

*Драган Игњатовић¹, Божо Колоња¹
Динко Кнежевић¹, Радмила Живојиновић²*

¹ Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, Београд, Србија

² Електропривреда Србије,

Дирекција за стратегију и инвестиције, Београд, Србија

Предикција квалитета колубарског лигнита за потребе сагоревања у ТЕ „Никола Тесла”

Стручни рад

UDC: 622.7.09:622.015

BIBLID: 0350-218X, 33 (2007), 1-4, 27-35

Стабилно снабдевање термоелектрана довољним количинама угља познато и изражено квалитетом је основа поуздане и профитабилне производње електричне енергије. За процену квалитета угља коришћени су резултати анализа обављених на узорцима из геолошких истражних бушотина. Практична искуства су показала да постоји велика несагласност између очекиваних и стварних резултата квалитета угља. Односно, резултати добијени на узорцима из истражних бушотина су веома непоуздани. Да би се добили употребљиви подаци обављена је статистичка обрада параметара добијених при геолошким истражним бушењима и резултата анализа угља које су задњих десет година вршиле лабораторије на руднику и термоелектранама. На бази тих резултата одређена је функционална зависност између количине пепела, влаге и влажности моћи угља. Развијен је и модел за процену квалитета угља.

Кључне речи: процена квалитета угља, угљени басен „Колубара”, термоелектране „Никола Тесла”, мешање угљева

Увод

Рад термоелектрана „Никола Тесла” (ТЕНТ) заснива се на угљу који се откопава на површинским коповима у рударском басену Колубара. Колубарски угљ је лигнит са великим садржајем влаге и пепела и релативно великом варијацијом квалитета. Највећи део угљеног слоја није хомоген, већ у њему постоји већи број прослојака, а квалитет је веома променљив по вертикали.

Одређивање експлоатационог квалитета угља само на основу података из истражних бушотина није се показало као најпоузданије јер поред бројних неадекватно обрађених узорака и великих варијација карактеристика угља по вертикали

угљеног слоја, квалитет зависи од места и услова откопавања, транспорта, прераде и депоновања угља.

Стога ће се овим радом дати оквир поуздане методологије за предикцију основних параметара квалитета угља (доња топлотна моћ, влага, пепео) и разрада рачунарског модела који ће омогућавати ефикасно одређивање експлоатационог квалитета угља за жељени планирани временски период експлоатације, што ће руднику омогућити адекватно планирање производње, а термоелектрани сагоревање.

Промене експлоатационог квалитета угља до уласка у термоелектрану

Од тренутка откопавања угља па до тренутка његовог сагоревања у котловима термоелектрана неминовно долази до одређене промене квалитета угља због промене влаге, издвајања одређених количина квалитетних партија угља, његовог сушења, итд. На угаљ делују разни фактори (и то по правилу негативно) што условљава да квалитет угља утврђен геолошким истражним радовима од процеса откопавања, па до сагоревања у котловима термоелектрана доживи промене, односно условљава да се познавањем само карактеристика угља у лежишту не може поуздано предвиђати квалитет угља који ће доћи до термоелектране. Промене квалитета могу се пратити у технолошком ланцу од рудника до термоелектране.

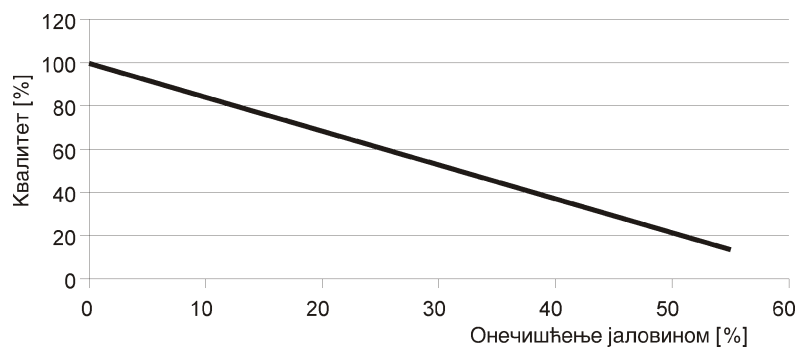
У раду су анализирани само најзначајнији узрочници промене квалитета угља.

