

UPRAVLJANJE KVALITETOM UGLJA



**Dragan Ignjatović • Dinko Knežević
Božo Kolonja • Nikola Lilić • Ranka Stanković**

**Rudarsko-geološki fakultet
Univerziteta u Beogradu**

UPRAVLJANJE KVALITETOM UGLJA

**Dragan IGNJATOVIĆ
Dinko KNEŽEVIĆ
Božo KOLONJA
Nikola LILIĆ
Ranka STANKOVIĆ**

Beograd, 2007.

UPRAVLJANJE KVALITETOM UGLJA

Autori:

Prof. dr Dragan Ignjatović, prof. dr Dinko Knežević, prof. dr Božo Kolonja, prof. dr Nikola Lilić, asist. mr Ranka Stanković, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu

Recenzenti:

Prof. dr Nenad Đajić, dipl.ing.maš.
Prof. dr Vladimir Pavlović, dipl.ing.rud.
Prof. dr Ivan Obradović, dipl. mat.

Publikovanje ove monografije odobreno je od strane Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu odlukom br. 8/107 od 05.12.2006.

Urednik: Prof. dr Rudolf Tomanec

Uređivački odbor: prof. dr Rudolf Tomanec, predsednik; prof. dr Dragan Ignjatović, šef Rudarskog odseka; prof. dr Nebojša Vidanović; prof. dr Lazar Kričak; prof. dr Dragan Đorđević; doc. dr Dejan Ivezić; mr Vesna Karović-Maričić; Aleksandra Tomašević dipl.ing.rud.

Izdavač: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu

Za izdavača: Prof. dr Božo Kolonja, dipl.ing.rud.

Grafička priprema: Aleksandra Tomašević, dipl.ing.rud.

Slika na korici: Katalog FAM Bulk Materials Handling

Štampa: Biro graf, Zemun

Tiraž: 300 primeraka

CIP-Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

622.33.013

Upravljanje kvalitetom uglja / Dragan Ignjatović...[et al].
- Beograd : Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta, 2007
(Zemun : Biro graf). - VII, 169 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 165-169.

ISBN 978-86-7352-171-8

1. Ignjatović, Dragan

a) Ugalj - Kvalitet

COBISS.SR-ID 137023756

Ova monografija je nastala kao rezultat istraživanja po projektu "Upravljanje procesom homogenizacije uglja u cilju povećanja iskorišćenja niskokvalitetnih ugljeva i uštede mazuta u termoelektranama" koji je finansiralo Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije. Istraživanja po ovom projektu su obavljena tokom 2005. godine, pa se sva saznanja vezana za praktičnu primenu sistema upravljanja na kopovima Tamnava odnose na stanje u tom periodu.

Pri pripremanju teksta ove monografije posebno nam je bila dragocena pomoć gospode mr Milana Stojakovića, ing. Slobodana Belačevića, ing. Miodraga Kezovića, dr Borislava Perkovića i ing. Miloša Milića. Svima njima se zahvaljujemo na pomoći i saradnji pri realizaciji ovog obimnog projekta.

Ova monografija je štampana uz finansijsku pomoć Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Srbije, Elektropriorede Srbije i Termoelektrana "Nikola Tesla".

Upravljanje kvalitetom uglja

Sadržaj

1. UVODNA RAZMATRANJA	3
1.1. Ugalj - značajna energetska sirovina.....	4
1.2. Homogenizacija, blending i mešanje.....	6
1.3. Efikasnost homogenizacije.....	7
2. OPŠTE O HOMOGENIZACIJI UGLJA	9
2.1. Inostrana iskustva u oblasti homogenizacije ugljeva	9
2.2. Pregled radova na homogenizaciji uglja u Nemačkoj.....	9
2.2.1. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Rajnskom ugljenom basenu	11
2.2.2. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Laubagu	17
2.2.3. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Mibragu	21
2.2.4. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Grčkoj	27
2.2.5. Basen Megalopolis.....	30
2.2.6. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Bugarskoj	35
2.2.7. Rezime stranih iskustava u upravljanju kvalitetom uglja	42
2.3. Moguća mesta homogenizacije uglja koji se isporučuje termoelektranama.....	45
2.4. Homogenizacija pri eksploataciji uglja	45
2.4.1. Homogenizacija u okviru otkopnog bloka.....	45
2.4.2. Homogenizacija na transporterima	48
2.4.3. Homogenizacija na deponiji	49
2.5. On-line analizatori	51
2.5.1. Opšte o automatskim analizatorima uglja.....	51
2.5.2. Merenje sadržaja vlage u uglju	53
2.5.2.2. Merenje sadržaja pepela u uglju	54
2.5.3. Elementarna analiza uglja	57
2.6. Deponije uglja	59
2.6.1. Namena i vrste deponija uglja.....	59
2.6.2. Zapremina deponije uglja	60
2.6.3. Tipovi deponija	62
2.6.4. Mehanizacija za rad na deponijama	64
2.6.5. Metode deponovanja i zahvatanja uglja sa deponije	66
2.6.5.1. Metode deponovanja uglja	66
2.6.6. Metode zahvatanja uglja sa deponije.....	68

3. PREDNOSTI I DOBITI ZBOG UVOĐENJA SISTEMA MERENJA, PRAČENJA I UPRAVLJANJA KVALITETOM UGLJA	75
3.1. Kriterijumi tehničkih ograničenja varijacija kvaliteta uglja	75
3.2. Dobiti na strani kopa	78
3.3. Doprinos regularnosti procesa sagorevanja u kotlovima termoelektrana.....	80
3.4. Dobiti na strani termoelektrane	81
3.5. Doprinos karakterizaciji parametara uglja relevantnih za zaštitu životne sredine	88
4. NEPOVOLJNI UTICAJI DEPONIJA UGLJA NA RADNU I ŽIVOTNU SREDINU	91
4.1. Samozapaljivost uglja	91
4.1.1. Faktori koji utiču na proces samozapaljenja	91
4.1.1.1. Karakteristike uglja	91
4.1.1.2. Klimatske prilike	93
4.1.2. Procena rizika	94
4.1.3. Prevencija samozapaljenja	96
4.1.4. Detekcija	100
4.1.5. Upravljanje procesom samozapaljenja	102
4.2. Emisija prašine	103
4.2.1. Faktori koji utiču na emisiju prašine	103
4.2.2. Prevencija emisije prašine	105
4.2.3. Odlaganje i uzimanje uglja	106
4.2.4. Položaj i projektovanje deponije	107
4.2.5. Nasipi (berme) i ograde	107
4.2.6. Sredstva za suzbijanje prašine.....	108
4.2.6.1. Voda	109
4.2.6.2. Sredstva za poboljšanje kvašljivosti	110
4.2.6.2.1. Pene	110
4.2.6.2.2. Sredstva za aglomeraciju (ukrupnjavanje).....	111
4.2.6.2.3. Zaptivači	111
4.2.6.2.4. Prekrivke	112
4.2.7. Monitoring i metode ispitivanja.....	113
5. MODEL UPRAVLJANJA KVALITETOM UGLJA NA KOPOVIMA "TAMNAVA".....	115
5.1. Kratak prikaz stanja rudarskih radova i opreme na kopovima "Tamnava"	115
5.2. Geologija.....	116
5.3. Eksploatacija	117
5.3.1. Deponija uglja na kopovima "Tamnava"	119
5.4. Koncept homogenizacije uglja sa kopova "Tamnava"	121
5.5. Softversko rešenje modela	124
5.5.1. Geološki model ležišta	124
5.5.2. Kreiranje tehnološkog modela.....	129
5.5.3. Model deponije uglja.....	131

5.5.4. Model za operativno planiranje proizvodnje i kontrolu kvaliteta uglja	132
5.5.5. Namena "on-line" analizatora u sistemu upravljanja kvalitetom uglja na kopovima "Tamnava"	140
5.6. Izbor vrste analizatora uglja	140
5.6.1. Kontrolni parametar	141
5.7. Upravljanje procesom homogenizacije	143
5.7.1. Potrebna oprema	143
5.7.2. Kombinacija bežične (wireless LAN) i optičke ethernet mreže	145
5.7.3. Korišćenje neke od javnih GSM mreža mobilne telefonije	146
5.7.3.1. Operativno praćenje proizvodnje	147
5.8. Uzorkovanje uglja	150
5.8.1. Definisane karakteristika uglja koje je potrebno meriti u novom sistemu	153
5.9. Organizacija centra za upravljanje kvalitetom uglja na kopu	154
5.10. Usklađivanje u jedinstven sistem upravljanja kvalitetom uglja Kolubare	156
5.11. Redukovanje kapaciteta bagera zbog selektivnog otkopavanja	156
5.12. Rezime	160
LITERATURA.....	165

1. Uvodna razmatranja

Osnovni cilj eksploatacije uglja na našim površinskim kopovima je da za potrebe termoelektrana obezbede dovoljne količine uglja, potrebnog kvaliteta i uz minimalne troškove eksploatacije. Kako se uslovi eksploatacije pogoršavaju, a zahtevi elektrana i ekologa postaju sve stroži, neophodno je uvesti sistem upravljanja kvalitetom uglja koji će omogućiti planiranje i nadzor tokom procesa eksploatacije uz održavanje kvaliteta lignita u zadanim (potrebnim) granicama. To će, pored ostalog, omogućiti da se smanje količine mazuta koje se danas troše za podršku procesu sagorevanja, povećće se efikasnost rada i smanjiti emisija štetnih gasova u atmosferu.

Razumljivo je, da sa aspekta rudnika eksploatacija delova ležišta slabijeg kvaliteta ima smisla i opravdanja, jer se na taj način ostvaruje veći stepen iskorišćenja ležišta, produžuje se eksploatacioni vek rudnika i eliminiše pojava samozapaljenja odbačenog uglja na kopovskim (rudničkim) odlagalištima jalovine. Međutim, sa stanovišta termoelektrana prijem uglja lošijeg kvaliteta uvek je praćen bučnim reakcijama budući da sagorevanje ovih ugljeva zahteva veću potrošnju mazuta za podršku vatre, uslovljava smanjenje snage bloka, donosi veće probleme i troškove u održavanju i slično.

Pomirenje interesa kopova i termoelektrana moguće je tražiti samo u sveobuhvatnoj primeni homogenizacije uglja i selektivnog otkopavanja. Međutim, zbog skoro redovne pojave da se kod ležišta lignita u ugljenoj seriji nalazi veliki broj proslojaka jalovine (često male moćnosti i različitog položaja) s jedne strane, i krupnih mašina kontinuiranog dejstva za masovnu proizvodnju (uglavnom rotornih bagera sa velikim prečnicima radnog točka) sa druge strane, dometi selektivnog rada su često ograničeni, pa homogenizacija uglja tj. mešanje uglja boljeg i lošijeg kvaliteta u cilju dobijanja zadovoljavajućeg izlaznog kvaliteta predstavlja najčešće i jedinu mogućnost za usaglašavanje interesa kopova i termoelektrana.

Kad se radi o problemima otkopavanja i korišćenja lignita za proizvodnju električne energije, potreba za homogenizacijom je sve izraženija. Masovna višegodišnja eksploatacija lignita dovela je do toga da su često najkvalitetniji delovi ležišta već otkopani. Kako je potreba za ovom vrstom energenta i dalje prisutna, naročito posle zastoja u ekspanziji nuklearne energije kao alternative, započeto je otkopavanje ležišta uglja sa lošijim kvalitetom. Otkopavanje i korišćenje ovih ugljeva nametnulo je

potrebu rešavanja problema velike varijacije kvaliteta. Tako se početkom osamdesetih godina nauka počela intenzivnije baviti nizom problema vezanih za upravljanje kvalitetom uglja. Homogenizacija koja je već bila zastupljena u drugim oblastima industrijske proizvodnje preuzeta je i primenjena u proizvodnji električne energije iz lignita. Razvoj teoretskih osnova homogenizacije praćen je proizvodnjom specijalnih mašina, projektovanjem novih tehnoloških rešenja i izradom specijalne pomoćne opreme, tako da se danas retko može sresti površinski kop uglja gde se ne vrši upravljanje kvalitetom uglja. Generalno, homogenizacija se može obavljati na svakom mestu u tehnološkom lancu gde je moguće mešanje uglja različitih kvaliteta. Međutim, uglavnom se homogenizacija obavlja na deponijama koje su najčešće i projektovane za ovakve svrhe. Pored toga, homogenizacija se može obavljati i na samom kopu, ako za to postoje određeni uslovi. S druge strane, bunkereri zbog male zapremine u odnosu na količinu materijala koja se mora homogenizovati, nisu pogodni za izvođenje homogenizacije, izuzimajući neke manje fabrike cementa i sl.

Homogenizacija se u rudarstvu može smatrati kao deo jednog globalnog principa koji bazira na zahtevu što potpunijeg iskorišćenja ležišta, naravno, uz puno poštovanje ekonomike celog proizvodnog procesa. Ovaj postupak pruža mogućnost da se otkopavaju zajedno, a zatim homogenizuju delovi ležišta sa različitim sadržajima korisne komponente, delovi ležišta sa različitim sadržajima štetnih komponentata, delovi ležišta sa povoljnim i nepovoljnim koeficijentima otkrivke, itd. Naravno, projektovani proces homogenizacije kao integralni deo celog proizvodnog procesa mora biti podvrgnut ekonomskoj oceni.

Homogenizacija je, dakle, tehničko-tehnološki i organizacioni proces mešanja ugljeva otkopanih različitom opremom sa različitih, međusobno bliskih, lokacija i transportovanih u jednom integrisanom sistemu koji omogućava da se pre faze utovara u transportna sredstva kojim se ugaj usmerava ka termoelektranama izvrši ujednačavanje kvaliteta uglja, prema zadanom ili usvojenom parametru. Ujednačavanje kvaliteta se podrazumeva vremenski (u kratkoj jedinici vremena – minut) i prostorno (u svakom vagonu). Uspešno sprovedena homogenizacija omogućuje povećanje količina uglja čija eksploatacija je opravdana, smanjuje troškove transporta, smanjuje troškove sagorevanja uglja, transporta i deponovanja pepela, unapređuje sistem zaštite okruženja od zagađenja, u prvom redu, u fazi sagorevanja i, saglasno tome, doprineće efikasnijem i profitabilnijem korišćenju raspoloživih prirodnih resursa.

1.1. Ugaj - značajna energetska sirovina

Ugaj, kao energetska izvor je obeležio ekonomski i politički razvoj Evrope u 19. i 20. veku. Na početku 21. veka energija iz uglja čini 36% ukupno proizvedene energije u Evropi i pojedinačno je najznačajniji energetska izvor [Euracoal, 2003.]. Proizvodnja uglja u pojedinim evropskim državama u 2002. god. i procentualno učešće uglja u proizvodnji električne struje dato je u tabeli 1.1.

Tabela 1.1. *Proizvodnja uglja u Evropi u 2002. godini*

Država	Kameni uglj, miliona tona	Lignit, miliona tona	Ukupno, miliona tona	Učešće uglja u proizvodnji el. struje u 2001.g.
Austrija	-	1,4	1,4	10,9
Bosna i Hercegovina	-	7,9	7,9	
Bugarska	3,3	23,1	26,4	46,2
Češka	14,5	48,9	63,4	71,6
Francuska	1,5	0,1	1,6	5,4
Grčka	-	70,8	70,8	66,0
Mađarska	0,6	13,4	14,0	24,7
Makedonija	-	8,6	8,6	
Nemačka	29,2	181,8	211	50,4
Poljska	102,1	58,2	160,3	90,1
Rumunija	3,0	27,4	30,4	36,5
Slovačka	-	3,4	3,4	18,7
Slovenija	-	4,7	4,7	33,8
Srbija	-	32,0	32,0	66,1
Španija	13,8	8,6	22,4	29,6
Turska	2,2	59,0	61,2	31,4
Velika Britanija	30,0	-	30,0	34,1
Ukupno	200,2	549,3	749,5	

Očigledno je da Srbija spada među evropske države kod kojih uglj predstavlja prevladavajući energetska izvor.

Rezerve lignita u Srbiji su u više navrata proračunavate i procenjivane, a rezultati su se, često iz dnevnopolitičkih razloga, u velikoj meri razlikovali. Osnovni problem kod tih procena odnosio se na rezerve uglja u ugljenim basenima na Kosovu i Metohiji. Procene rezerve lignita u najvećim rudarskim basenima u Srbiji preuzete iz nemačkih izvora date su u tabeli 1.2 [Rheinbraun, 1999.].

Tabela 1.2. *Rezerve lignita u najznačajnijim basenima u Srbiji*

Ugljeni basen	Eksploataбилne rezerve, miliona tona	Geološke rezerve, miliona tona	Iskorišćene rezerve, %
Kosovo	8.170	10.490	2,7
Kolubara	2.573	3.635	21
Metohija	1.551	2.730	
Kostolac	635	1.569	14
Kovin	190	240	
Ukupno	13.119	18.664	

Najveći potrošači uglja u Srbiji su termoelektrane u kojima se sagori 96% ukupno proizvedenog uglja godišnje, dok se preostali deo plasira, kao sušeni i klasirani ugalj, u industriji i tzv. širokoj potrošnji [Ignjatović, 2001.]

Izraženo ekvivalentno u nafti Srbija raspolaže sa 4,3 milijarde tona ekvivalentne nafte, čime ugalj čini više od 88% ukupnog energetskeg potencijala države [Živanović, Čuk, 1996.]. Blizu 70% reaspoloživih rezervi uglja se može otkopati površinskim putem visokoproduktivnom mehanizacijom sa kontinualnim radom.

Svi izneseni podaci upućuju na zaključak da je ugalj osnovna energetska sirovina na ovim prostorima i da je njegovoj eksploataciji i tretiranju neophodno posvetiti veliku pažnju. S tim u vezi, neophodno je stalno unapređivati procese eksploatacije i korišćenja kako bi se stepen korišćenja maksimalno povećao, a proizvednja energije bila profitabilna i ekološki bezbedna. Uvođenje sistema ujednačavanja kvaliteta i upravljanja kvalitetom uglja je jedan od bitnih koraka u realizaciji ekonomične i bezbedne eksploatacije i korišćenja naših ugljeva.

1.2. Homogenizacija, blending i mešanje

U srpskoj rudarskoj terminologiji za mešanje raznorodnih ili jednorodnih materijala radi ujednačavanja nekog od tehnološki bitnih parametara uobičajio se izraz "homogenizacija". Ovaj izraz je više puta u stručnim krugovima osporavan kao netačan (neprecizan, neodgovarajući) no praksa je bila "upornija" tako da se pojam "homogenizacija" zadržao i danas.

U engleskom jeziku za proces mešanja radi ujednačavanja redovno se sreću tri pojma: "homogenization" (homogenizacija), "blending" (mešanje) i "mixing" (mešanje, miksovanje). Uprkos ovom, mešanju pojmova u engleskom su sva tri pojma jasnije definisana i znače [Carpenter, 1995, Wall, 2001]:

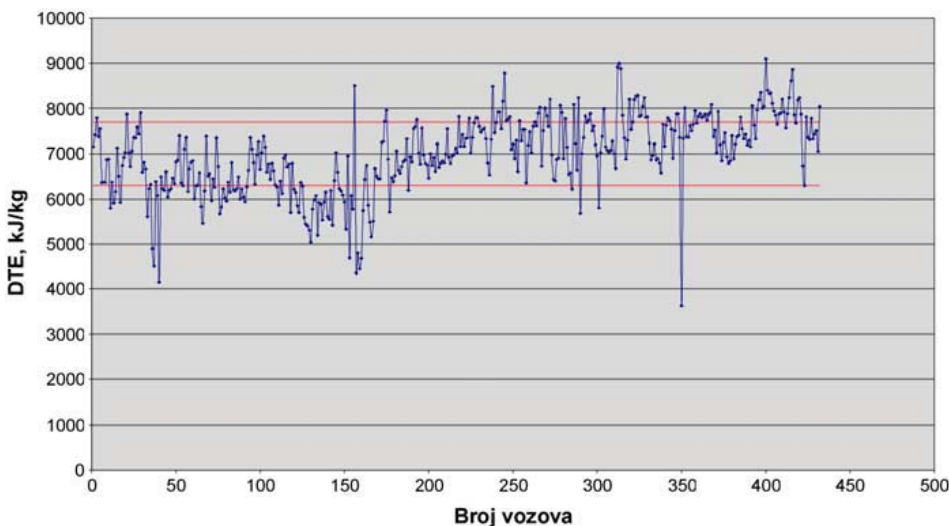
- "**homogenization**" (**homogenizacija**) predstavlja preradu jedne vrste materijala tako da se nepoželjne razlike u pogledu kvaliteta ili granulometrijskog sastava ublaže (ujednače),
- "**blending**" (**mešanje**) predstavlja formiranje krajnjeg proizvoda potrebnog i poznatog kvaliteta od dva ili više tipova istog materijala (npr. uglja, duvana itd.) tako da se posle mešanje ne može identifikovati ni jedan od materijala pojedinačno, i
- "**mixing**" (**mešanje, miksovanje**) predstavlja mešanje različitih komponentata, ali tako da se tragovi pojedinačnih komponentata i posle mešanja mogu identifikovati.

Prema tome, ako se vrši mešanje ugljeva sa jednog ležišta može se konstatovati da se radi o mešanju samo jednog materijala radi ujednačavanja kvaliteta (toplotne moći ili sadržaja sumpora) što dobro korespondira sa pojmom "homogenizacija". Ako bi se mešali ugljevi sa dva ili više ležišta tada se više ne bi moglo pričati o pojmu "homogenizacija" već samo o "mešanju" (kao blending) ili "mešanju, miksovanju" (kao mixing).

Ako se radi o krupnozrnoj sirovini (mešanju rovnih ugljeva) proces bi se mogao nazvati miksovanjem (mixing) jer je moguće posle mešanja identifikovati polazne komponente. U slučaju da se meša izdrobljeni ili mleveni ugalj sa sigurnošću se može tvrditi da je nemoguće u mešavini precizno identifikovati pojedine polazne komponente čime se kao precizan nameće pojam mešanje, kao "blending".

1.3. Efikasnost homogenizacije

Uspešnost homogenizacije najbolje se sagledava ekonomskim parametrima u integrisanom sistemu rudnik-termoelektrana. Na slici 1.1 grafički je prikazana promena kvaliteta uglja isporučenog u toku jednog karakterističnog meseca sa kopova "Tamnava" obrenovačkim termoelektranama [Ignjatović, 2001]. Crvenim linijama je označen dijapazon poželjnih vrednosti. Očigledno je da je u više vozova kvalitet uglja poremećen, bilo da je lošiji ili bolji od potrebnog.

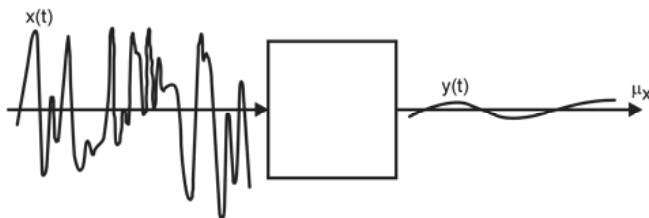


Slika 1.1. Kvalitet isporučenog uglja u toku jednog karakterističnog meseca sa površinskih kopova "Tamnava"

S tehničkog aspekta uspešnost homogenizacije se sagledava odnosom standardne devijacije izabranog parametra pre i posle mešanja, pri verovatnoći od 95% [Wall, 2001]. Na slici 1.2 grafički je prikazana definicija uspešnosti homogenizacije [Schott et al., 2003].

Procesom homogenizacije teži se dobijanju supstance potrebnih, odnosno unapred zadatih karakteristika. Unapred zadati kvalitet ili karakteristika supstance predstavlja novi kvalitet koji se fizički može ostvariti mešanjem dve supstance. Ovde se uglavnom radi, ne o jednoj fiksnoj brojnoj vrednosti koja karakteriše novi kvalitet, već često o dijapazonu mogućih kvaliteta koji zadovoljavaju određeni proces zbog kojeg se i vrši homogenizacija. Nekad je potrebno procesom mešanja ugljeva ostvariti

zahtevani DTE, određeni sadržaj sumpora i/ili određeni sadržaj pepela. Koji parametar će služiti kao vodeći u procesu homogenizacije određuje se u svakom slučaju ponaosob.



Slika 1.2. Grafički prikaz efikasnosti homogenizacija

Kada se homogenizacija bazira samo na jednom parametru tada je proces upravljanja relativno jednostavan. Međutim, kada je istovremeno potrebno ujednačiti kvalitet u pogledu dva parametra problem se komplikuje. Ako su ta dva parametra toplotna moć i učešće pepela problem se nešto lakše rešava jer obično postoji dobra korelacija između toplotne moći i učešća pepela. Mnogo teži problem je kada istovremeno treba ujednačiti ugalj u pogledu toplotne moći i učešća sumpora ili učešća pepela i sumpora. U ovakvim slučajevima jedna od karakteristika mora biti rangirana kao prioritetna. Ako se mešanjem uvek ne mogu zadovoljiti potrebe za poboljšanjem obe karakteristike, prednost se daje onoj koja je u tom trenutku bitnija. Naime, ukoliko se ne može zadovoljiti potreba za poboljšanjem toplotne moći i sadržaja sumpora istovremeno, obično se opredeljuje za smanjenje sadržaja sumpora po cenu da toplotna moć uglja bude i dalje manja od potrebne.

Literatura

- [1] Carpenter M.A., 1995, Coal blending for power stations, IEA Coal Research, London
- [2] Ignjatović D., 2001, Određivanje eksploatacionog kvaliteta uglja za sagorevanje u termoelektranama Nikola Tesla, Zbornik radova XXXIII oktobarskog savetovanja, Bor
- [3] Ignjatović D., 2001., Izbor pomoćne mehanizacije za površinske kopove, Zadužbina Andrejević, Beograd
- [4] Schott et al., 2003, Large-scale homogenization in mammoth silos: calculation homogenization efficiency and modeling input properties, Int. Journal of mineral processing, No. 71, Elsevier, Amsterdam, pp. 179-199
- [5] Wall T. et al., 2001, A review of the state-of-the-art in coal blending for power generation final report – project 3.16, Cooperative research centre for black coal utilisation, Callaghan
- [6] xxx, 1999., Lignite in Europe, Rheinbraun Aktiengesellschaft, Cologne
- [7] xxx, 2003, Coal industry across Europe, European Association for Coal and Lignite (Euracoal), Brussels
- [8] Živanović V., Čuk Lj., 1996., Ugalj naš najveći izvor energije, "Energija, ekonomija, ekologija", vol. 1, br. 2, Beograd, pp.73-75.

2. Opšte o homogenizaciji uglja

2.1. Inostrana iskustva u oblasti homogenizacije ugljeva*

Dugoročna i masovna eksploatacija lignita u celom svetu nametnula je potrebu korišćenja i delova ležišta slabijeg kvaliteta. Kontinuirano snabdevanje elektrana rovnim ugljem, čiji kvalitativni parametri odgovaraju zahtevima komitenta i istovremeno obezbeđuju efikasnu primenu, predstavlja osnovni zadatak u procesu planiranja i proizvodnje uglja. Naročito termoelektrane koje su izgrađene poslednjih godina za efikasan rad zahtevaju ugalj sa relativno usko naznačenim kvalitativnim parametrima. Za ekonomski prihvatljivu moderizaciju starih elektrana bilo je, takođe, neophodno izdiferencirati parametre sirovine u uskom opsegu i obezbediti ih tako da pokriju celokupno vreme rada.

Sve ovo nametnulo je potrebu za upravljenjem procesom otkopavanja uglja i njegovom homogenizacijom. Upravljanje kvalitetom sirovog uglja i transportovanih količina predstavlja proces koji mora da otpočne još u prvoj fazi planiranja i koji mora biti garantovan do poslednjeg radnog sata kopa.

Takođe, sve oštriji zahtevi koji se postavljaju sa ekološke strane uslovljavaju neminovnost mešanja ugljeva različitih karakteristika kako bi se dobila mešavina pogodna za sagorevanje.

2.2. Pregled radova na homogenizaciji uglja u Nemačkoj

Nemačka je zahvaljujući povoljnim rudarsko-geološkim uslovima već čitav vek lider u proizvodnji ne samo lignita već i mehanizacije za njegovo dobijanje površinskom eksploatacijom [Rheinebraun, 1999]. Ona je razvila visokoproduktivne mašine i tehnologiju za masovno i jeftino dobijanje lignita kako bi parirala uvoznim i jeftinim kamenim ugljevima. Nemačka je danas najveći proizvođač lignita površinskom eksploatacijom. Godišnje u okviru 4 velika ugljena basena (Rajnski, Srednjenemački, Helmštedski i Lusatian) proizvodi gotovo 200 miliona tona lignita koji se

* Najveći deo prikazanih informacija o homogenizaciji uglja na rudnicima u Nemačkoj, Bugarskoj i Grčkoj su pribavljeni od menadžmenta tih rudnika tokom poseta 2003. i 2004. god.

najvećim delom koristi za dobijanje električne energije (oko 26% energije u Nemačkoj dobija se iz lignita).

Na slici 2.1 prikazan je položaj lignitskih basena u Nemačkoj.



Slika 2.1. Dispozicija lignitskih basena u Nemačkoj

Količine uglja koje se eksploatišu u navedenim basenima, potrošnja i kvalitet su dati u tabeli 2.1 [Rheinebraun, 1999].

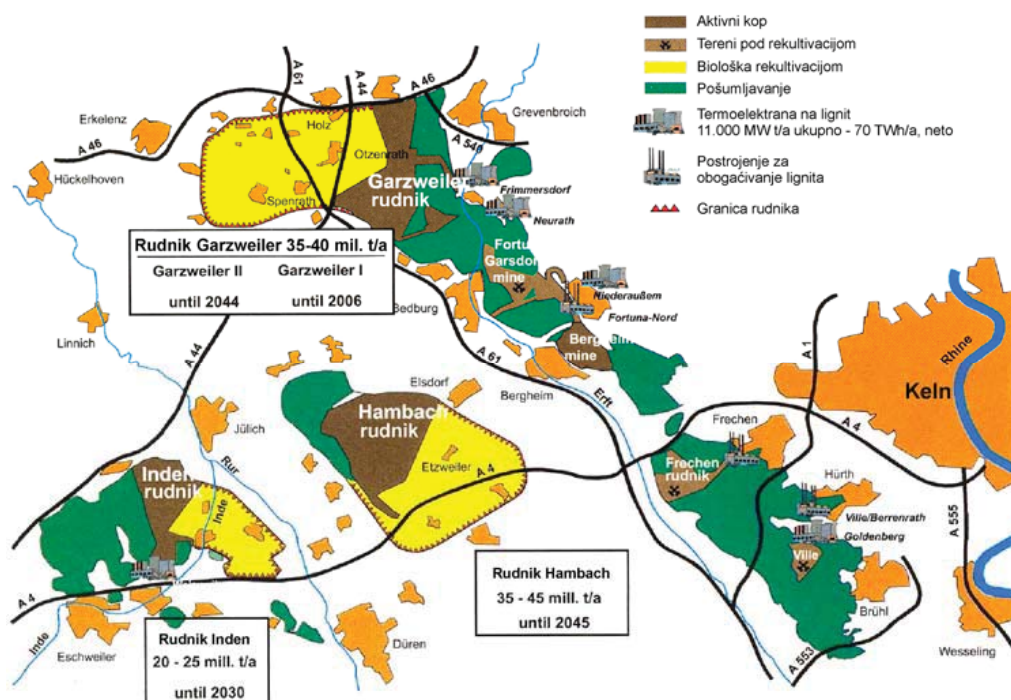
Tabela 2.1. Proizvodnja, kvalitet i potrošnja uglja iz najvećih nemačkih ugljenih basena

Ugljeni basen		Rajnski	Lusatia	Centralno-nemački	Helmstedt	Ukupno
Proizvodnja, miliona tona/g		97,4	50,5	13,6	4,5	166,0
Korišćenje, miliona tona/g	Proizvodnja struje i grejanje	87,3	46,8	12,6	4,5	151,2
	Oplemenjivanje	9,3	3,6	0,9	0,1	13,9
	Ostalo	0,8	0,1	0,1	-0,1	0,9
DTE, kJ/kg		7.800-10.500	8.400-9.000	9.000-11.500	10.000-12.000	
Pepeo, %		1,5-8,0	4,0-8,0	6,5-8,5	10,0-15,0	
Vlaga, %		50-60	52-58	48-52	42-48	
Sumpor, %		0,15-0,5	0,3-1,0	1,5-2,1	1,8-3,2	

Nemačka kao jedna od najbogatijih i tehnološki najrazvijenijih zemalja među prvim je otpočela sa nadzorom nad eksploatacijom i homogenizacijom uglja.

2.2.1. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Rajnskom ugljenom basenu

U Rajnskom basenu (*Rheinbraun AG*), na četiri površinska kopa (Garzweiler, Bergheim, Hambach i Inden) godišnje se otkopa oko 100 miliona tona uglja [konsultacije sa menadžmentom rudnika, 2004]. Od otkopanih količina gotovo 90% se koristi za proizvodnju električne energije, dok preostalih oko 10% nalazi primenu u proizvodnji oplemenjenih proizvoda u tri sopstvena pogona za oplemenjivanje uglja (slika 2.2).



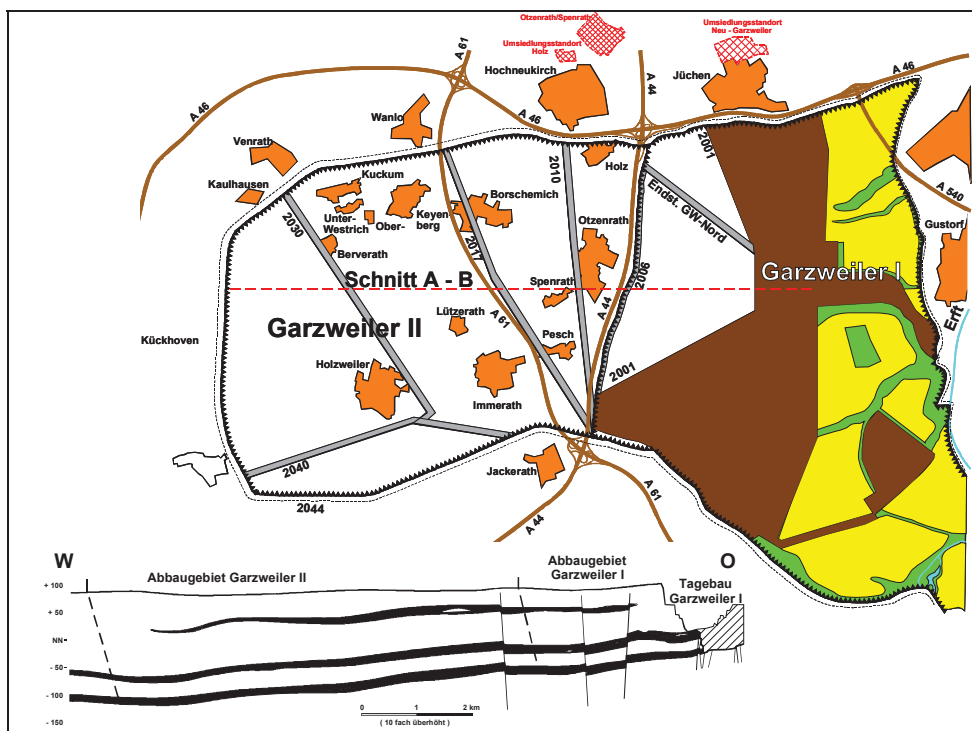
Slika 2.2. Dispozicija kopova, termoelektrana i objekata prerade u Rajnskom basenu

Tri površinska kopa (Garzweiler, Bergheim i Hambach) povezana su sa potrošačima preko sopstvene železničke mreže. Površinski kop Inden predstavlja sa termoelektranom Weisweiler izdvojen pogon i time je izuzet iz nadređenog sistema upravljanja distribucijom uglja. Dnevna proizvodnja se kreće oko 220.000 tona i isporučuje se prema četiri termoelektrane i tri pogona prerade.

Jedan deo uglja se upotrebljava u pogonima oplemenjivanja za proizvodnju briketa i koksa. Za dobijanje ovih proizvoda gornja granica sa-

držaja pepela je 2,5% a sadržaj sumpora 0,24%. Pošto pojedinačni pogoni za oplemenjivanje proizvode uvek određene proizvode, postavljaju se specifični zahtevi za kvalitetom od strane pogona za oplemenjivanje. Kao primer može se navesti fabrika Ville-Berrenrath koja zbog proizvodnje briketa ne podnosi gel i pesak, a isto tako ne dozvoljava ni prekoračenje sadržaja sumpora. Postojeći kapacitet deponija kod pogona za oplemenjivanje, u principu, pokriva samo polovinu maksimalne dnevne potrebe, pa zahteve kvaliteta treba ispuniti već u fazi eksploatacije uglja.

Na uglju koji se isporučuje temoelektranama kontroliše se 6 parametara kvaliteta: pepeo, gvožđe, kalijum, natrijum, sumpor i toplotna vrednost (DTE). Saglasno ovim parametrima ugalj se klasifikuje na "normalan ugalj" i "problematičan ugalj", kao i ugalj sa niskom toplotnom vrednošću i ugalj sa visokom toplotnom vrednošću. Problem predstavljaju ugljevi veće toplotne vrednosti, bogati elementima kao što su gvožđe, kalijum ili natrijum zbog stvaranja šljake što dovodi do značajnih problema u kotlovima termoelektrana. Iz tog razloga proizilaze veće štete na tehničkim uređajima, što uslovljava višednevne zastoje i radove na čišćenju kotlova.



Slika 2.3. Pregled i geološki presek površinskog kopa Garzweiler

Na površinskom kopu Garzweiler ugalj je zastupljen u 3 sloja (slika 2.3), ukupne debljine od oko 40 m. Debljina otkrivke na ovom kopu je oko 180 m. Za otkopavanje koriste se rotorni bageri različitih kapaciteta. Otkopavanje se obavlja na dva krila tako, da se ugalj kopa na pet

različitih radnih zona. Ugalj koji se koristi isključivo za proizvodnju električne energije odlaže se na deponiju kapaciteta 2×300.000 t. Namena deponije je mešanje uglja i stvaranje potrebnih količina uglja u rezervi. Deponovani ugalj se zahvata deponijskim mašinama i utovara u vozove kojim se doprema do potrošača (ili direktno trakom do termoelektrane Frimmersdorf). Parametri kvaliteta uglja na ovom kopu se neznatno menjaju, tako da sadašnje vrednosti kvaliteta uglja imaju veliku ujednačenost i zadovoljavaju uslove sagorevanja u termoelektranama. Takođe, kvalitet pojedinačnih slojeva je u velikom prostoru relativno konstantan. Ovo posebno važi za sadržaj kalijuma, natrijuma i gvožđa, pri čemu samo poslednji sloj lokalno pokazuje veće varijacije u sadržaju pepela. Uzrok su strukture žljebova nekadašnjih vodenih tokova sa peskovitim inkluzijama u sloju Frimensdorf, koje mogu da dovedu lokalno do velikog povećanja sadržaja pepela. Stoga se na površinskom kopu Garzweiler velika pažnja posvećuje određivanju sadržaja pepela.

Površinski kop Hambach se razvija radijalno oko jedne tačke, u smeru kazaljke na satu, koja se nalazi na jugozapadu eksploatacionog polja, slika 2.4. Ugalj je velike moćnosti i zaleže u pravcu napredovanja fronta radova. Za otkopanje jalovine i uglja koriste se rotorni bageri sa dnevnim kapacitetima od 240.000 m^3 . Najveći deo uglja eksploatiše se na najnižoj etaži (više od 80%), dok bager iznad otkopava samo ugalj i služi kao "količinski pufer". Ugalj iskopan na površinskom kopu se skladišti na deponiji zapremine od 2×400.000 t. Dalje se ugalj sa deponije zahvata kombinovanim mašinama i utovara u vozove.

