

## Приказ концепције решења постројења за добијање биогорива у облику сечке потребне за рад демо СНР постројења у предузећу “АГРОСАВА” из Шимановаца

АЛЕКСАНДАР Ђ. ДЕДИЋ, Универзитет у Београду,  
Шумарски факултет, Београд

Стручни рад  
UDC: 620.95:662.63

*У раду су према прорачуну производности сечке која је потребна за гасификацију у демо СНР постројењу ради когенерације електричне и топлотне енергије, анализирани иверачи према: врсти мобилности, погону за иверање и начину допремања сечке до места иверања. Постројењем је планирано добијање електричне енергије снаге 200 kWe. У разматрање су прво узети иверачи средњег капацитета који углавном служе за иверање грањевине и лишћа које остаје након сече засада по углавном равничарским пределима и парковима. Касније су дате упоредне карактеристике највећа три светска произвођача машина за производњу сечке знатно већих количина (до 30 m<sup>3</sup>/h). Ови иверачи нарочито су погодни за већу густину засада и стациониране базе на које би се грањевина доносила и иверала. На крају су анализирани типови конвективних сушара које би се успешно користиле за сушење сечке (добошасте и пнеуматске сушаре) и на основу прорачуна предложени су типови сушара које се могу набавити на домаћем тржишту.*

**Кључне речи:** сечка, иверач, сушара, СНР постројење

### 1. УВОД

Годишњи енергетски потенцијал биомасе у Републици Србији износи око 2,7 Mten према наводима Акционог плана за биомасу од 2010. до 2012. год [1].

Енергетски потенцијал биомасе од шумарства и дрвне индустрије (сеча дрвећа и остаци од дрвећа произведени у току примарне и/или индустријске прераде дрвета) се процењује на приближно 1,0 Mten, док око 1,7 Mten потиче од пољопривредне биомасе (пољопривредног отпада и остатака из ратарства, укључујући и течно стајско ђубриво).

Како је укупна годишња потрошња примарне енергије у Србији у 2009. год била 16 Mten; из овога се јасно види да биомаса која потиче из шумарства и дрвне индустрије може покрити чак 6,25% примарне енергије у Србији [2], уколико би се она рационално и адекватно користила.

---

Адреса аутора: Александар Дедић, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Београд, Кнеза Вишеслава 2

Рад примљен: 08.04.2014.

Рад прихваћен: 04.06.2014.

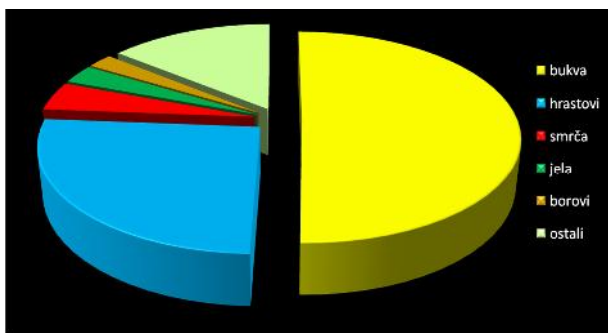
### 2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ШУМСКОГ ГАЗДИНСТВА "СРЕМСКА МИТРОВИЦА" И ШУМСКЕ УПРАВЕ "КУПИНОВО"

У Србији се око 30% њене укупне територије налази под шумом и она спада у ред средње шумовитих земаља. Најзаступљеније врсте листопадних дрвећа су: буква (преко 40%), топола и храст; док су најзаступљенији представници четинара: црни бор и смрека (слика 1). Удео у посеченој дрвној маси код лишћара 90,1%, а код четинара свега 9,9% [3].

Јавно предузеће "Војводинашуме" газдује са 130 589,26 ha шума и шумског земљишта, од чега је 42 644,34 ha је под шумским газдинством "Сремска Митровица". Шуме које се налазе на тим подручјима се састоје од тврдих лишћара (храста лужњака и граба) и меких листопадних врста (тополе и врбе). Планирани обим бруто за сечење је око 200 000 m<sup>3</sup> годишње. Од укупне количине која се подвргава сечењу, 50% се односи на тврде листопадне врсте а 50% на меке листопадне врсте. Радни услови у равничарским подручјима значајно разликују од услова који карактеришу планинске услове, па имплементација технологија сече је

знатно једноставнија. Технолошки процес производње је на високом нивоу, савремени алати који представљају висок ниво механизације у шумаству се користе (комбајн-форвардер-стругач). Продуктивност од комбајна иде до 34 m<sup>3</sup>/h [3].