Утицај онечишћења, односно ошкочавања дела јаловине заједно са угљем на промене квалитета угља

У технолошком процесу селективног рада роторним багерима и ведричарима долази до губитака угља или смањења квалитета на контактима слојева различитог квалитета или слојева угља и прослојака јаловине. Ова појава је посебно изражена код рада багера у угљеним серијама које имају велики број танких слојева угља и прослојка јаловине. Онечишћење настаје када се на контакту угљеног слоја и јаловинског прослојка угља, заједно са угљем откопава и јаловина. Тада долази до смањења топлотне вредности угља пошто се откопана количина глине или песка расподељује на укупну масу откопаног угља. За одређивање топлотне вредности угља када се мешају две врсте угља различитог квалитета користи се пондерисана вредност ових квалитета и маса. Међутим, код мешања угља и глине, што је чешћи случај, одређивање топлотне вредности мешавине не може да се обави на тај начин пошто глиновити материјал приликом сагоревања „одузима” део енергије. На основу испитивања утврђена је зависност доњег топлотног ефекта (ДТЕ) од процента разблажења глиновитим прослојцима. На сл. 1 приказана је зависност топлотне вредности угља од степена разблажења.

Утицај атмосфериција на промену квалитета угља

Угаљ је при процесу откопавања и транспорта подложен спољним утицајима (киша, мраз, високе температуре) који могу утицати на смањење квалитета. Ат-



Слика 1. Зависност квалитета угља од процента онечишћења јаловином

мосферилије утичу на то да „откривени угаљ” може примити извесну количину влаге пре откопавања. На овај начин долази до извесног пада квалитета угља. У процесу откопавања и транспорта угља негативно деловање атмосферилја је највеће. Познато је да од момента откопавања па до доласка угља у постројење за прераду понекад прође и више од 30 минута. У време интензивних падавина угаљ прими извесну количину воде која се веже за честице угља и нарочито за глину која прати угаљ (посебно изражено у лежишту „Тамнава”). Што је угаљ ситнији и што садржи више глиновитих компонената он може да апсорбује већу количину воде. Проблем је мање изражен уколико се угаљ транспортује без застоја, а више ако дође до застоја и дужег „закишњавања” угља на тракама.

Утицај припреме и прераде на промену квалитета угља

Откопани угаљ са површинског копа „Поље Де” трачним транспортерима допрема се до постројења у Вреоцима, где се обавља прерасподела. Угаљ са површинских копова „Тамнава – источно поље” и „Тамнава – западно поље” заједничким транспортером допрема се до постројења за дробљење угља у Каленићу. У погону за припрему угаљ се дроби, а затим утовара у вагоне и транспортује у термоелектрану. У процесу дробљења долази до губитка дела влаге, што незнатно утиче на промену ДТЕ. Процес суве сепарације има незнатну негативну улогу јер се издвајају квалитетније партије, али како су оне у маси мале, то је и утицај незнатан.

Утицај издвајања комадног угља на промену квалитета угља

Највећи део откопаног угља испоручује се термоелектранама. Остатак угља се користи за широку потрошњу (издвајање се обавља у погонима суве сепарације у Вреоцима, дробилани на Тамнави или преко грабуљарем у самом копу) или се суши. Приликом издвајања угља за „широку потрошњу” долази до пада топлотне вредности угља, због тога што су ови сортимани угља, по правилу, бољег квалитета. Просечан пад квалитета је око 40 kJ/kg, или око 0,5%.