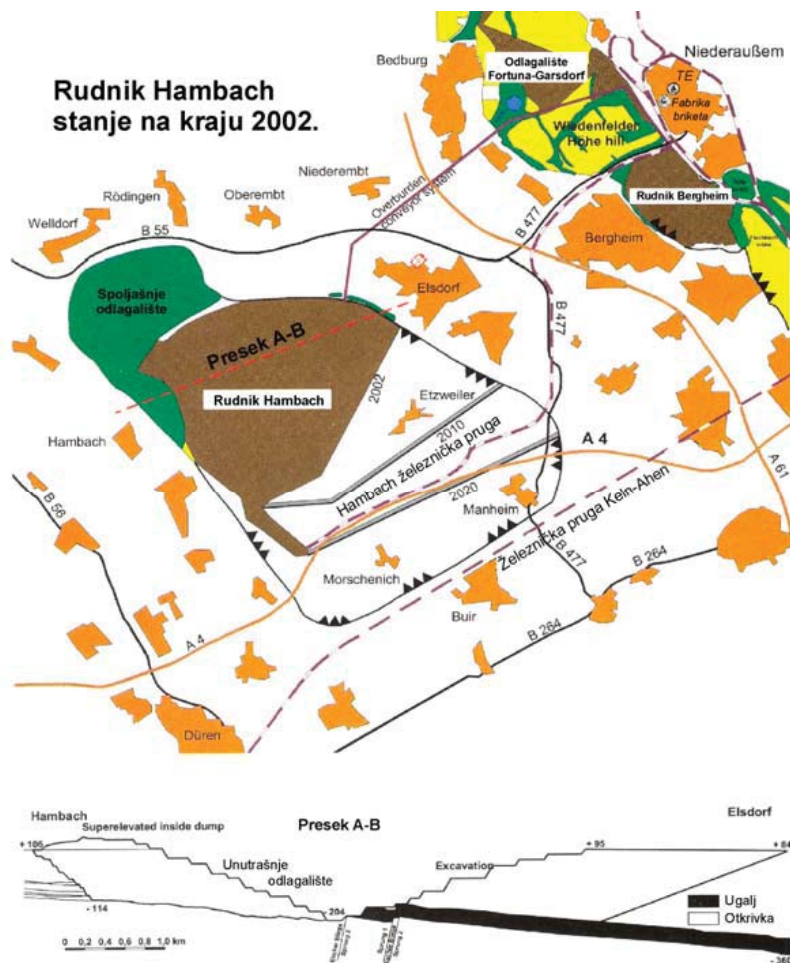
Trenutno se otkopava ugalj toplotne vrednosti od 9.400 kJ/kg . Sadržaji pepela i sumpora su neznatni što dugoročno opredeljuje da se ovaj ugalj isključivo koristi za oplemenjivanje. Drugo obeležje kvaliteta uglja su sadržaji alkalija, koje rastu od tačke obrtanja u smeru zaokretnog kraja, prosečno 1.100 ppm , tako da će u smeru otkopavanja sledećih godina porasti za oko 66%. Takođe, pojavljuju se pojedinačno horizonti koji sadrže gvožđe. Uz to dolaze pojedinačni, neznatne debljine, jasno izraženi proslojci, koji ne samo da mogu da imaju visoke sadržaje pepela već i visoke sadržaje gvožđa i alkalija. Na taj način je kompaktno formiran ugalj podlozan, kako u vertikalnom tako i u horizontalnom pravcu, većim kolebanjima kvaliteta. Vrednosti kvaliteta uglja dopuštaju samo u izvesnoj meri da se ugalj bez homogenizacije koristi u termoelektranama.

Sistem planiranja kvaliteta, ponaosob za sva tri površinska kopa, sastoji se iz sledećih faza:

- planiranje rasporeda i angažovanja bagera,
- određivanje kvaliteta i kvantiteta iskopanog uglja,
- korišćenje deponija,
- izlazne kontrola kvaliteta i kvantiteta uglja.

Planiranje rasporeda i angažovanja bagera vrši se prema prostornoj raspodeli kvaliteta uglja, za operativni period od 4 nedelje, a bazira se na kvartalnom i godišnjem planiranju rada površinskih kopova. Pre sprovođenja nedeljnog dispozicionog planiranja određuje se kvalitet poje-

dinačnih eksploatacionih blokova. Za to se koristi simulacioni program IKOLA (Interaktivno određivanje kvaliteta uglja na bazi dokumentacije o ležištu). Na osnovu istražnih bušotina formira se geološki model kopa sa fiktivnim stubovima. Fiktivni kvalitativni stubovi formiraju se u razmaci-ma od 50 m paralelno sa frontom otkopavanja. Sa simulacionim programom IKOLA vrši se formiranje tehnološkog modela sa podelom ugljenog sloja na podetaže.

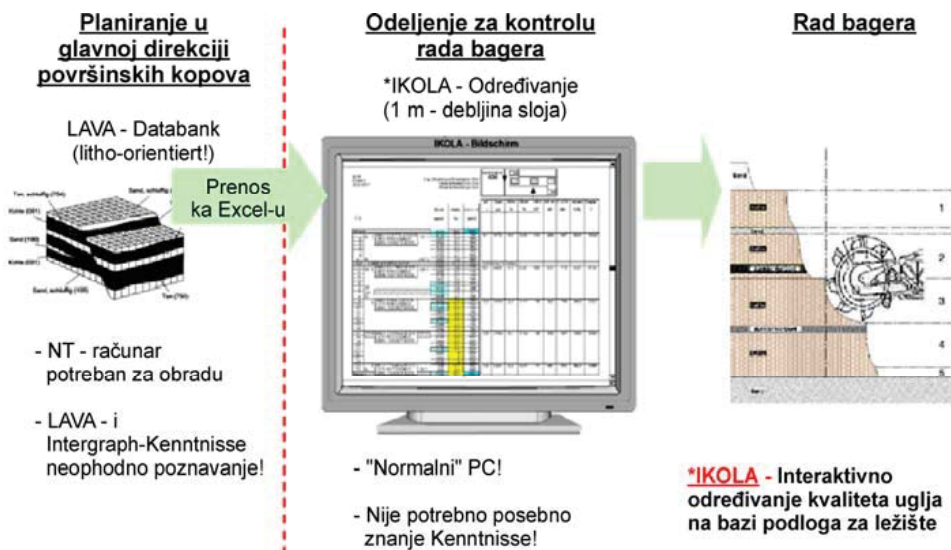


Slika 2.4. Pregledna karta i geološki profil površinskog kopa Hambach

U nedeljnom dispozicionom planiranju rada utvrđuju se za pojedinačne etaže kapacitivna angažovanja rotornih bagera, tako da se ispunjavaju zahtevi potrošača. Pored količine, kvaliteta i stanja deponija kao kontrola dispozicionog planiranja navedeni su angažovanje mašina za eksploataciju kao i predviđeni dnevni zastoji. Aktualizacija se vrši dnevno, a načelna prerada nedeljno.

Principijelna šema izrade geološkog i tehnološkog modela kopa prikazana je na slici 2.5.

Određivanje kvaliteta otkopanog uglja bazira se na prethodno obrađenim podacima ležišta i iz toga u pretplaniranju na osnovu tehnološkog modela kopa. Ako je potrebno vrši se redefinisavanje kvaliteta na bazi aktuelnih ispitivanja.



Slika 2.5. Principijelna šema geološkog i tehnološkog modela kopa

Na površinskom kopu Garzweiler koriste se kontinuirano on-line analizatori RODOS (*Rapid-ON-line-Determinator Of Sulphur*) za određivanje sadržaja sumpora i pepela.

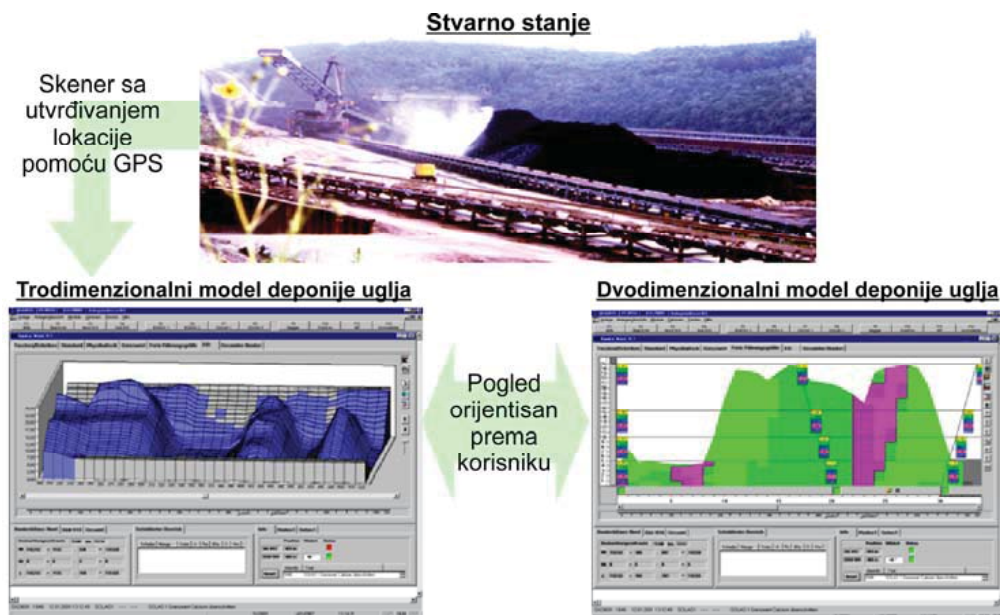
U međuvremenu je ova tehnika analize optimizirana i dalje usavršena u SOLAS (brza on-line analiza za rastresite materijale). Uzorci se kontinuirano usisavaju iz protoka, a analiza se vrši preko rentgenske cevi. Na taj način se sada direktno može, pored sadržaja pepela i sumpora, odrediti i sadržaj gvožđa i toplotna vrednost. Pošto se natrijum ne može još odrediti pomoću on-line analizatora, to se, u sprezi sa kalijumom, podaci o sadržaju alkalija daju na osnovu podataka iz ležišta.

Korišćenje deponije vrši se uz primenu računara i povezano je sa automatskim definisanjem položaja svih deponijskih mašina. Za pozicioniranje deponijskih mašina koristi se GPS (*"globale positioning system"* - sistem opšteg pozicioniranja). Količine koje se otkopavaju određuju se preko vaga na traci. Vrednosti kvaliteta se, shodno mestu eksploatacije, očitavaju iz baze podataka o ležištu ili automatski preuzimaju sa on-line analizatora.

Pored količine i kvaliteta beleži se i mesto eksploatacije kao i datum odlaganja i zahvatanja. Isto tako, vrši se automatska podela uglja na pojedinačne vrste, npr. ugalj za termoelektrane i ugalj za oplemenjivanje. Sistem na deponiji dopušta da se različiti kvaliteti, npr. u pogledu sadržaja pepela, kod skladištenja namenski poređaju. Isto tako, oni garantuju prolazno praćenje kvaliteta i pripremu uglja kako potrošači zahtevaju.

Deponovanje uglja vrši se Shevron metodom, a zahvatanje je etažno, odnosno podetažno. Etažni rad kod deponovanja dovodi do ravnomernog mešanja, a kvalitet se automatski određuje.

Izgled modela rada na deponiji prikazan je na slici 2.6.



Slika 2.6. Model deponije

Kontrola izlaza - uglj koji se otprema potrošačima sa deponije, označava se sertifikatima i preko računara automatski se prosleđuje u računar železničkog preduzeća. Svi procesi eksploatacije i transportovanja beleže se na površinskom kopu i služe za kasnije vrednovanje.

Sistem za upravljanje protokom – zadatak sistema je da potrošačima isporuči uglj potrebnog kvaliteta u zahtevanim količinama za ugovoreni planski period. Pri tome je važno, da se uzmu u obzir ležišni uslovi, raspoloživost i stanje otkopne i transportne opreme.

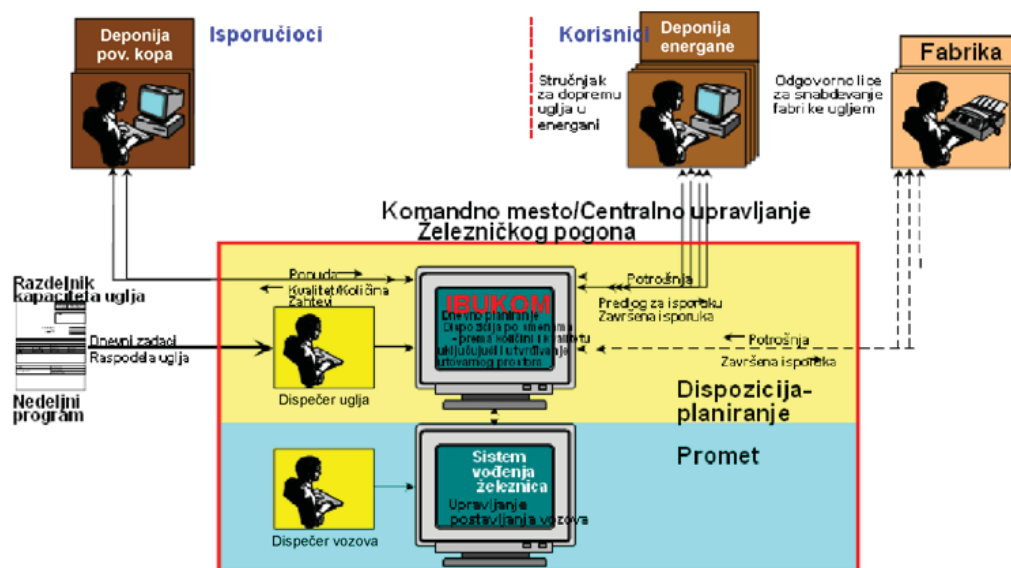
Proizvodnjom upravlja direktor površinskog kopa Garzweiler. On je, takođe, nadležan za rad železnice i na taj način preko železničke mreže na kopu ima komandu nad potrebnim kapacitetom za distribuciju i transport. Na osnovu zadatog plana transportovanja, koji proizilazi iz srednjoročnog plana, distributer uglja mesečno usaglašava potrebu uglja sa potrošačima. U planovima se uzimaju u obzir sezonska opterećenja termoelektrana kao i konkretno predstojeći remont ili nadređeni uticaji drugih proizvođača struje. Isto tako, vrši se usaglašavanje sa pogonima za oplemenjivanje. Iz ovih usaglašavanja proizilazi periodična revizija mesečnog planiranja površinskih kopova, na čijoj osnovi se potrošačima dostavlja promenljiva četvoro-nedeljna prognoza sa očekivanim kvalitetima uglja i procentualnim podacima o količinama po površinskom kopu.

Radi detaljnog planiranja nedeljnog rada površinski kopovi sprovode opisano dispoziционно planiranje i podatke šalju distributeru uglja. Distributer takođe dobija količine za potrebe pojedinačnih elektrana i pogona za oplemenjivanje. Na osnovu ponude i potražnje vrši se usaglašavanje nedeljnog planiranja. Detaljna pitanja se raspravljaju na nedeljnom sastanku između distributera uglja i rukovodilaca proizvodnje površinskih kopova, kao i sa rukovodiocem železničkog preduzeća. Rezultat dobijaju kako površinski kopovi tako i potrošači kao nedeljnu prognozu, po pitanju količine i kvaliteta.

Na ovoj osnovi vrši se upravljanje dnevnim protokom. Ova funkcija kontrole nalazi se kod rukovodioca železnice, koji je istovremeno distributer uglja. Na ovom mestu sumirana je odgovornost za okvirnu dispoziciju uglja i transporta. On ima, po smenama, aktuelna stanja deponija oba kopa i potrebe za eksploatacijom.

Ugalj se ka potrošačima isporučuje vozovima sa kapacitetom od 1.400 t. Svaki voz posle utovara sa deponija površinskih kopova dobija sertifikat kvaliteta.

Na slici 2.7 prikazana je principijana šema upravljanja kvalitetom uglja u Rheinbraunu.

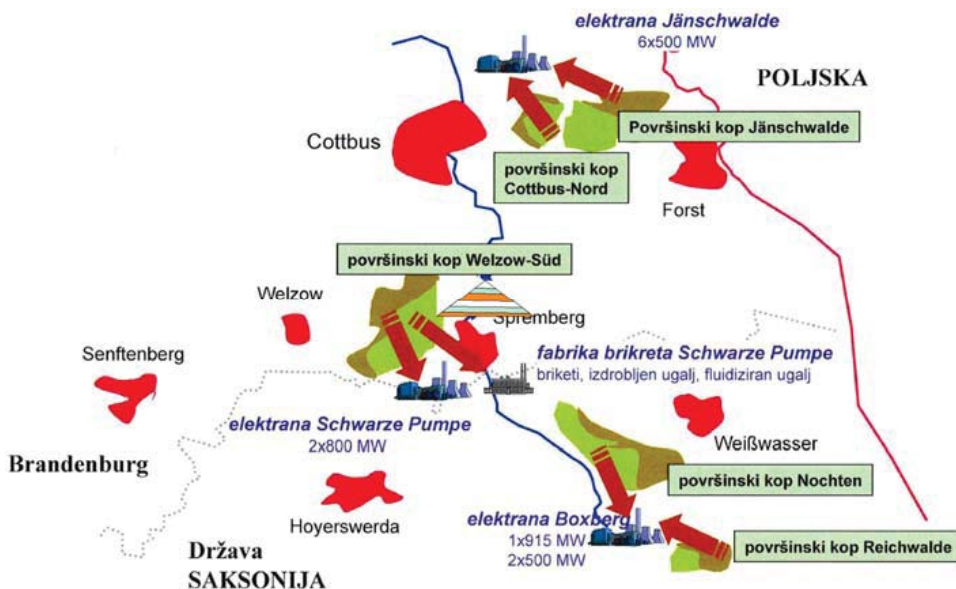


Slika 2.7. Principijalna šema upravljanja kvalitetom uglja u Rheinbraunu

2.2.2. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Laubagu

Laubag je kompanija za proizvodnju lignita, koja se nalazi 150 km južno od Berlina. Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Laubag) posluje sa pet površinskih kopova u eksploatacionoj oblasti lignita Lusatia, slika 2.8 [Bonisch, Hohna, Wanenfal].

Laubag proizvodi oko 60 miliona tona sirovog lignita za tri velike termoelektrane (ukupne instalisane snage preko 6000 MW), za postrojenja za proizvodnju briketa, mlevenje i fluidizaciju lignita, kao i za nekoliko malih termoenergetskih postrojenja. Svi kopovi i termoelektrane povezani su jedinstvenom železničkom mrežom.



Slika 2.8. Dispozicija kopova i termoelektrana u Laubagu

Kako je Laubag glavni snabdevač ugljem termoelektrana, to je uslovalo da se u ovoj kopaniji kao imperativ nametne pitanje integralnog planiranja proizvodnje i upravljanja kvalitetom uglja.

Ugalj se otkopava iz II miocenskog sloja i ima sledeće parametre kvaliteta:

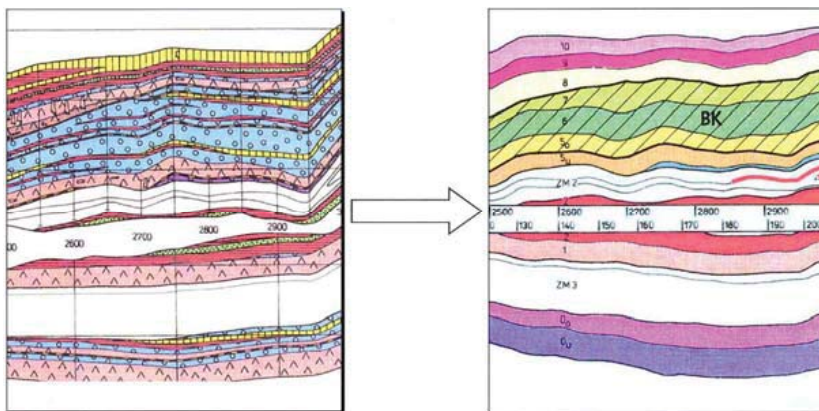
- toplotna vrednost..... 8.500 ÷ 9.200 kJ/kg
- vlaga..... 52 ÷ 57%
- pepeo..... 3 ÷ 10%
- sumpor..... 0,3 ÷ 1,0%.

Zahtevi novosagrađenih blokova termoelektrana su veoma strogi i ne dozvoljavaju veliku varijaciju u kvalitetu. U zavisnosti od toplotne vrednosti i sadržaja silicijuma, sastav pepela je posebno važan, pirit (FeS_2) prouzrokuje zapušavanje i taloženje šljake u kotlovima. Takođe, sadržaj sumpora je preduslov za optimalan rad postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova.

Zahtevi koje postavljaju termoelektrane i briketarnica mogu biti ispunjeni samo mešanjem uglja otkopanog sa različitih delova na jednom površinskom kopu ili sa različitih površinskih kopova.

Osnovni preduslov za upravljanjem kvalitetom uglja je izrada kvalitetne geološke baze. Baza je formirana osnovnim istražnim bušenjem, a

dopunjena je poguščavanjem mreže (bušenjem sa krovine uglja). Pri tome se kartira svaka promena kvaliteta uglja u sloju. Hemijski i petrološki podaci o kvalitetu, oko 40 različitih parametara (dobijenih analizama uzoraka uglja istražnim bušenjem) se skupljaju u bazu podataka. To garantuje pouzdanu geološku bazu uz njeno stalno redefinisavanje. Na osnovu ovako dobijenih podataka formira se profil ugljenog sloja, slika 2.9.



Slika 2.9. Geološki profil koji služe kao osnova za izradu tehnološkog modela.

Operativno planiranje eksploatacije uglja se bazira na dodatnim informacijama o kvalitetu uglja koje se dobijaju naknadnim uzimanjem uzoraka sa čela etaže. Ovo uzorkovanje se izvodi za svaku makro-petrografsku promenu u slojevu (naslaga, struktura, sadržaja ksilita, gelifikacije i umetaka). Pomenuti elementi utiču na hemijska i petrološka svojstva uglja. Razdaljina između uzetih uzoraka je uglavnom 0,5 do 2 metra. Stratigrafski horizonti predstavljaju najmanje moguće delove koji će se otkopavati zbog njihove debljine. Na granicama horizonata su jasno uočljivi počeci sloja koje veoma lako bagerista može uočiti (svetli proslojci, na primer).

Svi neophodni petrografski parametri sloja ilustrovani su u kompjuterskom prikazu delova po bojama čela i horizonata. Ovi delovi prikazuju različite tipove uglja kao i proslojke u uglju (sočiva peska, pirit, samce, itd.).

Podaci o kvalitetu uglja dobijeni na osnovu operativnog uzorkovanja predstavljaju osnovu za upravljanje proizvodnjom i kvalitetom uglja na površinskim kopovima lignita u Laubagu.

Na osnovu ovako definisanog geološkog modela formira se tehnološki model sa izdvojenim blokovima i naznakom koji bager otkopava koji blok. Treba napomenuti da na svim kopovima postoji značajna rezerva u kapacitetu bagera koji otkopava ugalj. Takođe, specifičnost je da se otkopavanje vrši tzv. bočnim blokom, bager se "šeta" duž bloka i useca u blok koji omogućava homogenizaciju.

Na slici 2.10 šematski je prikazan tehnološki model na kopovima Laubaga.

Na osnovu zahteva potrošača otkopani uglj, sa poznatim parametrima kvaliteta, se upućuje različitim korisnicima. Otkopni blokovi sa potencijalnim ugljem za briketiranje se posebno specificiraju. Osim toga, određuju se i blokovi koji sadrže manje sumpora u uglju pa se taj uglj koristi u termoenergetskim postrojenjima bez odsumporavanja. Takođe, mogu se uočiti i delovi sloja sa relativno nepovoljnim stanjem i na osnovu toga odrediti mešanje sa ugljem drugačijeg kvaliteta, koji je neophodno obraditi i deponovati.

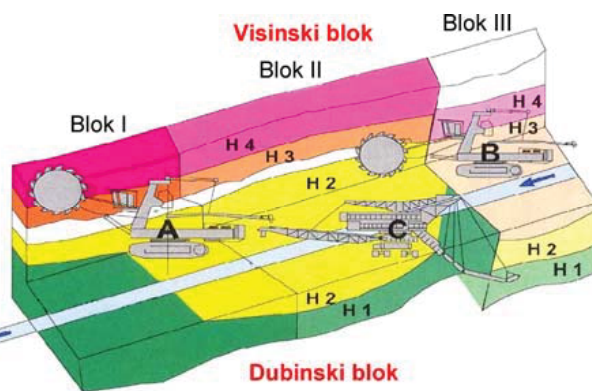
Kvalitet po vozovima

Voz	Vrsta	Pepeo	Sumpor	Sertifikat
XYX	BK	3,5	0,23	2 - 1
XXX	KK	3,9	0,76	2 - 4
XYZ	KK	4,7	1,08	3 - 6

Utovar u vagon



Voz XYZ



Kvalitet uglja od bloka I do bloka III po slojevima

	Blok I		Blok II		Blok III	
	A	S	A	S	A	S
H 4	4,4	0,70	3,1	0,55	3,0	0,49
H 3	3,5	0,23	3,2	0,33	3,2	0,35
H 2	5,4	1,29	4,9	1,29	3,4	0,37
H 1	5,8	1,04	4,7	1,23	4,1	0,28

Kvalitet po bagerima

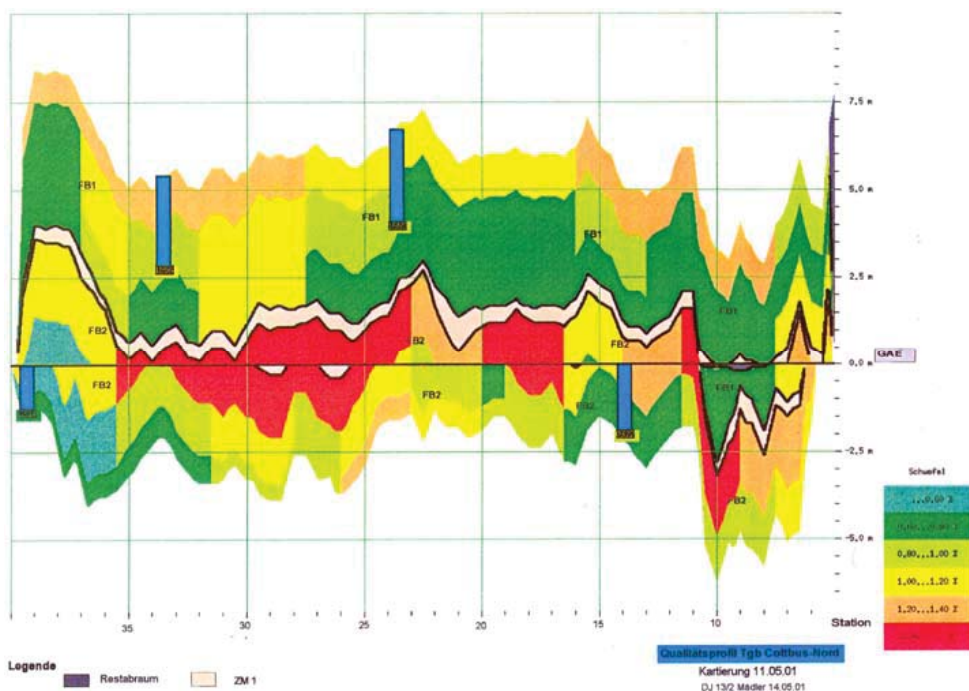
Bager	Blok / Sloj	Pepeo	Sumpor
SRs A	I / 4	4,4	0,70
SRs B	II / 2	4,9	1,29
ERs C	II / 1+2	4,8	1,26

Slika 2.10. Šematski prikaz tehnološkog modela

Kratkoročno planiranje proizvodnje vrši se na osnovu pozicije bagera, njegovog kapaciteta uz proračun potrebnog vremena transporta trakama. Sadržaj pepela se kontroliše on-line analizatorom na sabirnim transporterima i na deponiji kopa. Povezanost proračuna ovih podataka omogućava davanje informacija o kvalitetu uglja za svaki utovareni voz bez laboratorijskih analiza ili direktnog merenja na utovarnim tačkama.

Sistem za upravljanje kvalitetom uglja je u ingerenciji operativne službe na površinskim kopovima. U operativnoj centrali, model sloja sa etažama je vizuelizovan uz prikaz trenutnog položaja bagera na kome se otkopava uglj, slika 2.11. Svaki bagerista na displeju dobija "zadatak": koji blok otkopava i kojim kapacitetom. Otkopane mase mere se na samom bageru (na odložnoj traci postavljena je vaga i on-line analizator) i u dispečarskom centru se prati trenutni kapacitet i kvalitet. U slučaju incidentnih situacija dispečar odmah upozorava bageristu.

Na površinskom kopu Nohten takođe postoji deponija na kojoj se vrši dodatna homogenizacija. Homogenizacija se po potrebi vrši i u bunke-rima termoelektrana.



Slika 2.11. Model sloja na displeju u dispečarskom centru

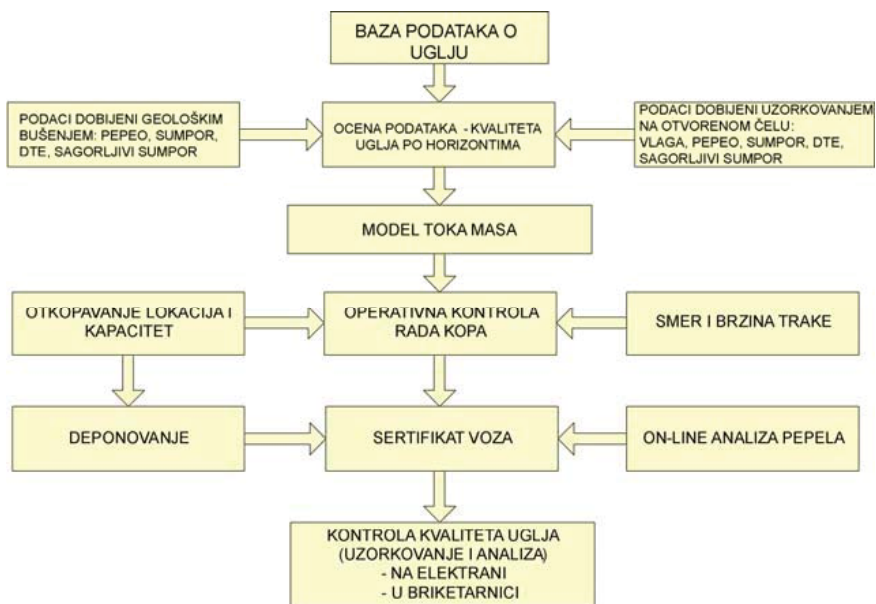
Za svaki voz i utovarenu jedinicu se izdaje sertifikat, koji sadrži informacije o parametrima kvaliteta uglja: vlazi, pepelu, sadržaju sumpora i toplotnoj vrednosti uglja, a za briketiranje uglja dopunske mikrolitotipove (ksilit, siderit, gelit). Metoda sertifikovanja voza omogućava da se izbegnu mnogobrojne i skupe laboratorijske analize.

Konceptualni model upravljanje kvalitetom uglja u Laubagu prikazan je na slici 2.12.

Sistem upravljanja kvalitetom uglja u Laubagu je uveden u periodu 1996-1999. Prema tvrdnjama korisnika ovaj model upravljanja garantuje poštovanje ugovornih i ekoloških parametara uz značajno smanjenje troškova proizvodnje električne energije. Poseban značaj uvođenja ovog sistema se ogleda u povećanju tehnološke discipline, tako da je broj incidentnih situacija gotovo zanemarljiv.

2.2.3. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Mibragu

Srednjenemački basen - Mibrag (Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH) nalazi se u neposrednoj blizini Lajpciga. Nakon ujedinjenja Nemačke rad na ovim kopovima bio je gotovo zaustavljen. Krajem devedesetih godina ovu firmu kupila je američko-engleska korporacija "Washington Group and NRG Energy" i nakon modernizacije rudnika obnovila proizvodnju. U okviru Mibraga na dva površinska kopa (Profen i Vereinigtes Schleenhain) se proizvodi oko 20 miliona tona uglja godišnje, slika 2.13.

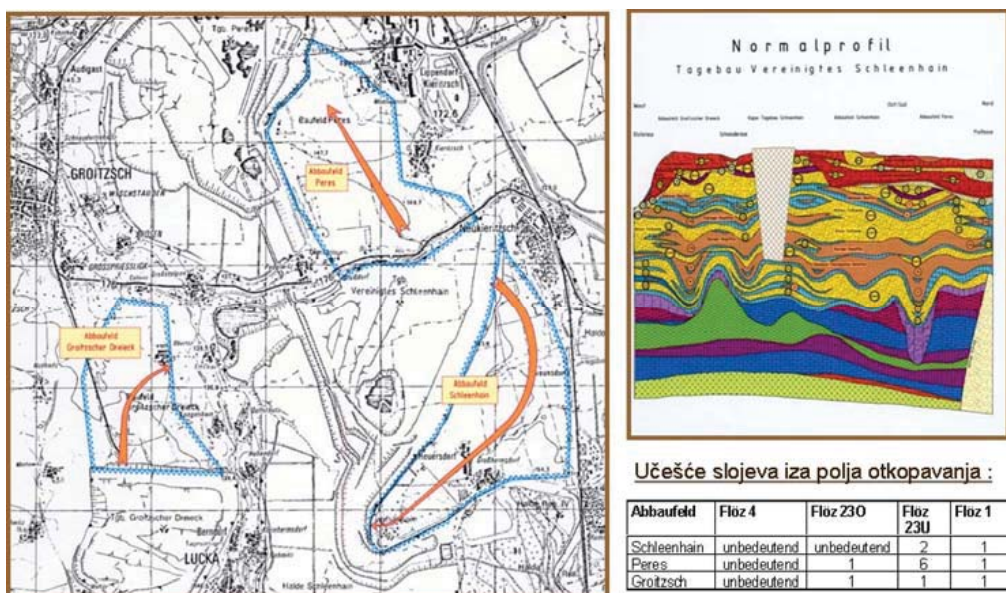


Slika 2.12. Konceptualni model upravljanje kvalitetom uglja u Laubagu



Slika 2.13. Dispozicija kopova kompanije Mibrag

Ugljem sa kopa **Vereinigtes Schleenhain** snabdeva se novoizgrađena elektrana Lippendorf, do koje se uglj direktno transportuje traka-stim transporterima. Termoelektrana Lippendorf (2×930 MW, stepen korisnosti 43%) je prilagođena kvalitetu uglja sa pomenutog površinskog kopa. Iz toga, u kontekstu planiranja eksploatacije i realizacije, proističe osnovni zadatak da se ova elektrana kontinuirano snabdeva ugljem (oko 10 miliona tona godišnje) sa strogo definisanim kvalitetom u svakom trenutku i to u okviru najmanjih isporuka.



Slika 2.14. Površinski kop Vereinigtes Schleenhain i karakteristični profil kroz slojeve

Površinski kop obuhvata 3 eksploataciona polja - Schleenhain, Peres i Groitzsch. Navedena eksploataciona polja spadaju u najveća ležišta lajpciške dubodoline.

U Mibrag-u je posebna pažnja posvećena sadržaju sumpora. Sadržaj sumpora u oblasti površinskog kopa Vereinigtes Schleenhain pokazuje sledeće tendencije:

- porast od najstarijeg ka najmlađem sloju,
- regionalni porast od juga ka severu,
- povećano učešće pirita u gornjim slojevima.

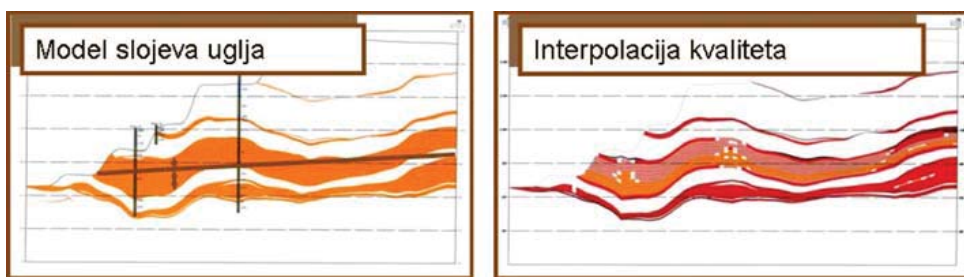
Prosečan sadržaja sirovog sumpora iznosi 1,7% (kreće se između 2,4% - prvi rez u polju Schleenhain i 1,2% - sloj I-kompleks u otkopnom polju Peres).

Projektovani parametri uglja koje zahteva termoelektrana Lippendorf su: DTE 10.500 kJ/kg, pepeo 6-7% i manje od 2% sumpora. Polazeći od ovih vrednosti, a imajući u vidu tehničke mogućnosti i ekonomičnost utvrđena je i ugovorom fiksirana granična vrednost sumpora od 2,0%.

Sistem za upravljanje procesom proizvodnje i homogenizacijom uglja u ovom basenu zasnovan je na:

- izradi geološkog modela kvaliteta,
- izradi tehnološkog modela i planiranju procesa proizvodnje,
- operativnom praćenju procesa otkopavanja uz korišćenje depozita za dopunu kapaciteta i korekciju kvaliteta,
- analizi i korekciji modela.

Osnovna pretpostavka za realizaciju ovog projekta bila je izrada geološkog modela kvaliteta uglja baziranog na podacima o ispitivanju ležišta. Otkopno polje Schleenhain je do 1989. godine sveobuhvatno i detaljno ispitivano u više etapa prvenstveno putem bušenja, pri čemu je rastojanje između bušotina iznosilo 140 m. Saznanja po pitanju kvaliteta su, shodno različitim vremenskim periodima ispitivanja diferencirano vrednovana. Za modeliranje se trenutno koristi 4477 bušotina (od toga 939 bušotina na kvalitet uglja). Sa ovim podacima izrađen je model ležišta na bazi koga se vrši operativno planiranje proizvodnje, slika 2.15.



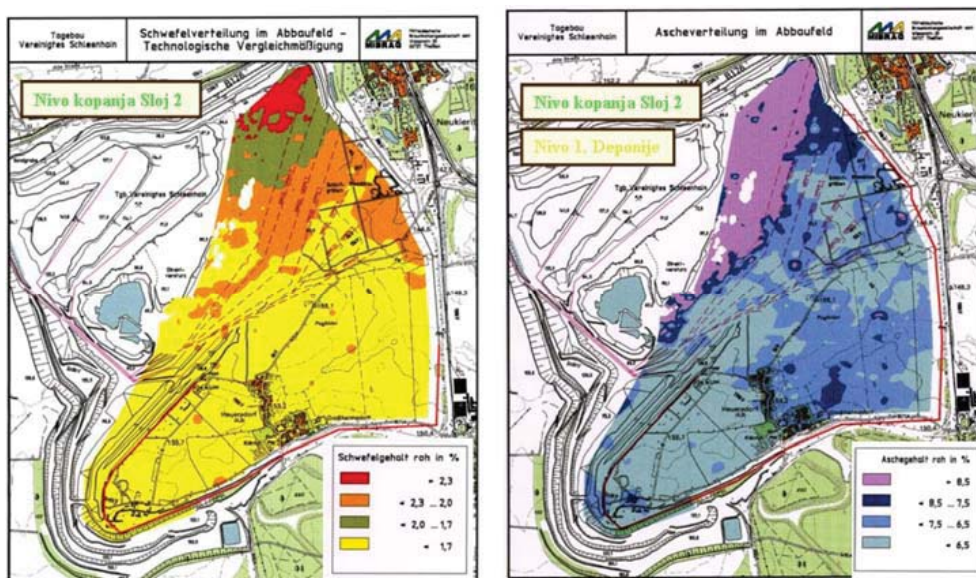
Slika 2.15. Geološki model ugljenog sloja

Planiranje se vrši dinamički na osnovu ovog modela. Imajući u vidu tehničke parametre mašina za eksploataciju uglja sukcesivno sledi definisanje tehnologije otkopavanja koja je orijentisana na realne potrebe i prodaju, odnosno plasman.