Један од највећих подручја под засадима клонова топола се налази на територији шумске управе "Купиново", где се предвиђа лоцирање демо СНР постројења. Услови за раст тополе су веома повољни што се одражава на принос биомасе. Између осталог, ово је био један од разлога за лоцирање постројења у близини плантаже.



Слика 1 - Заступљеност појединих врста дрвећа у шумама Републике Србије

Другим речима, укупна количина дрвног остатка из газдовања шумама шумске управе "Купиново" може бити потенцијална сировина за СНР постројење. Континуирано снабдевање сировином ће бити обезбеђено и трошкови транспорта који узимају значајан део у укупној цени производње сировине ће бити смањени. Након сече топола, значајна количина дрвног остатка који је потребно да се уклони како би се покренуо нови циклус производње остаје у шумама. Ова количина дрвног остатка се даје локалном становништву за одређену накнаду, а у неким случајевима и без накнаде, али уз услов његовог уклањања са терена. Међутим, у областима где не постоји интерес међу локалним становништвом за дрвним остатком, менаџмент јединица шумарства мора запослити своју радну снагу и механизацију за уклањање дрвног остатка (прикупљање и спаљивање), који захтева одређена финансијска средства. С тога би набавна цена ове сировине требало да буде ниска.

Коришћење укупне дрвне запремине је оправдано у засадима меких лишћара, с обзиром да је то засад где је успостављен нови производни циклус. Осим тога, чињеница је да се већина хранљивих материја налази у листовима и да ће лишће које остане након сече у будућности напунити земљу са хранљивим материјама.

Међутим, користећи укупан обим дрвета у природним састојинама, биолошка стабилност екосистема може бити умањена. Стога је неопходно да

се остави део остатака након сече, како би се акумулирале минералне материје и пепео који учествују у процесима педогенетизације и хумификације, и одржавају плодност земљишта.

### 3. ПРОРАЧУН ПОТРЕБНЕ ПРОИЗВОДНОСТИ СЕЧКЕ

На основу анализе спроведене на територији газдовања шумама газдинства "Сремска Митровица", може се закључити да је реална количина дрвног остатка који се може користити за енергетске потребе 28 479,1 m<sup>3</sup>/god. Количина шумског остатка која долази од меких лишћара је 65%, а то потиче углавном од засада тополе. Топола је врста дрвета која садржи већу количину влаге у односу на тврде листопадне врсте, када је у сировом стању. Овај садржај влаге је посебно изражен током летње сече, па је са тог аспекта зимска сеча повољнија јер је садржај влаге нижи, а услед тога удео суве материје виши.

Према Извештају са пројекта ТР 33049 [4] потребно је 1752 t отпатка годишње за континуиран рад демо СНР постројења снаге 200kWe, које се налази у предузећу "Агросава" из Шимановаца. Имајући у виду средњу насипну специфичну запремину сечке од 2,44 m<sup>3</sup>/t, потребе за сечком преведено у запреминску меру износе 4275 m<sup>3</sup>. Видимо да је ова потребна количина сечке за рад демо-постројења око седам пута мања од расположивог дрвног остатка који се може користити за енергетске потребе на територији газдовања шумама газдинства "Сремска Митровица". Ово значи да се сва количина сечке може прибавити из поменутог шумског газдинства. За 180 радних дана секача годишње треба прикупити дневно бар 23,75 m<sup>3</sup> дрвног отпатка што значи да је за ефективних 6 часова рада дневно потребно око 4 m<sup>3</sup>/h сечке. Ако се узме да обим сече на једном просечном шумском етату око 55000 m<sup>3</sup> и усвоји да на грањевину отпада 10-12%, при коефицијенту испуне 0,7 да би добили метражу просторног дрвета, реално би то представљало 5000 m<sup>3</sup> грањевине из које би се добило око 500 m<sup>3</sup> сечке. Имајући у виду поменути количину сечке од 4275 m<sup>3</sup> годишње за континуиран рад нашег демо СНР постројења требало би сакупити грањевину и остали отпад са око 8-9 просечних шумских етата [5].