Утицај процеса депоновања на промену квалитета угља

На депонијама копова „Тамнава” и депонијама термоелектрана (ТЕ) долази до извесне промене квалитета, односно опадања топлотне моћи депонованог угља. Приликом дужег стајања на депонијама угаљ је изложен дејству атмосферилија, а долази и до samozапалења угља. У „Колубари” највећи део угља се директно отпрема за електране (са „поља Де” 100% и са „Тамнаве” преко 90%) док се преко 90% угља у ТЕНТ-у не депонује. Због тога је утицај овог фактора занемарљив, мањи од 1%.

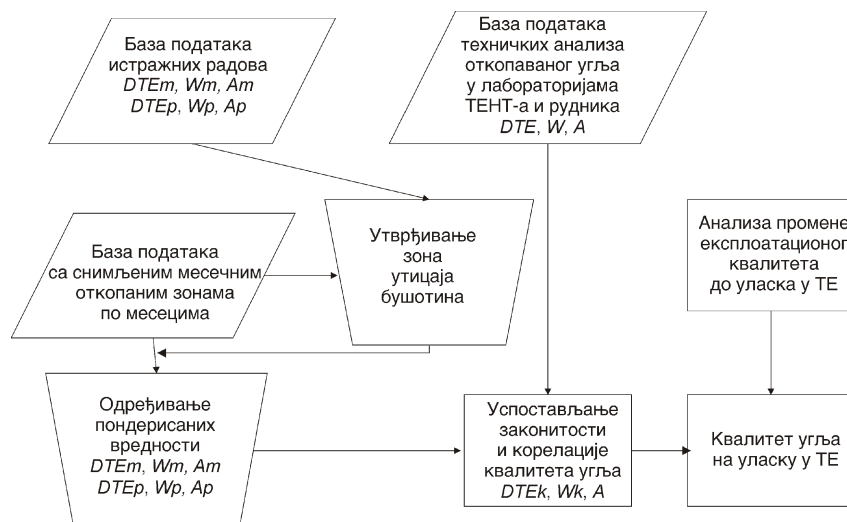
Методолошки приступ

Методолошки приступ решавању овог проблема представља комбинацију теренског и лабораторијског рада, уз примену статистичких метода обраде података и успостављања корелације између анализираних параметара као и регресионе анализе.

Концепцијско решење овог поступка приказано је на сл. 2.

Одређивања експлоатационог квалитета угља за сагоревање у ТЕНТ-у обављено је кроз истраживање које је садржало следеће активности:

- анализирано је истражно бушење (њихов број и дубина, густина), начин опробавања,
- извршена је статистичка анализа лабораторијских резултата (W, A, DTE) који су добијени након откопавања и узорковања на местима утовара и прераде, и то одвојено за лабораторије рудника, термоелектране и за обрађене суперанализе,
- извршено је снимање зона и количина угља који су откопани у сваком месецу за десетогодишњи период за површинске копове „Поље Д”, „Тамнава – источно поље” и „Тамнава – западно поље”, а затим су утврђене зоне утицаја бушотина, и на



Слика 2. Методолошко решење одређивања експлоатационог квалитета угља

- основу тога вредности ДТЕ-а, влаге и пепела, и извршен је прорачун пондерисане вредности за читаву зону у датом месецу и години, и то одвојено за мерене вредности (вредности из истражних бушотина) и прерачунате вредности,
- извршено је упоређивање параметара квалитета добијених у рудничким и лабораторијама термоелектрана са пондерисаним вредностима добијеним снимањем откопаних зона, и утврђене су зависности и корелације између ових вредности, како за мерене, тако и прерачунате вредности,
 - извршена је анализа промене експлоатационог квалитета угља у погонима припреме и прераде, на депонијама, као и због осталих утицаја,
 - одређен је експлоатациони квалитет угља за сагоревање у термоелектранама утврђивањем корекционих коефицијената за прерачунавање, и
 - израђен је софтверски модел са базом података истражних радова, базом података техничких анализа угља за праћење експлоатационог квалитета угља, као и део софтвера за предвиђање квалитета угља у наредном периоду, са могућношћу статистичке анализе и графичке обраде добијених података.