U dugoročnom planiranju za otkopna polja prvo se utvrđuju linije zaokretanja, položaj radnih ravni kao i strategije o mogućnostima ponovne upotrebe, odnosno reciklaže. U okviru toga pripremaju se, proveravaju i u slučaju novih saznanja, preciziraju odluke vezano za optimalno opremanje površinskog kopa. Pritom se, pored izračunavanja kapaciteta na selektivnoj jalovini potrebnog za eksploataciju uglja, vrši i prva procena razvoja kvaliteta uglja za čitavo vreme rada (slika 2.16).

U cilju postizanja ravnomernosti vrši se prilagođavanje razvoja, korekcija rasporeda kopanja i balansiranje odnosa kapaciteta. Tako se npr. na otkopnom polju Schleenhain moralo predvideti postavljanje središnje obrtne tačke kako bi se izbalansirale visoke vrednosti sumpora na kraju zaokretanja u prvim godinama rada. Razvoj kompleksa prvog sloja određen je sa visokim vrednostima pepela koje se pojavljuju takođe na kraju zaokretanja i sa svoje strane merodavno utiče na planirani razvoj i zaokretanja.

Slika 2.16. pokazuje da je na otkopnom polju Schleenhain svesno planiran otežan tehnološki razvoj kako bi se odgovorilo na zahteve krajnjeg korisnika po pitanju kvaliteta.



Slika 2.16. Procena razvoja kvaliteta za čitavo vreme rada kopa

Bazirajući se na rezultatima dugoročnog planiranja vrši se srednjoročno planiranje za period od 2 do 5 godina u godišnjim ciklusima i koncentriše se na uticajne faktore koji su vrlo specifični po pitanju prihoda i rashoda. U ovoj etapi vrši se obrada i procena mogućih varijanti za otkopavanje slojeva, sekundarno otkopavanje pratećih sirovina kao i za smenski režim rada. Rezultati dugoročnog planiranja se ispituju i sravnjuju od slučaja do slučaja. Pridržavanje zadatih vrednosti kvaliteta za prvi period rada planira se do prosečnih kvartalnih vrednosti.

Kratkoročno planiranje vrši se u formi mesečnih, sedmičnih i dnevnih planova rada. Na osnovu datih tehničkih pretpostavki kao i na osnovu planiranih zastoja utvrđenih tehnologija za regulisanje mašina propisuje se konkretna primena mehanizacije.

U ovom višestepenom procesu planiranja eksploatacija rovnog uglja, orijentisana na realne potrebe, je uvek od prioritnog značaja. Pri tom važi princip da jedino postojanje kvalitetnog načina eksploatacije odnosno režima rada u naredenoj fazi planiranja omogućava i praktično obezbeđuje isti i u sledećoj etapi planiranja. Ovakav pristup, međutim, ipak ima izvesna ograničenja.

Tako realizaciju ravnomernog, odnosno uravnoteženog mešovito načina eksploatacije odnosno režima rada u okviru kratkog vremenskog perioda (dan, smena, sat), neophodnog za efikasan rad tehnike upravljanja i vođenja elektrane, nije moguće postići izuzev u slučaju kada se računa sa gubicima kapaciteta u radu na površinskim kopovima. Upravo

iz tog razloga je na površinskom kopu Vereinigtes Schleenhain predviđen drugi stepen u konceptu homogenizacije i to na deponiji. Tačka preseka koja je odlučujuća za količinu i kvalitet deponovanja preuzima pritom tri funkcije:

- Eksploatacija rovnog uglja vremenski se odvija nezavisno od snabdevanja elektrane ugljem, što omogućava da se rad na površinskom kopu ograniči na pet dana u nedelji. Elektrana se snabdeva svih sedam dana u nedelji.
- Kapacitet od 400.000 t uglja obezbeđuje zadovoljavajuću zalihu.
- Odgovarajućom tehnologijom odlaganja i kasnijeg zahvatanja omogućava se homogenizacija uglja.

Sistem za mešanje uglja podeljen je na pet skladišnih komora odnosno sekcija zapremine oko 75 hiljada tona, što odgovara vremenu zahvatanja od oko 1,5 dana i vremenu odlaganja od oko 2 dana. Mešanje uglja unutar tih slojevito naslaganih gomila vrši se po kosoj Shevron-metodi. Odlaganje u gomile vrši se preko odlagača, pri čemu se registruje mesto odlaganja, kao i kvalitet uglja. To omogućava definisanje modela rada deponije, tako da se za svaku poziciju zna tačan kvalitet uglja. Brzina kretanja se, pritom, reguliše u zavisnosti od kapaciteta tako da se javlja isti zapreminski sadržaj za svaki deponovani sloj.

Proces zahvatanja uglja ostvaruje se preko vedričastog portalnog bagera. Ova tehnologija omogućava da se pri svakom prolazu tj. ugaonom nagibu vučnog lanca postiže isti zapreminski udeo svih deponovanih slojeva. Kvalitet uglja svake skladišne komore odnosno sekcije tako u svakom trenutku odgovara prosečnom kvalitetu.

Proces homogenizacije završava se u bunkeru elektrane (gde se takođe modelira raspored klasa kvaliteta) koji predstavlja presipno mesto uglja od površinskog kopa do elektrane.

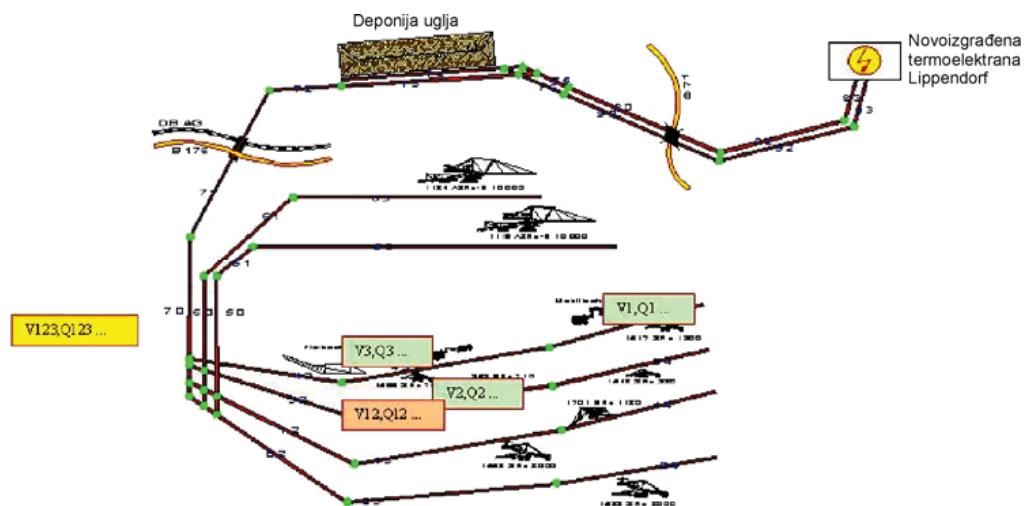
Konceptualni model upravljanja tokom masa uglja u fazi otkopavanja primenjen u Mibragu prikazan je na slici 2.17.

Primenjeni model povezuje parametre kvaliteta uglja sa uslovima rada opreme na površinskom kopu (pozicioniranje i trenutni kapacitet bagera, brzina trake, itd.) što omogućava kvalitativnu i kvantitativnu procenu masenog protoka, uz istovremenu kontrolu nad radom na deponiji.

Kapacitet bagera se prati uz pomoć tračnih vaga. Preko on-line analizatora, koji su instalirani na etažnim i sabirnim transporterima vrši se kontrola i ujednačavanje dobijenih vrednosti kvaliteta. Ovako lociranje mernih tačaka omogućava da se skoro eliminišu greške prouzrokovane opadanjem mernih karakteristika i pogrešnim merenjima.

Mibrag je sistem za upravljanje kvalitetom uglja uveo u eksploataciju 1999. godine i od tada se stalno unapređuje. Primena opisanog sistema na površinskom kopu Vereinigtes Schleenhain u ovom periodu pokazala je da se kvalitet sirovog uglja, koji se isporučuje termoelektrani, moguće unapred planirati i ostvariti u procesu proizvodnje čak i u minimalnim količinama isporuke saglasno zahtevima potrošača. Od uvođenja u

rad sistema za praćenje kvaliteta nisu zabeležene incidentne situacije u isporuci uglja termoelektrani.



Slika 2.17. Praćenje toka uglja u sistemu

2.2.4. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Grčkoj

Po godišnjoj proizvodnji mrkih ugljeva i lignita Grčka se nalazi na petom mestu u svetu. U 1998. godini proizvodnja je premašila 60 miliona tona. Najveći deo tog uglja se sagoreva u termoelektranama. Procenjuje se da je u Grčkoj od 1953. godine iskopano više od 1 milijarde tona lignita. Ugalj je osnovna energetska sirovina, a Grčka uspeva da proizvodnjom energije sagorevanjem uglja pokrije 70-75% svojih potreba.

Grčka ima dva velika ugljena basena: Ptolemais, lociran u severnom delu Grčke (zapadna Makedonija) i Megalopolis, lociran u centralnom delu Peloponeza, slika 2.18.

Ptolemais je lociran u tektonskom basenu na liniji Florina-Ptolemais-Kozani-Elassona u zapadnoj Makedoniji. Procenjene geološke rezerve uglja iznose 4,3 milijarde tona. Procenjene rezerve čine 2/3 grčkih rezervi i po tome je ovo najveći ugljeni basen u državi. Bazirano na sadašnjim tehno-ekonomskim uslovima kao eksploataбилne se vode rezerve od 2,7 milijardi tona uglja. Masovnija eksploatacija uglja u ovom basenu je započela 1955. godine sa godišnjom proizvodnjom od oko 1,8 miliona tona. Ugalj je korišćen za proizvodnju električne energije, briketiranje, sušenje, proizvodnju polukoksa i azotnih đubriva. Danas proizvodnju obavlja državno javno preduzeće "Ptolemais – amynteon lignite center" (P-ALC). P-ALC godišnje proizvodi oko 52 miliona tona lignita za proizvodnju električne energije u 17 termo-blokova ukupne instalisane snage 4378 MW. Uz ovo godišnje se otkopa i 250 miliona m³ otkrivke i međuslojne jalovine. Pregled termoelektrana i rudnika u Ptolemais ugljenom basenu dat je u tabeli 2.2.



Slika 2.18. Dispozicija lignitskih basena u Grčkoj (Basen Ptolemais)

Tabela 2.2. Pregled termoelektrana i kopova u basenu Ptolemais

Termoelektrana	Instalisana snaga, MW	Površinski kop	Kapacitet, mil. tona/god.
Liptol	43	Glavno polje	7,0
Ptolemais	620		
Kardia	1200	Sektor 6	15,0
Agios Dimitrios	1585	Južno polje	20,0
Amynteon	600	Polje Amynteon	8,0
Florina-meliti	330	Vevi achlada	2,3
Ukupno	4378	Ukupno	52,3

U basenu Ptolemais je 1998. godine proizvedeno 24.600 GWh električne energije što je činilo 65% ukupno proizvedene električne energije u Grčkoj. Procenjuje se da su raspoložive rezerve dovoljne za proizvodnju električne energije u narednih 50 godina.

Razlozi za uvođenje homogenizacije - velike varijacije u kvalitetu lignita koji se otkopava u višeslojnom ležištu su osnovni razlog za uvođenje procesa upravljanja kvalitetom uglja. Pre opredeljenja za homogeni-

zaciju razmotrena su dva moguća rešenja: dodavanje goriva za podršku vatri (ksilit, kameni ugalj, sušeni lignit, mazut i dizel gorivo) i homogenizacija. Prvo opredeljenje je bilo za homogenizaciju. Izvedena su praktična istraživanja na uglju koji se otkopava u Glavnom polju, Sektoru 6 i na Južnom polju, a postavljen je cilj smanjenje frekvencije i stepena varijacija kvaliteta uglja. Pokazano je da se, preko deponija uglja, u periodu deponovanja od 5 do 10 dana, u većini slučajeva, devijacije mogu potpuno otkloniti. Istovremeno je procenjeno da će uvođenje homogenizacije doprineti smanjenju troškova proizvodnje kWh struje za oko 5%.

Kvalitet uglja u ležištu i promene u fazi eksploatacije - da bi se što bolje definisao kvalitet uglja koji se eksploatiše i koji se usmerava ka termoelektranama tokom 1998. godine izvedeno je 155 istražnih bušotina na Južnom polju i 130 na Sektoru 6, a istovremeno je praćen kvalitet eksploatabilnog i termoelektrani isporučenog lignita. Razlike između kvaliteta eksploatabilnog uglja (uglja koji se otkopava) i uglja koji se isporučuje termoelektranama proizilazi iz njegove homogenizacije na deponijama. Rezultati su prikazani u tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Karakteristike lignita proizvodnog na Južnom polju i Sektoru 6 tokom 1998. godine

Kop	Parametar		Geološki	Eksploatabilni	Proizvedeni
Južno polje	pepeo, %*	srednja vrednost	26,2	26,0	32,0
		standardna devijacija	18,8	14,0	3,2
	DTE, kJ/kg	srednja vrednost	5793	5873	5722
		standardna devijacija	275	196	108,1
Sektor 6	pepeo, %	srednja vrednost	24,2	24,6	29,9
		standardna devijacija	15,9	12,4	2,6
	DTE, kJ/kg	srednja vrednost	5885	5873	5814
		standardna devijacija	141	133	60,5

Iz rezultata prikazanih u ovoj tabeli evidentna je visoka nehomogenost uglja u ležištu, smanjenje nehomogenosti kod eksploatisanih blokova i dodatno povećanje homogenosti kod uglja koji se usmerava ka termoelektrani.

Principi homogenizacije - osnovni princip koji je usvojen jeste izravnavanje kvaliteta uglja preko deponija. Naime, dogradnjom postojećih deponija (pre homogenizacije kapacitet deponija uglja uz termoelektrane bio je dovoljan za rad u periodu od 5 do 7 dana) uz sigurnu rezervu za nesmetan rad termoelektrana ostvaruje se homogenizacija uglja i postizanje kvaliteta u ugovorenim granicama. Da bi se ovo ostvarilo neophodno je dobro poznavanje ležišta, planiranje proizvodnje i praćenje kvaliteta otkopanog uglja.

* Sadržaj pepela je preračunat na potpuno suv uzorak.

Uprkos uvođenju homogenizacije i značajnom izravnavanju kvaliteta uglja koji se isporučuje (usvojeni kriterijum za homogenizaciju je DTE) grčke termoelektrane nisu izbacile sisteme dodavanja tečnog goriva ili sušenog uglja za podršku sagorevanju. Naime, prema njihovim iskustvima sistem koji su primenili daje zadovoljavajuće rezultate pri analizi na dnevnoj osnovi, ali ne i na časovnoj. Zbog toga se dešava da u kraćem vremenskom periodu (mereno časovima i minutama) u kotao stigne ugallj koji je van ugovorenih granica pa je neophodno dodatno gorivo za podršku. Prema rezultatima iz 1997. i 1998. godine dodatno gorivo je korišćeno na uglju sa Glavnog polja 17 dana (u obe godine, skupa) pri čemu je homogenizacija vršena u periodu od 5 dana, odnosno 7 dana (sve u 1997. godini) kada je homogenizacija na linijskoj deponiji vršena tokom 10 dana. Kod uglja sa ostala dva polja rezultati si bili nešto povoljniji. Kod kružnih deponija i homogenizacije od 5 i 10 dana dodatno gorivo je korišćeno oko 40 dana. U slučaju uglja iz basena Ptolemais moglo bi se zaključiti da su linijske deponije podesnije za homogenizaciju od kružnih jer se ostvaruje bolja homogenizacija.

Basen Ptolemais je interesantan po iskustvima vezanim za korišćenje on-line analizatora za kontrolu kvaliteta uglja. Naime, oni su odabrali i instalisali analizatore sadržaja pepela koji rade na bazi DUAL tehnologije. Karakteristika ove tehnologije je da se preračunavanja vrše na bazi atomskog broja elemenata koji učestvuju u građi uglja. Pri tome elementi koji čine sagorljivi deo imaju srednji atomski broj oko 6, dok elementi koji grade nesagorljivi deo (pepeo) imaju prosečan atomski broj oko 12. Saglasno tome primenjen je model 6/12. Posle instaliranja uočene su greške veće nego što je uobičajeno kod ovih analizatora montiranih na lignitskim ugljevima, a naposljetku su bili prinuđeni da kupljene analizatore demontiraju i prodaju (ustupe) basenu Megalopolis. Osnovni problem predstavljalo je visoko učešće CaO (36-41%) i, dodatno Fe₂O₃ (5-6%), u pepelu (atomski broj Ca je 20, a Fe 26) jer su Ca i Fe remetili očekivani odnos atomskih težina 6/12.

2.2.5. Basen Megalopolis

Megalopolis je ležište uglja smešteno u centralnom delu Peloponeza sa ukupnim rezervama iznad 300 miliona tona lignita.

Lignit se sagoreva u termoelektranama Megalopolis i Megalopolis A, ukupno instalisane snage od 850 MW. U ove dve termoelektrane se proizvodi oko 14% električne energije u Grčkoj. Ovaj lignit je nastao pre 10 miliona godina. Debljina otkrivke varira od 1 do 40 m, a neorganski sastav čine pesak, peskoviti šljunak i glina. Gustina lignita je 1,1 do 1,2 t/m³. Ugallj se otkopava na tri kopa, a njegove karakteristike su date u tabeli 2.4.

Velike varijacije u kvalitetu uglja su posledice male debljine sloja uglja (od nekoliko centimetara do 3-4 m), nagiba slojeva, varijacije u debljini slojeva, mogućnosti bagera da otkopava selektivno (do 40 cm) i razblaženje usled primenjene metode otkopavanja.

Tabela 2.4. Karakteristike sirovog uglja iz basena Megalopolis, po kopovima

Kop	DTE, kJ/kg	Pepeo, %	Vlaga, %
Choremi	4.441	14,5	60,3
Marathoussa	4.165	17,8	58,4
Kyparissia	3.638	13,5	64,2
Prosečne vrednosti	4.245	14,9	60,7

Procedura uvođenja procesa homogenizacije uglja - smatra se da je uvođenje sistema kontrole i upravljanja kvalitetom uglja u Megalopolisu započelo 1994. godine ugradnjom kontrolnog tornja za uzorkovanje i kontrolu kvaliteta uglja koji se usmerava u termoelektrane. Naredne godine je formiran stručni tim (sastavljen od 5 mladih inženjera) sa zadatkom da uspostavi sistem kontrole kvaliteta i smanji gubitke usled otkopavanja uglja lošijeg kvaliteta.

Celokupne aktivnosti su podeljene u dve faze:

- faza 1 – snimanje i razumevanje karakteristika uglja i zahteva korisnika, i
- faza 2 – snimanje i razumevanje faktora koji utiču na homogenizaciju.

Faza 1 je podrazumevala sledeće aktivnosti:

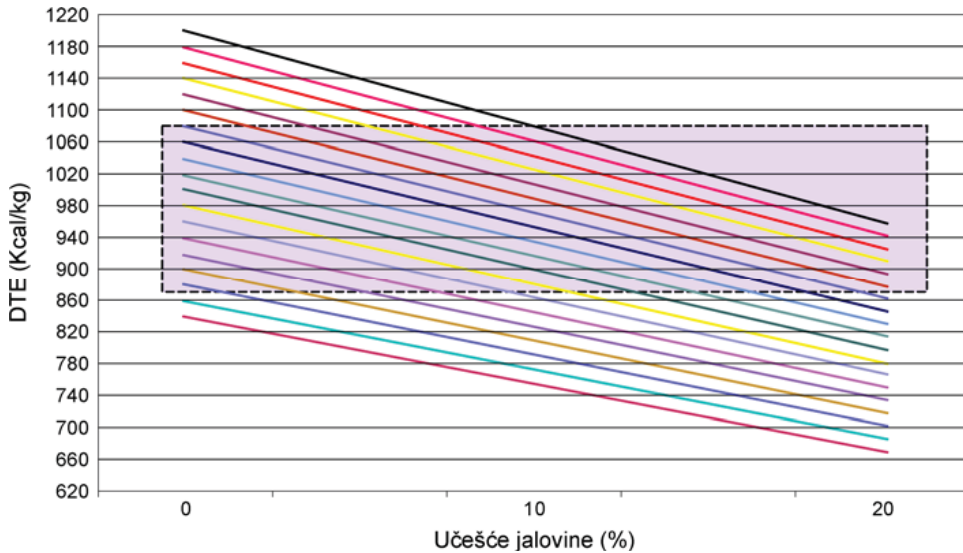
- prikupljanje podataka iz istražnih bušotina,
- planiranje izrade geoloških karata po etažama za svaku fazu otkopavanja,
- uzorkovanje uglja sa deponija,
- razumevanje uslova sagorevanja lignita, i
- standardizacija uglja po kategorijama.

Prvi zaključci su bili da su analize iz geoloških bušotina dovoljno tačne ako se posmatra samo sloj uglja, ali da je varijacija veoma velika ako se uključe i jalovi međuslojevi. Istovremeno su zaključili da sagorevanje uglja sličnih karakteristika (DTE, pepeo) dobijenog iz različitih delova ležišta nije identično. Saglasno ovome ugalj su podelili u tri kvalitetne kategorije:

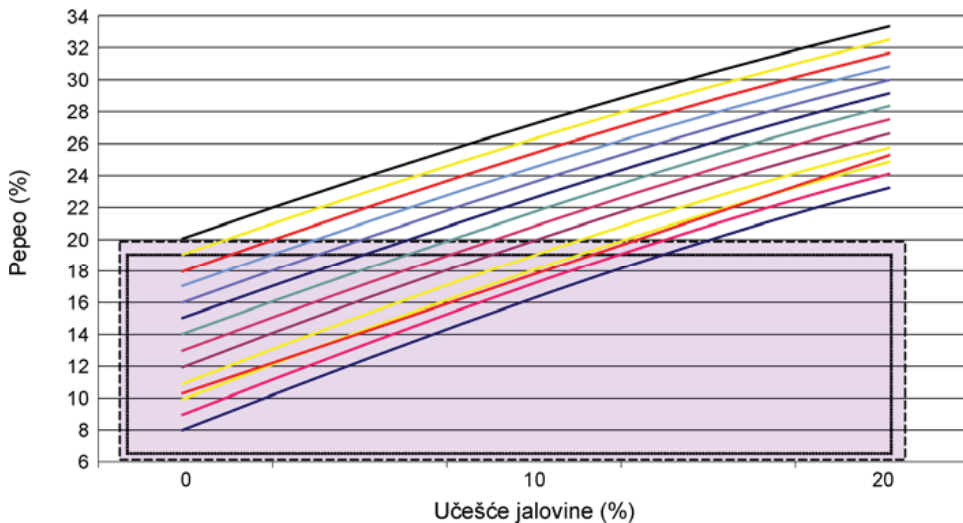
- A – ugalj kvalitetniji od zahteva termoelektrane,
- B – ugalj kvaliteta saglasno zahtevu termoelektrane, i
- C – ugalj slabijeg kvaliteta od zahteva termoelektrane.

Saglasno uslovima sagorevanja ugalj iz dva kopa (Choremi i Marathoussa) su svrstani u jednu grupu, a ugalj iz kopa Kyparissia u drugu.

S obzirom da na kvalitet uglja bitno utiče stepen razblaženja sačinjeni su i dijagrami sa kojih se lako može pročitati DTE i učešće pepela u zavisnosti od stepena razblaženja (slika 2.19 i 2.20).



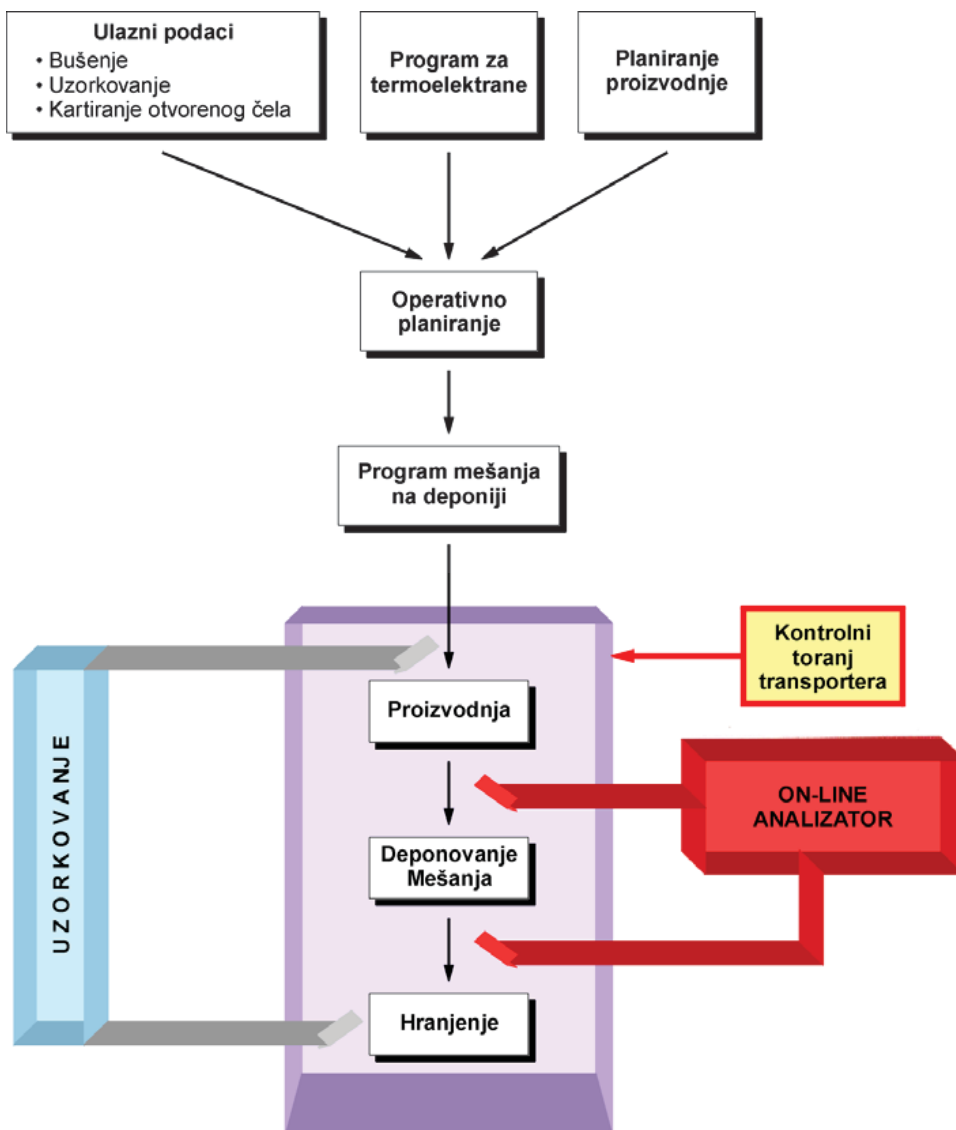
Slika 2.19. Uticaj razblaženja na DTE



Slika 2.20. Uticaj razblaženja na sadržaj pepela

S obzirom da je i orijentacija Megalopolisa na homogenizaciju preko deponije uglja to su posebno razradili koncepciju upravljanja. Šema njihovog koncepta je prikazana na slici 2.21.

Evidentno je da služba planiranja donosi program eksploatacije na osnovu rezultata iz baze geoloških istražnih radova, programa potrošnje i studiranja mogućnosti eksploatacije. Otkopani ugalj se usmerava ka termoelektrani po posebnom programu mešanja/deponovanja. U ovoj fazi vrši se uzorkovanje uglja pre deponovanja i uglja koji se usmerava ka bunkerima termoelektrana. Istovremeno se vrši kontrola kvaliteta uglja pre i posle homogenizacije preko on-line analizatora.



Slika 2.21. Koncept upravljanja kvalitetom uglja u basenu Megalopolis

Kako je deponija uglja baza na kojoj se vrši homogenizacija razrađen je poseban program koji podrazumeva sledeća merenja i kontrole:

- registrovanje mesta deponovanja sirovog uglja, preko GPS sistema koji je montiran na kraju strele svakog odlagača,
- registrovanje količine uglja koja je deponovana na svakom mestu pojedinačno, preko tračne vage koja je montirana na odlagaču,
- registrovanje kvaliteta uglja po mestu deponovanja i kvaliteta uglja koji se usmerava ka termoelektranama, preko radiometrijskog analizatora pepela uz indirektnu procenu potrebnih količina goriva za podršku sagorevanja na bazi iskustvenih korekcionih kriva.

Program se zasniva na njihovom originalnom "programu formiranja deponije" koji svako 10 metara izdvaja "brazdu" na kojoj vrši gornja merenja sa frekvencijom na svakih 30 sekundi. Rezultati merenja se posebnim podprogramom obrađuju grafički i prikazuju na ekranu računara uz kontinualno prikazivanje količine i kvaliteta uglja u svakoj "brazdi". Program omogućava i "ručno" mešanje uglja na bazi poznatih rezultata.

Ostvareni rezultati. Mada program po kojem se radi u basenu Megalopolis ne isključuje korišćenje dodatnog goriva za podršku sagorevanju smatra se da su postignuti odlični rezultati. Na bazi rezultata ostvarenih u periodu 1995.-1998. godine postignuto je sledeće:

- definitivno je eliminisana potreba za nabavljanjem ostalih čvrstih goriva za podršku sagorevanju lignita lošijih karakteristika (dobit je preko 1 milijarde drahmi godišnje),
- gotovo potpuno je eliminisana potreba korišćenja tečnih goriva za podršku sagorevanju (dobit je preko 1 milijarde drahmi godišnje),
- smanjeni su gubici u proizvodnji električne energije zbog sagorevanja uglja lošeg kvaliteta (profit je oko 4,5 milijarde drahmi godišnje),
- oko 7,5% je smanjena potrošnja lignita za proizvodnju iste količine energije i time produžen životni vek kopova Megalopolis,
- dokazali su da kopovi Megalopolis mogu uspešno da ispune zahteve tržišta.

Napred pobrojane prednosti numerički su prikazane u tabeli 2.5.

Tabela 2.5. Ostvareni rezultati od 1995. do 1998. godine

Godina	Ukupna potrošnja goriva, tona				Potrošnja lignita	Proizvodnja struje, MWh
	Drugi ligniti	Kameni ugalj	Tečna goriva	Ekvivalentni lignit		
	1	2	3	1+2+3		
1995.	98.880	114.124	12.769	1.109.074	13.300.100	5.572.615
1996.	52.770	174.026	9.533	1.297.796	12.400.632	5.182.162
1997.	21.330	99.633	1.455	676.350	11.632.366	5.155.724
1998.	25.101	16.198	291	175.401	11.923.342	5.158.865

Dakle, evidentno je da je potrošnja goriva za podršku vatre tokom 1998. godine iznosila manje od 16% potrošnje iz 1995. godine, kada se sa uvođenjem procesa homogenizacije faktički započelo.

Izložena iskustva iz ugljenih basena Grčke pokazuju da je moguće procesu homogenizacije prići parcijalno i korak po korak poboljšavati situaciju.

2.2.6. Iskustva u upravljanju kvalitetom uglja u Bugarskoj

Bugarska spada u zemlje sa relativno velikim rezervama lignita. Najveći deo rezervi nalazi se u basenu Marica-Istok koja zauzima površinu od oko 240 km² sa ukupnim rezervama od oko 2,5 milijardi tona. Eksploatacija lignita u ovom basenu se vrši na tri površinska kopa – Trojanovo-1, Trojanovo sever i Trojanovo-3. Više od 80% otkopanog uglja se koristi za proizvodnju električne energije u tri termoelektrane. Dispozicija kopova i termoelektrana u basenu Marica-istok prikazana je na slici 2.22.



Slika 2.22. Dispozicija površinskih kopova i termoelektrana u basenu Marica - Istok

Ukupna proizvodnja se kreće oko 25 miliona tona uglja godišnje sa prosečnim koeficijentom otkrivke od oko 3,5 m³/t. Ugalj je lignit i javlja se u tri sloja sa proslojcima. Prosečna toplotna vrednost je 6300 kJ/kg. Otkopavaju se dva sloja debljine 3 i 15 m.

Osnovna problematika vezana za kvalitet uglja je velika promeljivost, pre svega u sadržaju pepela. Naime, termoelektrane su projektovane za

sagorevanje lignita sa sadržajem pepela od $33\pm 2\%$. Procenat pepela u ležištu je promeljiv i kreće se od 14 do preko 70%. Zbog ovoga je rukovodstvo basena Marica bilo prinuđeno da uvedu sistem za upravljanje kvalitetom uglja.

Površinski kop Trojanovo-3. Prvi sistem je uvela nemačka firma BEA, 1998. godine, na površinskom kopu Trojanovo-3. Zadatak je bio svođenje varijacija u sadržaju pepela na ugovorene vrednosti sa termoelektranom (koju je otkupila jedna američka korporacija i koja je učešće i varijacije pepela strogo determinisala). Na ovom kopu na otkopavanju uglja radila su tri rotorna i dva bagera vedričara povezani na dva transportna sistema, koja su vezana na jedan izvozni transporter kojim se uglj prevezio do deponije na termoelektrani TEC-3.

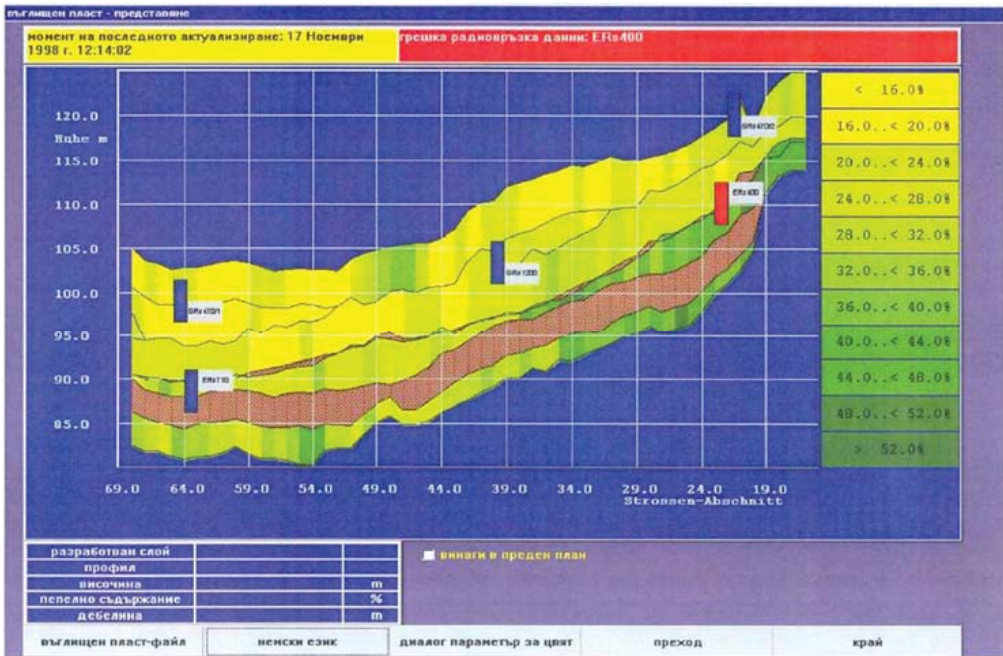
Konceptualni model ovog sistema zasniva se na:

- predviđanju kvaliteta na osnovu rezultata geoloških istražnih bušotina i tekućih analiza kvaliteta uglja na uzorcima koji se uzimaju (metodom brazde) na svakih 50 metara otvorene etaže,
- određivanju kvaliteta uglja pre eksploatacije izradom geološkog modela baziranog na pouzdanim podacima,
- obradi zadataka, vezanih za tehnološka podešavanja i izradu tehnološkog modela, u kontrolnom odeljenju,
- planiranju rada bagera, na osnovu predviđenog kvaliteta uglja, za početno zadanu količinu i kvalitet uglja,
- stalnom upoređivanju količina i kvaliteta otkopanog uglja sa predviđenim, obrada se vrši u kontrolnom odeljenju,
- praćenju podataka za upravljanje bagerom preko on-line mernih instrumenata tokom kretanja bagera, podaci se prenose radio vezom do kontrolnog odeljenja,
- kontroli količina i kvaliteta na centralnom tračnom transporteru preko radiometrijskog sistema za merenje sadržaja pepela (RAM – sistem), sistema za merenje vlage i stalnim meračem mase,
- praćenju protoka količine i kvaliteta uglja na transporterima sa trakom.

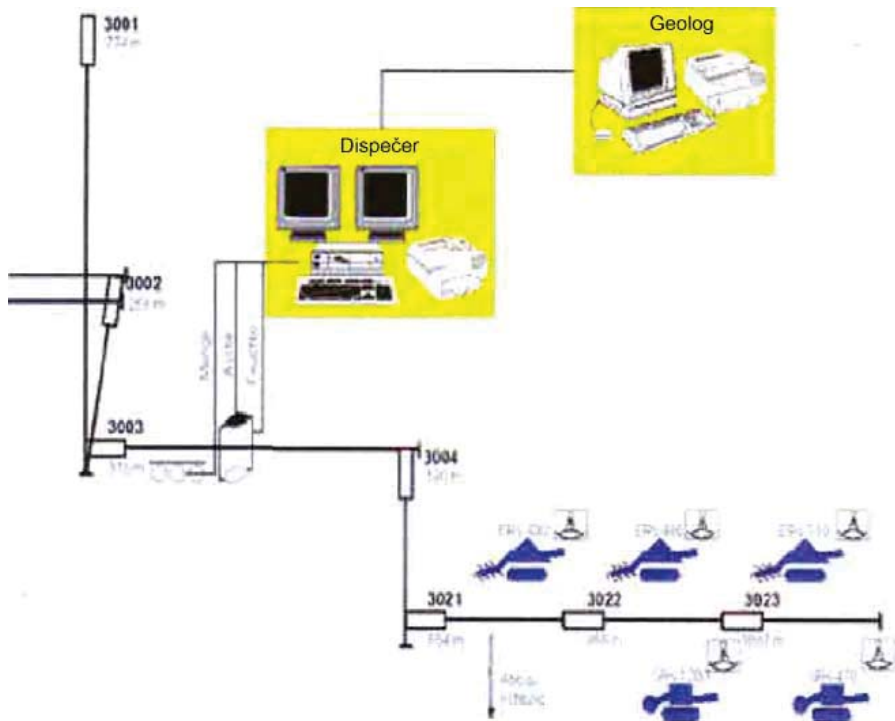
Za potrebe implemantacije upravljanjem kvalitetom uglja na ovom kopu služba je podeljena u:

- geološku službu, koja vrši stalno uzorkovanja na terenu i prikupljanje rezultata analiza radi redefinisane geološke baze podataka, dijagram kvaliteta uglja koji se otkopava prikazan je na slici 2.23,
- plansku službu, koja vrši srednjoročno i kratkoročno planiranje eksploatacije ležišta, i
- dispečarsku službu, koja vrši stalnu kontrolu i upravljanje procesom proizvodnje uglja.

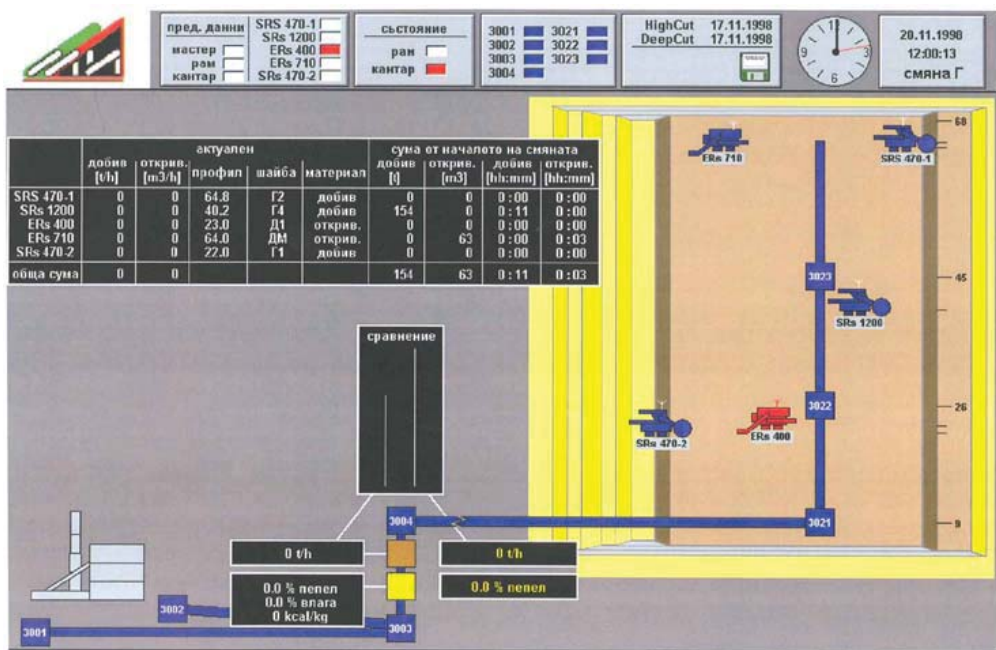
Na slici 2.24 prikazan je konceptulani model upravljanja kvalitetom uglja na ovom kopu, a na slici 2.25 izgled panela, u kontrolnoj sobi, sa dispozicijom bagera i transportera, ostvarenim kapacitetom i vremenom rada.



