

**Љубомир Јовановић**  
Институт за нуклеарне науке „Винча”, Београд

## **УСАВРШАВАЊЕ ПОСТОЈЕЋЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ СУШЕЊА ЛИГНИТА ФЛАЈСНЕРОВИМ ПОСТУПКОМ**

Стручни рад  
UDC: 66.047.7  
BIBLID: 0350-218X, 27 (2001), 1-4, 65–75

*У раду је дајна анализа постојећег процеса сушења равног колубарског угља Флајснеровим поступком. Указује се на неке недостатке и могућа побољшања како процеса тако и могућности коришћења отпада (прах, муљ) који се сада неадекватно користи.*

*Кључне речи: сушење, Флајснеров поступак, лигнит*

### **Технологија сушења лигнита Флајснеровим поступком**

*Опис технолошког процеса*

У сушари „Колубара” користи се Флајснеров (Fleissner) поступак сушења комадног угља. Први процес (стара сушара) завршавао се вакумирањем шарже и радио је са прегрејаном паром. Садашњи процес ради без вакумирања и са zasiћеном паром.

Флајснеров поступак сушења (нова сушара) састоји се из три дела: при- према угља, сушење угља и класирање готовог производа.

Припрема угља се састоји од неколико операција и то: дробљење и сува сепарација равног угља да би се добила величина комада са којим ради сушара, у опсегу од 30–150 mm, мокра сепарација којом се чисти ровни угаљ – раздваја минерална и горива маса, прање угља и цеђење пре уласка у сушару.

После припреме угаљ одлазу у сушару, односно аутоклаве у којима се изводи процес сушења. После аутоклава угаљ се досушује продувавањем свежим ваздухом

Класирање угља врши се у пет класа и то: комад, коцка, орах, грах и прах.

Разликује се неколико фаза процеса сушења:

*I фаза* – Аутоклав се пуни сировим угљем за 10 минута.

*II фаза* – Врелом водом из суседног аутоклава врши се предгревање сировог угља у аутоклаву – температура воде до 160 °C за 20 минута.

*III фаза* – Наставља се предгревање отпуштеном паром из суседног аутоклава температуре до 160 °C за 20 минута.

*IV фаза* – Доводи се свежа пара до радног притиска паре у аутоклаву, док се не постигне „потпуно” истискивање воде из угља, у течном стању; температура засићене паре 234,6 °C и притисак 30 бара за 60 минута.

*V фаза* – Прво отпуштање паре. Растерећење аутоклава отварањем преструјног вода до једног од суседних аутоклава за 20 минута.

*VI фаза* – Растерећење преструјног вода припадајућег суда до суседног аутоклава до притиска од 4–6 бара за 20 минута.

*VII фаза* – Пражњење аутоклава за 10 минута.

Укупно време: 160 минута.

Досушивање лигнита врши се продувавањем слоја угља свежим ваздухом. У литератури (Стакић и др.) се наводи да је полазна температура угља 110 °C, а да треба да се охлади до 40 °C за 120 минута (наводе се разна времена).

Упоредени садашњи и претходни процеси се битно разликују, како у нивоу притиска, односно температуре, тако и у технологији (вакумирање, продувавање).

### *Класирања*

После досушивања угаљ иде на класирање где се издваја пет гранулација и то: комад, коцка орах и грах, које су комерцијалне и гранулација прах која се користи у термоелектрани „Колубара”.

## **Анализа технолошког процеса**

### *Припрема угља*

Ровни угаљ, око 4 318 180 t годишње, после дробљења има састав: 1 943 181 t/god. угља за прање класе +30 mm и 2 374 999 t годишње угља класе -30 mm одводи се у топлану сушаре. Суво одсејани угаљ класе +30 mm одлази на чишћење где се у суспензији воде и кварцног песка, издваја угаљ (фракција лакша од 1,28 kg/dm<sup>3</sup>) за сушење у количини од 1 564 909 t годишње класе -150 +30 mm и јаловина 378 272 t годишње класе -150 +30 mm. Подзрно праног угља -30 mm се оцеђује и одводи у бункер за термоелектрану.

Пре уласка у сушару угаљ се пере и одкапава.

Значи, пре уласка у сушару угаљ се два пута натапа водом. Лигнит је подложен бубрењу, тј. упија воду. То потврђују и подаци из анализе процеса где се наводе вредности за садржај влаге и то:

Сирови (ровни) угаљ (РУ) – влага просечно 51,94–55,26%,

Прани угаљ (ПУ) – влага просечно 54,02–57,65 %.