Укупни директни трошкови производње за 1m<sup>3</sup> дрвог отпатка износили би око 11,44 EUR [3]. Транспортни трошкови за дрва на територији газдовања шумама управе "Купиново" се обрачунава за вучу воза који се састоји од камиона или трактора типа МТЗ 820 и два вагона са носивошћу од 7 t. Употреба на запремину простора је око 2,35 пута

боља када се превози сечка у односу на превоз компактног дрвног остатка. Ови подаци варирају у зависности од: гранулације и врсте дрвета, влаге у њему итд. Комуналне трошкове би требало придодати овом обрачу. Разматрања око одлагања сечке и концепције избора СНР постројења дато је у радовима [6, 7, 8].

#### 4. ИЗБОР ИВЕРАЧА СА КАРАКТЕРИСТИКАМА

За уситњавање дрвног отпатка и добијање сечке користе се машине иверачи или како их још називају биодробилнице. На тржишту постоји широка понуда ових машина, а основна разлика је у:

- начину допремања до места иверања (сопствени погон, вучење или ношење),
- врсти мобилности (путем пнеуматика или гусеничар)
- погону за иверање (зависан или независан).

Приликом избора иверача треба водити рачуна о: конфигурацији терена, густини засада, максималном пречнику сасечене грањевине, већ постојећим путевима и отварању нових за потребе сече, итд.

Све ово наведено као и цена транспорта сечке односно грањевине у зависности од места њеног коришћења, утиче на избор саме концепције њеног добијања.



Слика 2 - Привремена био-база за време шумске сече

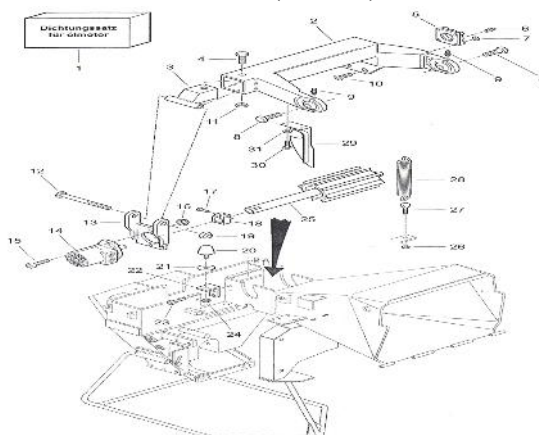
Основна дилема је да ли сечку производи директно на месту настајања грањевине (након сече) или гране транспортовати до неке био-базе (слика 2), где би се налазили стационарни иверачи већег капацитета. Финансијске могућности за куповином само једног иверача, диктирале су избор стационарног иверача и транспортовање грањевине до био-базе. За иверање грањевине и лишћа које остаје након сече засада по углавном равничарским пределима и парковима, најприкладнији су иверачи средњег капацитета и производности сечке какве производи немачка фирма "Shliesing"



Слика 3 - Мобилни иверач фирме Shliesing, тип 200 MX

(www.holzerkleinerer.de). Постоје више типова ових иверача у зависности од: максималног пречника трупца који се може иверати, производности сечке, спољашњих габарита, снаге мотора и сл. Ради се о мобилним иверачима који допремају до места иверања путем трактора или камиона.

Ако је у питању вуча иверач представља једноосовинску (слика 3) или двоосовинску приколицу, има ознаку MX и засебан агрегат који је углавном дизел мотор, мада може бити гасни или хидраулични мотор код модела мање снаге (слика 4).



Слика 4 - Обртни хидраулични мотор (14) са пратећом опремом за извођење помоћног кретања погонских ваљака (25)



Слика 5 - Мобилни иверач фирме mun 300MX, Crawler

Иверач може бити погођен од стране трактора или камиона, преко Карданске спојнице, и тада носи ознаку ZX или U (унимог).

У овом случају постоји варијанта ослањања у три тачке на задњи део трактора (тип ZX) или у две тачке на предњи део камиона (тип U), тако да је у сваком случају неопходно присуство камиона или трактора (слика 5) током рада. За неприступачне



Слика 6 - Иверач са гусеницама фирме Shliesing, Shliesing, mun 550 ZX r

терене са брежуљкастом конфигурацијом предлажу се иверачи гусеничари, слика 6, а за интензивнију производњу сечке предлажу се модели ознаке EX. Како је околина Шимановаца равничарска одакле би се допремала сечка за демо СНР постројење лоцирано у просторијама предузећа "Агросава", партиципанта и корисника пројекта, за потребе пројекта предлажу се следећи типови ових иверача (табела 1).