Слика 2.23. Kвалитет угленог слоја – садрџај пепела, коп Trojanovo-3



Слика 2.24. Концептуални модел управљања квалитетом угља на Trojanovo-3



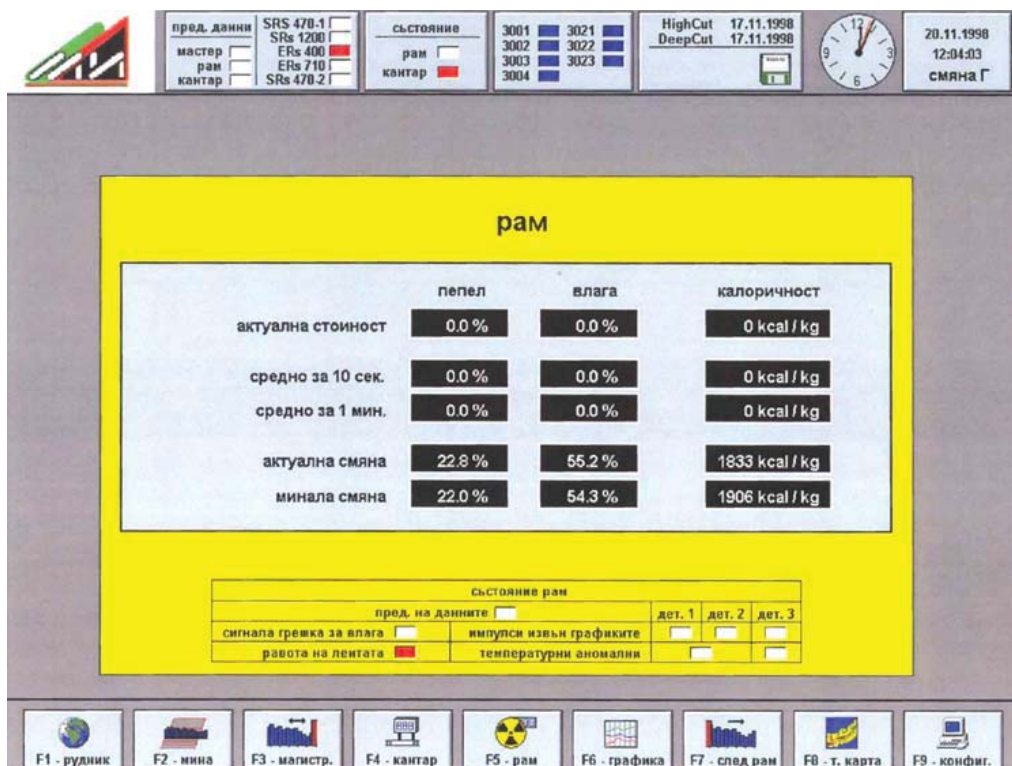
Слика 2.25. Panel u kontrolnoj sobi sa osnovnim podacima

Bagerista, od službe planiranja, dobija precizna uputstva (preko dipeleja montiranog u bageru) koju podetažu treba da otkopava i sa kojim kapacitetom. Za svaku podetažu je unapred poznat kvalitet. Usklađivanjem različitih kvaliteta i kapaciteta bagera dobijaju se optimalne vrednosti izlaznog kvaliteta uglja. Kapacitet se meri na tračnim vagama i radio vezom se signal šalje do dipečarskog centra. Na centralnom izvoznom transporteru postavljen je on-line analizator koji automatski meri vrednost pepela i informaciju na isti način šalje ka dipečarskom centru.

Dispečar je u mogućnosti da prati trend ostvarivanja kvaliteta i kapaciteta uglja u sistemu i da po potrebi interveniše na kapacitet bagera ili da u slučaju otkaza jednog od bagera redefiniše kapacitet ostalih. Neposredno uz TEC-3 postoji deponija pa je u slučaju neodgovarajućeg kvaliteta moguće ugalj usmereno odložiti na deponiju i preko nje izvršiti homogenizaciju. Osim što se u svakom trenutku dinamički prati kvalitet uglja (pepeo i DTE), slika 2.26, automatski se generišu izveštaji o dnevnom i smenskom radu, kao i podatak o ukupnoj sumi novca koja je zarađena u toku smene prodajom uglja termoelektrani.

Prema tvrdnjama geologa sa ovog kopa poslednjih pet godina mazut nije bio korišćen za podršku vatre u termoelektrani, a investicije u ovaj sistem su otplaćene za jednu godinu eksploatacije.

Površinski kop Trojanovo-1. Analizirajući iskustva koja su dobijena tokom 5 godina rada sistema na površinskom kopu Trojanovo-3 bugarska firma "Mini Projekt" je tokom 2004. godine uvela na kopu Trojanovo-1 (tokom 2005. planira se uvođenje ovog sistema i na kopu Trojanovo sever) modifikovani sistem za planiranje i praćenje kvaliteta uglja.

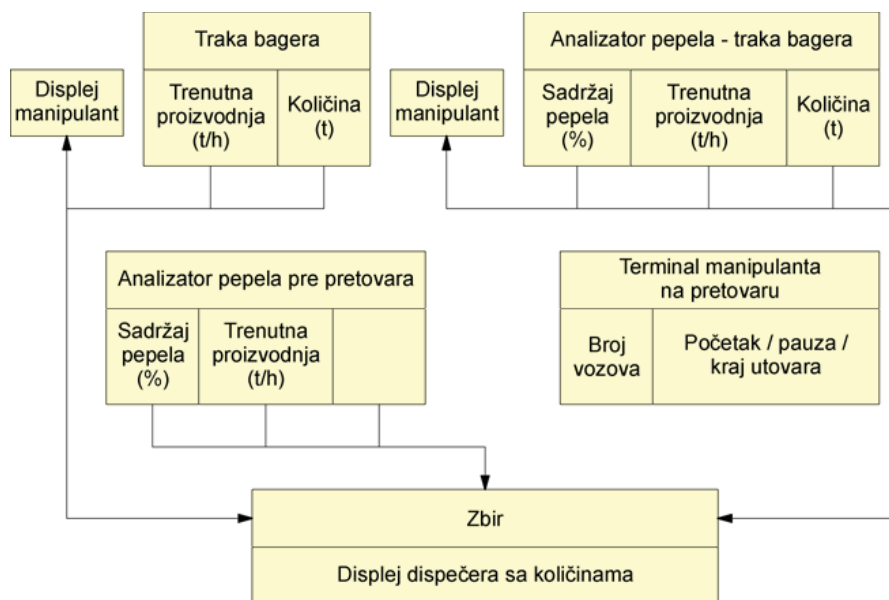


Слика 2.26. On-line протокол за пепео, влага и DTE

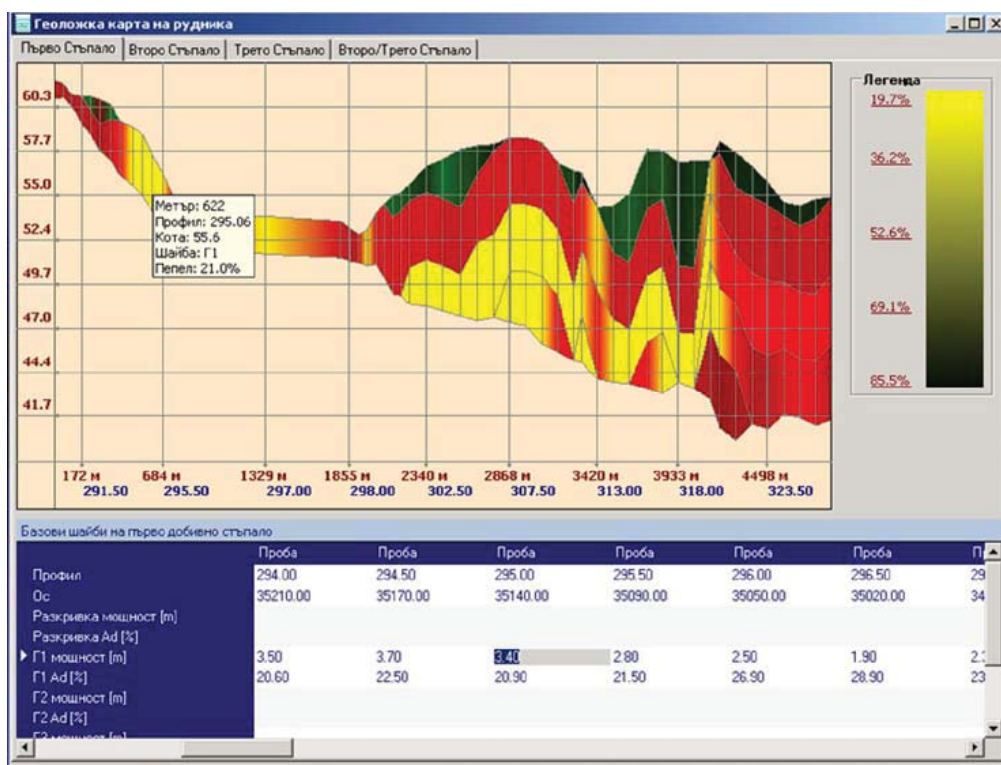
Na površinskom kopu Trojanovo-1 proizvodnja uglja kreće se od 8 do 9 miliona tona godišnje sa ukupno 4 bagera (2 rotorna bagera tipa SRs 1200 i dva vedričara ERs 710). Proizvodnja se odvija na dve tehnološke linije sa utovarom u vagone kojima se transportuje do termoelektrane. Kao i na kopu Trojanovo-3 osnovni problem vezan je za visoku promenljivost sadržaja pepela i postojanje dela ležišta sa ugljem veoma slabog kvaliteta.

Konceptualni model (slike 2.27) u osnovi je sličan projektu koji je sprovela BEA i sastoji se od operativnog geološkog modela ležišta, njegovog prevođenja u tehnološki model, planiranja proizvodnje i kontinuirano praćenje kvaliteta i količine uglja koji se otkopava i isporučuje termoelektrani.

Osnovu i kod ovog sistema čini detaljna i pouzdana geološka baza podataka. Način dodatnog prikupljanja podataka radi redefinisavanja ulaznih parametara ležišta identičan je kao na kopu Trojanovo-3. Istraživanjem se identifikuje svaka promena kvaliteta u ugljenom sloju. Kriterijum selektivnosti na ovom kopu je 0,7 m. Operativni geološki model (slika 2.28) se prevodi u tehnološki model sa podelom ugljenog bloka na podetaže saglasno kvalitetu uglja.



Slika 2.27. Konceptualni model upravljanja kvalitetom uglja na kopu Trojanovo-1



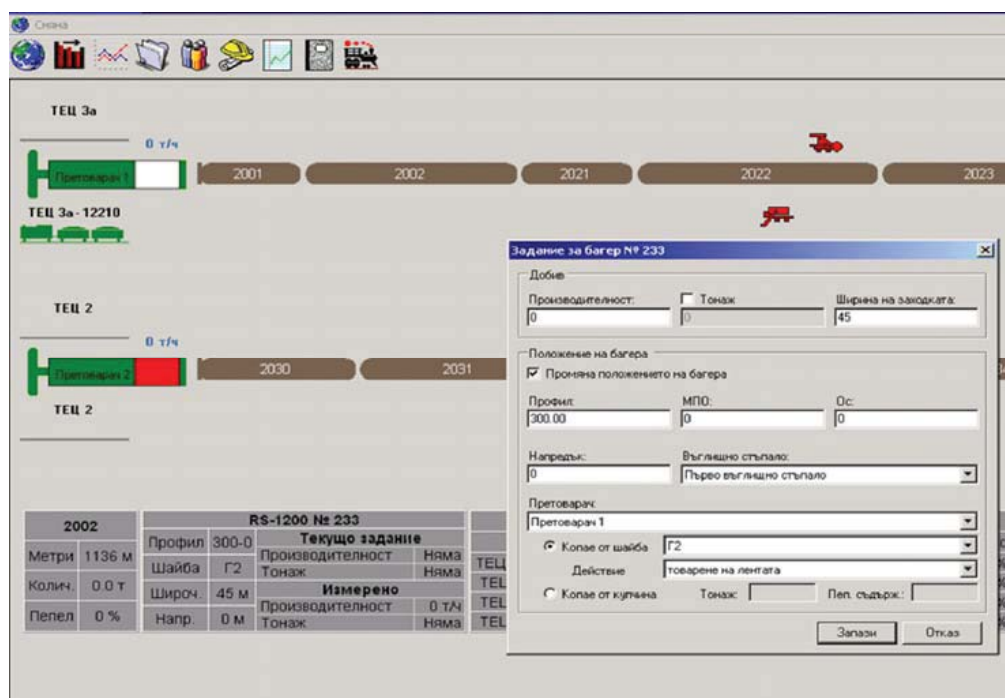
Slika 2.28. Operativni геолошки модел лежишта са приказом садржаја пепела

Specifičnost ovog modela u odnosu na prethodni je to da su ovde na svim bagerima instalisani on-line analizatori i vage koje trenutno identifikuju vrednosti kvaliteta i kapaciteta i radio vezom informaciju šalju u dispečarski centar.

Homogenizacija se vrši pri otkopavanju na etaži otkopavanjem pod-etaža sa različitim sadržajem pepela i na zbirnim transporterima dirigovanim kapacitetom bagera koji otkopavaju ugaj sa različitim sadržajem pepela.

Bageristi prate rezultate svoga rada na displeju koji se nalazi u kabini.

Dispečar kontroliše protok materijala, kapacitet i kvalitet uglja u svakom trenutku kako duž transportera, tako i za vreme utovara u vagon. U slučaju zastoja nekog od bagera ili ako dođe do incidentne situacije (zahvatanje dela podine i slično) on zadaje korekciju kapaciteta određenih bagera ili njihovo zaustavljanje. Na slici 2.29 prikazan je displej na kome se prati protok materijala i stepen natovarenosti voza na obe linije.



Слика 2.29. Panel za praćenje rada bagera i utovara u vagonu

Posle utovara voza, dispečar generiše sertifikat voza (slika 2.30) koji sadrži informacije o kvalitetu i količini uglja koja se isporučuje termoelektrani i on služi za izmirenje finansijskih obaveza između termoelektrana i kopa.

Мини "Марица - изток" - АД
рудник "ТРОЯНОВО - СЕБЕР"
с. Ковачево

Пътен лист №

за транспортиране на вагони с лифнитни въглища
отправителен р-к "ТРОЯНОВО - СЕБЕР"

Локомотив №.....: 143
Тегло.....: 585,5 т.
Пепелно съдържание.....: 32,9 %
Клиент.....: ТЕЦ 2
Смяна.....: Смяна Г
Дата на натоварване.....: 22.12.2004 11:59:44
Претоварач.....: BRS 201

Тегло на поръчката.....: 6000 т.
Пепелно съдържание на поръчката.....: 32 %

Пристигнал пътен влак.....:
Пристигнал празен влак.....:
Брой вагони.....:

Забележка:.....
.....
.....

Предел:.....
Николина Няголова
Приел:.....

Дата: 22.12.2004 12:25:23

Slika 2.30. Sertifikat voza

2.2.7. Rezime stranih iskustava u upravljanju kvalitetom uglja

Na bazi proučenih i prikazanih iskustava iz drugih evropskih zemalja mogu se izvući određeni zaključci koji se, potom, mogu koristiti kao ideje vodilje ili korisni detalji pri razradi sistema upravljanja kvalitetom uglja na domaćim rudnicima. Zaključci bi se mogli svrstati u dve, međusobno uslovljene i povezane grupe: organizacioni i tehnološki.

Od organizacionih mera najvažnije je **uspostavljanje visoke tehnološke discipline i odgovornost svih učesnika u sistemu upravljanja kvalitetom uglja**. Dakle, u organizovan tehnološki lanac se uvezuju svi učesnici sa jasno postavljenim zadacima (koji su uvek u granicama njihovih mogućnosti) uz zahtev da se ti zahtevi u potpunosti stručno i odgovorno ispune. U direktnim razgovorima sa odgovornim izvršiocima na kopovima i projektantima dolazi se do zaključka da je tehnološka disciplina i odgovornost ključ uspeha procesa upravljanja kvalitetom uglja. Naime, u svetu se došlo do dovoljno iskustava da modelovanje i projektovanje postaju rutinske stvari, a organizacija postaje trajni zadatak.

Postojanje stručne i efikasne službe za planiranje proizvodnje – dugoročno, kratkoročno i operativno. Planiranje predstavlja vezu između organizacionih i tehničkih mera, a u procesu kontrole kvaliteta uglja dato mu je centralno mesto. Planiranje se vrši na tri nivoa. Prvi nivo je globalno planiranje eksploatacije okonturenog ležišta sa ciljem da se izbegne eksploatacija uglja takvih karakteristika da se u nekom periodu neće moći ostvariti potrebni stepen efikasnosti procesa homogenizacije. Najbolji primer je sa nemačkog rudnika Mibrag kod kojeg se poja-

vljugu veliki delovi kopa u kojima se pojavljuje povišeni sadržaj sumpora ili pepela tako da ako se eksploatacija od početka ne prilagodi doći će periodi (mereni godinama) u kojima se sadržaj sumpora, odnosno kasnije pepela neće homogenizacijom moći svesti u ugovorene uzanse. Blagovremenim dugoročnim planiranjem se plan proizvodnje uglja prilagođava takvoj situaciji. Mnogo izvesniji i konkretniji je kratkoročni plan eksploatacije koji se pravi na mesečnoj ili sedmičnoj bazi, a još konkretniji je nivo operativnog planiranja gde se razrađuju svi bitni detalji eksploatacije tokom jedne smene ili dana. Da bi se ovo postiglo na svim rudnicima se formiraju mali, stručni i efikasni timovi inženjera rudarstva i geologije koji vrše sve analize i donose izvršne odluke.

Grupa striktno tehničkih zaključaka je brojnija jer povlači za sobom i neke detalje koji su bitni za celokupno tehničko funkcionisanje ili su na nekim mestima specifično odrađeni da zavređuju posebnu pažnju. Generalno se može konstatovati:

Homogenizacija se bazira na integrisanim modelima upravljanja kvalitetom uglja (model ležišta, tehnološki model i model deponije). Po pravilu se teži uspostavljanju sva tri modela, mada modeliranje deponije nema tamo gde one fizički ne postoje. Može se zapaziti da se u nekim zemljama potencira model ležišta i tehnološki model (Nemačka, Bugarska), a u nekim model deponija (Grčka) mada se u svim slučajevima ni jedan segment modeliranja ne preskače. Radi se više o specifičnim (lokalnim) uslovima u grčkim ugljenokopima gde struktura ležišta ("torta" ili "zebra"), kvalitet uglja i tehnologija eksploatacije ne omogućuju direktno korišćenje tokom eksploatacije homogenizovanog uglja već se koriste deponije za postizanje maksimalnih efekata. Gde god je moguće preskočiti fazu deponovanja (bolje reći dvostrukog deponovanja – i na kopu i na termoelektrani) ona se, kao dodatni trošak, preskače ili se vrše ekonomske analize šta je isplativije: formiranje većih deponija i izbegavanje rada u dane vikenda ili obrnuto.

Kontinualno se vrše dodatna uzorkovanja i analize kvaliteta radi dinamičkog redefinisavanja "in situ" modela ležišta. U svim analiziranim slučajevima se tvrdi da su rezultati geoloških istražnih radova, dobijeni po metodologiji propisanoj za utvrđivanje i overu rezervi, nepouzdati i nedovoljno tačni za uspostavljanje procesa homogenizacije. To je uslovilo potrebu razrade internih uputstava za dodatno bušenje, uzorkovanje i analiziranje. Pouzdani podaci se dobijaju kada se vrši uzorkovanje svakog litološkog člana pojedinačno, bez obzira na moćnost ili debljinu sloja, jer se time omogućava modelsko proračunavanje kvaliteta svakog reza bagera što daje potpuno pouzdan podatak o kvalitetu uglja koji se može otkopavati ili koji je upravo otkopan. Tako dopunjena baza podataka omogućava kvalitetno planiranje proizvodnje.

Na svim kopovima postoji značajna rezerva u kapacitetu bagera na uglju u cilju stabilnog snabdevanja termoelektrana ugljem. Kao jedan od preduslova za uspešno upravljanje kvalitetom postavlja se nužnost raspolaganja sa opremom koja po svojim realnim radnim karakteristikama i mogućnostima zadovoljava potrebe sistema. Saglasno tome,

na svim rudnicima postoji izvesna "predimenzionisanost" osnovne oprema koja dozvoljava da se kvantitet podredi kvalitetu. Dakle, ne može se računati na uspešnu homogenizaciju uglja ili na upravljanje kvalitetom ako je rad kopa skopčan sa problemima obezbeđenja fizičkog obima proizvodnje.

"On line" analizatori imaju samo kontrolnu ulogu – ne služe za planiranje i vođenje procesa. Dugo vremena se smatralo, a na našim prostorima i danas se često smatra, da se ugradnjom on-line analizatora započinje i završava homogenizacija uglja. Nažalost, on-line analizatori na lignitu su se pokazali nepouzdanim da bi se na bazi rezultata koji oni daju mogao voditi proces homogenizacije. Još bitnije je da upravljanje podrazumeva ugradnju i opcije po kojoj se može intervenisati ako se pojavi kvalitet koji je van odabranih (ili zahtevanih) granica. Sami on-line analizatori mogu samo da pokažu trenutnu vrednost (koja je često samo okvirna), a druga tehnološka oprema, uklopljena u sistem, omogućava intervenisanje. Na bazi proučenih stranih iskustava nedvosmisleno se pokazuje da on-line analizatori imaju samo kontrolnu ulogu i da ne služe za vođenje procesa upravljanja. Pored netačnosti i mogućih odstupanja od tačne vrednosti (primer basen Ptolemais) smatra se da je ili fizički nemoguće ili je skupo intervenisati kada on-line analizator konstatuje poremećaj. Zbog toga se sva modelovanja i upravljanja baziraju na rezultatima klasične hemijske analize ugrađene u geološki model ležišta. Bez obzira na nepouzdanost koju on-line analizatori nose njihova ugradnja je potrebna kao dobar način da se uštedi na kontrolnim smenskim, dnevnim ili nedeljnim analizama uglja klasičnim metodama.

Sistemom je integrisano upravljanje kvalitetom uglja na relaciji više kopova i više termoelektrana. Da bi se ostvarilo mešanje ugljeva (homogenizacija) potrebno je fizički raspolagati sa više kopova, mesta kopanja, odnosno bagera i/ili sa više potrošača. Saglasno tome, uglavnom se u sistem integriše više kopova i termoelektrana čime se gorivo prati "od ležišta do ložišta". Veštačko, najčešće organizaciono, prekidanje i podela na rudnički i elektranski deo se pokazao kao nesvrshodan i ne primenjuje se.

Rudnici u nekim zemljama (Nemačka) rade od ponedeljka do petka. Da uvođenje sistema upravljanja i kontrole kvaliteta pored ekonomskih nudi i druge pogodnosti vidi se preko opredeljenja da se na eksploataciji uglja i njegovom usmeravanju ka potrošačima (termoelektrenom) radi od ponedeljka do petka. Ovo omogućuje uspostavljena tehnološka i organizaciona disciplina, kontrolisanje situacije u svakom momentu i postojanje deponija uglja kao pufera čije često pražnjenje je, najviše sa ekološkog aspekta, poželjno.

Kao rezime rezimea moglo bi se konstatovati da je **ugalj i za kopove i za termoelektrane postao roba poznatog (deklarisanog) kvaliteta.** Dakle, odbačen je princip da "rudari kopaju šta stignu", a termoelektrane to sagorevaju pa plate koliko država odredi i uveden potpuni tržišni princip po kojem se sa rudnika isporučuje proizvod deklasiranog kvaliteta koji se saglasno tome i plaća, a termoelektrana ima mogućnosti da

prilagodi svoj rad takvoj sirovini i ostvari profit. Ovakav pristup omogućava i rudnicima i termoelektranama da u svakom trenutku znaju koliko su novca zaradili ili izgubili i da, saglasno tome, mogu da utiču na poslovnu politiku. Ovo je naročito značajno kada kop i termoelektrana pripadaju različitim vlasnicima (što je čest slučaj).

2.3. Moguća mesta homogenizacije uglja koji se isporučuje termoelektranama

Homogenizacija uglja se može vršiti na samom kopu (rudniku), na deponijama (rudničkim, elektranskim, zajedničkim) i kombinovano. Najčešće se homogenizacija vrši kombinovano jer se preskakanjem pažljivog i organizovanog rada u bilo kojoj fazi (eksploatacije, transporta i deponovanja) može ozbiljno kompromitovati rezultat. Međutim, zavisno od kvaliteta uglja u ležištu i tehnologije eksploatacije moguće je kao bitno mesto homogenizacije izdvojiti mesta otkopavanja ili deponije.

2.4. Homogenizacija pri eksploataciji uglja

Proces homogenizacije uglja na samom kopu može se obavljati:

- ujednačavanjem kvaliteta uglja u okviru otkopnog bloka, odnosno etaže, i
- ujednačavanjem kvaliteta uglja na zbirnim transporterima za ugalj.

2.4.1. Homogenizacija u okviru otkopnog bloka

Ujednačavanje kvaliteta uglja u procesu otkopavanja tj. u okviru otkopnog bloka može se vršiti kako rotornim, tako i bagerima vedričarima [Stojaković, 1999]. Kod rada rotornog bagera homogenizacija uglja u okviru otkopnog bloka se vrši za slučajeve:

- kada se u otkopnom bloku odnosno etaži nalazi više slojeva uglja različitog kvaliteta, i
- kada se u otkopnom bloku između slojeva uglja nalaze proslojci jalovine, što je u praksi najčešći slučaj.

Kod rada rotornog bagera homogenizacija uglja u okviru otkopnog bloka se u suštini svodi na princip vertikalne podele bloka na podetaže tako da se u okviru same podetaže vrši ujednačavanje kvaliteta. Dakle, osnovni preduslov za primenu ovakvog postupka homogenizacije je postojanje u bloku slojeva uglja različitih kvaliteta i takve moćnosti da se bar dva, po kvalitetu različita dela sloja, obuhvate jednom podetažom.

Pri ovome je, sa aspekta kapacitetnog iskorišćenja bagera veoma važno, (naravno u granicama mogućnosti odnosno dispozicije slojeva uglja različitog kvaliteta ili slojeva uglja i proslojaka jalovine u otkopnom bloku) ispoštovati opšti princip vertikalne podele bloka na podetaže.

Naime, sa aspekta zadovoljavajućeg punjenja vedrica materijalom tj. kapacitetnog iskorišćenja rotornog bagera, visina podetaža treba da se kreće u granicama:

$$0,5 \cdot D \leq h \leq 0,7 \cdot D$$

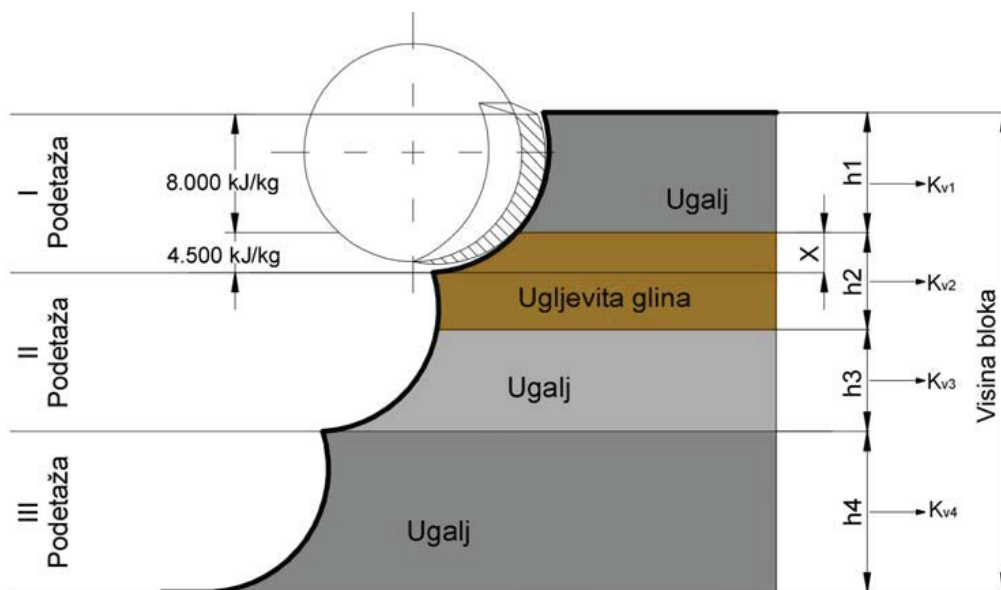
gde je D je prečnik rotornog točka bagera ($D > 0,5$)

Gornja granična vrednost $h_{\max} = 0,7 \cdot D$ je uslovljena time što se pri prekoračenju ove visine u etažnoj kosini formiraju veliki horizontalni "žlebovi" koji mogu biti skloni obrušavanju pa tako predstavljati potencijalnu opasnost za bager i ljudstvo koje ga opslužuje.

Donja granična vrednost $h_{\min} = 0,5 \cdot D$ je uslovljena nemogućnošću da se pri manjim visinama podetaže ostvari zadovoljavajuće punjenje vedrica materijalom čak i pri maksimalnim debljinama i širinama odrezaka.

Shodno ovome, maksimalna visina podetaže tj. reza od $0,7 \cdot D$ predstavlja gornju graničnu visinu podetaže u okviru koje se može vršiti homogenizacija u otkopnom bloku rotornog bagera.

Kvalitet uglja (DTE) dobijen procesom homogenizacije u okviru otkopnog bloka predstavlja ponderisanu sredinu kvaliteta i moćnosti slojeva, slika 2.31.



Slika 2.31. Prikaz homogenizacije uglja u okviru otkopnog bloka

$$DTE_{p1} = \frac{DTE_{sloj1} \cdot h_1 + DTE_{sloj2} \cdot x \cdot h_2}{h_1 + x \cdot h_2}$$

$$DTE_{p2} = \frac{DTE_{sloj2} \cdot (1-x) \cdot h_2 + DTE_{sloj3} \cdot h_3}{(1-x) \cdot h_2 + h_3}$$

gde je: DTE_{sloj1} , DTE_{sloj2} , DTE_{sloj3} – kvalitet 1, 2 i 3 ugljenog sloja, kJ/kg
 h_1 , h_2 , h_3 – visine 1, 2 i 3 sloja, m
 DTE_{p1} , DTE_{p2} – ponderisani kvalitet uglja u I i II podetaži, kJ/kg
 x - pripadajuća visina sloja koja se deli, %

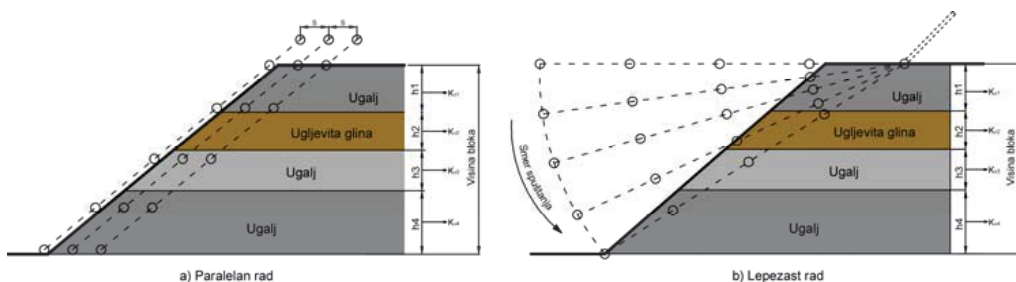
Mada je rotorni bager savršenija i daleko zastupljenija mašina na površinskim kopovima uglja, bager vedričar sa aspekta selektivnog rada i homogenizacije uglja u okviru otkopne etaže ima određene prednosti:

- mogućnost otkopavanja slojeva male moćnosti praktično bez smanjenja kapaciteta bagera,
- mogućnost istovremenog otkopavanja materijala duž cele etažne kosine.

Prva mogućnost proizilazi iz višesegmentne konstrukcije nosećeg rama lanaca sa vedricama, pri čemu se zatezanjem ili otpuštanjem užadi za vešanje nosećeg rama može po želji menjati uzajamni položaj segmenta rama. Ova konstrukciona mogućnost oblikovanja nosećeg rama lanaca sa vedricama je vrlo povoljna za selektivni rad bagera.

Druga mogućnost tj. istovremeno otkopavanje materijala duž cele etažne kosine proizilazi iz konstrukcione mogućnosti paralelnog pomeranja nosećeg rama lanaca sa vedricama, odnosno rada bagera sa paralelnim rezovima, pri čemu je dužina reza jednaka dužini etažne kosine. Naime, bager vedričar može da radi paralelnim ili lepezastim rezovima.

Kod rada bagera sa paralelnim rezovima otkopani ugalj je ujednačenog kvaliteta budući da se otkopavanje vrši duž cele etažne kosine istovremeno (slika 2.32.a), dok kod rada bagera sa lepezastim rezovima kvalitet varira, zavisno od trenutnog položaja nosećeg rama lanaca sa vedricama (slika 2.32.b).



Slika 2.32. Prikaz mogućnosti homogenizacije uglja bagerom vedričarem

Lepezasti rad bagera vedričara, za slučaj kada je potrebno vršiti homogenizaciju uglja, razlikuje se od načina rada redovnom tehnologijom bez potrebe homogenizacije ili tehnologijom selektivnog rada. Kada je potrebno vršiti homogenizaciju uglja teži se ka tome da nijedan segment

nosećeg rama lanaca sa vedricama ne bude paralelan slojevima uglja. Međutim, kod selektivnog rada, osim segmenta koji je pod nagibom i rotira do krajnjeg položaja, svi ostali segmenti su horizontalni i paralelni slojevima koji se otkopavaju.

2.4.2. Homogenizacija na transporterima

Ukoliko je kvalitet otkopanog uglja u rezu takav da može zadovoljavati kriterijume sagorevanja u termoelektrani, može se smatrati da je proces homogenizacije ostvaren u prvom koraku tj. na otkopnoj etaži. Ukoliko se pak kvalitet razlikuje od potrebnog, otkopani ugalj se mora pomešati sa ugljem, koji se otkopava nekim drugim bagerom kako bi se dobio ugalj potrebnog kvaliteta. Znači u ovom slučaju se proces homogenizacije obavlja u dva koraka, prvo na bageru, a zatim na nekom od transporterima. Kvalitet ovako dobijene mešavine (DTE_{pond}) predstavlja ponderisanu sredinu kvaliteta uglja i kapaciteta bagera koji se nalaze u radu:

$$DTE_{pond} = \frac{DTE_{b1} \cdot Q_{b1} + DTE_{b2} \cdot Q_{b2} + \dots + DTE_{bi} \cdot Q_{bi}}{Q_{b1} + Q_{b2} + \dots + Q_{bi}}, \text{ MJ/t}$$

gde je: $DTE_{b1,b2,\dots,bi}$ – kvalitet uglja koji se otkopava sa bagerom 1, 2, ... i (MJ/t)

Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{bi} – kapacitet bagera 1,2,...i na otkopavanju uglja, (t/h)

Homogenizacija uglja na transporterima vrši se na presipnim mestima, gde se ugalj sa etažnih ili veznih transporterima presipa na zajednički izvozni transporter ka deponiji ili direktno ka potrošaču.

Ukoliko u ugljenom basenu postoje dva ili više kopova koji su tehnološki povezani, i ukoliko se u okviru jednog kopa ne može ostvariti zadovoljavajuća homogenizacija uglja, koristi se mogućnost mešanja uglja sa dva ili više kopova ili uglja sa kopova i deponije.

Međutim, ovde treba posebno istaći da pored kvaliteta uglja koji se mora obezbediti procesom homogenizacije treba obezbediti i potrebni kapacitet uglja za stabilno snabdevanje termoelektrane.

Korišćenje zbirnih transporterima kao primarnih mesta za homogenizaciju uglja nije moguće. Osnovni uslov za uspešnu homogenizaciju na zbirnim transporterima jeste pažljiv i planiran rad u fazi otkopavanja uglja. Mešanje na zbirnim transporterima može samo da ispravi manje propuste ili nemogućnosti da se u određenom trenutku u fazi otkopavanja dobije ugalj potrebnog kvaliteta. Ukoliko se ugalj otkopava nekontrolisano mešanje na transporterima može samo slučajno i sporadično da obezbedi zahtevani kvalitet.

2.4.3. Homogenizacija na deponiji

Generalno, deponija uglja se za homogenizaciju može koristiti dvojako:

- formiranjem više separatnih mini deponija (sekcija, sektora) unutar kojih će se deponovati ugalj približno jednakog kvaliteta (bolji od zahtevanog, lošiji od zahtevanog ili jednak zahtevanom),
- mešanjem ugljeva različitog kvaliteta deponovanjem i izuzimanjem po određenim pravilima.

Homogenizacija korišćenjem separatnih mini deponija praktično predstavlja nastavak homogenizacije započete u fazi otkopavanja i transporta. Ukoliko je ugalj koji dolazi sa kopova lošijeg kvaliteta od potrebnog homogenizacija se obavlja njegovim mešanjem sa ugljem dobrog kvaliteta, koji se izuzima sa deponije. Međutim, moguće je i obrnuto da se loš ugalj sa deponije meša dobrim ugljem sa kopova. U ovakvim situacijama deponijska mašina se posmatraju kao "još jedan bager" koji "otkopava" ugalj poznatog kvaliteta. Zbog toga je neophodno da se u okviru deponije formiraju 3 mini deponije i to:

- deponija sa ugljem veoma dobrog kvaliteta koja bi služila za homogenizaciju kada ugalj koji dolazi sa kopova nije zadovoljavajućeg kvaliteta,
- deponija sa ugljem lošeg kvaliteta koja bi se koristila kada je kvalitet uglja koji dolazi sa kopa iznad potrebnog kvaliteta, pa omogućava primenu i ovog uglja, i
- deponija sa zadovoljavajućim kvalitetom uglja koja bi se koristila samo za dopunu kapaciteta kada je kop u zastoju, ili kada kop radi sa smanjenim kapacitetom.

