ у односу на криве за веће углове $\Delta\beta$.

За криволинијски облик лопатице, ширина, тетива лопатице ($C^2 \cdot R^2$) утиче са квадратом на запремину материјала, док повећање угла α доводи до повећања вредности површине, односно запремине материјала.



Слика 7. Утицај угла постављања лопатиче на количину материјала на лопатичи

Figure 7. The influence of the flight setting angle on amount of material on flight



Слика 8. Утицај угла постављања криволинијске лопатиче на вредност угла Delta beta

Figure 8. The influence of the setting angle of curved flight on value of the angle Delta beta



Слика 9. Оптимални контакт материјала и агенса сушења

Figure 9. Optimal contact between the material and drying agent

На слици 8 је приказан утицај угла постављања (α) криволинијске лопатице и угла положаја лопатице (β) на вредност угла $\Delta\beta$.

Промена вредности угла $\Delta\beta$ значи и промену количине материјала на лопатици у периоду сипања.

У случају праволинијске лопатице запремина материјала, угао $\Delta\beta$ и полупречник коморе за сушење су пропорционални, док повећање углова α и β доводи до смањења вредности запремине материјала на лопатици.

Приказани изрази (8) и (9), омогућавају темељнију оптимизацију количине материјала која сипа са лопатица са аспекта параметара материјала ($\theta, \phi, \Delta\beta$), параметара коморе за сушење (n, R, ψ) и параметара лопатице ($\alpha, \beta, B=C \cdot R$). Наведене реалције, такође, омогућавају да се одреде положаји у којима почиње и у којима се завршава процес сипања, када се лопатица потпуно испразни. На слици 9 је приказан оптималан период сипања, што подразумева оптималну вредност угла постављања лопатица, избора броја обртаја коморе за сушење, степена попуњености и осталих наведених фактора, а као резултат даје симетрично сипање по целом попречном пресеку коморе и оптималан пренос топлоте и материје, добијен на инсталацији која је послужила за експерименталну проверу датог аналитичког модела.

5. ЗАКЉУЧАК

Са аспекта оптимизације конструкције унутрашње испуне коморе за сушење треба изабрати такве димензије, број и облик лопатица и услове који обезбеђују оптималну количину материјала која у процесу сушења пада са лопатица, са аспекта повећања времена сипања честица материјала са лопатица и обезбеђења да се највећи број честица које падају са лопатица омивају агенсом сушења.

Треба имати у виду вредност коефицијента прелажења топлоте α при усвајању броја лопатица по попречном пресеку коморе за сушење.

Зависност површине материјала на лопатици од угла $\Delta\beta$, омогућава да се одреди моменат када лопатица, било праволинијска или криволинијска, постане на крају процеса сипања материјала празна. За анализу количине материјала на криволинијској лопатици уведен је нови члан у изразу за површину или запремину материјала праволинијске лопатице.

Променом угла $\Delta\beta$, могуће је извршити анализу промене количине материјала на лопатици у току периода сипања са аспекта врсте материјала, положаја лопатице, угла постављања лопатице, димензија коморе за сушење или лопатице.

Приказани дијаграми омогућавају да се за дату вредност угла постављања лопатице (α), параметра лопатице (C) и угла положаја лопатице (β), може одредити вредност површине материјала на лопатици S_m .

Запремина материјала на лопатицама за праволинијски облик лопатице одговара углу $\gamma=90+\theta$.

Најповољније је такво оптерећење материјалом при којем материјал почиње да сипа с лопатица у крајњем случају при вредности почетног угла сипања $\beta_p=0$ или $\gamma=\alpha+\theta$.

Само при испуњењу ових услова средња висина падања материјала са лопатица h за дату комору ће бити највећа, што значи да ће и контакт материјала са агенсом сушења бити најбољи.

ЛИТЕРАТУРА

- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N., Šljukić B., Obradović S. (2009): *Šumski fond Republike Srbije - stanje i problemi*, Glasnik Šumarskog fakulteta 100, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (7-30)
- Britton P.F., Sheehan M.E., Schneider P.A. (2006): *A Physical Description of Solids Transport in Flighted Rotary Dryers*, Powder Technology № 165 (153-160)
- Валушич В.Ј. (1977): *Основи високотемпературној сушки кормов „Колос“*, Москва
- Кемп I.C. (2004): *Comparision of Particle Motion Correlations for Cascading Rotary Dryers*, Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004), Vol. B, Sao Paulo (790-797)
- Lee A., Sheehan M.E. (2010): *Development of a Geometric Flight Unloading Model for Flighted Rotary Dryers*, Powder Technology № 198 (395-403)
- Lisboa M.H., Vitorino D.S., Delaiba W.B., Finzer J.R.D., Barrozo M.A.S. (2007): *A Study of Particle Motion in Rotary Dryer*, Brazilian Journal of Chemical Engineering № 03, Vol. 24 (365-374)
- Pirrello L., Yliniemi L., Leiviska K., Galluzzo M. (2002): *Self-tuning fuzzy control of a rotary dryer*, Proc. of The Triennial World Congress, IFAC, Barcelona
- Severnјov M.M., Terpilovskij F.I., Majonov V.V. (1980): *Mehanjičeskoje obezvoživanјije i termičeskaja suška visokovlačnih kormov „Kolos“*, Moskva
- Топић М.Р. (1996): *Анализа, оптимизација и моделирање процеса и решења високотемпературског сушења*, монографија, Машински факултет, Београд
- Топић М.Р. (1996): *Automatization of High Temperature Drying Plants for Forage Drying*, XIII Proceedings of International Congress on Electricity Applications, Volume 2, FDI 65-72, Birmingham
- Топић М.Р. (1995): *Mathematical Model for Exergy Analysis of Drying Plants*, Drying Technology and International Journal Marcel Dekker 1/2, Vol.13, New York (437-445)
- Топић М.Р. (2008): *Optimization of internal filling of a drying chamber of a high temperature pneumatic drum - like dryer from the viewpoint of the amount of material*, Proceedings of the 16th International Drying Symposium, Mumbai (702-705)
- Топић М.Р. (2006): *Razvoj rešenja i unapređenje tehnologije za visokotemperaturno sušenje strugotine drveta*, Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije, Projekat NPEE 263004 - Nacionalni program energetske efikasnosti, Beograd