Табела 1. Типови иверача фирме "Shliesing"

Карактеристике иверача	Тип иверача		
	200 MX/ZX	220MX/ZX	300MX
Максимални пречник трупца (mm)	до 140	до 160	до 180
Пречник диска ножа (mm)	660	660	660
Гранулација сечке (mm)	до 30	до 35	до 37
Производност сечке (m <sup>3</sup> /h)	до 8	до 10	12-13
Врста и снага мотора (kW)	дизел; 16 и 21	дизел; 22 и 25,7	дизел; 25,7и 33,1
Димензије (дужина x ширина) (mm)	3440 x1600	3440 x1600	3340 x1750
Маса иверача (kg)	980	1250	1240-1280
Цена (EUR)	29000/18000	32000/20000	38000

На тржишту постоји више произвођача машина за производњу сечке знатно већих количина (табела 2). Ови иверачи нарочито су погодни за брдско планинске услове, као и за већу густину засада и стационарне базе на које би се грањевина доносила и иверала. Производе их углавном Немачке фирме: Heizomat, Bruks, и Jenz [9]. За снабдевање демо-постројења које се предвиђа на пројекту сечком фирма, Heizomat има у понуди

Табела 2. Поређење карактеристика машина за интензивну производњу сечке три најпознатија светска произвођача

Карактеристика	Произвођач и тип машине		
	Heizomat HM4-600	Bruks 805PT	Jens HM 14-800KTL
Пречник трупца (mm)	до 300	300– 450	270-360
Пречник чипа (mm)	15-30	15-40	до 40
Производност сечке (m <sup>3</sup> /h)	18-30	20-35	20-25
Потребна снага трактора (kW)	180	150-250	120-140
Цена(EUR)	124000 (са вијчаним транспортером)	172000 (са пнеуматским транспортом)	130000 (са краном за грањевину)

машину HM 4-600, са транспортовањем сечке вијчаним транспортером до оближњег складишта или подизањем сечке пнеуматским транспортом до камиона за утовар. "Bruksova" мобилна машина за производњу сечке је 805PT.

Она добија погон од трактора, и поред тога што производи сечку транспортује је до висине 4238 mm ради пуњења контејнера.

Поменуте машине за производњу сечке превазилазе годишње потребе за рад демо-постројења и могу се користити за: више СНР постројења или СНР постројење знатно веће снаге (до 2 MW), или за добијање сечке за неке друге потребе (брикетирање, пелетирање и сл.). Њихова цена је свакако висока за наше услове, али је и поузданост у раду велика. На светском тржишту постоје и уређаји индивидуалних кинеских произвођача за иверање пречника трупаца 150-200 mm. Гранулација добијене сечке је 3-5 mm, а њихова цена у зависности од типа је између 2000-5000 EUR. Производност сечке 2-4 m<sup>3</sup>/h. Погон је углавном електромотором снаге до 40 kW.

Уз континуиран рад три оваква уређаја може се остварити годишње и до 2 t сечке. Свакако да је квалитет ових уређаја и њихова поузданост у раду знатно нижа од претходно поменутих из Немачке. Како најважнији део сваке биодробилнице представља радно вретено са иверачем (ножем), од пресудног значаја је избор квалитетног овог радног дела машине. Уколико се то не изабере квалитетно, грађевина која се ивера би се често заглављивала односно нож који врши иверање би релативно често одлазио на сервис и оштрење.

Треба напоменути и да уколико прорачун динамичке чврстоће код ових иверача није ваљан може доћи и до напрснућа ножа или радног вретена приликом наилаaska на велику количину тврде грађевине са заосталим гвожђем у себи (нпр. ексерима и сл.).

## 5. ИЗБОР СУШАРЕ СА КАРАКТЕРИСТИКАМА

Сечку која у сировом стању зна да буде и до 90% апсолутне влажности потребно је осушити до коначне влажности од 10-15%, како би процес гасификације био ефикаснији. Типови конвективних сушара које би се успешно користиле за сушење сечке су: добошасте и пнеуматске сушаре.

Сам прорачун добошастих сушара базира се на одређивању следећих параметара сушења [10]:

1. Пречника добоша сушаре:

$$D = \frac{0,0188}{\sqrt{100 - \xi}} \cdot \sqrt{\dot{V}}, \quad (1)$$

где су:

$\xi$  - степен попуњености попречног пресека добоша са сечком

$\dot{V}$  - запремински проток агенса сушења на улазу у добош

$w$  - брзина гасова на улазу (2-3 m/s).