### Сушење

Претходно сепарисан и пран угаљ уводи се у дистрибутивни бункер. Из бункера угаљ се уводи у аутоклав и прелива са топлом водом из претходног аутоклава, при томе се предгрева до 160 °С (вероватно нижа температура) и делимично чисти уз испирање глиновитих честица.

Предгревањем почиње процес истискивања воде из капилара, издвајања дела гасова, вероватно и колоидна вода, зависно од температуре, почиње да „ради“.

Нечиста вода одводи се у резервоар за муљну воду.

Након тога се наставља предгревање паром из суседног аутоклава у коме је завршен процес сушења. Нечиста вода се одводи кроз прикључну посуду у резервоар за муљну воду, јер са собом носи и ситне честице угља и земље. Загрејани угаљ до температуре од 160 °С почиње да излучује своју колоидно везану воду и угљен-диоксид. Притисак у аутоклаву на крају другог предгревања износи око 4–6 бар што одговара температури засићене паре од 143–158 °С.

Након завршетка фазе предгревања уводи се засићена пара притиска око 30 бар и температуре око 235 °С. Угаљ се под дејством свеже паре даље загрева, при чему процеси истискивања воде и других хемијских једињења долазе до пуног изражаја. Истиснута вода се сакупља у прикључној посуди, а гасови, након проласка кроз циклон, испуштају у атмосферу.

Како се кондензат и пара уводе у суседни аутоклав за предгревање и наводи температура од 160 °С, вероватно да на крају процеса сушења температура угља у аутоклаву (површине угља) не прелази 160 °С. Када почиње досушивање наводи се да је температура угља 110 °С.

Фаза дејства свежом паром завршава се затварањем вентила за доток паре и отварањем вентила за испуштање, тако да се врши изједначавање притиска паре са суседним аутоклавом на око 4–6 бар. Код овог отпуштања паре одстрањује се највећи део преостале воде. (Снижавањем притиска долази до испаравања влаге на површини угља и преласка у пару која одлази у други аутоклав.) Фаза која следи представља друго отпуштање, при чему се топла вода, сакупљена у прикључној посуди одводи у други аутоклав, који је управо напуњен свежим угљем.

Преласком осушеног угља из аутоклава у бункер за досушивање завршава се процес сушења угља прахом, јер се у бункеру угаљ досушује удубавањем атмосферског ваздуха.

У литератури 7 утврђено је да се третирањем угља по овом поступку издваја, зависно од особина угља и водене паре (притиска и температуре), у појединим фазама процеса, следећа количина воде (од укупно издвојене воде):

- око 27% у фази предгревања угља, (на пример са 55,0 на 46,4%),
- око 38% у фази третирања угља паром, (на пример са 46,4 на 34,2%),
- око 30% у фази отпуштања паре из аутоклава, (на пример са 34,2 на 24,6%), и

- око 5% у фази досушивања угља (на пример са 24,6 на 23,0%).

Временски то је интегрално:

- 10 минута уношење угља у аутоклав,
- 40 минута предгревање,
- 60 минута сушење паром,
- 40 минута декомпресија, и
- 10 минута пражњење аутоклава; укупно

- 
- 160 минута, и
  - 120 минута продувавање.

Уочава се дуго време за декомпресију, односно одвођење вреле воде (кондензат и влага из угља) и zasiћене паре из отвореног аутоклава.

Од укупно издвојене влаге обично је око 65% течност.

Основне карактеристике сушаре при нормалном погону 4 4 аутоклава:

Нормална годишња производња	350 дана
Производни часови годишње	8 400 h годишње
Број група аутоклава	4
Број аутоклава	16
Годишњи капацитет (60% влаге)	1 675 000 t годишње максимално
Часовни капацитет	200 t/h
Сушени лигнит (23,5% влаге)	855 000 t годишње
Производња сушеног лигнита	102 t/h
Трајање циклуса сушења	160 минута
Притисак zasiћене паре	29,4 bar
Температура zasiћене паре	234,6 C
Енталпија zasiћене паре	2,8 MJ/kg
Потрошња паре	55,1 t/h
Потрошња паре по тони сушеног угља	0,54 t/t
Потрошња електричне енергије по тони сушеног угља	7,9 kWt/t