За потребе ових истраживања подаци су прикупљани са три места узорковања (I и II фаза, и III фаза у Вреоцима за угаљ са површинског копа „поље Д”, и у Каленићу за угаљ са површинских копова „Тамнава – источно поље” и „Тамнава – западно поље”). За I и II фазу „поља Де” за сваки воз узима се по један узорак, те је број дневних анализа 10–15, односно око 300 месечно. За III фазу узима се један сменски узорак (на 3–8 возова), односно три узорка дневно, тј. 27–30 узорака месечно. На „Тамнави” узорак се узима на два воза, те је број дневних узорака око 20. Узорци су обрађивани у лабораторији Колубара-прераде у Вреоцима за угаљ са површинског копа „поље Де” и у лабораторији дробилане Тамнава (Каленић) за угаљ са површинских копова „Тамнава – источно поље” и „Тамнава – западно поље”, као и у лабораторијама ТЕНТ-а у Обреновцу. Анализиран је период јануар 1990. – децембар 1999. године. Укупно је обрађено више од 65.500 узорака.

Статистичком обрадом показатеља квалитета угља, уочено је да је количина угља испод доње границе која омогућава сагоревање без додатка течног горива (5860 kJ/kg) била испод 0,3%, док је угља са ДТЕ између 5860 и 6500 kJ/kg било испод 10%. Минималне вредности квалитета евидентиране су код узорака са ниским садржајем влаге (35–45%) и екстремно високим садржајем пепела. Очигледно да је недостатак ефикасне хомогенизација угља, условио да угаљ оваквог квалитета доспе до термоелектрана.

Максималне вредности ДТЕ-а евидентиране су на узорцима са ниским садржајем влаге и пепела.

Прикупљање, обрачун, обрада и корелативност података

Технолошки систем експлоатације у површинском копу, опредељујући је у утицају на параметре квалитета и технолошке билансираности експлоатационих резерви угља. Како се ради о сложеним и динамичким процесима добијања угља, који су често подложни променама, то је планирање и утврђивање параметара топлотне

моћи „очекујућег” угља доста сложен посао. Планирање параметара топлотне моћи „очекујућег” угља се врши у оквиру годишњих оперативних планова, а своди се на следеће:

- преглед средњих топлотних вредности равнoг угља предвиђеног за експлоатацију ради се посебно дуж сваке траке и за сваки блок (дубински или висински),
- селективност бушотина које имају утицај на квалитет угља (интервалне пробе),
- из релевантних интервала израчунава се пондерисана топлотна вредност угља у бушотини,
- пошто свака бушотина нема исти утицај на квалитет угља у блоку (различита дужина откопаног интервала), одређује се пондерисана вредност квалитета угља у блоку према дужини откопаног интервала,
- како дуж сваке траке неће бити откопане исте количине угља из висинског и дубинског блока, израчунава се пондерисани квалитет угља из оба блока дуж траке у зависности од откопаних маса угља,
- на основу укупне масе и квалитета угља са једне траке, одређује се пондерисани квалитет угља на датом систему: БТД (багер–трака–дробилица), БТУ (багер–трака–утоваривач) или БТС (багер–трака–складиште), и
- према маси и квалитету угља са појединог система одређује се пондерисани квалитет угља за дати површински коп који ће се откопавати у жељеном периоду.

Да би се оформила база података требало је претражити геодетске књиге ради ооконтурења сваког месечног блока откопаног угља од 1990. до 1999. године. При том је геометризација ооконтурења месечног блока, подразумевала и његово дефинисање по вертикалном стубу. Из ових подлога формирана је геодетска база података као основа за обрачун пондерисаних карактеристика квалитета угља, откопаног у одређеном месецу.

На основу геодетских записника са копа по месецима, геометрије угљеног слоја израчунате су методом паралелних профила (профил на сваких 20 m) количине угља појединачно по системима: БТУ и БТС. Сабирањем количина угља по системима израчунате су количине угља по месецима. Са пондерисаним вредностима влаге, пепела, ДТЕ и запреминске тежине по системима су израчунате етажирањем на основу геодетских записника и површи кровине и подине.