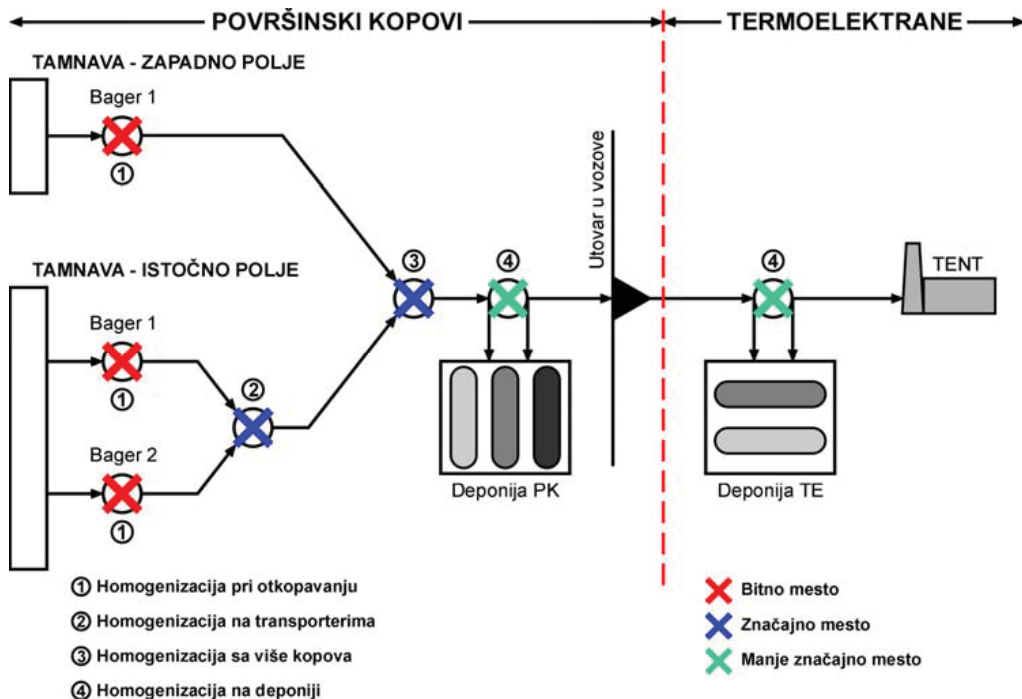
Drugi način korišćenja deponije uglja jeste kontinuirano višeslojno deponovanje svog uglja koji pristiže sa kopa po određenim pravilima (metodama) i njegovo planirano izuzimanje po određenim pravilima. Sistem se svodi na postojanje više deponija tako da dok se jedna deponija puni ugljem druga (ili druge) se prazne. Način deponovanja i broj formiranih slojeva obezbeđuju da se primenom odgovarajućeg načina izuzimanja uglja sa deponije dobije ugalj uprosečenog, zahtevanog, kvaliteta.

Na slici 2.33 prikazana su mesta na kojima je moguće vršiti homogenizaciju uglja na P.K. "Tamnava". Na slici su posebnim simbolima naznačena mesta bitna za homogenizaciju, odnosno mesta na kojima se ne mogu načiniti značajnija tehnološka poboljšanja u procesu homogenizacije [RGF, 2005].

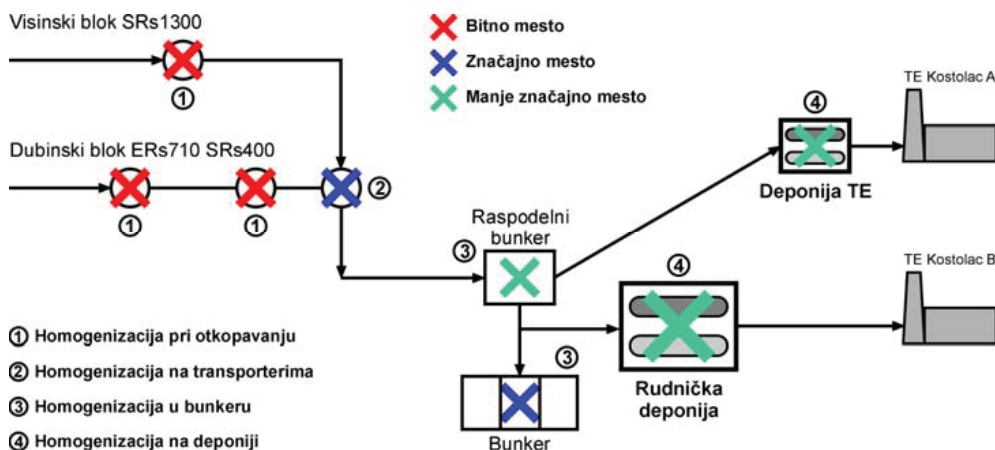
Na slici 2.34 prikazana su mesta na kojima je moguće vršiti homogenizaciju uglja na P.K. "Drmno". Na ovom kopu prednost je što se pored homogenizacije na deponiji, koja je znatno većeg kapaciteta od one na P.K. "Tamnava", može obavljati i u bunkeru.

Očigledno je da sva mesta na kojima se može vršiti homogenizacija nisu podjednako bitna. Naime, osnovno (primarno) mesto homogenizacije je mesto otkopavanja, a propust koji se tu napravi u narednim fazama

mešanja ne može se uvek potpuno ispraviti. Ukoliko se u fazi otkopavanja plan u potpunosti ispoštuje u narednim fazama se kvalitet može dodatno popraviti, ali i pokvariti. Međutim, u realnim uslovima i popravljajnje i kvarenje uspostavljenog kvaliteta propustima u narednim fazama rada je ograničeno i ne može da bitno kompromituje rad na kopu.



Slika 2.33. Mesta na kojima je moguća homogenizacija uglja na P.K. "Tamnava-Istočno polje" i "Tamnava-Zapadno polje" i njihov značaj u sistemu kombinovane homogenizacije



Slika 2.34. Mesta na kojima je moguća homogenizacija uglja na P.K. "Drmno" i njihov značaj u sistemu kombinovane homogenizacije

2.5. On-line analizatori

2.5.1. Opšte o automatskim analizatorima uglja

Za kontinualnu kontrolu karakteristika uglja koji se otkopava i usmerava prema deponiji, termoelektrani ili postrojenju za preradu koriste se tzv. on-line (koristi se i izraz "on-stream") i "off-line" (koristi se i izraz "by-stream") analizatori [Kirchner, Maude, 1994]. Za on-line analizatore je karakteristično da se montiraju na procesnoj liniji tako da direktno prate karakteristike uglja koji se transportuje (slika 2.35 levo), dok se "off-line" analizatori montiraju na posebnim sistemima do kojih dolazi samo reprezentativni uzorak uzet sa glavne procesne linije (slika 2.35 desno). Razume se, praćenje rada sistema preko on-line analizatora je jeftinije jer nije potrebno graditi postrojenje za uzorkovanje, obradu uzorka i vraćanje analiziranih masa ponovo u proces, kao kod off-line analizatora. Zbog toga se izbegava korišćenje off-line analizatora i prednost daje on-line analizatorima.



Slika 2.35. On-line (levo) i off-line (desno) analizatori montirani na traci

On-line analizatori automatski i kontinualno, u realnom vremenu, beleže neku od zadanih karakteristika uglja koji se nađe u zoni merenja i taj podatak šalju u sistem, odnosno na automatsku obradu.

On-line analizatori za ugalj počeli su ozbiljnije da se razvijaju krajem 70-ih i početkom 80-ih u SAD, Australiji i nekim evropskim zemljama (Nemačka, Poljska, Rusija). Ti analizatori su svrstavani u tri grupe:

- Merači vlažnosti, zasnovani na
 - tehnologiji mikrotalasa, i
 - kapacitivnoj tehnologiji.
- Merači sadržaja pepela, zasnovani na dve tehnologije:
 - tehnologiji slabljenja gama zračenja, poznati pod zajedničkim nazivom dvostruko gama merenje ili dvostruki prenos energije (engleska skraćenica DUET ili DUAL), i
 - tehnologiji niskoenergetskog prenosa (engleska skraćenica LET),
- Analizatori elementarnog sadržaja uglja, najčešće korišćeni za određivanje sadržaja pepela i sumpora ovi analizatori se zasnivaju na neutronske aktivacione analizi radi izdvojanja gama zraka (engleski naziv prompt gamma neutron activation analysis – PGNAA), daju bolje rezultate pri analizi izdvojenih uzoraka nego analizi industrijskog toka.

Krajem 80-ih i tokom 90-ih dolazi do unapređenja ovih analizatora uslovljenih u prvom redu zahtevima kupaca da dobiju preciznije i jeftinije merenje. Došlo je do sledećih unapređenja:

- PGNAA analizatori sa integrisanim ulaznim sandukom i transporterom uzorka,
- dvostruki gama merač sadržaja pepela koji je konstruktivno odvojen od "klatne poluge" standardizovanih karakteristika,
- merač sadržaja pepela baziran na prirodnim gama emiterima u pepelu (natrijum i torijum).

Sva unapređenja nisu bitno smanjila cenu instalacije potrebne za njihovo precizno merenje. Dešavalo se da za jedno precizno merenje sadržaja sumpora, pepela, vlage i toplotne vrednosti vrhunskim PGNAA uređajima treba izdvojiti više od 500.000 dolara. Razume se, u tu cenu uključeni su, sem merača, i konstrukcija sistema za uzorkovanja, uzorkivači sa trake, vezni transporter, mali silosi i transporter za vraćanje uzoraka. Da bi se izbegli ovako visoki troškovi kupci su obično nabavljali proste, i ne preterano precizne, merače samo vlage ili sumpora ili pepela.

U međuvremenu razvijen je PGNAA uređaj za cementnu industriju koji se montirao oko postojeće transportne trake i nije zahtevao izdvajanje posebnih uzoraka za analizu. Odmah se postavilo i pitanje zašto se ne razviju takvi PGNAA uređaji za analizu uglja. Proizvođači uređaja su navodili mnogo problema koji će dovesti do nepreciznih i nepouzdanih rezultata, no uprkos svemu razvijeni su PGNAA uređaji koji se montiraju direktno na transporter uglja.

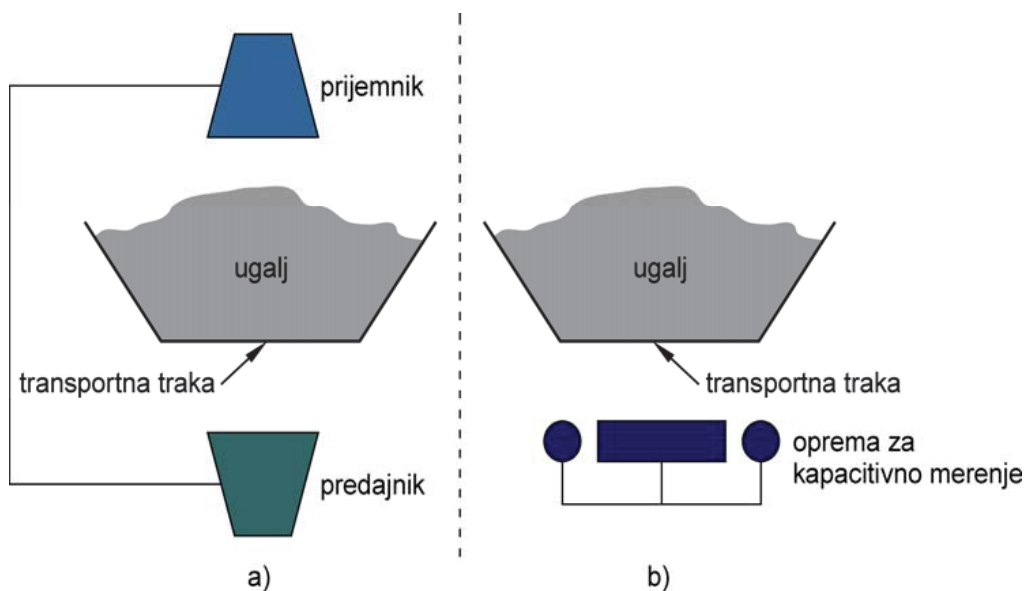
Evidentno je da većina savremenih analizatora koristi radio-izotope za merenje, ali svi proizvođači ističu da si njihovi uređaji smešteni u kompaktna kućišta koja obezbeđuju pouzdanu zaštitu od zračenja te da je nivo radijacije neposredno uz uređaj zanemarljivo mali te da nije potrebno uspostavljanje radijacione zone.

2.5.2. Merenje sadržaja vlage u uglju

On-line merenje učešća vlage u uglju bazirano je na dve tehnologije: kapacitivnoj i mikrotalasima.

Kapacitivna tehnologija merenja se bazira na promeni dielektrične konstante uglja u zavisnosti od njegove vlažnosti. Kao mana ovih merača pojavila se njihova preterana osetljivost na varijacije vlage u vertikalnom preseku uglja na traci. Prvi merači vlažnosti su bili bazirani na ovoj tehnici no ubrzo su se pojavili prihvatljiviji merači bazirani na mikrotalasnom merenju učešća vlage.

Na slici 2.36 je data šema merenja vlažnosti mikrotalasnom i kapacitivnom tehnikom.



Slika 2.36. Šema merenja vlažnosti.
a) mikrotalasna metodologija, b) kapacitivna metodologija

Metodologija merenja vlažnosti mikrotalasima zasniva se na principu da voda ima različitu moć adsorpcije energije mikrotalasa od uglja kada se nađe u mikrotalasnom polju uspostavljenom između predajnika i prijemnika. Praktična merenja su pokazala da merači bazirani na ovoj metodologiji nisu osetljivi na varijacije vlažnosti u vertikalnom preseku uglja na transportnoj traci. Potom, merači zasnovani na ovom principu nisu osetljivi na pH vrednost mineralne sirovine i provodljivost, mere ukupnu vlagu, nema kontakta (time ni abrazije i lepljivosti) između merača i mineralne sirovine, a dobijeni rezultati su upotrebljivi u sistemu automatske kontrole kvaliteta.

Izgled merača vlage baziran na mikrotalasnoj tehnici merenja montiran nad transportnom trakom je prikazan na slici 2.37 [www.rgi-ms.com].



Slika 2.37. Merač vlage montiran nad transporterom

2.5.2.1. Merenje sadržaja pepela u uglju

Prvi merači sadržaja pepela u uglju bazirali su se na odbijanju x-zraka od čvrstog materijala. Za merenje je bilo potrebno izdvojiti mali uzorak uglja koji je bio izložen x-zračenju. Količina odbijenih x-zraka je davala sadržaj pepela u uglju. Što je više x-zraka ugalj apsorbovao značilo je da je učešće pepela veće.

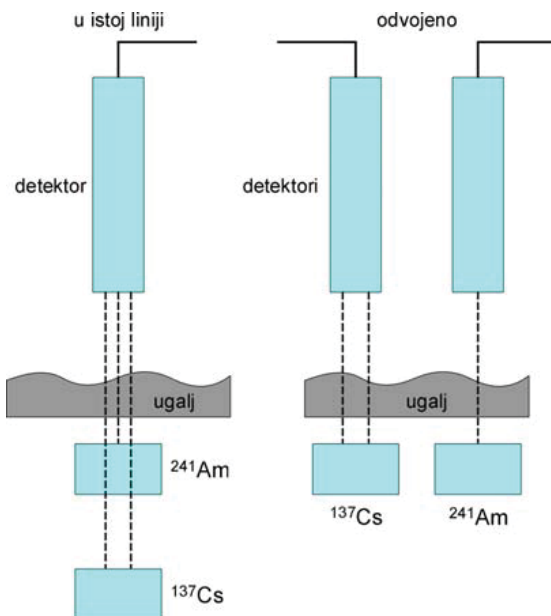
Unapređenje je učinjeno tako što su x-zrake zamenjene sa γ -zracima koji imaju jaču snagu prodiranja i mogu da se upotrebe na većim uzorcima koji se nalaze na traci koja se kreće. Problem je činila velika osetljivost instrumenta na varijacije u površini profila uglja, kao i osetljivost na udaljenost između izvora detekcije i uzorka. Kao rešenje vršeno je ravnjanje materijala na traci pre analiziranja. Ovakvi detektori su se masovno koristili, posebno u zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza, gde su se primenjivali i za određivanje sadržaja pepela za vreme utovara uglja u vagone.

Potom se prešlo na razvoj uređaja koji imaju dva emitera γ -zraka, jedan energetski viši, a jedan niži. Emitovanje γ -zraka vrši se istovremeno. Takvi uređaji su nazvani dvostruki gama merači ili dvostruki prenosnici energije.

Šema takvih uređaja za merenje sadržaja pepela u uglju data je na slici 2.38.

Prenos više energije u prvom redu zavisi od mase, a niže od mase i sadržaja pepela. Energija koja je prošla sa oba emitera se detektuje odvojeno, a potom se kombinovanjem izračunava sadržaj pepela nezavisno od debljine sloja i mase uglja. Prednosti ovoga sistema merenja su mogu-

čnost primene na postojećim transportnim trakama, zadovoljavajuća tačnost, kratko vreme potrebno za analizu, dobra zaštita od radijacije i prihvatljivi troškovi.



Slika 2.38. Šema merenja sadržaja pepela pomoću dvostrukih γ -merača

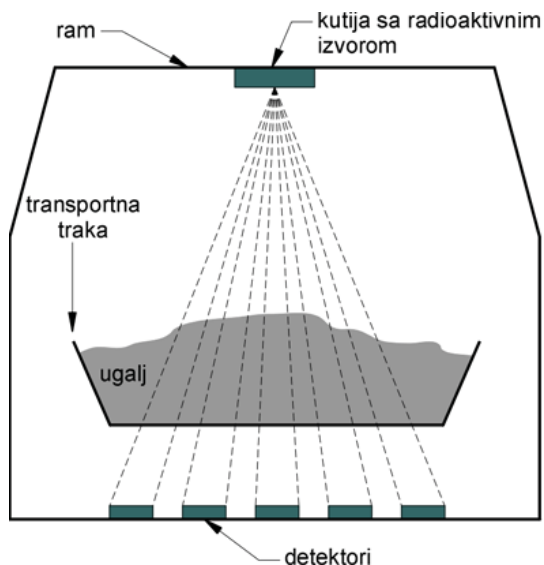
Izgled analizatora pepela, zasnovanog na principu dvostruko gama merenje (dvostruki prenos energije) sa Cs-137 i Am-241 kao izotopima, montiran na transportnoj traci prikazan je na slici 2.39 [www.rgi-ms.com].



Slika 2.39. Izgled analizatora za pepeo montiranih na transportnoj traci

Potom je razvijen i sistem sa više mernih izvora, obično pet, koji se pokazao prihvatljiv u situaciji kada postoje velike varijacije u sadržaju pepela duž poprečnog preseka trake. To su tzv. višekanalni analizatori pepela.

Šema višekanalnog analizatora pepela u uglju je prikazana na slici 2.40.



Slika 2.40. Šema višekanalnog analizatora pepela u uglju

Tokom devedesetih više od 2/3 instalisanih analizatora sadržaja pepela radilo je na principu dvostrukog energetskog prenosa γ -zraka.

Ovaj sistem je, praktično, razvijen za kvalitetne (kamene) ugljeve i pojavili su se problemi pri korišćenju na nekvalitetnijim ugljevima. Međutim, istraživanja sprovedena u tadašnjoj Istočnoj Nemačkoj pokazala su da je moguće praćenje sadržaja pepela i na mrkim ugljevima i lignitima. Izvršene su neke modifikacije na uređajima: primenjen je jači izvor zračenja, smanjeno je vreme merenja, odbačene su "ekstremno" visoke vrednosti pepela itd. Uprkos svim unapređenjima i modifikacijama na španskom rudniku As Pontes je dokazano da su dobijeni rezultati korektni i primenljivi tek nakon uvođenja određenih korekcionih faktora utvrđenih eksperimentalno za svaki sloj uglja ponaosob.

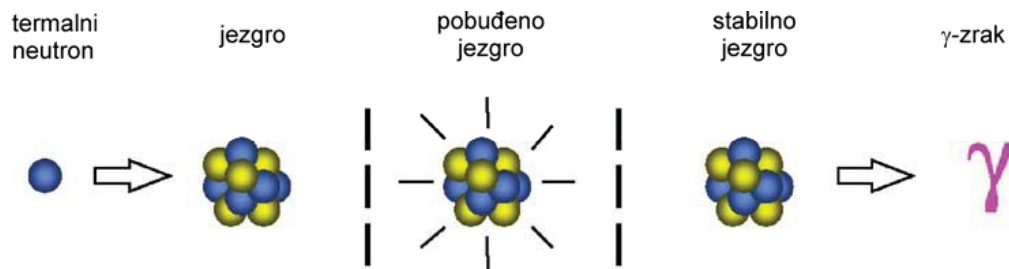
Dalji razvoj uređaja za merenje sadržaja pepela u uglju bazirao se na korišćenju prirodnog gama zračenja uglja. Naime, utvrđeno je da postoji velika korelacija između prirodnog gama zračenja i sadržaja pepela u uglju. Mada ova tehnika nije preciznija od ostalih niži troškovi i odsustvo radioaktivnih izvora učinili su je prihvatljivom. U praktičnoj primeni osnovni problem je bila potreba potpune izolovanosti senzora od ostalih izvora prirodne radioaktivnosti. Ova tehnika merenja je naročito mnogo korišćena u Engleskoj i na rudnicima mrkog uglja u Australiji.

2.5.3. Elementarna analiza uglja

Za elementarne analize uglja danas se, po pravilu, koriste uređaji bazirani na analizi aktivacije gama zračenja neutronima (PGNAA).

Kod te analize određena količina uglja se izlaže neutronima koji se emituju iz radioaktivnog izotopa. Ovo uslovljava da jezgra različitih elemenata prisutnih u uglju emituju različite spektre γ -zraka. Unutar spektra se pojavljuju karakteristični pikovi koji reprezentuju prisustvo i količinu određenog elementa.

Šematski prikaz te reakcije dat je na slici 2.41.



Slika 2.41. Šema aktivacije gama zračenja neutronima, primjenjena na PGNAA analizatorima

PGNAA analizatori su bazirani na merenju γ -zraka koji nastaju iz aktivacije jezgra termalnim neutronima*. PGNAA analizatori daju dobre rezultate za elemente čija koncentracija i afinitet prema pobuđivanju jezgra neutronima radi proizvodnje detektabilnog signala γ -zraka su visoki.

Vodonik, gvožđe i hlorini daju najbolje rezultate, a sumpor i mnogi elementi iz silikatne analize pepela daju dobre rezultate. Osetljivost ugljenika je slaba, ali pošto je njegov sadržaj obično visok nema problema da se detektuje. Najnepovoljniji slučaj je sa kiseonikom koji ima veoma nizak afinitet prema aktivaciji termalnim neutronima tako da se njegov sadržaj ne može meriti. Da bi se utvrdio sadržaj kiseonika koriste se neke alternativne metode.

* "Neutroni su podesni za cepanje jer su električno neutralni pa lako prodiru ne samo kroz atom već i u samu unutrašnjost jezgra. Neutroni ne treba da budu suviše brzi jer će se onda reflektovati od jezgra, a da ga ne uspeju rascepiti. Neutroni niske energije se dobijaju ako se energetski neutroni puštaju da prolaze kroz materijal (tzv. "moderator") sastavljen od lakih atoma (vodonik, helijum, grafit, berilijum, kadmi - jum itd.). Sudaranjem sa jezgrom deo neutrona koji ne bude apsorbovan postići će ravnotežu sa termičkom energijom u tom medijumu pa se takvi neutroni nazivaju "termalnim neutronima". Većina jezgara apsorbuje termalne neutrone. Kad neko je - zgro zahvati neutron nastaće novo jezgro čiji se broj neutrona poveća za jedan. Tim se vezanjem neutron jezgra "uzbudi" ili "podraži" (eksitacija) i pri tom se "deblokira" odgovarajuća količina (blokirane, potencijalne, latentne, termodinamički slobodne) energija, koja se tu emitira u obliku γ -zračenja" (preuzeto iz Njegovan V.N.: Osnova hemija, Naučna knjiga, 1969)

Svaki PGNAA uređaj se oprema sa scintilacionim detektorom za detekciju gama zračenja i identifikaciju njihove energije. Preko ovoga detektora i dodatne opreme za proizvodnju signala dobija se spektar gama zraka koji se odgovarajućim softverom pretvara u elementarnu analizu.

Kada se PGNAA uređaji koriste za određivanje sadržaja pepela u uglju to se ne može odrediti direktno već preračunavanjem na bazi silikatne analize pepela. Takođe se mogu odrediti i toplotni efekat (ako je poznata vlažnost), faktor zašljakivanja i sadržaj kiseonika.

PGNAA nisu uvek podesni za analiziranje lignita i mrkih ugljeva zbog visokog sadržaja vlage i velikih varijacija u sadržaju pepela.

PGNAA daju tačnije rezultate od uređaja zasnovanih na dvostrukom prenosu energije γ -zraka ili sistemima sa prirodnim gama zračenjem, ali su i skuplji od njih.

Spoljašnji izgled merača koji koristi PGNAA tehniku, COALSCAN 9500X firme SCANTECH, instaliran na transportnu traku radi direktne kontrole karakteristika uglja po celoj širini trake dat je na slici 2.42 [www.scantech.com.au].



Slika 2.42. Spoljašnji izgled COALSCAN 9500X

REZIME - Na bazi prethodnih saznanja može se sačiniti rezime mer-nih tehnika za on-line analizatore uglja i njihovih osnovnih karakteristi-ka. Rezultati su dati u tabeli 2.6 [Michaelides, 1999, Kavourides, Pavlo-udakis, 2003].

Tabela 2.6. Rezultati mernih tehnika

Merna tehnika	Izvor pobude	Mereni parametri	Tačnost, tipično, %, maseno manje pepela/više pepela	Vreme merenja, približno, min	Veličina uzorka	Cena, okvirna, \$
odbijeni X-zraci/ Y-zraci	²³⁸ Pu ²³⁸ Am	atomski broj, srednji	1-2	10	laborator. traka	50.000-80.000
X-zraci fluoresc.	²³⁸ Fe	K, Al, Fe, S, Ca, Si, Al, U, pepeo, GTE		0,5-1,5	5-10 g, laborator.	400.000
dvostruki prenos energije	²³⁸ Am ²³⁸ Cs ²³⁸ Bα	atomski broj, srednji	0,3-0,5/ 0,7-1,5	2	traka	50.000-80.000
prirodno gama zračenje	nema	količina radioaktivnosti	0,4-1,5/1-2	2	traka	60.000-70.000
PGNAA	²³⁸ Cf	S, C, H, N, Fe, Al, Si, Ca, Cl	0,5 - pepeo, 0,1 - sumpor	10-30	5-500 t/h na by-pass traci	500.000
mikrotalasi	mikrotalasn timer	vlaga	0,5	<1/60	traka	50.000-70.000
kapacitiv.		vlaga	0.5	2	traka	30.000-50.000

2.6. Deponije uglja

2.6.1. Namena i vrste deponija uglja

Namena svake deponije umetnute u tehnološki lanac između proizvođača (davaoca sirovine) i prerađivača ili u samom procesu prerade jeste formiranje pufera koji će sprečiti prekid rada svih učesnika usled kratkotrajnih (ponekad i dužih) problema u snabdevanju, odnosno koji će rad pojedinih delova procesa učiniti maksimalno nezavisnim. Veliki broj deponija, a među njima i deponije uglja, imaju i dodatnu namenu da posluže kao mesto na kojem se može izvesti homogenizacija ili mešanje ugljeva radi ujednačavanja kvaliteta uglja koji se sa deponije usmerava dalje u proces čišćenja, prerade ili sagorevanja.

Deponije se prema funkciji mogu podeliti na: pretovarne, rezervne i usrednjavajuće. Upravo se usrednjavajuće deponije po pravilu koriste za homogenizaciju. Ove deponije se nalaze van prostora kopa, ali se projektuju tako da su funkcionalno povezane sa kopom. Za potrebe homogenizacije uglja na deponijama isprojektovan je i izrađen čitav niz specijalnih mašina za odlaganje i uzimanje odnosno utovar materijala sa deponije. Princip homogenizacije uglja na deponijama svodi se praktično na

formiranje što većeg broja slojeva uglja različitog kvaliteta duž cele deponije kako bi se u procesu utovara dobio što ravnomerniji kvalitet.

Deponije uglja se formiraju na više mesta u tehnološkom lancu od mesta kopanja do mesta korišćenja, kao npr.:

- na samom rudniku,
- na postrojenju za preradu,
- na izvoznim/uvoznim terminalima,
- na prodajnim terminalima,
- na termoelektranama, toplanama i energanama, i
- kod drugih (krajnih) korisnika.

Osnovni parametri deponija su:

- zapremina,
- kapacitet na odlaganju i
- kapacitet na zahvatanju (utovaru).

Zapremina svih deponija zavisi od mnogo faktora i, praktično se određuje za svaku deponiju pojedinačno. Istovremeno se, u zavisnosti od namene, definiše i potrebna oprema, način rada i upravljanja pojedinom od deponija.

2.6.2. Zapremina deponije uglja

Zapremina deponija uglja formiranih na kopu. Deponije locirane neposredno uz kop formiraju se u slučajevima kada je krajnji potrošač (termoelektrana) udaljen od kopa (primer: deponija uglja na kopu "Tamnava", basen "Kolubara"). U slučajevima kada je termoelektrana locirana na kratkoj udaljenosti od kopa izbegava se formiranje deponija uz kop već se formira zajednička deponija za kop i termoelektranu (primer: deponija između kopa "Drmno" i TE "Kostolac-B"). U zavisnosti od organizacije preduzeća upravljanje deponijom se poverava kopu ili termoelektranu.

Ne postoje neke posebne specifičnosti vezane za dimenzionisanje deponija uz kop u odnosu na deponije koje se formiraju uz termoelektrane jer im je namena, praktično identična.

Zapremina deponija uglja formiranih na termoelektranama. Bitna karakteristika gotovo svih deponija uglja koje se formiraju uz termoelektranu jeste njihova veličina. Po zauzetom prostoru, odnosno zapremini to su najveće deponije na kojima se privremeno deponuje sirovina za dalju preradu. Tradicionalno se težilo zapreminama koje bi obezbedile 90-o dnevni rad termoelektrane. Kao razlozi za ovo najčešće se koristi "strah" od višednevnih štrajkova i vremenskih nepogoda [Carpenter, 1999].

Međutim, ovo pravilo ima mnogo izuzetaka i situacija kada se ono ne poštuje. Sreću se slučajevi gde su deponije veće, ali mnogo češće su deponije manje zapremine ili se primenjuju neki specifični uslovi obezbeđenja rezervnog uglja.

U SAD se od sredine 1990-ih teži formiranju deponija sa rezervom dovoljnom za 55-o dnevni rad termoelektrane. Razlozi za ovo su potpuno ekonomski (smanjenje troškova deponovanja), a tehničko-tehnološki i organizacioni razlozi to, evidentno, ne sprečavaju. U američkoj kompaniji The American Electric Power su zaključili da je pre smanjenja veličine deponije potrebno razmotriti: moguće načine transporta uglja (železnica, barže, kamioni, transporteri direktno iz kopa), moguće izvore snabdevanja ugljem, broj drugih postrojenja na koje je potrebno distribuirati ugalj, moguće varijacije u kapacitetu termoelektrane i potrebno vreme za obezbeđenje potrebnih količina uglja. Tek posle ovakvih razmatranja, od elektrane do elektrane, može se pristupiti smanjenju količine deponovanog uglja. Treba, međutim, reći da se u SAD sreću i termoelektrane sa deponijama koje obezbeđuju nesmetan rad do 120 dana.

U svetskoj praksi se beleže i termoelektrane koje imaju veoma male deponije. U australijskoj državi Viktoriji termoelektrane koje sagorevaju kameni ugalj zbog njegove velike sklonosti ka samozapaljenju imaju deponije na kojima se ne smešta ni dnevno potrebna količina uglja. Razume se, te termoelektrane su locirane neposredno uz ležište. Mada su ove termoelektrane izuzetak smatra se da termoelektrane locirane neposredno uz ležište (kop, jamu) treba da imaju značajno manje deponije. U Južnoafričkoj Uniji veličina takvih deponija ne prelaze 10-o dnevne potrebe termoelektrana. Gotovo identična situacija je kod termoelektrana lociranih u reonu velikih lučkih terminala. Tako, termoelektrane u Holandiji imaju deponijske kapacitete dovoljne za rad od 5 do 8 dana jer im potrebnu sigurnost u snabdevanju daju velike deponije u lučkom terminalu.

Američke kompanije "Rochester Gas and Electric" i "Commonwealth Edison" baziraju rad na centralnim deponijama sa kojih se manje količine uglja u kratkim vremenskim periodima razvoze na objekte locirane na razumnom rastojanju od centralne deponije.

U bivšoj SFRJ važno je pravilo da deponije locirane uz termoelektanu treba da obezbede nesmetan rad termoelektrane u periodu od 45 dana [Perišić al., 1982]. Ovo dvostruko smanjenje u odnosu na "staru" svetsku praksu nije posebno obrazloženo ali je jasno da one nisu uzimale u razmatranje pojam "radnički štrajkovi" koje socijalistički sistem nije poznao. Međutim, uprkos ovom pravilu, koje nije imalo snagu zakona, sve deponije nisu tako projektovane.

U tabeli 2.7 dat je pregled svih termoelektrana u bivšoj državnoj zajednici Srbije i Crne gore sa detaljima vezanim za njihove deponije uglja.

Tabela 2.7. Osnovne karakteristike deponija lociranih uz termoelektrane u Srbiji i Crnoj Gori

Termoelektrana	Veličina deponije, t	Rezerve u uglju, dan	Tip deponije	Postojanje kopovske deponije
Nikola Tesla-A	850.000	~11	polarna	da
Nikola Tesla-B	550.000	~12	polarna	da
Kolubara	110.000	~13	linijska	ne
Morava	240.000	~40	linijska	
Kostolac-A	120.000	~ 10	linijska	ne
Kostolac-B	600.000*	~ 15	linijska	ne
Kosovo-A	500.000		linijska	ne
Kosovo-B			linijska	ne
Pljevlja	83.000	~ 12	linijska	ne

2.6.3. Tipovi deponija

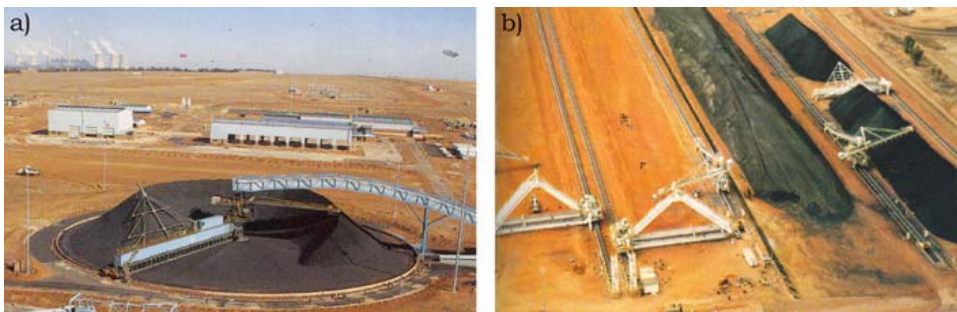
Dobro projektovana i osmišljena deponija uglja treba da:

- omogućava lak pristup deponovanom materijalu,
- omogući efikasan utovar,
- postiže potrebne kapacitete odlaganja i izuzimanja,
- omogući željeni stepen daljinske kontrole opreme i automatizacije,
- obezbedi homogenizaciju i/ili mešanje ugljeva,
- održava ili poboljšava uniformnost, kompaktnost i kvalitet deponovanog uglja,
- minimizuje manuelni rad zaposlenih,
- maksimalizuje spremnost i raspoloživost opreme,
- omogućava bezbedan i pouzdan sistem,
- omogući sprečavanje potencijalnih požara,
- spreči zaprašnost i buku u okruženju,
- obezbedi prihvat i odvođenje drenažnih voda,
- minimizuje operativne i investicione troškove rukovanja ugljem,
- postigne optimalno korišćenje zemljišta, maksimalna radna zapremina na zauzetoj jedinici površine

Ugljevi istog tipa se mogu deponovati na istom odlagalištu dok se ugljevi različitog tipa deponuju na odvojenim odlagalištima.

Podelu deponija uglja moguće je izvršiti na bazi više parametara. No, generalno se dele na zatvorene i otvorene, a potom na kružne (polarne) ili linijske (linearne), slika 2.43.

* Planira se dogradnja deponije čime će postojeća zapremina povećati za oko 1/3



Slika 2.43. Tipovi deponija. a) kružne, b) linijske

Zatvorene deponije se grade radi maksimalnog smanjenja negativnog uticaja deponija uglja na aerozagađenje okoline ili zbog nekih specifičnih osobina uglja koji se deponuje (osetljivost na atmosferilije).

Kružne deponije uglja se odlikuju sledećim prednostima u odnosu na linijske:

- imaju kompaktniji oblik nego linearne,
- povoljnije su za pokrivanje,
- pouzdanije je deponovanje i izuzimanje,
- lakše je održavanje opreme,
- eliminiše nestandardne i konusne oblike pri izuzimanju,

Istovremeno ih prate i sledeći problemi:

- kapacitet je ograničen i ne može se naknadno povećavati,
- dužina pojedinih slojeva je kraća,

Dakle, ako se želi povećati kapacitet neke postojeće kružne deponije neophodno je napraviti novu deponiju jer postojeća pruža malo mogućnosti da se na istoj površini poveća zapremina. Iz prakse je poznato da se češće grade dve manje nego jedna veća deponija. Kod kružnih deponija formiranih na terminalima poseban problem predstavlja mogućnost da deponija prihvati kompletan lot. Zbog toga se kao potrebni kapacitet usvaja veličina (najmanje) jednog lota. Na tajvanskoj termoelektrani koja se često citira kao primer uspešne primene kružnih deponija izgrađene su 4 zatvorene deponije širine od po 120 m pri čemu svaka deponija prima tovar jednog broda. Ako se, kao odlučujući kriterijum, postavi uticaj deponije na okruženje tada je jasno da će se kružne deponije češće sretati nego linijske.

Linijske deponije:

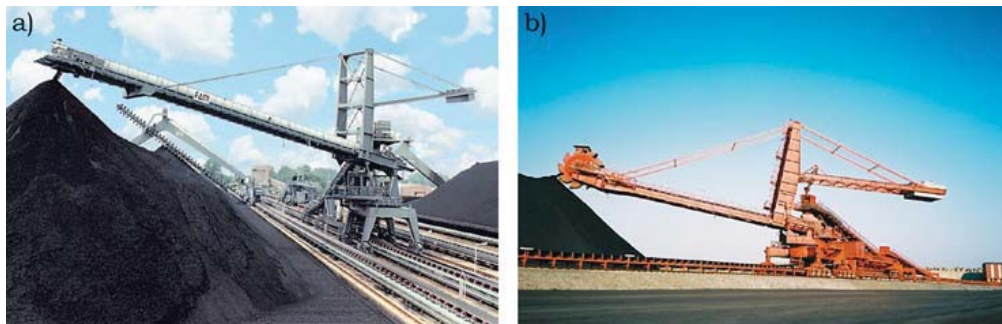
- imaju veće kapacitete,
- kapacitet se lako naknadno povećava produžavanjem deponije, šina i traka,
- dužina pojedinih slojeva je duža,
- veličina lotova koji se deponuju može biti veća i može se više različitih lotova deponovati i mešati,
- investicioni, operativni i troškovi održavanja su niži, a troškovi građevinskih radova su viši.

Praktično, sve što je pozitivno za kružne deponije predstavlja manu linijskih deponija i obrnuto. Međutim, osnovni problem linijskih deponija koji čini njihova razvučenost i problemi sa pokrivanjem počelo je da se rešava izgradnjom zatvorenih prostora, sa poprečnim presekom u oblika slova A, kod kojih su troškovi pokrivanja kompenzovani dobrim korišćenjem prostora i lakim povećanjem veličine deponija. Zbog mogućnosti deponovanja dužih slojeva velike linijske deponije su podesnije za homogenizaciju nego kružne, dok se to kod manjih kapaciteta toliko ne zapaža.

2.6.4. Mehanizacija za rad na deponijama

Za potrebe homogenizacije uglja na deponijama isprojektovan je i izrađen čitav niz specijalnih mašina za odlaganje i uzimanje odnosno utovar materijala za deponije.

Za odlaganje se mogu koristiti mašine konstrukciono namenjene isključivo za odlaganje (slika 2.44.a) ili kombinovane mašine za odlaganje i utovar, slika 2.44.b Osnovni zahtev kod ovih mašina se sastoji u tome da odlagališna strela mora da dohvati do vrha deponije i do 2/3 širine deponije.