### Масени биланс – проток угља (годишње)

Ровни угљ	4 318 180 t годишње
Издробљени ровни угљ	
У мокру сепарацију	На одлагалиште
1 943 181 t годишње угља класе +30 mm	2 374 999 t годишње угља класе 30 mm
Мокра сепарација за сушење	Јаловина
1 564 909 t годишње класе 150 +30 mm	378 272 t годишње класе 150 +30 mm
Сушење	
Суви угљ	Муљ
855 000 t годишње	око 70 000 t годишње

### Масени и енергетски проток угља кроз сушару (годишње)

Улаз

Ровни угаљ t годишње

После дробљења и сепарације на – mm остаје:

Угаљ за прање +30 mm 1 943 181 t годишње ДТВ\* = око 7200 kJ/kg

Угаљ за термоелектрану 30 mm 2 374 999 t годишње

После прања остаје:

Угаљ за сушење t годишње ДТВ = око 8100 kJ/kg

Јаловина 378 272 t годишње ДТВ = од 1650–5050 kJ/kg

После сушења остаје:

Сушени угаљ 855 000 t годишње ДТВ = око 18 400 kJ/kg

Од тога грах и прах 170 000 t годишње ДТВ = око 17 300 kJ/kg

Муљ 70 000 t годишње ДТВ = око 6000 kJ/kg

У разним радовима показује се који су добици и који су губици у процесу сушења. Главни добитак је угаљ осушен са око 55% влаге на сушени угаљ од око 23% влаге. Главно питање је зашто је осушен само до 23% влаге? Друго питање, зашто је остала груба влага после сушења и досушивања, јер испитивањима је добијена у средњем аналитичка влага испод 14%, а груба реда 10%? У страниј литератури се наводи да се овим поступком сушења снижава равнотежна влага, тј. аналитичка влага.

Годишња производња сушаре је око 860 000 t сушеног лигнита. Квалитет варира у функцији улазног квалитета угља и начина вођења процеса. Процедура је фиксна, али придржавање зависи од низа фактора.

### Опсег варирања квалитета асортимана сушеног лигнита и полазног ровног угља

Ровни угаљ	Поље „Б”	Поље „Д”
Влага %	50,60–58,55	50,15
Пепео %	8,55–20,60	15,79
S ca <sup>**</sup> %	0,15–0,49	0,57
ДТВ* kJ/kg	5803–7180	7335

\* – доња топлотна вредност,

Суви угаљ	
Влага %	21,2–23,5
Пепео %	7,65–15,21
S саг %	0,3–0,45
ДТВ MJ/kg	16,6–18,675

Врло је важно за оцену успешности постојећег поступка као и за усавршавање поступка промена аналитичке и грубе влаге. У таблицама нема тих података. За даљу анализу потребни су ти подаци.

**Асортиман осушеног угља % (стара сушара)**

Комад	150 +60	30%	32%
Коцка	60 +30	35%	38%
Орах	30 +15	15%	11%
Граh	15 + 5	10%	10%
Прах	5 +0	10%	9%

**Приказ параметара сушеног угља по асортиману (нова сушара)**

	Влага %	Пепео %	ДТВ kJ/kg
Комад 150 +60	23,50	7,65	18 130
Коцка 60 +30	21,50	8,33	18 765
Орах 30 +15	21,20	9,06	18 605
Граh 15 +5	21,80	10,47	18 115
Прах 5 +0	22,40	15,21	16 660

**Приказ параметара сушеног угља по асортиману (стара сушара)**

	Влага %	Пепео %	ДТВ kJ/kg
Комад 150 +60	32,29	8,2	15,057
Коцка 60 +30	33,47	6,21	14,747
Орах 30 +15	32,55	8,09	14,717
Граh 15 +5	31,97	10,60	14,642
Прах 5 +0	31,36	14,85	13,029

Сушени лигнит требало је да надомести недостајући квалитет угља за индустријске котлове који користе мрки комадни угаљ који недостаје индустрији (пре четрдесет година). То су асортиман комад и коцка, а вероватно и орах. То је и асортиман за домаћинства. Остатак је праh. Тржиштна вредност праха је мала и директно се транспортује оближној термоелектрани са великим тешкоћама у кориш-

ћењу. Прах се просипа у слоју између равнoг угља на депонији термоелектране. Тако слојевити угaљ се допрема до дистрибутивног бункера и расподељује по млиновима. Повремено се дешава да се аеросмеша запали после млина у каналу аеро-смеше, јер је садржај сувог праха био висок у мешавини са равним угљем. Локално, уз горионик у ложишту може да се појави виша температура него када се ради само са равним угљем, што погодује зашљакиваљу.