Полазећи од исказаних последица неблагоприятних лабораторијских мерења узорака угља укључујући при том и различите критеријуме опробавања (у фази истраживања лежишта), истраживањем је извршено синхроно праћење промене квалитета угља од утврђеног у истражној бушотини (мерене и прерачунате вредности) до лабораторијских вредности параметара квалитета угља (усаглашене вредности) доспелог до термоелектрана. Циљ је био да се успоставе законитости, између основних параметара квалитета угља као мерених (прерачунатих) лабораторијских вредности истражених бушотина, и реалних параметара квалитета угља измерених за угаљ сагорео у термоелектранама.

Процес откопавања на површинским коповима на којима се примењује континуална технологија са применом БТД система је веома динамичан и сложен процес. Откопавање великим роторним багерима има предност у високом капацитету и економичности радног процеса, али и недостатак у онечишћењу угља услед неминовног захватања јалових прослојака.

Статистичка обрада свих параметара за период 1990–1999. године показала је да су минимална одступања за вредности мереног пепела за „поље Де” где је присуство

међуслојне јаловине готово занемарљиво (око 0,2%). Нешто већа одступања су за податке са „Тамнава”, јер је у овим пољима изражено присуство међуслојне јаловине, тако да је присутно онечишћење угља. Што се тиче влаге, одступања стварних вредности (вредности добијених у лабораторијама рудника и термоелектрана) од мерених и прерачунатих вредности су далеко веће. Наиме, мерене вредности су мање за 3–6%, а прерачунате вредности су веће за 3–4%. Добијене вредности ДТЕ-а се такође налазе између мерених и прерачунатих вредности, с тим да су сада мерене вредности веће од стварних (за 400–1300 kJ/kg), а прерачунате мање (за 500–1000 kJ/kg). Истраживајући даље у обиљу података анализиране су функционалне зависности ДТЕ од пепела, као вероватно најнепроменљивијег у примарној аутохтоној угљеној структури.

Одређивање топотне моћи угља из података техничке анализе може се извршити из регресионих формула добијених статистичком обрадом техничких анализа у којима су дати подаци о садржају пепела и влаге, и њима одговарајући подаци за ДТЕ.

Зависности ДТЕ = $f(A)$, као и $W = f(A)$ су урађене одвојено за три утоварна места. Добијени коефицијенти корелације су у задовољавајућим границама и крећу се у опсегу од 0,7 до 0,8 што је приказано на табл. 1.

Таблица 1. Зависност влаге у функцији од садржаја пепела за узорке са површинских копова

Коп	Лабораторија	Зависност	Коефицијент корелације
„Тамнава”	Лабораторија Тамнава	$W = 56,44 - 0,47 A$	$R = 0,814$
	Лабораторија ТЕНТ	$W = 56,4 - 0,45 A$	$R = 0,777$
„Поље Де”	Лабораторија Колубара	$W = 54,134 - 0,377 A$	$R = 0,653$
	Лабораторија ТЕНТ	$W = 54,108 - 0,395 A$	$R = 0,67$

Применом успостављених регресионих зависности утврђени су параметри „кориговане” влаге и „коригованог” ДТЕ (табл. 2).

Таблица 2. Одступања мерених, прерачунатих и коригованих вредности квалитета угља

Коп	Параметар	Мерена вредност	Одступања		
			Од мереног	Од прерачунатог	Од коригованог
И и II фаза „поља Де”	Влага [%]	48,99	2,6	3,6	0,3
II фаза „поља Де”		48,89	4	4,3	0,05
„Тамнава”		49,27	6,5	3	0,03
И и II фаза „поља Де”	ДТЕ [kJ/kg]	8284	400	800	40
III фаза „поља Де”		8400	700	1000	32
„Тамнава”		7380	1300	500	100

Добијене кориговане вредности у односу на мерене и прерачунате имају најмање одступање, тако да се на основу њих могу поузданије предвидети параметре квалитета угља.