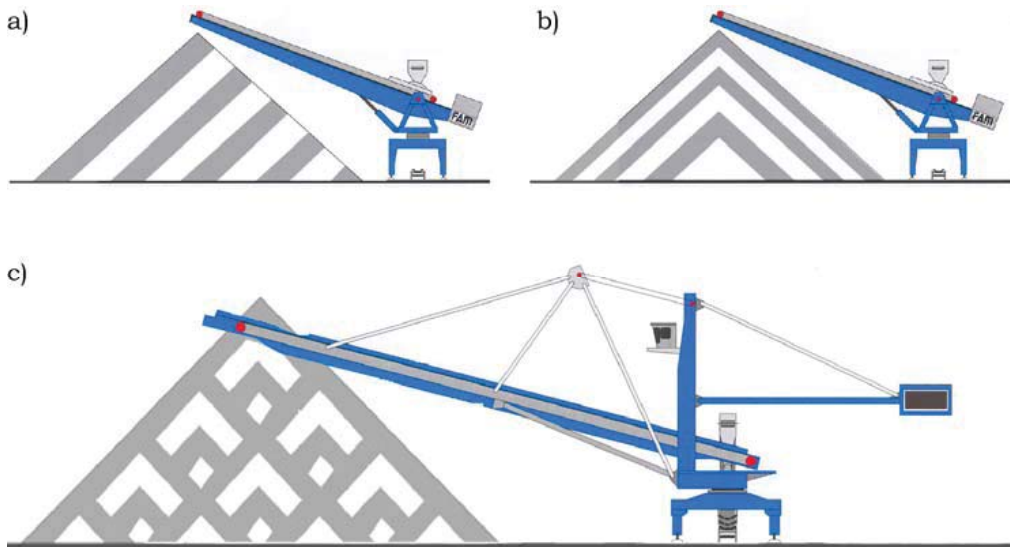


Slika 2.44. Mašine za odlaganje uglja na deponiji.
a) samo za odlaganje, b) kombinovana mašina za odlaganje i utovar

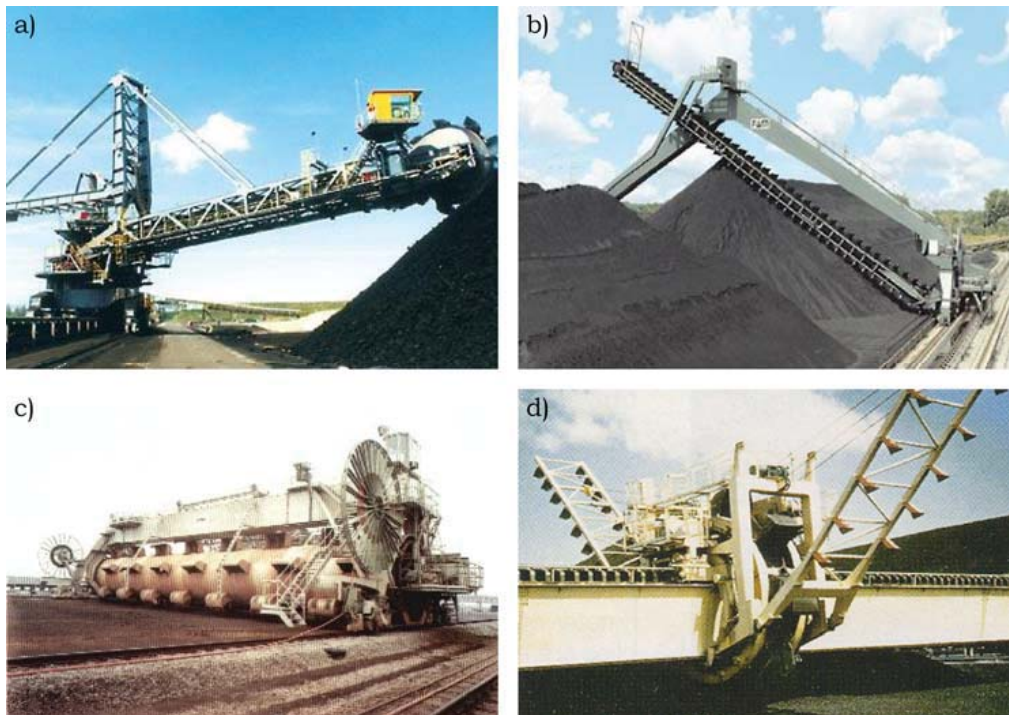
Na slici 2.45 prikazan je način rada odlagača kod formiranja deponije Shevron i Windrow metodom.

Za utovar (zahvatanje) materijala sa deponija razvijen je čitav niz različitih mašina. Po tipu transportnog uređaja ove mašine mogu biti sa šinskim ili guseničnim transportnim uređajem; po obliku radnog organa - sa rotornim, vedričastim i valjkastim radnim organom; po konstrukciji - sa utovarnom strelom i sa portalom za utovar (slika 2.46).

Najčešće se koriste kombinovane mašine sa rotornim točkom zbog njihove univerzalnosti (mogu da vrše i deponovanje i zahvatanje uglja). Nedostatak ove vrste mašina je ograničena mogućnost homogenizovanja u odnosu na mašine sa vedričastim i valjkastim radnim organom, ali su zato daleko fleksibilniji u radu.



Slika 2.45. Tehnologija formiranja deponije
 a) kosa Shevron metoda - odlagač sa kliznom strelom, b) Shevron metoda - odlagač sa fiksnom strelom, c) Windrow metoda - odlagač sa kliznom strelom



Slika 2.46. Tipovi kombinovanih mašina za zahvatanje uglja na deponiji.
 a) sa rotornim točkom, b) sa vedričastim radnim organom, c) sa valjkom, d) sa rotornim točkom na portalu

Posle kombinovanih mašina sa rotornim točkom najzastupljenije su mašine sa vedričastim radnim organom. Velika dužina radnog organa omogućava veliku dužinu kontakta sa deponijom a time je i omogućena dobra homogenizacija.

Poslednja dva tipa (sa radnim organom u obliku valjka i rotornim točkom na portalu) se ređe koriste na deponijama.

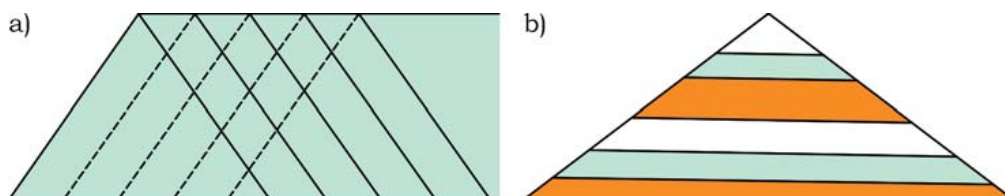
2.6.5. Metode deponovanja i zahvatanja uglja sa deponije

2.6.5.1. Metode deponovanja uglja

U zavisnosti od karakteristika i mogućnosti mašina za odlaganje i izuzimanje deponovanje je moguće obaviti u više različitih oblika (metoda). Osnovni oblici deponovanja su jednostavna deponovanja u obliku konusa ili u slojevima, horizontalnim ili kosim i kombinovano deponovanje po metodi Shevron, Windrow ili njihovoj kombinaciji [Carpenter, 1999].

Konusno deponovanje (slika 2.47.a). Ugalj se kontinualno deponuje duž jedne središnje ose pri tome se koriste mostni ili portalni odlagači koji se kreću kontinualno popunjavajući puni poprečni profil pri svakom prolazu. Ovaj način je podesan za homogenizaciju, ali je segregacija po krupnoći izrazita. Istovremeno, zaštita od aerozagađenja je relativno komplikovana.

Slojevito deponovanje (slika 2.47.b). Ugalj se deponuje u horizontalnim slojevima naizmeničnim ređanjem različitih tipova uglja ili ugljeva različitih karakteristika. Ovaj način deponovanja je podesan za nabijanje deponovanog materijala buldozerima radi potpunijeg korišćenja prostora i sprečavanja samozapaljenja deponovanog uglja. Poželjno je da se deponija potpuno oformi pa tek tada da se vrši izuzimanje uglja sa deponija formiranih na ovaj način.

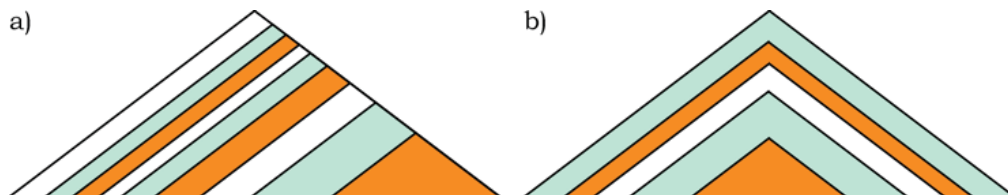


Slika 2.47. Šematski prikaz načina deponovanja uglja. a) konusno, b) slojevito

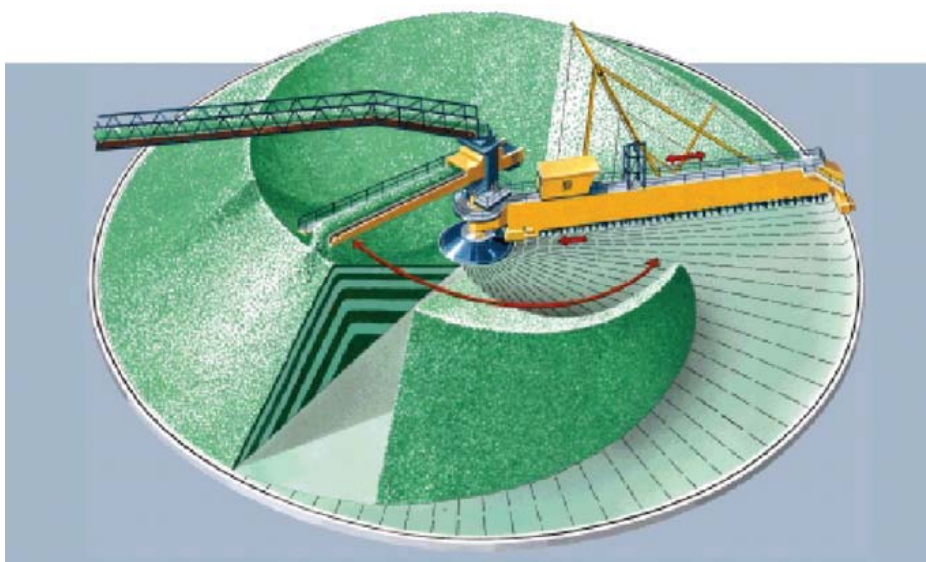
Kosa Shevron metoda (slika 2.48.a). Varijanta slojevitog deponovanja, ali su slojevi pod nagibom. Ove deponije zahtevaju primenu odlagača sa kliznom strelom uz smaknuto pomeranje linije odlaganja na svakom narednom sloju. Otežano je izuzimanje sa bočnim reklajmerima.

Trougaona Shevron metoda (slika 2.48.b). Deponovanje se vrši u jednoj tački duž središnje ose deponije. Oprema za deponovanje je jednostavna. Posle svakog prelaska odlagača po liniji odlaganja poprečni presek deponovanog materijala ima oblik trougla. Pojavljuje se izrazita se-

gregacija uglja po krupnoći. Teško se deponovani ugalj može sabijati buldozerima. Izgled kružne deponije formirane Shevron metodom prikazan je na slici 2.49.



Slika 2.48. Šematski prikaz načina deponovanja uglja po Shevron metodi. a) kosa, b) trougaona



Slika 2.49. Kružna deponija uglja formirana Shevron metodom

Windrow (slika 2.50). Deponija se formira u više paralelnih redova. Kod prvog sloja poprečni presek deponovanog uglja je trouglast, dok je kod viših slojeva poprečni presek najčešće oblika romba. Svaki sloj se može lakše sabijati buldozerima. Izgled deponije nakon formiranja prvog sloja je prikazan na slici 2.51.



Slika 2.50. Šematski prikaz deponovanja po Windrow metodi



Slika 2.51. Deponija formirana po Windrow metodi posle formiranja prvog sloja

Shevron-Windrow (slika 2.52). Deponovanje započinje kao kod Windrow metode, a nastavlja se dodavanjem viših slojeva po metodu Shevron. Pri tome na jednoj deponiji se formira više manjih Shevron deponija.

Opšte je pravilo, bez obzira na primenjenu metodu deponovanja, da se bolja homogenizacija (mešanje) postiže kada se proces odlaganja završi na celokupnom zauzetom prostoru (površinski i zapreminski) nego kada se izuzima ugalj sa deponije koja nije postigla potpunu visinu. Zbog toga je veličinu svake deponije potrebno prilagoditi dinamici deponovanja i izuzimanja.



Slika 2.52. Šematski prikaz deponovanja po Shevron-Windrow metodi

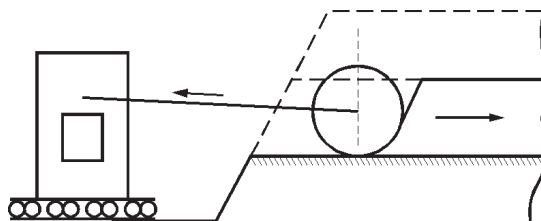
2.6.6. Metode zahvatanja uglja sa deponije

Način utovara tj. uzimanja materijala sa deponije zavisi od tipa mašine i oblika deponije.

Za deponijske mašine sa strelom i rotornim točkom karakteristična su tri načina uzimanja:

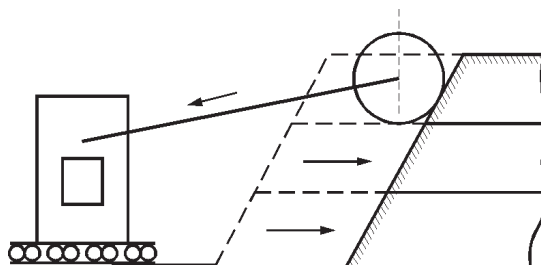
- **Etažni način** sa otkopavanjem jednog sloja uglja duž cele deponije. Pri ovakvom načinu rada bager zadržava isti ugao strele pri otkopavanju svakog od narednih slojeva. Međutim, ovakav način rada moguć je

samo ukoliko se deponija nalazi izvan transportnog puta deponijske mašine (slika 2.53).



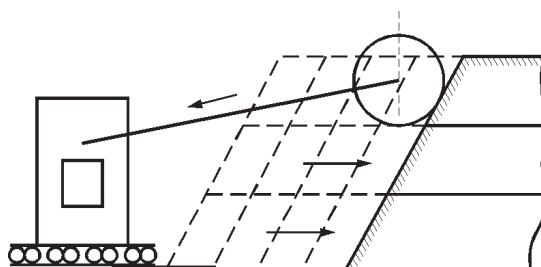
Slika 2.53. Etažni način zahvatanja materijala sa deponije

- **Otkopavanje u bloku** je klasičan i najefektivniji način rada rotornih bagera pri čemu se za jednu dužinu bloka podetaže otkopavaju redosledom od najviše do najniže, (slika 2.54).



Slika 2.54. Blokovski način zahvatanja materijala sa deponije

- **"Pilgrim step" način** je identičan blokovskom načinu rada s tom razlikom što dužina bloka nije maksimalna. Dužinu bloka određuje dužina koja se može pokriti fiksnim kružnim kretanjem strele radnog točka. Posle dva kružna kretanja strela se spušta na nižu podetažu, i tako redom. Ovaj način rada smanjuje efektivnost bagera, ali omogućava zadovoljavajuću homogenizaciju (slika 2.55).

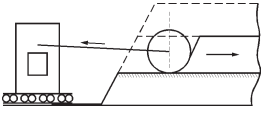
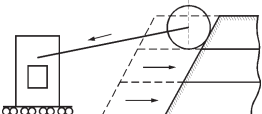
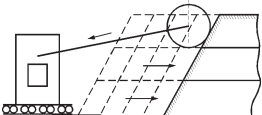


Slika 2.55. "Pilgrim step" način zahvatanja materijala sa deponije

Efikasnost homogenizacije prilikom primene različitih metoda odlaganja i zahvatanja uglja za deponijske mašine sa strelom i rotornim točkom prikazana je u tabeli 2.8 [Zador, 1991., Wall et al., 2001.]. Očigledno je da najbolje rezultate pokazuje mašina za etažno zahvatanje sa de-

ponije formirane kombinovanom Chevron-Windrow metodom, a da je homogenizacija najefikasnija pri primeni Pilgrim metode izuzimanja sa deponije formirane Windrow metodom.

Tabela 2.8. Prikaz efektivnosti homogenizacije za mašine sa strelom i rotornim točkom

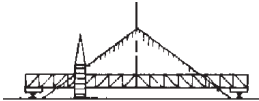

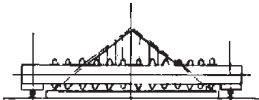
Metod odlaganja Metod zahvatanja	Kapacitet (t/h)	Shevron-Windrow kombinacija		Shevron		Windrow		Srednja efikasnost
		pepeo	sumpor	pepeo	sumpor	pepeo	sumpor	
Etažni 	1000	1,42	1,11	1,72	1,26	2,25	1,40	1,4
	2000	1,34	1,09	1,58	1,21	2,01	1,32	
	3000	1,32	1,08	1,56	1,20	1,95	1,30	
	4000	1,30	1,07	1,54	1,19	1,91	1,28	
	6000	1,28	1,06	1,51	1,17	1,86	1,26	
Blokovski 	1000	1,50	1,13	1,87	1,31	2,58	1,48	1,5
	2000	1,41	1,11	1,71	1,25	2,26	1,39	
	3000	1,39	1,10	1,68	1,24	2,19	1,37	
	4000	1,37	1,09	1,65	1,23	2,14	1,35	
	6000	1,35	1,08	1,61	1,21	2,07	1,33	
Pilgrim step 	1000	1,59	1,15	2,02	1,37	2,87	1,57	1,58
	2000	1,48	1,14	1,83	1,30	2,48	1,46	
	3000	1,46	1,13	1,78	1,28	2,39	1,44	
	4000	1,44	1,12	1,75	1,26	2,33	1,42	
	6000	1,41	1,10	1,71	1,23	2,24	1,39	
Srednja efikasnost pri kapacitetu od 3000 t/h		1,25		1,46		1,77		

Kod mostnog (portalnog) utovara materijala sa deponije (slika 2.56) rotorni točak otkopava ugalj tako što se kreće upravno na osu deponije. S obzirom da se zahvatanje materijala obavlja samo u uskom pojasu širine radnog točka efekti homogenizacije nisu veliki, pa se zbog toga često umesto jednog koriste dva rotorna točka. Međutim, i u ovom slučaju efektivnost homogenizacije često nije zadovoljavajuća. Bolji efekti homogenizacije se ostvaruju primenom specijalne mašine koja umesto rotornog točka ima bubanj sa vedricama raspoređenim duž cele širine deponije. U tabeli 2.9 prikazana je efektivnost procesa homogenizacije za različite načine odlaganja i zahvatanja materijala za različite tipove mostnih deponijskih mašina [Zador, 1991.].



Slika 2.56. Uzimanje uglja sa portalnim deponijskom mašinom

Tabela 2.9. Prikaz efektivnosti homogenizacije za portalne mašine

	Shevron		Windrow		Kapacitet (t/h)
	pepeo	sumpor	pepeo	sumpor	
Mostna mašina sa jednim rotornim točkom 	5,3	2,7	4,5	3,1	1000
	4,3	2,3	3,7	2,6	2000
Mostna mašina sa dva rotorna točka 	6,8	15,0	11,3	5,9	1000
	5,2	10,7	8,2	4,3	2000
Mostna mašina sa bubnjem 	12,9	8,7	29,7	6,6	1000
	9,3	6,5	21,0	5,1	2000
Srednja efikasnost pri kapacitetu od 1500 t/h	7,8		8,8		

U tabeli 2.9 prikazana je efikasnost homogenizacije pri primeni mašina posebno namenjenih za povećanje efikasnosti pri izuzimanju uglja iz deponije. Očigledno je da se primenom odgovarajućih mašina efikasnost višestruko povećava. Najpovoljniji rezultati se postižu pri primeni mostne mašine sa bubnjem.

Pored pomenutih mašina za zahvatanje tj. utovar uglja sa deponije, pre svega sa deponija formiranih u kosim slojevima koriste se i portalni vedričari, slika 2.57, čijom primenom se postižu najveći efekti homogenizacije.



Slika 2.57. Uzimanje uglja sa portalnim vedričarem

Literatura

- [1] Bonisch R., Hohna U., Modern coal quality control for run-of-mine coal homogenization in the Lusatian lignite mining area (Federal Republic Germany)
- [2] Carpenter M.A., 1999, Management of coal stockpiles, IEA Coal Research, London
- [3] Hofmann et al., 1999, On line determination of lignite quality in Rheinbraun opencast mines, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [4] Kavourides K., Pavludakis F., 1999, Determination of Ptolomais (Greece) lignite quality variations – supportive fuels and homogenization methods to improve lignite quality for power generation purposes, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens,
- [5] Kavourides K., Pavludakis F., 2003, Use of on-line analysis systems for monitoring the quality fluctuations of the lignite produced from a multi-layered deposit, Proceedings of symp. Mine planing and equipment selection, Kalgoorlie
- [6] Kavourides K., Pavludakis F., 2003, Use of on-line analysis systems for monitoring the quality fluctuations of the lignite produced from a multi-layered deposit, Proceedings of symp. Mine planing and equipment selection, Kalgoorlie
- [7] Kirchner A., Maude C., 1994, On-line analysis of coal – symposium review, IEA Coal Research, London
- [8] Michaelides X., 1999, Successful on line physical and chemical analysis of coal, New technologies for coal quality control and homogenization, proceedings of workshop, Athens
- [9] Pavludakis F., 1998, Sistem homogenizacije u odlagalištima uglja. – Zbornik radova sa Prvog međunarodnog savetovanja o površinskoj eksploataciji uglja, "Ugalj '98.", Beograd.

- [10] Pavloudakis F., Agioutantis Z., 1999, "Computer aided coal quality control and homogenization – A state-of-the-art-review", "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens,
- [11] Perišić M. et al., 1982, Utvrđivanje potrebnih veličina deponija uglja za termoelektrane", Rudarski institut, Beograd
- [12] Stasinakis A., 1999, Homogenization in Megalopolis lignite center, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [13] Stojaković M., 1999, Metodika upravljanja procesom homogenizacije uglja na površinskim kopovima "Tamnava" magistarski rad, Beograd
- [14] Wall T. et al., 2001, A review of the state-of-the-art in coal blending for power generation final report, Cooperative research centre for black coal utilisation, Callaghan
- [15] www.rgi-ms.com
- [16] www.scantech.com.au
- [17] xxx, 1999, Lignite in Europe, Rheinbraun Aktiengesellschaft, Cologne
- [18] xxx, 2005, Upravljanje procesom homogenizacije uglja u cilju povećanja iskorišćenja niskokvalitetnih ugljeva i uštede mazuta u termoelektranama, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [19] Lične konsultacije sa menadžmentom rudnika uglja Marica-istok, 2004.
- [20] Lične konsultacije sa menadžmentom rudnika uglja Laubag i Mibrag, 2004.
- [21] Lične konsultacije sa menadžmentom rudnika uglja Megalopolis, 2003.

3. Prednosti i dobiti zbog uvođenja sistema merenja, praćenja i upravljanja kvalitetom uglja

3.1. Kriterijumi tehničkih ograničenja varijacija kvaliteta uglja

Osnovni tehnički kriterijumi koji služe za ograničavanje varijacija kvaliteta uglja vezani su za projektovane karakteristike kotlova termoelektrana, osnovnih potrošača uglja.

Tako na primer: svi kotlovi termoelektrana "Nikola Tesla A i B" su projektovani i izgrađeni za osnovno gorivo – lignit iz ležišta "Kolubara". Pri određivanju parametara (karakteristika) uglja korišćene su prosečne vrednosti osnovnih parametara koji karakterišu ugalj iz ležišta. Projektovani parametri uglja su dati u tabeli 3.1 [studija, 1999].

Očigledno je da je ugalj precizno definisan u svim bitnim karakteristikama. No, za svakodnevno analiziranje kvaliteta uglja neophodno je poznavati osnovne parametre: DTE, sadržaj vlage i pepela ili jedan od njih, s obzirom da postoji zakonitost promene ovih parametara u odnosu na promenu jednog od njih. Pored ova tri parametra potrebno je svakodnevno poznavati (iz ekoloških razloga) učešće sumpora u uglju koji se sagoreva. Upravo se ova tri, odnosno četiri, parametra koriste za upravljanje kvalitetom uglja i vođenje procesa homogenizacije.

Prema ugovornim uzansama između termoelektrana i isporučilaca kotlova termoelektrana treba i pri korišćenju nekvalitetnijeg uglja iz datog dijapazona kvaliteta (tabela 3.1) da radi sa maksimalnom trajnom produkcijom pare bez dodataka tečnog goriva za stabilizaciju ložišta. Razume se, sa promenom kvaliteta uglja menja se količina uglja koju je potrebno sagoreti u jedinici vremena.

Uslov za stabilno sagorevanje nekvalitetnijeg uglja je postizanje projektovanih parametara mlinova za usitnjavanje uglja (kapacitet i finoća mliva), zaptivenost kotla (sprečavanje prodora tzv. "falš" vazduha) i čistoća grejnih površina. Razume se, navedeni parametri zavise od kvaliteta

održavanja i starosti kotlova tako da u stvarnim uslovima nije realno očekivati da kotlovi termoelektrana "Nikola Tesla" mogu u dužem periodu sagorevati nekvalitetniji ugalj bez dodavanja tečnog goriva (mazuta). Samim tim je još značajnija i naglašenija potreba kontinualnog održavanja karakteristika uglja u projektovanim granicama.

Tabela 3.1. Osnovi parametri uglja "Kolubara" na bazi kojih su projektovani kotlovi termoelektrana "Nikola Tesla" A i B*

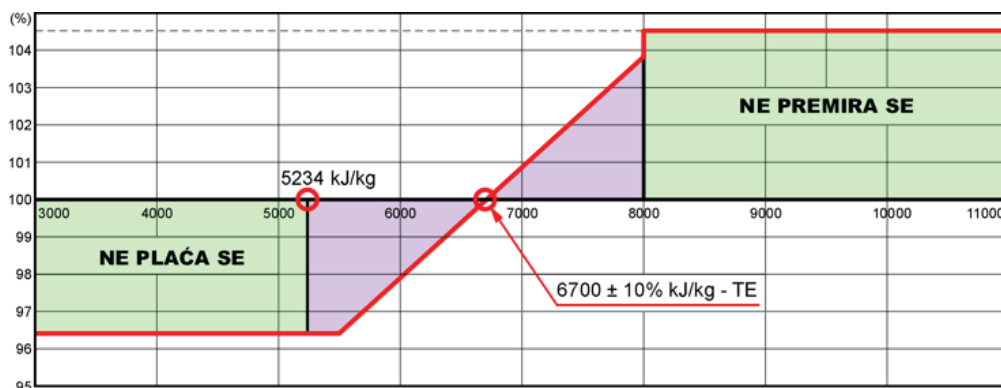
Parametar	Dijapazon	Garantovani ugalj	
Donji toplotni efekat (DTE), kJ/kg	5.862 – 7.955	6.699	
Sadržaj vlage, %	45 - 53	47,8	
Sadržaj pepela, %	10 - 23,5	19	
Sadržaj sumpora, %	0,45 - 0,5	0,5	
Sadržaj sumpora u pepelu, %	0,31	0,31	
Sadržaj koksa, %	32	33,2	
Sadržaj isparljivih sastojaka, %	20,1	20,1	
Sadržaj sagorljivih materija, %	31,4 - 36,8	33,2	
Sadržaj ugljenika, %	20,9	20,9	
Sadržaj vodonika, %	2,05	2,05	
Sadržaj kiseonika i azota, %	9,4	10,1	
Analiza pepela, %	SiO ₂	51 - 78	72,46
	Fe ₂ O ₃	1,9 - 6,0	2,24
	Al ₂ O ₃	9,0 - 20,0	12,48
	CaO	4,5 - 10,6	5,9
	MgO	1,2 - 3,0	1,44
	SO ₃	3,0 - 6,7	3,16
Temperatura sinterovanja, °C	900 - 1080	1080	
Tačka omekšavanja, °C	1150 - 1160	1150	
Tačka polulopte, °C	1300 - 1400	1325	
Tačka topljenja, °C	1315 - 1400	1345	

Uporedo sa ovim razmatranjima o tehničkim ograničenjima koje uslovljavaju upravljanje kvalitetom uglja koji se otkopava i sagoreva potrebno je razmotriti i tehnička ograničenja vezana za iskoristivost ležišta uglja. Naime, upravljanjem kvalitetom i homogenizacijom moguće je pomeriti granicu koja definiše bilansne rezerve uglja u ležištu i time aktivnim kopovovima produžiti vek i povećati ekonomske efekte. U konkretnom slučaju rudarskog basena "Kolubara" pod kategoriju "bilansni ugalj" posmatrana je supstanca kod koje je donji toplotni efekat (DTE) bio iznad 5.230 kJ/kg. Saglasno tome je razrađena i ugovorena relativna

* Postoje sitnije razlike u kvalitetu goriva kod termoelektrane "Nikola Tesla-A" u odnosu na "Nikola Tesla-B". Na primer DTE boljeg uglja kod TENT-A iznosi 7330 kJ/kg, a 7.955 kJ/kg kod TENT-B.

cena uglja (koji se isporučuje termoelektranama) u funkciji donjeg toplotnog efekta.

Na slici 3.1 dat je relativni odnos cene uglja i DTE, prema ugovoru između RB "Kolubara" i TE "Nikola Tesla".



Slika 3.1. Relativni odnos cene uglja, koji se isporučuje termoelektranama, i DTE

Sa prikazanog dijagrama je evidentno da se rudniku uglja "ne isplati" da isporučuje ugalj koji ima DTE ispod 5.234 kJ/kg (ne plaća se!), odnosno iznad 8.000 kJ/kg (ne premira se!). Primenom sistema upravljanja kvalitetom uglja, odnosno mešanjem uglja lošijeg kvaliteta sa ugljem boljeg kvaliteta pomeriće se dosadašnji DTE na niže čime će se pomeriti i donja granica između bilansnog i vanbilansnog uglja.

Sem navedenog, rudarska proizvodnja se susreće sa još nekim ograničenjima koja imaju određene implikacije na rad i efikasnost rudnika. U tabeli 3.2 date su osnovni parametri i ograničenja koja uslovljavaju organizaciju rudarske proizvodnje.

Tabela 3.2. Uticaj parametara ležišta uglja na ograničenja rudarske proizvodnje

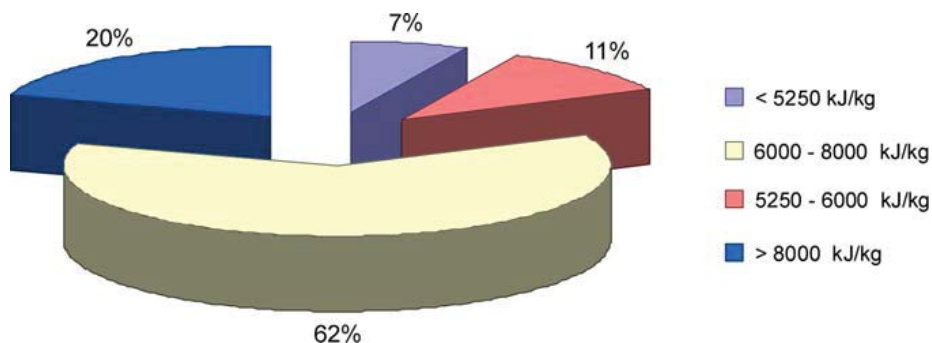
Parametar	Devijacija	Efekat
Donji toplotni efekat	Suviše visok	Nema dodatnih finansijskih efekata
	Suviše nizak	Nema finansijskih efekata
Homogenost ugljenog sloja (kriterijum selektivnosti)	Selektivan rad	Pad kapaciteta osnovne opreme
		Veći troškovi eksploatacije
		Veći kvalitet uglja
	Bez selektivnog rada	Pad kvaliteta uglja
		Veće iskorišćenje opreme
Energetski resurs (rezerve)	Velika varijacija kvaliteta	Manje iskorišćenje ležišta
		Kraći radni vek kopova
		Ekološki problemi

Iz tabele 3.2 evidentno je da se upravljanje, odnosno neupravljanje kvalitetom uglja odražava na eksploataciju i iskorišćenje ležišta. Samo usklađivanjem kvaliteta uglja (iskazanom preko DTE) i selektivnim otkopavanjem delova ležišta može se obezbediti racionalna iskoristivost uglja iz ležišta i ugalj ustaljenog i ugovorenog kvaliteta.

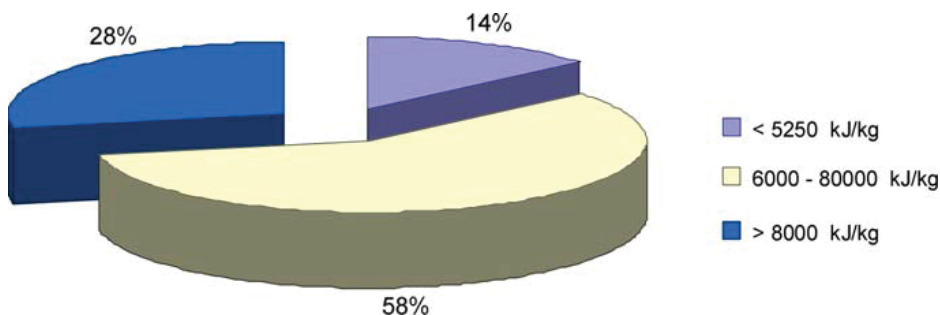
3.2. Dobiti na strani kopa

Osnovna dobit na strani kopa koja se dobija uvođenjem ovog sistema je maksimalno iskorišćenje ležišta. Naime, ugljevi u basenima Kolubara i Kostolac su veoma promenljivog kvaliteta. Postojanje uglja kvaliteta iznad potrebnog omogućava korišćenje i partija uglja sa veoma niskim kvalitetom, što je s obzirom na osetno smanjene energetske rezerve zbog poznate situacije na Kosovu od vitalnog interesa za zemlju.

Na slikama 3.2 i 3.3 prikazano je procentualno učešće klasa kvaliteta uglja koji su: ispod potrebnog kvaliteta za sagorevanje u termoelektrana, u optimalnom opsegu i iznad potrebnog kvaliteta u basenima Kolubara i Kostolac. Na prezentiranim grafikonima vidi se da je učešće niskokvalitetnih ugljeva relativno veliko (oko 20%) dok je učešće visokokvalitetnih ugljeva (>8000 kJ/kg) takođe oko 20% - što znači da u budućnosti treba očekivati da se homogenizuje približno 40% ukupnih količina uglja, ukoliko se želi postići maksimalni ekonomski efekti eksploatacije postojećih ležišta.



Slika 3.2. Procentualni udeo klasa kvaliteta uglja u RB "Kolubara"



Slika 3.3. Procentualni udeo klasa kvaliteta uglja u P.K. "Kostolac"

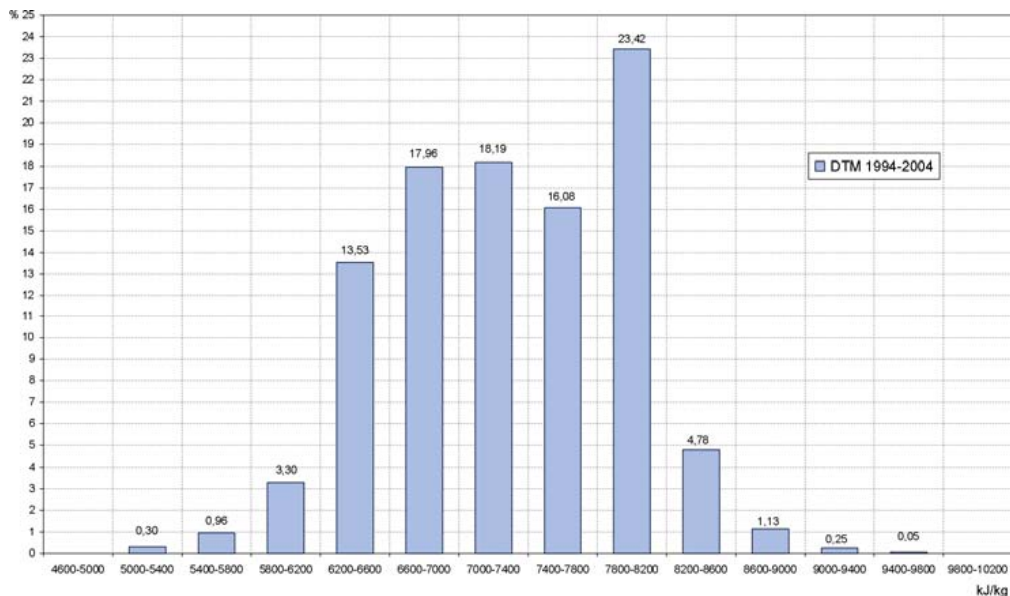
Tokom 2004. godine na površinskom kopu "Tamnava-Istočno polje" odloženo je oko 100.000 m³ masa iz prve podetaže mimo redovnih proslojaka. U okviru ovih masa oko 50% je uglj, tj. oko 60.000 tona uglja prosečnog kvaliteta oko 4.000 kJ/kg. Ako bi se taj uglj homogenizovao sa ugljem veoma dobrog kvaliteta dobila bi se mešavina kvaliteta 6.700 kJ/kg.

Na površinskom kopu "Tamnava-Zapadno polje" odloženo je približno 60.000 tona uglja kvaliteta sličnog kao i na P.K. "Tamnava-Istočno polje".

Dakle, ukupna količina uglja koja je, zbog neodgovarajućeg kvaliteta i ne postojanja sistema homogenizacije, nepotrebno odložena na odlagalište i nepovratno izgubljena iznosi oko 120.000 tona.

Druga velika dobit od uvođenja sistema za praćenje kvaliteta uglja za kopove proističe iz uslova plaćanja iz sadašnjeg ugovora (Ugovor iz 1974. god.) po kome se ugljevi kvaliteta ispod 5230 kJ/kg uopšte ne plaćaju i po kome se ugljevi sa kvalitetom preko 8000 kJ/kg ne premiraju.

Na slici 3.4 prikazana je struktura kvaliteta isporučenog uglja termoelektranama "Nikola Tesla" u periodu 1994-2004.g.



Slika 3.4. Kvalitet i količine isporučenog uglja TENT u periodu 1994.-2004.g.

Sa slike se može videti da su kopovi otkopali i isporučili termoelektrani gotovo 0,3% uglja koji nije plaćen. Takođe, isporučeno je preko 6,5% uglja sa kvalitetom koji je iznad potrebnog i koji nije bio premiran.

Pored ovih egzaktnih podataka, na strani površinskih kopova postoje još dobiti koje je teško ekonomski kvantifikovati. Naime, otkopani i odloženi uglj (na unutrašnjem odlagalištu) sklon je samozapaljenju, pa su česte pojave zagađenja okoline. Otkopavanjem, homogenizacijom i ispo-

rukom ovog uglja termoelektranama ovaj problem će se eliminisati. Druga nekvantifikovana dobit na strani kopova je da se ovaj ugalj tretira kao jalovina i bespotrebno zauzima prostor unutrašnjeg odlagališta.

Na kraju, uvođenjem ovakog sistema na kopovima će se znatno povećati tehnološka disciplina u eksploataciji.