- Topić M.R., Vasiljević M.B. (1996): *Modeling and optimization of the pneumatic rotary high temperature dryer inner structure*, Proceedings of the 10th International Drying Symposium, Volume A, Krakow
- Topić M.R., Voronjec D. (1984): *Eksergetska analiza visokotemperatura turskih sušara*, VII jugoslovenski simpozijum termičara, Zbornik radova, Ohrid (413 - 420)
- Topić M.R., Voronjec D. (1985): *Zavisnost kapaciteta sušare od početne temperature agensa sušenja*, Teromotehnika 4, god. XI, Beograd (255-261)

Radivoje M. Topić
Nenad Lj. Čuprić
Aleksandar Đ. Dedić
Aleksandar Lj. Petrović

AN OPTIMIZATION OF INNER STRUCTURES OF THE DRYING CHAMBER OF HIGH TEMPERATURE PNEUMATIC DRUM DRIER

Summary

In the process of substitution of fossil fuels with renewable energy based on biomass, the drying process has an important role, as an important phase of preparing biomass for energy use. Drying is an integral part of the process of briquettes production and the other similar products made of wood chips and other wood waste. In this way obtained fuel has high energy content, primarily due to low moisture content. The energy generated by burning 2 kg of briquettes is equivalent to the energy generated by burning 1 liters of heating oil, with very low sulfur content.

High temperature pneumatic drum driers are very widely used for preparation of material in agriculture and industry. They are used for intensive preparation of biomass, fodder, sugar etc. Also they are used for preparation of inorganic materials such as powder materials preparation in fertilizers production process.

In order to allow as much as possible intense drying and shorten the time of the drying process, using the minimum of environmentally friendly fuels, it is necessary to increase the value of initial temperature of the drying agent and to increase the agent throughput and velocity. Also, it is necessary to do additional preparation of the drying material and as much as possible, to reduce its dimensions.

In addition, it is necessary to improve interior structure of a drying chamber. The main task of drying chamber is to provide a process of heat transfer between drying agent and drying material, taking away a certain amount of moisture. This process consists of the period of stationary (period when material relatively stays still at the bottom of the drum and the flights) and the period of pouring material from the flights of drying chamber inner structure (Figure 1). Furthermore, drying agent current also provides transport of dry particulate materials into a cyclone. In order to realize effectively these tasks, the selection of the proper regime of the drying process and the proper drying chamber inner structure have to be done.

The drying process in the high temperature pneumatic drum dryers is complex, nonlinear thermodynamic process, with complex energy transfer and movement of particulate materials, thereby change their condition, along the drying chamber. This complex process deserves significant research compared to the so far conducted. This is one of the main reasons why in defining

the parameters of drum dryers are in use primarily empirically derived analytical relations, which are not sufficient.

The ultimate goal is to ensure the efficient operation of dryer, by using optimization of the inner structure of a drying chamber. This is achieved by increasing the amount of material seized by the flight, by extending the time of pouring particulate material from the flights and providing conditions under which the pouring particles from the flights is carried out through the whole cross section of drying chamber, which provides maximum energy efficiency of the drying agent flowing around particles.

The analytical model (9) and the dependence on the angle between the flight base and the tip of the material on flight (10), presented in this paper, defined dependence on the amount of material carried by curved flight of drum drying chamber from its current position, and flight setting angle, drying material natural angle of repose and the other significant factors. As a basis the analytical model developed for rectilinear blade was used, taken from literature.

Based on the developed analytical model (9) values was calculated and graphically displayed dependence of the influence of curved flight setting angle (α) on amount of material on flight S_m when ratio between the chord and radius of drying chamber is $C=0.2$. Change of the value of the angle $\Delta\beta$, also means changing the amount of material on the flight during pouring. Dependence of the angle between the flight base and the tip of the material on flight $\Delta\beta$ for analyzed material (mixed moist woodchips) with natural angle of repose $\nu=60^\circ$ and $C=0.3$ is also graphically displayed.

In these way defined relations (9) and (10) allow systematic optimization of amount of material that poured from the flights in terms of material parameters (θ , φ , $\Delta\beta$) drying chamber parameters (n , R , ψ) and flight parameters (α , β , $B=C\cdot R$).