2. Средњег времена трајања процеса сушења сечке:

$$\tau = \frac{L}{2D \cdot n \cdot (\beta - \alpha \cdot \omega)}, \quad (2)$$

где су:

L - дужина добоша сушаре

n - бр. обраћаја добоша

$\beta$  - угао нагиба бубња

$\alpha$  - коефицијент прелажења топлоте

3. Снага потребна за обртање добоша бубња

$$P = 0.0013 \cdot D^3 \cdot L \cdot \rho \cdot n_{\max} \cdot \delta, \quad (3)$$

где су:

$\rho$  - густина сечке која се суши

$\delta$  - коефицијент снаге који зависи од врсте лопатичне испуне табеларно [10].

4) Степен попуњености попречног пресека коморе за сушење (добоша)

Овај параметар  $\xi$  представља однос запремине материјала  $V_d$  и запремине коморе  $V_k$  изражен у процентима и дефинише се изразом:

$$\xi = 100 \cdot \frac{V_d}{V_k} \quad (4)$$

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

$$m_{mk} = \xi \cdot \rho_m \cdot V_k, \quad (5)$$

добија се да је:

$$V_d = \frac{m_{mk}}{\rho_m} \quad (6)$$

Према препорукама у литератури, степен попуњености коморе за сушење 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  $\rho_m$ , чија се вредност у процесу сушења мења. За практичне прорачуне узима се средња вредност густине влажног и осушеног материјала, односно:

$$\rho_m = \frac{\rho_{vm} + \rho_{om}}{2} \quad (7)$$

Такође, битно је обезбедити да се процес сипања материјала одвија симетрично у односу на

вертикалну осу по попречног пресека коморе за сушење и на тај начин да се омогући оптимално искоришћење енергије агенса сушења [11]. Произвођачи сушара за дрвну сечку које се могу наћи на домаћем тржишту су фирме: Energy Unlimited Inc. ([www.energyunlimitedinc.com](http://www.energyunlimitedinc.com)), Dineffebacher ([www.dineffebacher.de](http://www.dineffebacher.de)), и Changzhou No. 2 Drying Equipment Factory Co. (<http://cn2drying.en.made-in-china.com>).



Слика 7 – Изглед добошасте сушаре за добијање сувог дрвеног чипса предузећа “Термис“ Књажевац

Карактеристике поменуте сушаре биле би:

капацитет .....	400-600kg/h
влажне сечке ( добија се 250-400kg/h суве)	
крупноћа сечке .....	2-5mm
апсолутна влажност сечке ....	до 50%
након сушења .....	<12%
температура ваздуха.....	180-250°C
димензије бубња су:	
- пречник .....	650mm
- дужина .....	10m
снаге електромотора су:	
- за погон бубња .....	3kW
- за погон вентилатора.....	5,5kW
- за погон изузимача сечке.....	0,75kW

Цена добошастих сушара је прилично висока, али оне обезбеђују потпуно, квалитетно и запремински уједначено сушење.

Предузеће “Термис“ Књажевац у понуди има и пнеуматске сушаре. Код ових сушара процес сушења краће траје, али се дешава да се не осуши до потребне коначне влажности. С тога се процес понавља односно обавља у два пролаза или додаје још цевних модула.

Модел сушаре (NHGJ 500) која би одговарала потребама пројекта, приказан је на слици 8. Модел би имао два ложишта, јер апсолутна влажност сечке добијене након иверања отпатка непосредно након шумске сече иде и до 90%

Поред овога, предузеће “Термис“ Књажевац нуди добошасте сушаре кинеског произвођача „Xuzhou Orient Industry Co., Ltd.“. Сушара која би одговарала производности сувог дрвеног чипса од 200kg/h потребног за рад демо-постројења на пројекту је ознаке HGJ-9. Изглед сушаре заједно са ложиштем, цевним додатком и циклоном који производи предузеће “Термис“, приказан је на слици 7.



Слика 8 - Пнеуматска сушара модел (NHGJ 500) предузећа “Термис“ Књажевац

## 6. ЗАКЉУЧАК

Из свега изнетог може закључити да би иверачи средњег капацитета били најоптималнији за снабдевање сечком једног демонстрационог СНР постројења мале снаге од 200 kWе у равничарском реону Шимановаца. За постројења већих снага (преко 1 MWе), свакако да је потребно обезбедити ивераче већег капацитета чије су техничке карактеристике такође разматране у овом раду.