3.3. Doprinos regularnosti procesa sagorevanja u kotlovima termoelektrana

U odnosu na gorivo regularnost procesa sagorevanja bazirana je na striktnom poštovanju parametara kvaliteta uglja i njihovom održavanju u projektovanim granicama (dijapazonu). Svako iskakanje iz projektovanog dijapazona remeti proces sagorevanja i utiče na efikasnost rada termoelektrane [Bhattacharya J., 2001; Pavloudakis F., Agioutantis Z., 1999]. Osnovni poremećaji u procesu sagorevanja i radu termoelektrane izazvani promenom parametara goriva i negativni efekti dati su tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Poremećaji u procesu sagorevanja i radu termoelektrane izazvani promenama kvaliteta uglja i negativni efekti

Parametar	Devijacija	Efekat
Toplotna vrednost	Suviše visoka	Pregrevanje i oštećenje gorionika
		Povećano zašljakivanje
	Suviše niska	Povećana potrošnja uglja
		Povećani transportni troškovi Može usloviti ispad termoelektrane
Učešće pepela	Suviše visoko	Može usloviti povećano učešće sitneži u proizvodu mlevenja
		Povećana erozija delova mlina, cevi i gorionika
		Povećano zašljakivanje
		Povećana emisija čvrstih čestica
Volatili	Suviše niski (<10%)	Nestabilan plamen
		Povećana potrošnja tečnih goriva
Učešće vlage	Suviše visoko	Tečenje uglja postaje problematično
		Meljivost uglja može biti slabija
		Smanjenje efikasnosti sagorevanja
Učešće sumpora	Povećano	Promene otpornosti pepela i karakteristika elektrofiltera
	Smanjeno	Promene rezistentnosti i karakteristika pepela
Hardgrove indeks	Suviše nizak	Može uticati na kapacitet mlevenja
Početna temperatura topljenja	Suviše niska	Povećano zašljakivanje
Krupnoća uglja	Suviše visoka (>150 mm)	Smanjena efikasnost sagorevanja

Dakle, iz ovoga pregleda se vidi da sagorevanje uglja čiji kvalitet ne odgovara projektovanom kvalitetu ima višestruke negativne efekte, i tehničke i ekonomske. Pri tome se samo kod toplotnog efekta negativne posledice pojavljuju kada se sagoreva ugalj boljeg i lošijeg kvaliteta od projektovanog, dok kod ostalih parametara negativne posledice izaziva samo poremećaj iskazan u smislu povećanja (krupnoća, vlaga, pepeo), odnosno smanjenja (volatili, Hardgrove indeks, početna temperatura topljenja) projektovane vrednosti.

Očigledno je da promene parametara uglja bitno remete rad termoelektrane te da je održavanje kvaliteta uglja u projektovanim granicama neophodno.

3.4. Dobiti na strani termoelektrane

Presudan uticaj na pouzdan i ekonomičan rad svakog parnog bloka u termoelektranama ima kvalitet goriva koje se koristi. Ovo naročito dolazi do izražaja za blokove koji koriste čvrsta goriva, a posebno lignit.

Problemi nastaju kada na već izvedenom postrojenju koje je dimenzionisano i projektovano za konkretno gorivo ujednačenog kvaliteta, dođe do pogoršanja kvaliteta goriva. Pri tome je važno naglasiti činjenicu na koju se u dosadašnjoj praksi korišćenja lignita u našim termoelektranama nije posvećivalo dovoljno pažnje. Naime, radi se o pojmu "dobar" odnosno "loš" kvalitet. Osnovni kriterijum za ovo vrednovanje do sada je bila toplotna moć, pa je to i jedini parametar koji služi za uspostavljanje tehnoloških i ekonomskih odnosa između rudnika i termoelektrane i za određivanje i vrednovanje normativa potrošnje uglja i tečnog goriva. Međutim, ugljena materija ima izražen heterogen karakter i sastoji se od elemenata i jedinjenja različitih fizičko-hemijskih i energetskih karakteristika, a njihovi uticaji na ponašanje uglja u procesu pripreme i sagorevanja su vrlo kompleksni. Zbog toga postoje pojedine karakteristike koje mogu izbiti u prvi plan u pogledu ocene kvaliteta lignita i njegove upotrebljivosti u određenim uslovima. Nije redak slučaj da korišćenje uglja sa znatno većom toplotnom moći otežavaju ili onemogućavaju njegove ostale karakteristike. Problem se usložnjava kada dolazi do učestalih i znatnih variranja tog kvaliteta, što je čest slučaj u eksploataciji lignita. Kao primere ovih osobina navodimo sadržaj i hemijski sastav mineralnog dela goriva, sadržaj i sastav sagorljivog dela, petrološki sastav, karakteristike meljivosti, procesi habanja, erozije, zašljakivanja, korozije i sl.

U dosadašnjoj praksi postoje periodi oscilacija toplotne moći i ostalih karakteristika kolubarskog lignita. Te promene mogu biti nagle, ponekad i nepredvidive uz podudaranje graničnih vrednosti više nepovoljnih karakteristika. Statistički gledano, ti periodi ne traju dugo, pa je prosečan ugalj koji u dužem periodu dolazi u blokove JP "TENT" dobar i uglavnom bolji od garantovanog za koji su postrojenja projektovana. Po pravilu pojava lignita izuzetno pogoršanog kvaliteta se dešava baš u periodima kada su potrebe za toplotnom i električnom energijom najveće. Ovo dodatno komplikuje situaciju i izaziva negativne efekte i posledice

Uz to, ta pojava unosi nesigurnost, nervozu i međusobna nepoverenja između učesnika u jedinstvenom tehnološkom procesu proizvodnje električne energije iz lignita.

Sa druge strane, zbog ograničavanja najniže vrednosti donje toplotne moći od strane termoelektrane i nedostatka homogenizacije, odnosno ujednačavanja kvaliteta, kao i zbog aktuelnih ekonomskih odnosa značajne količine ovog uglja ostaju neiskorišćene. Ovo predstavlja značajan energetska i ekonomski gubitak. Da bi se svi navedeni (kao i niz ostalih koji ovde nisu nabrojani) problemi izbegli i da bi se iskoristile sve pogodnosti sadašnjih i novoizgrađenih blokova u JP "TENT", kao i da bi se iskoristile sve postojeće rezerve lignita neophodno je da se, kao sastavni deo tehnološkog procesa, vrši ujednačavanje kvaliteta uglja. Iako proizvođači kotlovskih postrojenja dozvoljavaju pri garancijskim ispitivanjima vrlo male oscilacije toplotne moći ($\pm 2-3\%$), u praksi se mogu dozvoliti veće oscilacije koje ne bi smele da prelaze $\pm 10\%$ u odnosu na garantovanu vrednost za dato kotlovsko postrojenje.

Uvođenjem tehnologije ujednačavanja kvaliteta lignita u RB "Kolubara" će se omogućiti pravilan, pouzdan i ekonomičan rad blokova u JP "TENT" do kraja njihovog radnog veka. Time će se istovremeno iskoristiti celokupne rezerve kolubarskog lignita čija je eksploatacija primenom savremene rudarske tehnologije moguća i ekonomski opravdana.

Efekte rada termoelektrane sa pogoršanim kvalitetom lignita -

Pri korišćenju uglja pogoršanog kvaliteta u odnosu na onaj za koji je kotlovsko postrojenje projektovano dolazi do pogoršanja svih radnih karakteristika tog postrojenja. Pri tome je važno naglasiti da sve pojave i procesi koje se pri tome manifestuju imaju negativan uticaj na tehnološki proces proizvodnje toplotne i električne energije. Neke od tih pojava i procesa se međusobno superponiraju, pa može doći do ugrožavanja sigurnosti osoblja i opreme, kvarova i zastoja postrojenja, nemogućnosti ispunjenja zadatih planova proizvodnje, znatnog smanjenja efikasnosti, povećanog zagađenja okoline i sl. Svaki od ovih tehnoloških problema ima znatan uticaj na ekonomiju odnosno izaziva velike finansijske gubitke. Neke od njih je relativno jednostavno kvantifikovati, dok sa nekima to nije slučaj, jer su implicitno uključeni u ostale troškove.

Transport uglja od utovarnog mesta do deponije termoelektrane. Pogoršanje toplotne moći uglja je direktna posledica povećanog sadržaja balasta (voda + pepeo), pa da bi se prevezao odgovarajući toplotni fond potrebna je veća masa uglja. Veza između toplotne moći i sadržaja balasta nije jednoznačna, jer zavisi od sadržaja vlage, sadržaja pepela i elementarne analize. Ipak se za kolubarski lignit, uz izvesna uprošćenja, može smatrati da se za smanjenje toplotne moći oko 1500 kJ/kg sadržaj balasta povećava za oko 5-6%. To na godišnjem nivou od 12×10^6 tona ukupnog balasta čini dodatnih $0.6-0.8 \times 10^6$ tona, odnosno oko 500 vozova. Iz ove relacije se može odrediti uticaj povećane količine balasta na cenu transporta od utovarnih mesta u Vreocima i Tamnavi do deponija uglja JP "TENT".

Pogoršan kvalitet uglja ima i druge negativne uticaje na sistem dopreme od utovarnog mesta do deponije termoelektrane. Kao na primer, otežan transport do utovarnog mesta zbog proklizavanja traka i zagušenja presipnih mesta, otežan i usporen utovar i istovar vagona, potreba razbacivanja tog uglja po deponiji, potreba za angažovanjem dodatne mehanizacije na deponiji, otežan i usporen transport do kotlovskih bunquera i sl.

Priprema uglja za sagorevanje. Jedan od tehnološki najnegativnijih uticaja pogoršanog kvaliteta uglja na rad termoelektrane odnosi se na proces pripreme uglja za sagorevanje. Sem problema sa zaglavljivanjem presipnih mesta i traka dolazi do otežanog isticanja iz kotlovskih bunquera, preopterećenja dozatora i dodavača, kidanja lanaca transportera i sl.

Mlinovi koji su u radu u trenutku nailaska "lošeg" uglja nisu u stanju da zadrže zahtevani kapacitet iz sledećih razloga:

- potrebe za povećanjem količine ugljenog praha zbog pogoršanog kvaliteta uglja,
- smanjenja kapaciteta mlinova i pogoršanje finoće mlevenja zbog neodgovarajućih uslova sušenja u mlinskom postrojenju i promenjenih osobina uglja (povećan sadržaj vlage, povećan sadržaj i promenjen sastav mineralnog dela, promenjene osobine meljivosti i habanja i sl.).

Zbog toga dolazi do neophodnosti uključivanja rezervnog mlina, ukoliko u tom trenutku za to ima mogućnosti (na blokovima u TE "Nikola Tesla A" je predviđeno da se nominalna snaga ostvaruje sa pet mlinova, dok je jedan u rezervi ili remontu, a na blokovima u TE "Nikola Tesla B" sa šest mlinova, jedan je u rezervi, a jedan u remontu).

Sem poremećaja u sistemu automatskog vođenja bloka i prelaska na ručno vođenje, to dovodi do poremećaja stabilnosti sagorevanja, pada toplotnog opterećenja kotlovskog ložišta, potrebe uključivanja gorionika tečnog goriva u cilju stabilizacije sagorevanja i sprečavanja gašenja vatre, odnosno ispada bloka.

Osim navedenih tehnoloških problema uključivanje n-tog ili (n-1)-og mlina dovodi do znatnog povećanja sopstvene potrošnje električne energije, čime se direktno smanjuje količina električne energije koja se isporučuje elektro-energetskom sistemu.

Iz višegodišnjeg iskustva se sa dovoljno tačnosti može proceniti da rad sa pogoršanim kvalitetom uglja (u granicama u kojima je moguće održati blok u radu) dovodi do povećanja sopstvene potrošnje električne energije za oko 10%, što dovodi do smanjenja isporuke energije u elektro-energetskom sistemu za 0,7-1,0%. Ako se usvoji da je na TE "Nikola Tesla B" ovo smanjenje 0,7%, to na godišnjem nivou umanjuje energiju isporučenu sistemu za oko 50×10^6 kWh/god.

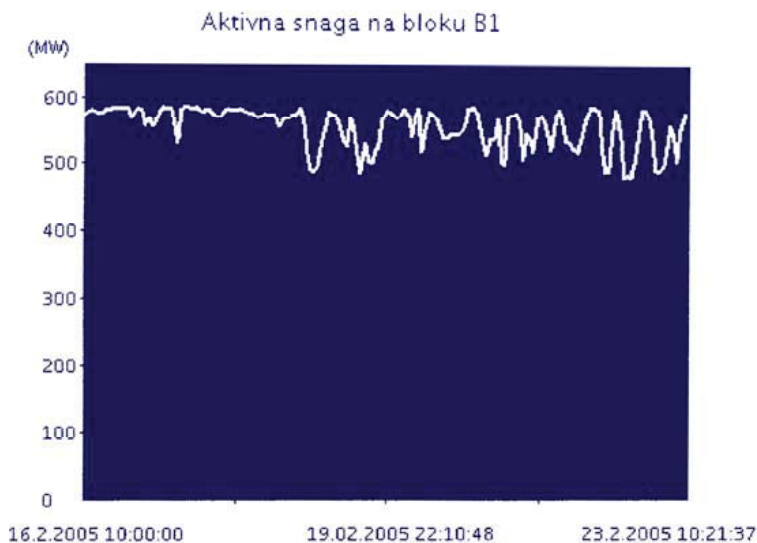
Smanjenje snage i proizvedene energije. Može se bez dvoumljenja zaključiti da se najnegativnija posledica rada sa pogoršanim kvalitetom uglja odnosi na nemogućnost održavanja nominalne snage blokova u

toku korišćenja ovog uglja. Pri tome, smanjenje snage se može podeliti u dve etape:

- smanjenje snage do vrednosti koja se može održati bez upotrebe tečnog goriva, i
- smanjenje uz upotrebu tečnog goriva do vrednosti pri kojoj neće doći do gašenja vatre i ispada bloka.

Treba ovde naglasiti da u Elektroprivredi Srbije nije dozvoljena upotreba tečnog goriva u cilju ostvarivanja nominalne snage, već samo za održavanje postrojenja na minimalnom stabilnom opterećenju.

Zbog uglja pogoršanog kvaliteta na TE "Nikola Tesla B" dolazi do smanjenja snage za preko 10%, što dovodi do toga da se za jedan dan iz ova dva bloka isporuči elektro-energetskom sistemu preko 3×10^6 kWh manje od njihovih realnih mogućnosti. Ovakvi slučajevi u praksi nisu retni, a ilustracije radi na slici 3.5 je prikazan situacija zabeležena u februaru 2005.g. [konsultacije sa menadžmentom TENT-a].

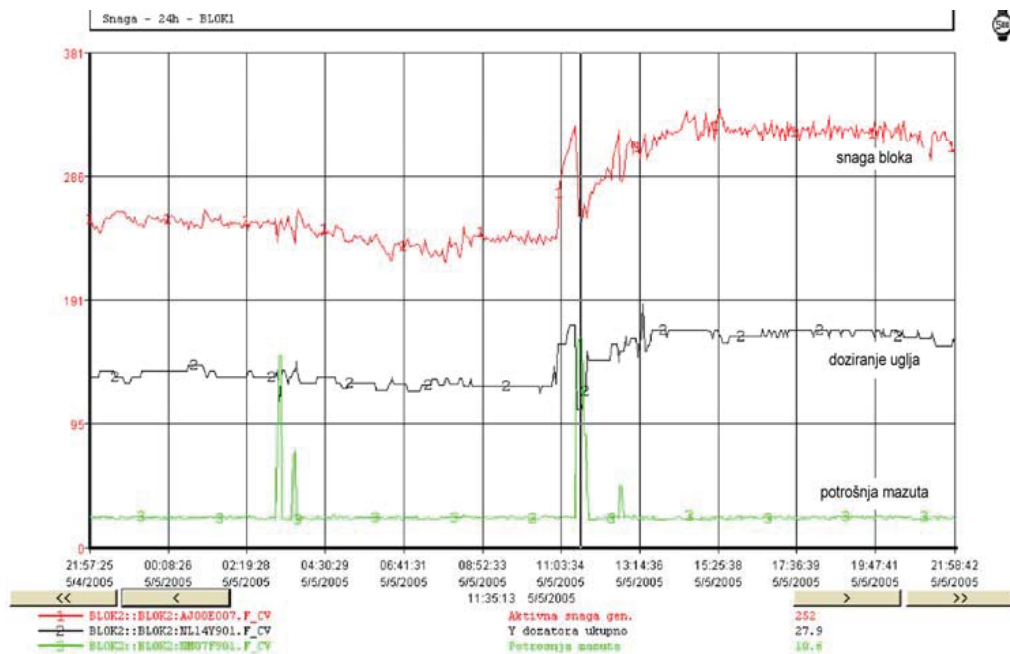


Slika 3.5. Prikaz kretanja aktivne snage na bloku "TENT-B1" od 16-23.02.2005. godine

Na slici 3.6 dat je slučaj početkom maja 2005. na bloku B2 termoelektrane "Kostolac" [konsultacije sa menadžmentom TE "Kostolac"]. Iz dijagrama se vidi kontinualna potrošnja mazuta radi održavanja snage bloka. Posebno se uočavaju pikovi u potrošnji mazuta izazvani smanjenjem doziranja uglja.

Korišćenje tečnog goriva za stabilizaciju sagorevanja. Direktna posledica korišćenja lignita pogoršanog kvaliteta u odnosu na projektni je neophodnost korišćenja tečnog goriva za stabilizaciju procesa sagorevanja u ložištu. Naime, svako gorivo, sem svojih fizičko-hemijskih i energetskih karakteristika ima i definisana kinetička i aerodinamička svojstva koja mu omogućavaju efikasno sagorevanje u ložištu koje je za njega

projektovano. Poremećaji koji nastaju pri pogoršanju kvaliteta uglja ne-
 minovno dovode do promene tih karakteristika i svojstava, pa je neophodno u ložište dovoditi kvalitetno tečno gorivo u cilju sprečavanja gašenja
 vatre, ispada bloka i eventualnih kvarova i havarija.



Slika 3.6. Prikaz kretanja aktivne snage, potrošnje uglja i mazuta na bloku "Kostolac B2" 04-05.05.2005. godine

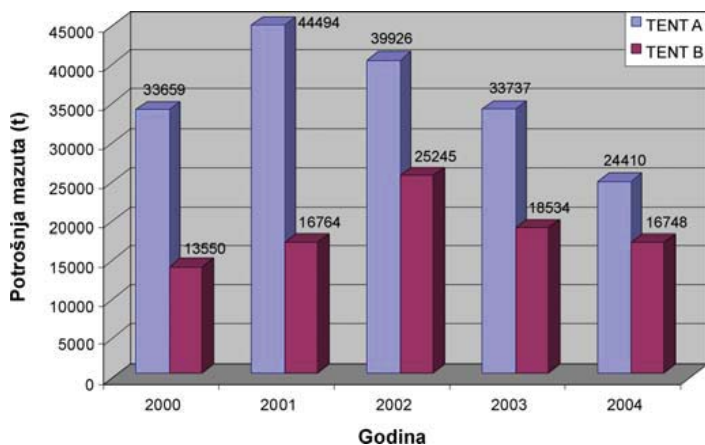
U procesu rada termoelektrane na lignit postoje dva osnovna razloga za korišćenje tečnog goriva. Jedan je startovanje blokova nakon kraćih i dužih zastoja, a drugi je stabilizacija sagorevanja u periodu rada sa pogoršanim ugljem i neodgovarajućim stanjem osnovne i pomoćne opreme za pripremu i sagorevanje.

Na slici 3.7 prikazana je ukupna potrošnja mazuta u "TENT A" i "TENT B", a na slici 3.8 potrošnja mazuta za podršku vatre zbog lošeg kvaliteta uglja [konsultacije sa menadžmentom TENT-a].

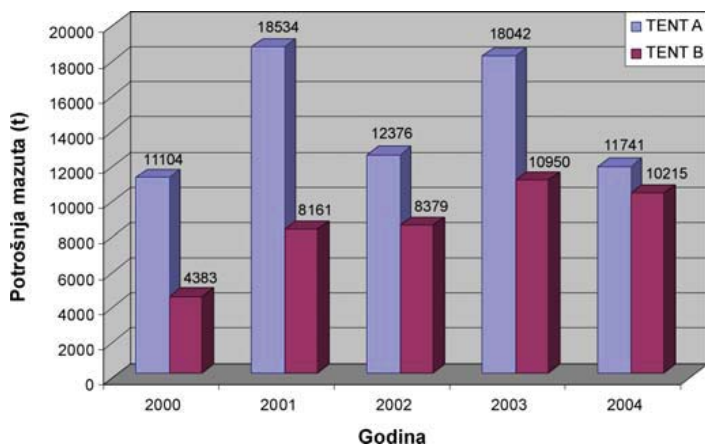
U toku 2004. godine na TE "Nikola Tesla-B" utrošeno je 10.200 tona mazuta. Energetski gledano, to je toplotni ekvivalent oko 60.000 tona lignita garantovane toplotne moći.

Slična situacija je bila i na blokovima TE "Kostolac" A i B, a može se videti na slikama 3.9 i 3.10 [konsultacije sa menadžmentom TE "Kostolac"].

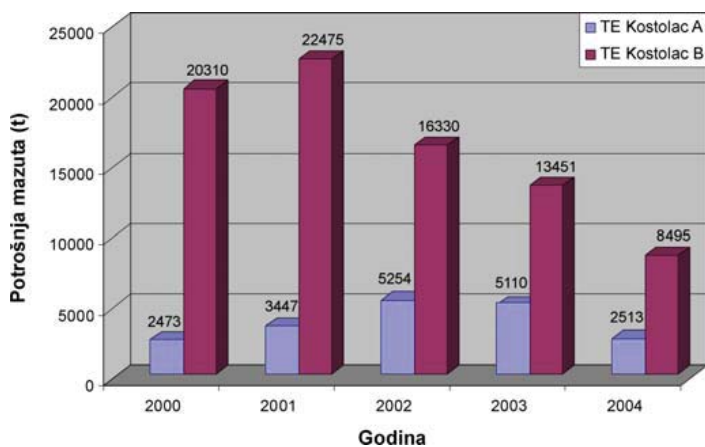
Evidentno je da se za održavanje vatre u ložišta dodavalo više od 2/3 ukupno upotrebljenog mazuta, sem 2004.g. kada jer ta količina pala na 1/2.



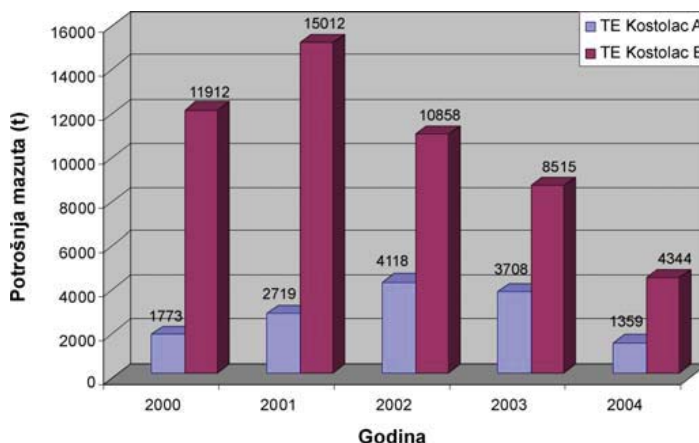
Slika 3.7. Ukupna potrošnja mazuta u "TENT A" i "TENT B"



Slika 3.8. Potrošnja mazuta u TENT-u za podršku vatre zbog lošeg kvaliteta uglja



Slika 3.9. Ukupna potrošnja mazuta u TE "Kostolac"



Slika 3.10. Potrošnja mazuta u TE "Kostolac" radi održavanja vatre usled lošijeg kvaliteta uglja od projektovanog

Sniženje stepena korisnosti kotlovskeg postrojenja. Jedna od izraženih negativnih posledica korišćenja uglja pogoršanog kvaliteta je sniženje stepena korisnosti kotlovskeg postrojenja. Naime, projektanti, konstruktori i proizvođači koncipiraju i izvedu kotlovske postrojenje tako da radi sa optimalnim stepenom korisnosti pri radu na nominalnoj produkciji pare (snazi bloka) i sa ugljem garantovanog kvaliteta. Za te tehničke uslove se i daju odgovarajuće tehničke garancije. Pri odstupanju bilo kog od garantovanih uslova i parametara, a pogotovu pri odstupanju više njih (što je slučaj pri radu sa pogoršanim kvalitetom uglja) kotlovske postrojenje radi sa sniženim stepenom korisnosti. Veza između promena stepena korisnosti i toplotne moći uglja je kompleksna i zavisi od velikog broja parametara. U praksi se taj problem rešava tako da proizvođač kotla daje tzv. korekcione jednačine odnosno dijagrame koji se primenjuju pri odstupanju radnih parametara od projektanih. Primera radi, za kotlovske postrojenja koja koriste naše lignite prema garancijama proizvođača pri sniženju toplotne moći za oko 1000 kJ/kg dolazi do sniženja stepena korisnosti za 2%. U svakodnevnoj praksi te promene su još veće jer se uslovi pogona u standardnim uslovima eksploatacije znatno razlikuju od uslova koji vladaju u toku garancijskih ispitivanja.

Procenjuje se da je prosečno sniženje stepena korisnosti kotlovskeg postrojenja u TE "Nikola Tesla" zbog rada sa ugljem lošijeg kvaliteta iznosi 1,2%. Samo po ovom osnovu dobija se promena godišnje potrošnje uglja u ovoj termoelektrani od oko 120.000 tona, što čini energetski ekvivalent od oko 75×10^6 kWh.

Pored pobrojanih i kvantifikovanih dobiti na strani termoelektrana postoji još čitav niz dobiti koje je teško kvantifikovati, kao što je smanjenje troškova održavanja, smanjenje količine šljake, zaštita životne sredine i dr.

Povećanje broja kvarova i zastoja i povećanje troškova održavanja. Korišćenje uglja pogoršanog kvaliteta u odnosu na projektani znatno

doprinosi povećanju broja kvarova i zastoja glavne i pomoćne opreme kotlovskeg postrojenja. Uz ranije navedene probleme pri radu u tim uslovima dolazi do preopterećenja sistema za dopremu i pripremu goriva, kotlovskeg ložišta i ostalih grejnih površina, sistema za otpremu šljake i pepela, kao i ventilatora dimnih gasova. Pri tome, zbog povećane potrošnje uglja i povećanog sadržaja pepela u njemu dolazi do povećanja brzina ugljenog praha i produkata sagorevanja, a ovo dovodi do povećanja habanja i erozije duž celog kotlovskeg trakta. To dovodi do povećanog trošenja metala, do češćih zastoja i do produženja vremena za sanaciju navedenih problema.

Povećana količina šljake i pepela. Do povećanja količine šljake i pepela pri radu bloka sa pogoršanim kvalitetom uglja dolazi kako zbog povećane mase utrošenog uglja, tako i zbog jediničnog povećanog sadržaja pepela. Količine uglja i pepela se dodatno uvećavaju i zbog rada kotla sa sniženim stepenom korisnosti. Povećanjem količine šljake i pepela dodatno se opterećuje sistem za njihovu otpremu, što povećava troškove i skraćuje aktivni radni vek deponije.

Prema nekim iskustvima iz elektroprivreda drugih zemalja, samo zbog povećanja sadržaja pepela u uglju za oko 50% (npr. sa 12-15% na 18-22%) troškovi održavanja pomoćne opreme kotla povećavaju se za oko 50-80%, a vreme potrebno za sanaciju kvarova se povećava za skoro 100%. U te troškove svakako treba uključiti znatne gubitke zbog izgubljene proizvodnje električne energije.

Povećano zagađenje okoline. Svakako da rad bloka sa pogoršanim kvalitetom uglja uz već nabrojane tehnološke probleme i finansijske troškove znatno utiče na stepen zagađenja okoline čvrstim i gasovitim produktima sagorevanja. Do ovoga dolazi iz dva osnovna razloga. Prvi je da zbog povećanih količina produkata sagorevanja, pri istom stepenu efikasnosti sistema za prečišćavanje, dolazi do povećanja količina koje se izbacuju u okolinu, a drugi da zbog izmenjenih termičkih i dinamičkih uslova rada postrojenja dolazi do sniženja stepena otprašivanja elektrofiltera.

3.5. Doprinos karakterizaciji parametara uglja relevantnih za zaštitu životne sredine

Uticaj eksploatacije i prerade uglja na životnu sredinu iskazuje se ne samo u fazi otkopavanja i transporta na površinskom kopu već i u fazi deponovanja, na kopu i termoelektrani, fazi sagorevanja i fazi deponovanja nusproizvoda sagorevanja. Pri svim tim fazama uticaj je negativan, a parametar koji te probleme implicira se menja u zavisnosti od faze prerade. U tabeli 3.4 dat je prikaz osnovnih problema i posledica u zavisnosti od faze "prerade" uglja.

Tabela 3.4. Osnovni problemi i posledice u zavisnosti od faze "prerade" uglja

Problem	Faza	Efekat	Pozitivni efekti homogenizacije	
Prašina	Eksploatacija uglja i otkrivke	Kraći radni vek opreme na kopu	Nema bitnih pozitivnih efekata	
		Zagađena mikrolokacija		
		Profesionalna oboljenja radnika		
	Transport uglja i otkrivke	Kraći radni vek opreme na kopu		
		Zagađena mikrolokacija		
	Deponovanje uglja i otkrivke	Zagađena mikrolokacija		Boljom organizacijom postižu se pozitivni efekti
	Sagorevanje uglja	Aerozagađenje šire okoline	Boljom organizacijom i ravnomernim izdvajanjem postižu se pozitivni efekti	
		Kraći radni vek opreme		
Problemi sa stanovništvom usled pojave specifičnih oboljenja (astma, pluća)				
Deponovanje pepela	Zagađena mikrolokacija			
	Problemi sa stanovništvom usled pojave specifičnih oboljenja (astma, pluća)			
Oksidi sumpora	Sagorevanje uglja	Zagađenje šire okoline		Izbegavaju se ekscesne situacije i nagla i nepredviđena prekoračenja koncentracije jedinjenja sumpora u dimnim gasovima što se pozitivno odražava na sve parametre
		Pojava kiselih kiša		
		Problemi sa stanovništvom usled pojave specifičnih oboljenja (astma, pluća)		
		Problemi sa opremom		
	Deponovanje pepela	Zagađenje voda	Nema bitnih pozitivnih efekata	
		Zagađenje zemljišta		
Problemi sa stanovništvom				
Čađ	Sagorevanje uglja	Aerozagađenje šire okoline	Izbegavaju se ekscesne situacije i nagla i nepredviđena prekoračenja koncentracije čađi u dimnim gasovima što se pozitivno odražava na sve parametre	
		Problemi sa stanovništvom usled pojave specifičnih oboljenja		
Samozapaljenje uglja	Deponovanje uglja	Zagađenje šire okoline dimom, ugljenmonoksidom i sumpordioksidom	Boljom organizacijom postižu se pozitivni efekti	
Buka	Eksploatacija uglja i otkrivke	Profesionalna oboljenja radnika i uticaj na okolna naselja	Boljom organizacijom i ravnomernim opterećenjem opreme postižu se pozitivni efekti	
	Transport uglja i otkrivke			
	Deponovanje uglja i otkrivke			
Zemljište	Eksploatacija uglja	Zauzimanje prostora	Veće iskorišćenje zauzetog zemljišta	
		Degradacija zemljišta		
	Deponovanje otkrivke i međuslojne jalovine	Zauzimanje prostora	U određenoj meri manje količine odloženog materijala	
		Degradacija zemljišta		
	Deponovanje pepela	Zauzimanje prostora	Količinske ravnomernije deponovanje pepela	
		Degradacija zemljišta		

Evidentno je da u odnosu na okruženje homogenizacija i upravljanje kvalitetom uglja ima male direktne efekte jer se kumulativni emisijski fond (posmatran za ceo vek eksploatacije ležišta) ne smanjuje već se ostvaruje optimalna preraspodela emisija (mg/s, kg/h) i imisija zagađenja (g/m^3 , $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$). Ova ujednačena i ravnomerna emisija zagađenja može imati veoma pozitivan efekat na stanovništvo u okruženju jer doprinosi ekološki povoljnijoj situaciji i omogućava ispunjavanje zakonom propisanih i dozvoljenih normi zagađenja. Ovo se naročito odnosi na ravnomernije učešće sumpora u uglju koji se sagoreva. Jedan od efekata čiji značaj se ne može zanemariti proističe iz bolje organizovanosti i nužnosti uspostavljanja bolje kontrole što samo po sebi nosi pozitivne efekte i na neke parametre zagađenja. Ovo se naročito odnosi na probleme samozapaljenja uglja na deponijama i izdvajanje prašine sa deponija.

Literatura

- [1] Bhattacharya J., 2001, Quality control and management: methods and practice in the mineral industry, Allied publishers limited, New Delhi
- [2] Carpenter M.A., 1995, Coal blending for power stations, IEA Coal Research, London
- [3] Wall T. et al., 2001, A review of the state-of-the-art in coal blending for power generation final report, Cooperative research centre for black coal utilisation, Callaghan
- [4] Schofield C.G., 1983, Homogenization/Blending System Design and Control for Minerals Processing, ...
- [5] Pavloudakis F., Agioutantis Z., 1999, "Computer aided coal quality control and homogenization – A state-of-the-art-review", "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [6] xxx, 1999, Studija utvrđivanja najniže vrednosti donjeg toplotnog efekta uglja ležišta "Tamnava-istočno polje" i "Tamnava- zapadno polje" koji se može opravdano koristiti za sagorevanje u termoelektrani "Nikola Tesla", knjiga I, Beograd

4. Nepovoljni uticaji deponija uglja na radnu i životnu sredinu

Korišćenje deponija uglja u sistemu upravljanja kvalitetom uvek je praćeno sa ekološkim problemima koje deponovani ugalj može da prouzrokuje. Osnovni aspekti uticaja deponija uglja na radnu i životnu sredinu su samozapaljivost uglja, emisija prašine i uticaj prekomerne buke.

4.1. Samozapaljivost uglja

Samozapaljivost uglja predstavlja značajan problem sa aspekta sigurnosti, ekologije i odlaganja i uzimanja u procesu deponovanja uglja. Pri pojavi endogenih požara na deponijama uglja se javljaju značajni ekonomski gubici usled gorenja uglja. Ugalj izložen toploti koja se oslobađa pri procesu samozapaljenja postaje delimično ili potpuno neupotrebljiv za dalje korišćenje. Iz navedenih razloga rano otkrivanje i sprečavanje samozapaljenja uglja je od velikog značaja.

4.1.1. Faktori koji utiču na proces samozapaljenja

Samozagrevanje uglja na deponijama koje se nalaze na otvorenom prostoru zavisi od niza faktora, kako onih na koje se može tako i onih na koje se nemože uticati. Faktori na koje se ne može uticati uključuju sam ugalj i ambijentalne uslove (klima). Faktori na koje se može uticati su vezani za upravljanje deponijom, naročito njenim projektovanjem i formiranjem.

4.1.1.1. Karakteristike uglja

Sve vrste ugljeva nisu podjednako osetljive na samozapaljivost. Identifikacija ugljeva koji su više skloni samozapaljenju je važna zbog planiranja i preduzimanja mera za obezbeđivanje sigurnog deponovanja. Toplota se stvara u deponiji reakcijom uglja sa kiseonikom iz atmosfere, pri čemu prisustvo vode ima uticaja na reakciju. Ukoliko se stvorena toplota ne može odvesti odnosno izgubiti, oksidacija uglja i stvaranje toplote će se ubrzavati. Nakon određenog vremena temperatura će dostići tačku u kojoj počinje upala uglja.

Karakteristike uglja koje utiču na brzinu oksidacije i proces samozagrevanja uglja uključuju sledeće: vrsta uglja, sadržaj vlage, poroznost i mineralni sastav.

Vrsta uglja. Rizik od samozapaljenja uglja raste sa opadanjem stepena karbonifikacije. Ugljevi niskog stepena karbonifikacije (lignit i mrkolignitski ugalj) su obično najskloniji samozapaljenju usled veće sposobnosti reagovanja sa kiseonikom. Za ove ugljeve je karakterističan veći sadržaj vlage, kiseonika i volatila, faktora koji doprinose većoj brzini oksidacije.

Sadržaj vlage. Deponovani uglja sa većim sadržajem vlage ima manju tendenciju samozapaljenja, pri čemu je potreban duži vremenski period da se postigne tačka paljenja. Ugalj pri deponovanju može dobiti ili izgubiti vlagu. Ove promene sadržaja vlage direktno utiču na proces samozapaljenja uglja. Kada suv ili delimično suv ugalj apsorbira vlagu stvara se toplota. Ova toplota "usled povećanja vlažnosti" može biti značajna ukoliko nema gubitaka toplote (van Vuuren, 1995). Zbog toga se prskanje vodom pri sanaciji požara na deponijama uglja ne preporučuje pošto ona oslobađa toplotu iz uglja usled kvašenja. Osim toga, na deponijama gde je izražen problem samozapaljenja uglja, ne treba upotrebljavati vodu za sprečavanje stvaranja i obaranje prašine.

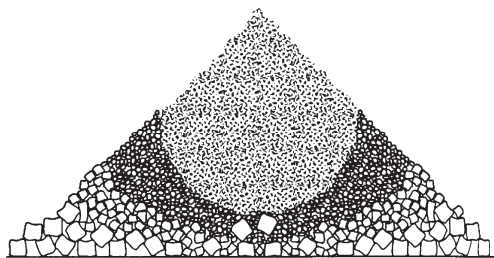
Gubitak vlage iz uglja usled desorpcije i isparavanja je endoterman proces. Temperatura uglja se snižava pri čemu se usporava proces samozagrevanja. Gubitak vlage se javlja kada vazduh male relativne vlažnosti struji kroz deponovani ugalj. Tada se održava konstantna temperatura sve dok postoji vlaga u uglju. Sušenjem uglja temperatura raste zbog toplote oksidacije koja ne može biti odstranjena isparavanjem. Ovo dovodi do lokalnog paljenja ("opasna mesta") u gomili.

Oksidacija ugljene supstance i stvaranje toplote usled povećanja vlažnosti uglja dešavaju se na površini komada uglja. Smanjivanje veličine komada uglja stvara veću površinu i time veći rizik od samozagrevanja.

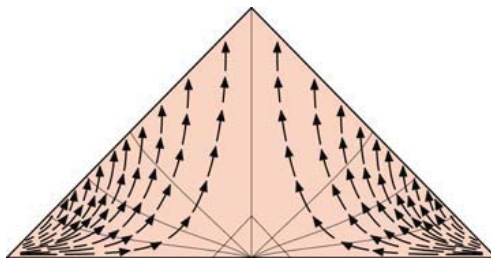
Poroznost uglja. Poželjno je da se kod strujanja vazduha ne dozvoli duboko prodiranje kiseonika i vlažnosti u masu uglja, gde su gubici toplote minimalni. Poroznost deponovanog uglja zavisi od granulometrijskog sastava i stepena gustine u deponiji. Ako su komadi uglja ujednačeno veliki, prostor šupljina u gomili je takođe relativno veliki. U ovom slučaju može doći do zagrevanja, ali je ono obično izbalansirano efektom hlađenja usled većih brzina strujanja vazduha kroz deponovani ugalj i relativno niske sposobnost hemijske reakcije većih komada uglja. Ukoliko su komadi uglja manji i promenljivost u krupnoći veća, sposobnost hemijske reakcije je veća, ali poroznost deponije će biti relativno mala i konvektivna struja vazduha neće biti u mogućnosti da dublje prodre u masu deponije (Smith i Lazzara, 1993).

Na karakteristike provetrenosti deponije uglja može uticati segregacija odnosno razdvajanje komada uglja po veličini u procesu formiranja deponije. Na slici 4.1 prikazan je primer segregacije uglja u deponiji konusnog oblika. Ovo je naročito izraženo ukoliko je raspon u krupnoći

komada uglja veliki. Navedeni slučaj stvara idealne uslove za samozagrevanje. Vazduh slobodno prolazi kroz spoljašnji deo deponije i uzlazno struji kroz deponiju efektom odžaka uz dodatno zagrevanje (slika 4.2). Sitnije frakcije u sredini deponije su izložene kiseoniku i uticaju vlage sa mogućnošću stvaranja toplote. Iz navedenih razloga nije preporučljivo deponovanje uglja različite krupnoće na jednoj deponiji (Cudmore i Proudfoot, 1988).



Slika 4.1. Segregacija uglja u deponiji



Slika 4.2. Strujanje vazduha kroz deponiju uglja

Mineralni sastav. Veći sadržaj pepela smanjuje rizik od samozapaljenja, mada mineralne komponente mogu, svaka, povećati ili umanjiti dejstvo. Na primer, oksidacija pirita je jedna egzotermna reakcija koja ubrzava samozagrevanje. Natrijum i kalijum imaju katalitičko dejstvo na samozapaljivost naročito kada su prisutni kao organske soli (ugljevi niskog stepena karbonifikacije).