Сам поступак сушења са великим бројем механичких операција (дробљење, сортирање, прање, уношење у аутоклав, изношење из аутоклава, уношење у бункер, класирање) погодује дробљењу угља. Распадање осушеног угља је неповољно, јер делимично губи стечену хидрофобност. Испитивања понашања сушеног угља после дробљења не показују хидрофилност. Са друге стране брикетирање ситних фракција захтева знатну енергију и додатке.

Сушени лигнит је повољан за транспорт и складиштење, јер није подложен влажењу (не упија влагу – хидрофобан). Међутим, испитивања упијања воде 3 показује да зависно од гранулације угaљ упија од 4% (комад, коцка) до 14,5% (грах) воду.

Као и сви угљеви са знатном количином испарљивих (од 36,09–40,07%) подложен је самозапаљењу при дужем стајању на складишту, али овај угaљ није предвиђен за дуже складиштење.

Процес сушења по Флајснеру даје осушени лигнит који може да замени мрки угaљ. Процесом није искоришћен укупни потенцијал угља што се тиче издвајања аналитичке или грубе воде. У процесу сушења издваја око 60% од почетне воде и то грубе воде са 45% на 10–12% и аналитичке воде са 11,4–16% на 10–11%. Ово су показала испитивања малог броја узорака и потребно је проверити на већем броју узорака.

### **Могућа побољшања процеса**

Из анализе процеса у сушари и квалитета сушеног угља, на основу расположивог материјала (недостају анализе, испитивања и текући подаци из сушаре) може се констатовати да су могућа побољшања и то:

- у неутралисању или коришћењу отпада мокре сепарације и муља који се сада одлаже у кругу комбината без коришћења и загађује околину;
- боље коришћење граха и праха, нарочито праха;
- побољшање квалитета сушеног угља смањењем грубе воде у процесу сушења;
- као и друге мере.

Веће инвестиције не долазе у обзир.

Значајно побољшање процеса, односно коришћење сушеног угља, постигло би се смањењем удела граха и праха у крајњем резултату, које је сада око 20% од укупне масе осушеног угља или ефикасним коришћењем у склопу комбината без већег транспорта, или брикетирањем граха и праха за тржиште.

Познато је да сушара у склопу АИК Шабац користи грах врло успешно у ложишту са флуидизованим слојем већ скоро двадесет година. Ложишта са флуиди-

зованим слојем могу успешно да користе разне гранулације угља (испод 30–50 mm) које друга ложишта не могу. Ово би се могло искористити као понуда и за друге потенцијалне кориснике ложишта са флуидизованим слојем. Према подацима од руководства сушаре нема проблема са пласманом сушеног угља, напротив предвиђа се повећање производње. Део производње се и извози.

Један од путева побољшања процеса је и добијање бољег квалитета. Могућа побољшања могу се поделити на:

- побољшање квалитета осушеног лигнита, тј. смањење садржаја влаге и пепела;
- побољшања технолошког процеса (нижи или виши параметри, краће или дуже задржавање у појединим операцијама, смањење манипулативних процеса, итд.) а са истим излазним квалитетом.

Питање је да ли је 21–23% влаге у сушеном угљу оптималан садржај за садашњи начин коришћења, складиштење и транспорт. Можда би сувљи угаљ стварао веће проблеме при складиштењу и транспорту, а можда и у ложиштима која користе сушени угаљ. За ложишта у домаћинству требало би знати најнижу вредност влаге у сушеном угљу за оптимално коришћење, с обзиром на остало (садржај испарљивих, пепела, итд.).

Како је већ речено добијени осушени лигнит има влагу око 23% (по пројекту) и као такав има употребну, односно тржишну вредност. Ако се не може једноставно побољшати процес у циљу добијања сувљег производа питање је да ли постоји техно-економска оправданост рада у том смеру.