Сам избор иверача и саме концепције снабдевања сечком у многостручној зависи од: конфигурације терена, густине засада, постојећих путних праваца и цене добијања и транспортовања сечке. Финансијске могућности за куповином само једног иверача, диктирале су избор стационарног иверача и транспортовање грађевине до био-базе, за потребе снабдевања сечком демо постројења. У неком другом случају, тек кад се сагледају сви поменути параметри у једној мулти-функционалној анализи, може се говорити о добро изабраној логистици снабдевања сечком. Сечку свакако треба осушити након процеса иверања јер се тиме утиче на енергетску ефикасност процеса гасификације и остварају знатне уштеде. Идеално је да коначна апсолутна влажност сечке буде од 10-15%. Предложен је одговарајући тип добошасте и пнеуматске сушаре са два пролаза.

## НАПОМЕНА:

Рад је финансиран средствима Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије

под пројектом “Развој и изградња демонстрационог постројења за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије са гасификацијом биомасе“, бр. пројекта ТР-33049.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Акциони план за биомасу од 2010 до 2012.год., Сл. гласник РС, бр. 56, 2010, стр. 5-17.
- [2] Дедић А. Анализа коришћења биомасе као отпатка из шумске сече и прераде дрвета у Србији, Зборник радова: Прва конференција о обновљивим изворима електричне енергије, Београд, 15-16.септембар 2011, стр. 199-208.
- [3] Danilović M., Dedić A: Wood biomass production in Serbian forests, invited lectures in: Radovanović M. (editor), Proceedings of IV Regional Conference Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern European Countries, Divcibare, Serbia, 2013, 9pp.
- [4] Дедић А. (2011): Извештај са пројекта ТР 33049: Анализа стања и коришћења биомасе из шумске сече, примарне и финалне прераде дрвета у Србији са логистиком снабдевања, Машински факултет, Универзитет у Београду, 16стр.
- [5] Дедић А. (2012): Извештај са пројекта ТР 33049: Добијање сечке неопходне за рад СНР постројења, Машински факултет, Универзитет у Београду, 2012. 17стр.
- [6] Dedić A.: Biomass waste wood as new materials for the gasification in CHP plants, Tehnika, god. 66, br.6, 2011, str. 877-883.
- [7] Dedić A., Danilović D,: The potential of biomass in Serbia with the development of the logistics for the demo CHP plant, 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation, Porto, Portugal, 2012, pp. 1509-1514.
- [8] Dedić A., Genić S., Ćuprić N, Different types of CHP plants and technologies with its efficiency and costs, Proceedings of the Second International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2013. 6pp.
- [9] Сајтови и проспектни материјал: (www.schliesing.com), (www.heizomat.de), (www.bruks.com), (www.jenz.de).
- [10] Топић Р, Основе пројектовања, прорачуна и конструисања сушара, Научна књига, Београд, 1989. 195стр.
- [11] Topić M. R, Vasiljević M. B, Modeling and optimization of the pneumatic rotary high temperature dryer inner structure, Proceedings of the 10th International Drying Symposium, Volume A, Krakow, 1996.

#### SUMMARY

##### THE CONCEPT OF SYSTEM FOR CHIPS PRODUCTION NEED TO WORK DEMO CHP PLANT IN COMPANY "AGROSAVA" FROM ŠIMANOVCI

*In this paper according to the calculation of chips productivity needs for gasification in the demo CHP plant for co-generation: electricity and heat, chippers were analyzed due to: the type of mobility, running for chipping and the method of delivering chips to temporary yard. The plant was planned to generate electricity power up to  $200kW_{elec}$ . First, in consideration were taken the chippers with medium capacity, which mainly served for chipping brushwood and leaves that remain after harvest plantations on mostly flat terrain and parks. Later, the comparative characteristics of the world's three largest manufacturers of machinery for the production of wood chips significantly larger amounts (up to  $30m^3/h$ ) were given. These chippers were particularly suitable for the higher density of crops and stationed yard, in which brushwood would be brought and chip. At the end, the types of convective dryers were analyzed that could be successfully used for drying wood chips (drum and pneumatic dryer) and based on the calculation proposed the types of dryers that were available in the local market.*

**Key words:** chips, chipper, dryer, CHP plant