Закључна разматрања

Први блокови ТЕНТ-а у Обреновцу, у раду су од 1970. године. У том дугогодишњем периоду, у раду ТЕНТ-а, постојао је низ проблема и тешкоћа везаних за карактеристике угља који је долазио са колубарских површинских копова.

Лабораторијска мерења проба угља из геолошких истражних ресурса, верификованих у *Елаборацијама о класификацији, категоризацији и прорачуну резерви ...*, за одређени површински коп често су садржала низ мањкавости те нису поуздана подлога за одређивање предвиђених параметара квалитета угља.

Ретроактивном анализом оваквих обрачуна, утврђено је да су планирани параметри квалитета угља поддимензионисани, на сумарном годишњем нивоу, јер су рађени на бази „прерачунатих” параметара техничких анализа угља.

Добијање реалних параметара квалитета угља захтева следеће:

- неопходна је геолошка реинтерпретација мерених лабораторијских скраћених техничких анализа угља, јер постојећа „прерачунавања” не дају егзактне вредности,
- верификацији *Елаборација о класификацији, категоризацији и прорачуну резерви угља...* поклонити више пажње, прилагођавајући тим активностима и пратећу регулативу,
- на бази успостављене „кориговане методе” могуће је с потребном тачношћу извршити обрачун експлоатационог угља из колубарског угљеног басена. Урађени софтверски модел омогућава даље праћење и корекцију добијених зависности, и
- урађен софтверски модел треба инсталирати у техничким припремама површинских копова са комуникацијом са ТЕНТ-а и службом за развој производње угља у ЕПС-у, те у долазећем периоду континуирано пратити предвиђање квалитета угља на месечном нивоу уз парцијализацију регистрација битних утицајних чинилаца на промену његовог квалитета.

Ознаке

<i>A</i>	– минералне материје [%]
<i>BTD</i>	– систем багер-трака-дробилница
<i>BTS</i>	– систем багер-трака-складиште
<i>BTU</i>	– систем багер-трака-утоваривач
<i>DTE</i>	– доњи топлотни ефекат
<i>f</i>	– функција
<i>R</i>	– коефицијент корелације
<i>W</i>	– укупна влага [%]

Литература

- [1] Стојановић, Д., Одређивање експлоатационог квалитета угља за снабдевање ТЕ „Никола Тесла” у Обреновцу, Студија, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2000

- [2] Жунић, Р., Селективно откопавање угља из раслојених лигнитских лежишта, *Техника*, 42 (1991), 7-8, 9-11
[3] Стојаковић, М., Методика управљања процесом хомогенизације угља на површинским коповима Тамнава, Магистарска теза, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2000

Abstract

Prediction of Kolubara Coal Quality for Combustion in “Nikola Tesla” Thermal Power Plants

by

*Dragan IGNJATOVIĆ¹, Božo KOLONJA¹,
Dinko KNEŽEVIĆ¹, and Radmila ŽIVOJINOVIĆ²*

¹ Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade,
Belgrade, Serbia

² Electric Power Industry of Serbia,
Coal Production Department, Belgrade, Serbia

Stabile power plants supply with enough quantity of known and pretty much the same quality of coal is base for stabile and profitable production. Results of analysis which are made on samples from geological research drill-holes are used for estimating coal quality. Practical experience shows that there are great discord in expected and real coal qualities. This means that accuracy got on samples from drill-holes are extremely unreliable. In order to make useful available data, statistic elaboration of all drill-holes sample's parameters and all analysis which mine and power plants laboratories did, in ten years period. Function relations between quantity of ash, moisture, and heating value were done on base of that results. It is developed model for prediction of coal quality.

Key words: coal quality prediction, Kolubara coal basin, Nikola Tesla thermal power plants, coal blending

Одговорни аутор / Corresponding author (D. Knežević)
E-mail: dinko@rgf.bg.ac.yu