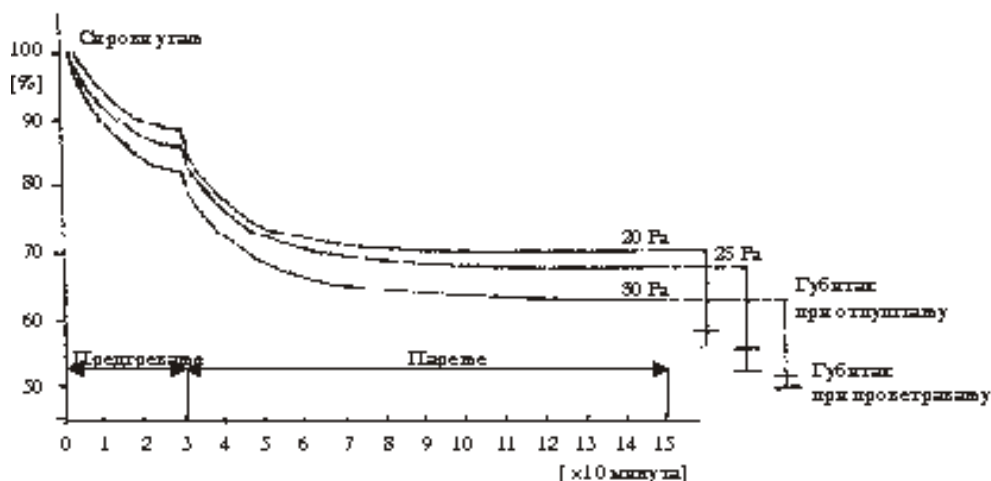
## **Побољшање технолошког процеса**

Побољшање технолошког процеса има две компоненте:

- промене технологије за добијање бољег квалитета;
- побољшање процеса смањењем времена трајања, промена параметара као што су температура и притисак, повећања капацитета променом режима рада, смањење потрошње енергије, итд.

Без инвестиционих захвата могућа побољшања процеса су у домену промене квалитета сушеног угља прерасподелом времена трајања појединих операција без продужења укупног времена трајања процеса, а са истим или побољшаним квалитетом производа. На пример, смањење времена трајања операције третирања угља са zasiћеном паром. То је могуће ако се установи да се хидрофобност постиже за краће време и да се раније ушло у асимптотско приближавање граници (сл. 1) максималног сушења. То се види у дијаграму испитивања испоручиоца опреме 8. Очигледно да се процес може зауставити и после једног сата парења као што је случај код изведеног постројења у сушари „Колубара” (фаза IV 60 минута). Такође из анализе дијаграма сушења за лабораторијске услове и на изведеном постројењу у функцији температуре и притиска може се оценити када се процес може завршити односно једна техно-економска анализа може показати оправданост ранијег прекидања процеса. Прекидање процеса на 235 °C и притиску од 30 bar је условљено почетком асимптотског дела процеса сушења. Даље, пораст температуре и притиска није оправдан. У закључку евидентно је да једино проба на индустријском постројењу даје употребљив резултат.





### Ефикасно коришћење граха, праха и муља

Коришћење праха као допунског горива у термоелектранама има смисла само ако се тиме побољшава ефикасност рада електране. Третирање праха као отпада је економски неповољно. Ако суви прах може да се користи као замена за течном гориву у процесу подршке ватре или у процесу потпале котла, као допуна течном гориву, онда је то право решење. Потребно је разрадити технологију примене праха за подршку ватре. Основица је развијен систем за потпалу и подршку ватре примењен на пилот постројењу у термоелектрани „Колубара” 1. Кључни проблем је млевење на финоћу Р90 која се користи у котлу с обзиром на сувоћу праха. Може да се користи и директно са догоревањем крупних честица на решетци, ако је има. У сваком случају гориво се уводи у ложиште посебним горионцима као што је наведено у 1, а не помешано са прахом равног угља како се сада ради.

Прах се може брикетирати са муљем као везивом. Први резултати испитивања су оптимистички. Брикетирани угаљ има потрошаче, јер замењује квалитетан угаљ који користи индустрија, а који недостаје на тржишту (из домаћих рудника).

Јаловина (+5 mm) је неупотребљен остатак коме се може наћи технологија коришћења – отворен систем у склопу термоелектране или топлане или сагоревање у флуидизованом слоју. Најповољније решење је да се користи на лицу места без транспорта и претовара. На тај начин би се ликвидирала депонија, загађење ваздуха и добила корисна топлотна енергија. Значи потребно је наћи корисника у склопу комбината где би се спаљивао сав отпад – јаловина, муљ и друго као што су отпади из

разних пречистача и филтера. То може бити допунска јединица за грејање или технолошку пару за нове аутоклаве чиме би се штедио равни угаљ.

Још 1979. године 5 предвиђало се да се отпад мокре сепарације спаљује у флуидизованом слоју са коришћењем топлотне енергије, али није нађен корисник.

За муљ (оцеђена муљна вода из сушаре) важи исто као и за јаловину, с тим што је муљ нешто квалитетнија сировина.

## Закључак

У закључку за сам процес не може се рећи да ли постоје могућа побољшања без испитивања на постројењу променом времена рада појединих операција или радних параметара. Поређењем процедуре рада и параметара садашње сушаре са процедуром и параметрима рада старе сушаре уочавају се разлике. Нису нађени материјали који обрађују ту материју, тј. није нађена упоредна анализа процеса и квалитета осушеног угља као и оцена успешности нове технологије сушења.

Анализом нузпродуката сушења тзв. отпада може се константовати да ти продукти нису отпад већ имају употребну вредност и њихово коришћење би повећало ефикасност постројења, смањило коришћење равног угља, смањило загађење околине, а нестало би и складиште отпада.

С обзиром на нове процесе сушења ниско вредних угљева који се истражују или усавршавају, а који су енергетски и процесно бољи, побољшања у Флајснеровом поступку потребно је тражити у коришћењу „отпада” 12, 13 .

Ову анализу је финансирао Министарство за науку и технологију у периоду 1998/2000. године. Резултати су приказани у неколико извештаја и то:

- Сушара „Колубара” – Процес, ИТЕ-НИВ-153,
- Сушара „Колубара” – Особине угља, ИТЕ-НИВ-152,
- Сушење угља – ИТЕ-НИВ-163,
- Дакић, Д. и др., О карактеризацији пелет брикета одабраних колубарских угљева, ИТЕ-НИВ, Институт за нуклеарне науке „Винча”, 1998,
- као и на конференцији Workshop, „Pre-Drying Processes for the Efficient and Clean Utilisation of Brown Coals in the Enlarged EU Market”, April 1999, Athenes, у радовима:
- Љ. Л. Јовановић, Utilisation of Kolubara Dry Lignite,
- Љ. Л. Јовановић, Recent Status of the Fleissner Drying Process,

## Литература

- 1 \*\*\*Прилагођавање за трајни погон постројења у ТЕ „Колубара” за потпалу и подршку ватре посебно припремљеним угљеним прахом, Извештај ИБК-ИТЕ-522, 1985
- 2 \*\*\*Идејно-техничко решење за потпалу и подршку ватре у свим котловима ТЕ „Колубара” посебно припремљеним угљеним прахом, Извештај ИБК-ИТЕ-565, 1986
- 3 \*\*\*Инвестициони програм проширења капацитета сушаре лигнита „Колубара”, Ру-дарски институт, Београд, 1995
- 4 \*\*\*CWFs Coal-Water Fuels, EERC, N. Dakota, USA
- 5 Катић, М., и др., Модел заштите животне средине при експлоатацији и преради угља у СОУР РЕИК „Колубара”, *Зборник*, Саветовање о новим изворима енергије и рационалном коришћењу постојеће, Опатија, 1979, 453–474

- 6 Барјактаревих, С. и др., Примена сушеног лигнита РЕИК „Колубара” у индустрији и широкој потрошњи, *Зборник*, Саветовање „Развој енергетике Југославије”, Опатија, 1980, 533–548
- 7 Митровић, М., Особине отпадне воде која настаје у процесу сушења млађих угљева по поступку „Fleissner”. *Рударски гласник*, 7 (1968), 2, 42–52
- 8 Антонијевић, Б., Сушење домаћих лигнита у аутоклавима помоћу водене паре, *Хемијска индустрија*, 13 (1960), 9, 1747–1754
- 9 Радаковић, Б. , и др., Потребе и могућности дугорочног развоја производње сушеног лигнита и других квалитетнијих чврстих горива са посебним освртом на колубарски басен, *Зборник савјетовања*, Енергетика Србије '80, Београд, 1980, св. II, 561–586
- 10 Mandjoukov, P., Pre-Combustion Improvement of Bulgarian Lignites, *Proceedings, Workshop „Pre-Drying Processes for the Efficient and Clean Utilisation of Brown Coals in the Enlarged EU Market”*, Athens, Grace, 1999, 181–204
- 11 \*\*\*Сушење угља, Извештај НИВ-ИТЕ -163, 2000
- 12 Јовановић, Љ., Оплемењивање лигнита, *Електропривреда*, 51 (1998), 1, 45–60
- 13 Јовановић, Љ., Стање развоја оплемењивања лигнита, *Електропривреда*, 51 (1998), 3, 33–41

## Abstract

### IMPROVEMENTS OF FLEISSNER DRYING PROCESS

by

**Ljubomir JOVANOVIĆ**

Analysys of applied Fleissner drying process on „Kolubara” row coal is presented. Some improvements of process and better utilisation of residue (powder, mud) are suggested.

*Key words: drying, Fleissner process, lignite*