Petrografski sastav uglja takođe ima uticaja na samozapaljivost uglja. Istraživanja pokazuju da eksinit poseduje veću brzinu oksidacije u poređenju sa vitrinitom i inertinitom. Toplotna provodljivost uglja utiče na veličinu gubitaka toplote u deponiji. Razvijenost oksidacije deponovanog uglja može uticati na proces samozagrevanja. Starost uglja utiče na snižavanje brzine oksidacije uglja. Rizik od samozapaljenja uglja je veći kada se deponuje svež ugalj (neposredno otkopan iz rudnika), naročiti za vreme prvih nedelja deponovanja.

Uticaj karakteristika uglja na samozapaljivost uglja je kompleksan i u međusobnom odnosu sa drugim faktorima, kao što su na primer vreme stajanja uglja na deponiji, projektovanje deponije i klimatski uslovi.

4.1.1.2. Klimatske prilike

Klimatski faktori koji značajno utiču na samozapaljivost uglja uključuju sledeće: vlažnost vazduha, kišne padavine, temperatura, izloženost suncu i izloženost vetru.

Ugalj gubi ili dobija vlagu zavisno od atmosferskih uslova. Suv okolni vazduh može delimično da osuši ugalj, stvarajući uslove za adsorpciju vlage i stvaranje toplote usled dejstva toplote vlaženja. Gubitak vlage isparavanjem je obično mali, ali ipak može biti značajan u vrelim i sušnim periodima. Razvoj požarnih procesa je obično vezan za periode kada nakon većih kiša dođe duži period suvog, sunčanog vremena. Nagla

promena relativne vlažnosti i barometarskog pritiska takođe rezultuje razvojem požarnih procesa. Požari se posebno javljaju na mestima između vlažnog i suvog uglja. Iz navedenog razloga se ne preporučuje deponovanje vlažnog preko suvog uglja.

Razlika u temperaturi između okolnog vazduha i deponovanog uglja ima značajan uticaj na uspostavljanje strujanja vazduha unutar deponije, brzinu oksidacije i veličinu porasta temperature (Krishnaswamy i dr., 1996). Strujanje vazduha prirodnom konvekcijom se javlja kada je temperatura deponije viša od temperature okolnog vazduha. Početna temperatura uglja koji se deponuje je od velike važnosti. Preporučljivo je hlađenje zagrejanog uglja pre deponovanja.

Promena dnevne i sezonske temperature usloviće rast temperature uglja u deponiji. Zagrevanje usled sunčevog zračenja dovodi do porasta temperature deponije. Temperatura deponije uglja u zimskom periodu može biti viša nego u letnjem. Stvaranje i prenos toplote u deponiji uglja je spor proces i uobičajeno traje nekoliko meseci.

Vetar ima značajnu ulogu u procesu samozapaljenja uglja. Duvanje vetra u bok deponije izaziva prodor svežeg vazduha dublje u masu uglja, dodavanje više kiseonika, i porast toplote koja se stvara. Uticaj vetra takođe dovodi do delimičnog sušenja uglja. Ispitivanja pokazuju da se požari najčešće javljaju na strani deponije uglja prema kojoj duva vetar, i gde su bokovi deponije strmi. Sabijanje uglja u deponiji smanjuje poroznost i time strujanje vazduha unutar deponije. Temperatura deponije na strani prema kojoj duva vetar u slučaju deponija gde je ugalj sabijen je znatno niža nego u slučaju kada ugalj nije sabijen.

4.1.2. Procena rizika

U rudarstvu se za ispitivanje sklonosti uglja samozapaljenju koriste različite metode laboratorijskih ispitivanja. Ispitivanjima se određuje i meri sposobnost hemijskog reagovanja uglja sa kiseonikom (oksidacija). Ona obezbeđuju relativno rangiranje sklonosti uglja samozapaljenju. Nijedna metoda ispitivanja nije zaživela kao standardna u ukupnoj svetskoj rudarskoj praksi, već se od zemlje do zemlje primenjuju različite metode.

Laboratorijska ispitivanja sklonosti uglja samozapaljenju, koja se primenjuju u rudarskoj nauci i praksi, su (Carras i Young, 1994; Sujanti i dr., 1999): adijabatska kalorimetrija, izoterska kalorimetrija, merenje tačke ukrštanja temperatura (crossing point temperature measurements), diferencijalna termička analiza, sorpcija kiseonika itd.

U našoj rudarskoj nauci i praksi ispitivanja sklonosti uglja samozapaljenju vršena su po metodologiji Olpinskog (Olpinski W, 1959), varijanti adijabatske kalorimetrije. U okviru ovih ispitivanja utvrđuje se prirodni indeks samozapaljenja uglja sa vlagom i pepelom (SZ^A - prirodni indeks samozapaljenja uglja sa vlagom i pepelom, °C/min), U tabeli 4.1 prikazana je modifikovana klasifikacija Olpinskog prema sklonosti ka samozapaljenju uglja.

Tabela 4.1. Klasifikacija Olpinskog, prema sklonosti ka samozapaljenju uglja

Sklonost ka samozapaljenju	SZ ^A (°C/min.)	Grupa
Nije sklon	<80	I
Umereno sklon	80-100	II
Sklon	100-120	III
Veoma sklon	>120	IV

U tabeli 4.2 prikazani su rezultati ispitivanja sklonosti samozapaljenju naših lignita koji se odlažu na deponijama termoelektrana.

Tabela 4.2. Rezultati ispitivanja sklonosti samozapaljenju naših lignita

Rudnik	SZ ^A (°C/min)	Grupa
Kolubarski ugljeni basen		
Polje D	76-110	I-III
Polje B	91-98	II
Tamnava - Istočno Polje	78-103	I-III
Kostolački ugljeni basen		
Drmno	80-100	II
Ćirikovac	60-103	I-III

Pojava procesa samozapaljenja uglja je uslovljena, osim hemijskog reagovanja uglja, i nizom drugih parametara. Među njima treba posebno navesti uslove deponovanja, kao što su stepen sabijenosti uglja u deponiji i klimatski faktori. Ovo je dovelo do razvoja matematičkih modela koji uključuju neke od ovih faktora zajedno sa merom hemijske reaktivnosti uglja.

Matematički modeli su razvijeni u cilju: pomoći razumevanju procesa samozapaljenja uglja, predikcije (kao što je na primer predikcija sigurnog vremena deponovanja) i projektovanja i upravljanja deponijama, radi prevencije i sprečavanja samozapaljenja uglja.

Matematički modeli baziraju na analizi procesa prenosa mase i topline u deponiji uglja. Neki modeli uključuju i dejstvo adsorpcije vlage, desorpcije i migracije kao i procesa konvekcije. U osnovi, modeli obezbeđuju kvantitativnu predikciju stanja na deponiji uglja. Osnovno ograničenje modela je njihova validacija na konkretnim deponijama uglja. Validacija modela je skup i težak praktični zadatak. Prednost laboratorijskih ispitivanja je u tome što su jednostavna mada ona obezbeđuju samo preliminarnu indikaciju sklonosti uglja samozapaljenju.

4.1.3. *Prevenција samozapaljenja*

Praktična iskustva i studijska istraživanja problematike samozapaljivosti uglja pokazuju da se primenom izvesnih tehničkih mera samozapaljivost uglja u deponijama može eliminisati. Priprema terena, formiranje deponije, njeno održavanje i vreme uskladištenja uglja su faktori koji se mogu kontrolisati u smislu minimiziranja verovatnoće pojave samozapaljivosti uglja. Procedure koje se primenjuju u najvećoj meri zavise od vremena uskladištenja uglja na deponiji.

Praktična iskustva ukazuju da nije preporučljivo zajedničko deponovanje:

- ugljeva različitih sklonosti samozapaljenju, kao na primer lignita i kvalitetnih mrkih ugljeva,
- ugljeva različite krupnoće, krupnijih klasa i sitnog uglja i ugljene prašine,
- svežeg uglja i uglja oštećenog izlaganjem atmosferiliju,
- vlažnog uglja i delimično suvog ili suvog uglja, i
- tek otkopanog uglja i prano (čišćenog) uglja.

Ako je moguće, prethodno navedene ugljeve treba odlagati na zasebne deponije. Bilo kakvo mešanje, ukoliko je potrebno, može se vršiti nakon uzimanja uglja sa deponije. Ugalj različite krupnoće se može sigurno odlagati ako sitnih klasa krupnoće ima dovoljno da popune šupljine između krupnijih komada (van Vuuren, 1995). O ovim elementima posebno treba voditi računa kada se homogenizacija obavlja na deponijama.

Dobra priprema terena za odlaganje može pomoći da se izbegne samozapaljenje uglja. Teren za odlaganje treba:

- da bude bez ruševina i zapaljivog materijala kao što je na primer drvena građa;
- da ima osnovu (dno buduće deponije) kroz koju ne može da prođe vazduh;
- da bude suv i dobro dreniran. Osnova treba da bude na adekvatnom nivou, mada blag nagib može da olakša drenažu. Bilo kakve odlive za dreniranje ispod deponije ne treba dozvoliti jer oni mogu pospešiti samozapaljenje omogućavajući prodor vazduhu do uglja, i
- da bude očišćen od izvora toplote kao što su na primer ukopani parovodi i toplovodi.

Adekvatno formiranje deponije je osnova za svođenje mogućnosti nastanka procesa samozapaljenja uglja na minimum. Mere koje se preporučuju pri formiranju deponija oslanjaju se na ograničavanje prodiranja kiseonika u deponiju ili održavanje takve provetrenosti deponije kojom se samo odvodi stvorena toplota. Osnovne preporuke u procesu projektovanja i formiranja deponija su vezane za: veličinu sabijanja, izbegavanje izvora zagrejanih mesta, izbegavanje segregacije, veličinu deponije (visinu), ugao nagiba bočnih strana deponije, zaklonjenost deponije od vetra, početnu temperaturu uglja i zaptivenost deponije.

Komadi uglja mogu biti skladišteni tako da se deponija provetrava vazдушnom strujom koja odvodi stvorenu toplotu, međutim deponije u formiranju najčešće zahtevaju sabijanje uglja da bi se sprečilo prodiranje vazduha u deponiju. U praksi je teško postići adekvatno provetravanje velikih deponija. U mnogim slučajevima, umesto disipacije toplote, ventilaciona struja pogoršava uslove koji su već loši. Stepenn provetrenosti deponije se može uvećati postavljanjem perforiranih cevi vertikalno i horizontalno u deponiji, mada to može biti neekonomično.

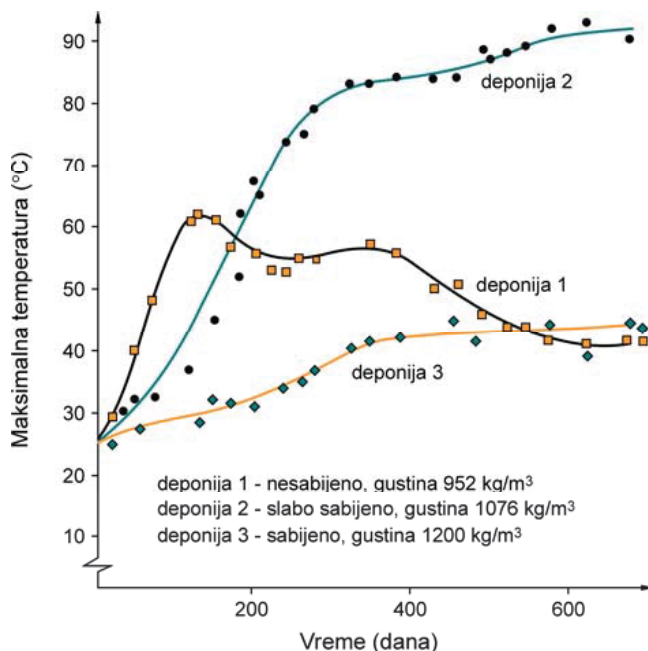
Sabijanje deponije je efikasno u sprečavanju pojave požara u deponijama sa dugim vremenom skladištenja uglja (slika 4.3). U tabeli 4.3 prikazani su rezultati ispitivanja uticaja sabijenosti uglja na deponiji na brzini razvoja oksidacionih procesa vršenih na lignitima Kolubarskog i Kostolačkog basena. Rezultati prikazani u tabeli 4.3 pokazuju da količine proizvedene toplote opadaju sa opadanjem količine vazduha koja prodire u deponiju odnosno sa porastom sabijenosti deponije.

Tabela 4.3. Promena zapremina u zavisnosti od nasipne gustine

Nasipna gustina uglja (t/m ³)	Zapremina			Zapremina vazduha koja ulazi u deponiju pri promeni atm. pritiska za 5% (m ³)	Oksidaciona toplota (kJ/kg)
	Deponije (ugalj i vazduh) (m ³)	Uglja (m ³)	Vazduha (m ³)		
0,640	141,500	70,750	70,750	3,537	13184,23
0,720	125,800	70,750	55,050	2,752	10199,04
0,800	113,200	70,750	42,450	2,125	8088,89
0,880	102,900	70,750	32,150	1,607	5869,89
0,960	94,330	70,750	23,580	1,179	4391,95
1,040	87,100	70,750	16,350	0,808	3048,41
1,120	80,940	70,750	10,190	0,509	1898,71
1,200	75,450	70,750	4,700	0,235	873,37
1,280	70,750	70,750	0,000	0,000	0,000

Sabijanje može izazvati i suprotan efekat ukoliko se ne izvodi dobro. Temperatura uglja će biti viša u nedovoljno sabijenoj deponiji nego u nesabijanoj ili vrlo sabijenoj deponiji uglja (slika 4.4). Gusto sabijanje uglja na deponiji je prioritarno u kontekstu mere kompaktizovanja mase deponije. Ovo se ostvaruje odlaganjem uglja u slojevima od oko 0,5 do 1 m debljine i sabijanjem svakog sloja sa buldozerima i valjcima pre početka odlaganja sledećeg sloja. Potrebno je da bočne strane deponije budu konsolidovane da bi se sprečilo prodiranje vazduha u deponiju. Spoljašnja površina deponije treba da bude formirana tako da omogućava odvođenje kišnih padavina bez rizika od sakupljanja vode na površini ili erozije na bočnim stranama.

Vrlo vlažan uglj ne treba da bude sabijan odmah već se omogućava delimično sušenje uglja ocedivanjem ili isparavanjem viška vlage. Suprotno, vrlo suv uglj ne treba sabijati. Ovakav uglj se može kvasiti prskanjem vodom radi dodavanja dovoljno vlage za kompaktiranje. Uglj sa malim procentom sitnih klasa i prašine se takođe teško sabija zato što nema dovoljno prašine za popunjavanje šupljina.



Slika 4.3. Uticaj sabijanja uglja na temperaturu u deponiji



Slika 4.4. Rad buldozera na sabijanju uglja na deponiji

Segregacija komada uglja različite krupnoće nastaje pri odlaganju uglja na deponijama i treba je izbeći zbog mogućnosti nastanka efekta odžaka. Ovoj pojavi su posebno sklone deponije u obliku kupe. Kod ovog tipa deponija potrebno je sabijati ugalj ili ga uzimati što je brže moguće odnosno na način da ugalj koji se prvo deponuje prvo se i uzima (Chakraborti, 1995). Metoda windrow je povoljnija za odlaganje uglja sklonog samozapaljenju.

Optimalna visina deponije, njene druge dimenzije kao i uslovi odlaganja zavise od vrste uglja. Na nižim deponijama se ostvaruje brže oslobađanje stvorene toplote, ali na ovim deponijama se skladišti manja količina uglja. U slučaju deponija sa kratkim vremenom skladištenja uglja bez sabijanja, povoljna je maksimalna visina od 8 do 9 m za odlaganje sitnih frakcija, odnosno za 3 do 4 m ukoliko se odlaže ugalj veće krupnoće (Walker, 1999). Deponije sa dugim vremenom skladištenja i sabijanjem uglja mogu biti više. U slučaju primene visoko mehanizovanog sistema odlaganja, gde je izmena masa na deponiji brza, visina deponije može iznositi 20 do 30 m pod uslovom da se obezbedi adekvatan monitoring sistem.

Deponije formirane sa blagim nagibom bočnih strana su povoljnije sa aspekta ugroženosti usled samozapaljenja uglja. Vetrom indukovani pritisak na strmijim bočnim stranama je veći od onog na blažim stranama što uslovljava dublje prodiranje vazduha u unutrašnjost deponije. Glatka površina deponije takođe svodi uticaj vetra na minimum. Deponije treba formirati sa nagibom bočnih strana od 15 do 30° čime se olakšava sabijanje uglja i omogućava siguran rad opreme. S obzirom da je verovatnoća pojave požara veća na strani deponije prema kojoj duva vetar, preporučuje se formiranje deponija sa stranama manjih površina koje su izložene dominantnom pravcu duvanja vetra.

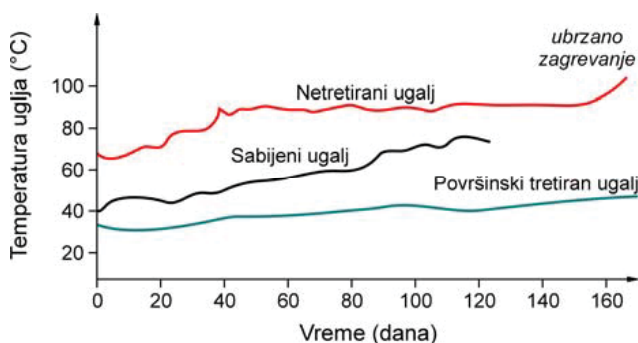
Imajući u vidu da na proces samozagrevanja uglja značajan uticaj ima početna temperatura uglja zagrejan ugalj treba da bude ohlađen pre odlaganja. Ovo se može ostvariti razastiranjem uglja u tankim slojevima, ostavljajući ovako odložen ugalj preko noći kada su temperature vazduha niže. Ugalj iznad 60°C treba ohladiti pre odlaganja. Ne preporučuje se da se vrši odlaganje uglja po toplom vremenu.

Deponije uglja sa dugim vremenom skladištenja uglja mogu biti zaptivene i hermetizovane po površini u cilju sprečavanja prodiranja vazduha u unutrašnjost deponije. Zaptivanje po površini deponija takođe pruža zaštitu protiv formiranja prašine i erozije. Celokupna površina deponije se može prekriti slojem zemlje debljine 300 mm ili nekim drugim materijalom male propustljivosti. U praksi je u prevenciji samozapaljenja uglja vrlo efikasno korišćena mešavina pepela i vode za prekrivanje deponija lignita (Fierro i dr., 1999). Pepeo se obezbeđuje iz termoelektrana pored kojih se formiraju deponije.

Prskanje otvorenih površina sa hemijskim smešama stvara površinski sloj na deponiji koji pomaže u prevenciji odnosno sprečavanju razvoja procesa samozagrevanja uglja. U tu svrhu se koriste katran, asfalt i različita veziva za kontrolu emisije prašine. Hemijski inhibitori koji se

koriste za smanjivanje hemijske reaktivnosti uglja su fenoli, anilin, amonijum hlorid, natrijum-nitrat, natrijum-hlorid, kalcijum karbonat i borati. Ne preporučuje se prskanje deponija vodom u cilju sprečavanja emisije prašine pošto se na taj način nakon sušenja pospešuje proces samozagrevanja. U slučajevima kada se za sprečavanje procesa samozagrevanja primenjuju tehnike kvašenja vodom neophodno je obezbediti takvu dinamiku prskanja da se izbegne sušenje uglja između dva prskanja vodom.

Za zaptivanje površine deponija uglja sa kratkim vremenom skladištenja u cilju sprečavanja procesa samozapaljenja koriste se i pene polimera. Naneta pena formira elastičan sloj debljine 20 cm preko deponije. Ovaj sloj pruža zaštitu od emisije prašine a smanjuje i mogućnost strujanja vazduha kroz ugalj. Na slici 4.5 prikazane su relativne prednosti postupaka sabijanja uglja i tretiranja površina deponija u odnosu na nesabijane deponije uglja sa aspekta sprečavanja procesa samozagrevanja uglja.



Slika 4.5. Kretanje temperature u sabijenoj deponiji, deponiji tretiranih površina i nesabijanoj deponiji

U slučaju primene postupka hemijskog tretiranja površine deponije postavlja se pitanje ekonomskih efekata primenjene metode posebno na deponijama velikih dimenzija kao i potencijalnih neželjenih efekata za krajnje korisnike. Istraživanja su pokazala da postoje neželjeni efekti na kotlovima pri korišćenju hemijski tretiranog uglja.

4.1.4. Detekcija

Rana detekcija procesa samozapaljenja uglja je veoma važna za sigurno odlaganje uglja i svođenje gubitaka uglja zbog samozagrevanja na minimum. Troškovi za monitoring deponija za skladištenje velikih količina uglja su mali u poređenju sa ukupnom vrednošću uglja u njima. Samozapaljivost uglja se često detektuje vizuelno opažanjem pojave oslobađanja dima ili pare iz deponije (slika 4.6) ili topljenja snega i leda na različitim lokacijama na deponiji u zimskom periodu. U periodima velike vlažnosti atmosfere, zagrejane površine na deponiji se mogu identifikovati preko svetlije boje površine uglja osušenog oslobađanjem toplote. U ovim

slučajevima proces samozagrevanja je već u poodmakloj fazi razvoja i neophodno je urgentno primeniti neku od mera za sprečavanje daljeg razvoja procesa samozagrevanja uglja.



Slika 4.6. Vizuelna manifestacija samozapaljenja uglja na deponiji termoelektrane Kostolac B

Za ranu detekciju i monitoring procesa samozapaljivosti primenjuju se principijelno dve tehnike: merenje temperature i analiza gasova.

Najjednostavniji metod za merenje temperature unutar deponije sastoji se u utiskivanju gvozdene ili čelične cevi sa termoelementima u ugalj na deponiji. Osnovni nedostatak ove metode je ograničenost njene primene u slučaju deponija sa svakodnevnim odlaganjem i uzimanjem uglja zbog ometanja rada opreme na deponiji.

Određivanje mesta za monitoring deponije je od velike važnosti imajući u vidu da određeni delovi deponija, kao na primer strane izložene dejstvu vetra, imaju veću sklonost samozapaljenju nego drugi delovi. Mesta zagrevanja na deponijama usled procesa samozagrevanja su vrlo često lokalnog karaktera tako da u početku detekcija primenom opreme instalisane na regularnoj mreži može biti neefikasna.

Infracrveni detektori, ručni ili fiksirani na određenim lokacijama, se takođe primenjuju za indiciranje temperatura na deponijama uglja. Međutim, na ovaj način se indicira porast temperature na površini deponije ili prisustvo toplih gasova emitovanih u procesu toplotne konvekcije. Evidentan porast temperature površine uglja na deponiji se javlja tek nakon određenog vremena razvoja oksidacionih procesa unutar deponije

pri čemu će verovatno, u međuvremenu, postojati i vizuelni znaci samozapaljenja. Metoda merenja temperature infracrvenim detektorima se primenjuje za merenja na velikim površinama u kratkom vremenskom periodu pri čemu treba voditi računa o velikom uticaju vremenskih prilika na pouzdanost merenja.

Analiziranje gasnog stanja unutar deponije, takođe, može pomoći u identifikovanju pojave samozagrevanja uglja. Koncentracija ugljenmonoksida od 20 ppm ili veća u deponiji, na dubini uzorkovanja od 1,5 m, pouzdano indicira da je proces samozagrevanja u progresiji. Postojanje ugljendioksida u koncentraciji većoj od 1%, uz smanjenu koncentraciju kiseonika, pokazuje da je unutar deponije formirana inertna atmosfera. Sa inertnom atmosferom unutar deponije i onemogućavanjem prodiranja vazduha u nju, smanjuje se verovatnoća pojave procesa samozapaljenja. Na deponijama uglja, naročito nesabijanim, kao posledica oksidacionih procesa pored ugljenmonoksida i ugljendioksida javljaju se i različiti ugljovodonici i vodonik. Prisustvo ovih gasova povećava rizik od mogućnosti nastanka endogenih požara.

4.1.5. Upravljanje procesom samozapaljenja

Pravilan monitoring deponija uglja je vrlo bitan u cilju identifikacije procesa samozapaljenja uglja i pravovremene primene odgovarajućih postupaka za sanaciju. Površine na deponiji gde temperatura raste kontinuirano preko 40°C zahtevaju pažljivo praćenje jer rast temperature preko 60°C predstavlja sigurnu indikaciju razvoja procesa samozapaljenja uglja. Potrebno je istaći da samozapaljivost uglja može početi i na nižim temperaturama. Kritična temperature utiče na sklonost uglja samozapaljenja i način formiranja deponije uglja.

Ukoliko proces samozapaljenja uglja počne da se razvija na deponiji moguće su sledeće dve procedure (Cudmore and Proudfoot, 1988):

- ukloniti zagrejan ugalj i koristiti ga odmah. Ako je ugalj zagrejan toliko da može oštetiti transporter ili zapaliti okolni ugalj potrebno ga je hladiti prskanjem vodom pre transporta; ili
- ukloniti zagrejan ugalj, hladiti ga širenjem u tanke slojeve a zatim ponovo odlagati i sabijati na deponiji. Ugalj se može takođe hladiti ostavljanjem preko noći ukoliko su u tom periodu temperature niže ili prskanjem vodom. Međutim treba istaći da je teško rukovati vlažnim ugljem.

Deponije uglja na otvorenom prostoru su pristupačne za intervencije ali postoji nekoliko problema u kretanju opreme pri radu na deponiji u uslovima pojave samozapaljenja uglja. Kombinovana mašina na šinama se može brzo pomerati na prostoru deponije prema delovima na kojima je došlo do razvoja i pojave samozapaljenja uglja. Portalni ili poluportalni skreperni reklajmeri sa kojima se može odstraniti ugalj sa bočnih strana deponije, ili kombinovane rotorne mašine naročito su korisne pri radu na deponijama na kojima su moguće pojave samozapaljenja uglja. Opre-

ma kao što su buldozeri i utovarivači može biti korišćena za vađenje zagrejanog uglja, njegovo širenje u tanke slojeve a nakon toga sabijanje prema definisanom profilu deponije uglja.

Korišćenje vode za gašenje požara nije preporučljivo. Jedan od razloga je što se dejstvom vode iz deponije izbacuju sitne frakcije uglja što povećava permeabilnost i prodor vazduha u deponiju. Drugi važan razlog je što se pri dejstvu vode na zagrejan ugalj javlja rizik od stvaranja eksplozivnih gasova. Prskanje vodom koje se često koristi za obaranje prašine takođe može pospešiti proces samozapaljenja uglja, pošto se toplota vlaženja dodaje i ubrzava proces oksidacije uglja.

Suvi led (čvrst ugljendioksid) se uspešno koristi za kontrolu procesa samozapaljivosti na deponijama uglja. Ovaj postupak daje bolje rezultate u slučaju primene na ograđenim ili pokrivenim deponijama, pošto dejstvo vetra ima tendenciju disperzije ugljendioksida ako se postupak primenjuje na deponijama na otvorenom. Ovo je takođe slučaj i sa drugim inertnim gasovima koji se injektiraju u deponiju radi sprečavanja i kontrole procesa samozapaljenja.

4.2. Emisija prašine

Ugljena prašina je štetna zbog toga što može izazvati zdravstvene probleme kako kod zaposlenih radnika tako i kod stanovništva u široj okolini. Takođe, ugljena prašina može dovesti i do oštećenja na opremi. Uvedeni su standardi i zakoni u vezi ograničavanja koncentracija PM₁₀ (čestice krupnoće ispod 10 µm).

Erozija sa deponija uglja pod uticajem vetra je glavni izvor prašine. Do pojave emisije prašine dolazi takođe i prilikom odlaganja uglja kao i prilikom manipulativnog rada na deponijama, pri čemu se znatno više prašine emituje prilikom procesa odlaganja. Upravljanje deponijom često zahteva intenzivan saobraćaj na i oko deponije izazivajući takođe emisiju prašine. Utovarivači, buldozeri i skreperi koji rade na deponiji mogu izazvati značajno izdvajanje prašine. Kamioni i transportne trake su glavni izvori ugljene prašine tokom transporta na i sa deponija.

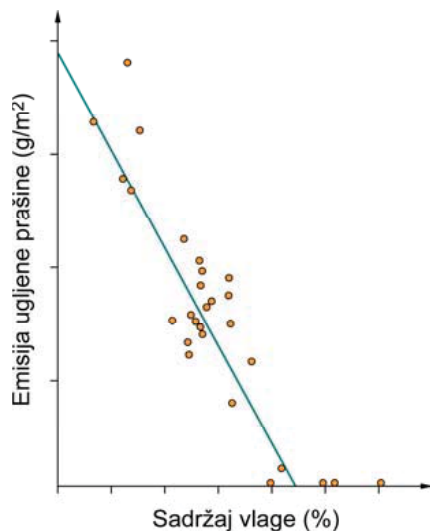
4.2.1. Faktori koji utiču na emisiju prašine

Intenzitet izdvajanja prašine sa deponija uglja zavisi od sledećeg niza faktora:

- karakteristika uglja, sadržaja vlage, oblika čestica, međučestičnih sila i distribucije krupnoće čestica;
- geometrije deponije, položaja i načina formiranja; i
- lokalnih klimatskih uslova: brzine vetra, solarne radijacije i padavina.

Jedan od ključnih faktora pri određivanju količine stvorene prašine je sadržaj vlage. Količina ugljene prašine opada sa porastom sadržaja

vlage i obratno. Za izbor načina kontrole zapašenosti je od interesa određivanje kritičnog sadržaja vlage pri kome se postiže sprečavanje emisije prašine (slika 4.7); vrednost varira u zavisnosti od vrste uglja. Ovaj faktor se koristi u sistemima sa vlažnim postupcima za sprečavanje emisija ugljene prašine.



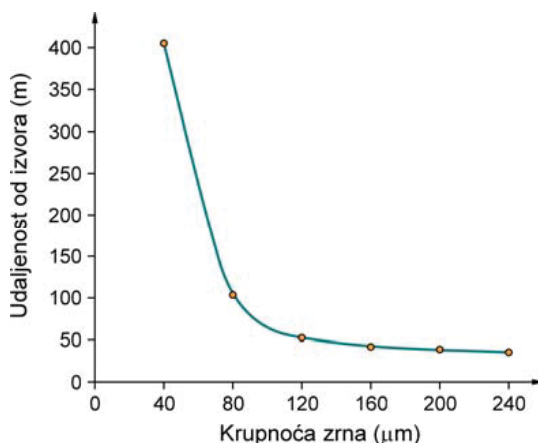
Slika 4.7. Uticaj sadržaja vlage na emisiju ugljene prašine

Sadržaj vlage u deponiji je posledica: atmosferskih padavina, procesa pranja uglja pre deponovanja (ukoliko se koristi taj proces) kao i prethodnog vlaženja uglja sa ciljem sprečavanja emisija prašine.

Deponije uglja sa velikom količinom sitneži predstavljaju potencijano velike izvore prašine, budući da se sitne čestice mnogo lakše uzvitlavaju sa površine deponije. Čestice ugljene prašine iznad 1 mm su suviše velike i inertne da bi bile uzvitlane. Sitnije čestice prašine se dalje transportuju pod uticajem vetra. Slika 4.8 pokazuje koliko daleko mogu biti transportovane čestice različite krupnoće, uzvitlane sa deponije visoke 5 m pri brzini vetra od 5 m/s (Schmitz, 1994).

Faktori koji utiču na distribuciju krupnoće čestica su čvrstoća i drobljivost uglja. Mlađi ugljevi su generalno skloniji usitnjavanju nego stariji ugljevi i shodno tome mnogo su skloniji stvaranju prašine. Ugljevi velike starosti su takođe skloni stvaranju prašine. Međutim povišen sadržaj vlage u ovim ugljevima može smanjiti njihovu sklonost stvaranju prašine, sve dotle dok se ugalj ne osuši.

Različiti oblici i položaji deponije utiču na površinu koja je izložena vetru. Metod odlaganja uglja utiče na formiranje prašine i segregaciju prema krupnoći.



Slika 4.8. Pređena rastojanja u zavisnosti od krupnoće čestica

Veličina emisije prašine zavisi takođe od uticaja klimatskih prilika, kao što su relativna vlažnost, padavine, solarna radijacija, pravac i brzina vetra. Meteorološki uslovi variraju sa lokacijom deponije. Da bi došlo do uzvrtavanja prašine vetar mora dostići određenu brzinu kako bi savladao kohezione sile i aerodinamičke sile koje deluju na čestice određene krupnoće. Sa sigurnošću se može očekivati da problem prašine bude izražen u toplim i vetrovitim klimama. Padavine mogu povećati vlažnost iznad kritične vrednosti i tako sprečiti stvaranje prašine. Međutim suviše padavina može izazvati probleme u održavanju deponije, a u izvesnim slučajevima može doći i do pojave klizanja deponije. Izlaganje površine uglja vremenskih uslovima može dovesti do stvaranja prašine i sitneži usled degradacije uglja. Stoga zaštita deponija uglja od vremenskih uslova predstavlja jedan način ublažavanja emisija prašine.

4.2.2. Prevencija emisije prašine

Kontrola emisije prašine sa deponija uglja je važna sa dva stanovišta: zaštite životne sredine i ekonomije. Postoji jedan broj mera zaštite koje mogu biti implementirane sa ciljem da se izbegne ili u krajnjoj meri kontroliše emisija prašine. One variraju kako u efikasnosti tako i u finansijskim efektima. Preduzete mere mogu uticati na kvalitet i cenu uglja, efikasnost manipulisanja na deponiji, ali mogu imati i posledice na finalnu upotrebu uglja. Korektan izbor i adekvatna implementacija mera usmerenih na kontrolu emisije prašine su stoga suštinski faktori u optimizaciji efikasnosti i isplativosti procesa skladištenja uglja.

Najbolji momenat za izbor sistema zaštite od prašine je u fazi planiranja deponije. Ovo je obično mnogo isplativije nego naknadno preduzimanje pojedinih mera, ili sveobuhvatni redizajn deponije, neophodan u borbi sa problemom prašine kada je deponija već formirana. Međutim, izbor određenog sistema zaštite od prašine može biti limitiran dodatnim faktorima kao što su fleksibilnost zahtevanih operacija ili potreba da se izbegne samozapaljenje uglja.

Osnovne metode u borbi protiv emisije prašine su:

- kontrola vetra (orijentacija i konfiguracija deponije, upotreba ograda i nasipa);
- sistemi za sprečavanje emisije prašine kvašenjem (voda, hemijski agensi za povećanje vlažnosti, pene);
- hemikalije za agregaciju (ukrupnjavanje) čestica prašine (hemijski preparati za aglomeraciju i aglomerativni agensi);
- sredstva za prekrivanje površina deponija (hemijska i vegetativna); i
- ograđivanje deponije.

U tabeli 4.4 dat je pregled primenljivosti metoda za sprečavanje uzvitlavanja prašine tokom operacija odlaganja i uzimanja uglja sa deponija. Pored navedenih mera moguće je primeniti i neke dodatne mere koje mogu redukovati emisiju prašine: teleskopske cevi i zaštitnici od vetra na opremi za odlaganje uglja kao i gravitacioni sistem za uzimanje uglja sa deponije. Mehanički sistemi za prikupljanje prašine nisu uzeti u obzir, budući da su oni u upotrebi u zatvorenim sistemima kao što su prekriveni trakasti transporteri, silosi ili bunkereri.

Tabela 4.4. *Primenljivost metoda za kontrolu prašine*

	Kontrola vetra	Raspršivanje tečnosti	Reagensi za okrupnjavanje	Zaptivači	Prekrivke
Deponovanje		x	x		
Uzimanje		x	x		
Aktivne deponije	x	x	x		x
Trajna deponija			x	x	

4.2.3. Odlaganje i uzimanje uglja

Pri procesu odlaganja uglja stvaraju se velike količine prašine. Praktično ne postoji sistem za odlaganje uglja koji je imun na ovaj problem. Osim toga upotreba nekih sistema veoma sklonih stvaranju prašine, u pojedinim momentima formiranja deponije je čak i neizbežna. Na primer, utovarači ili buldozeri se često koriste u procesu sabijanja uglja na deponiji sa ciljem sprečavanja samoupale uglja. Ovo zahteva intenzivniji saobraćaj na i oko deponije što dovodi do neizbežnog stvaranja prašine. U takvim slučajevima, neophodno je strogo pridržavanje procedura za rad na deponiji da bi se stvaranje prašine svelo na minimum. Ovo najčešće može zahtevati upotrebu sistema za obaranje prašine kao što su na primer vodeni raspršivači.

Kontrola krupnoće kao i distribucija krupnoće čestica prašine na deponiji može pomoći u snižavanju uzvitlavanja prašine. Prilikom deponovanja neminovno dolazi do segregacije. Konusne deponije su posebno sklone segregaciji. Odlaganje po sistemu Chevron generalno osigurava

da površina ostaje glatka tokom celog procesa deponovanja, dok je kod Windrow metode površina deponije relativno neujednačena (Schmitz, 1994). Smanjivanje visine sa koje se vrši odlaganje prilikom deponovanja može doprineti smanjenu usitnjavanje čestica, što će imati pozitivan efekat sa stanovišta emisije prašine prilikom deponovanja.

Stvaranje prašine je manje prilikom uzimanja uglja nego prilikom odlaganja. Neki sistemi mogu imati i suprotan efekat pre svega na površinu (gubitak ravnomernosti površine) ili na profil deponije stvarajući potencijalna mesta za stvaranje prašine. Na primer, upotreba utovarača, buldozera i skrepera može da rezultira u gubitku ravnomernosti površine. Rotorni bageri, koji se mogu koristiti za uzimanje uglja sa deponije, uzimaju ugalj sa jednog nivoa, što rezultira sa nekoliko kritičnih zona (površina) za formiranje prašine. Pored toga, krajevi deponije nisu uvek zahvaćeni uzimanjem, posebno ako se traži precizno mešanje. Ovi neravnomerni ostaci mogu biti izvori erozije izazvane vetrom. Adekvatan način upravljanja i operativne procedure su glavni način minimiziranja uzvitlavanja prašine (Schmitz, 1994).

4.2.4. Položaj i projektovanje deponije

Način na koji je deponija trasirana kao i njeno projektovanje mogu uticati na snižavanja emisija prašine. Orijentacija deponije tako da najuža strana, ili strana sa najmanjom čeonom površinom, bude u pravcu preovladavajućeg pravca vetra može značajno sniziti emisiju lebdeće prašine. Dodatna prednost ovakvog rešenja se odnosi na usporavanje procesa samozapaljenja uglja na deponiji. Međutim, pravac vetra se često menja kako se menjaju drugi klimatski uslovi, tako da je sistem za sprečavanje uzvitlavanja prašine neophodan. Deponije bi takođe trebale biti tako locirane da iskoriste svaku prednost bilo kakvih prirodnih zaklona protiv vetra; ovo uključuje druge deponije, zgrade i sl. Strujanje vazduha iznad deponije je uslovljeno oblikom deponije kao i ravnomernošću (hrapavošću) njenih površina. Strme kosine mogu znatno promeniti strujanje vazduha preko deponije.

4.2.5. Nasipi (berme) i ograde

Berme odnosno zemljani nasipi deluju kao vetrobrani, smanjujući kako brzinu vetra preko deponije tako i njegov uticaj na ubrzano sušenje deponije. Redukcija emisije prašine primenom sistema za sprečavanje uzvitlavanja prašine i drugih kontrolnih mera čine izgradnju nasipa isplativim u mnogim slučajevima. Nasipi mogu da budu deo sistema u koji je uključen specijalno projektovan odlagač ili reklajmer uglja, kao i sistem za raspršivanje vode. Potrebno je naglasiti da su nasipi neefikasni ako su suviše niski a uz to zauzimaju značajnu površinu deponije. Kao što snižavaju emisiju prašine, nasipi mogu imati i važnu ulogu u smanjenju uticaja buke, u kreiranju pejzaža određene lokacije i minimiziranju negativnog vizuelnog efekta deponija.

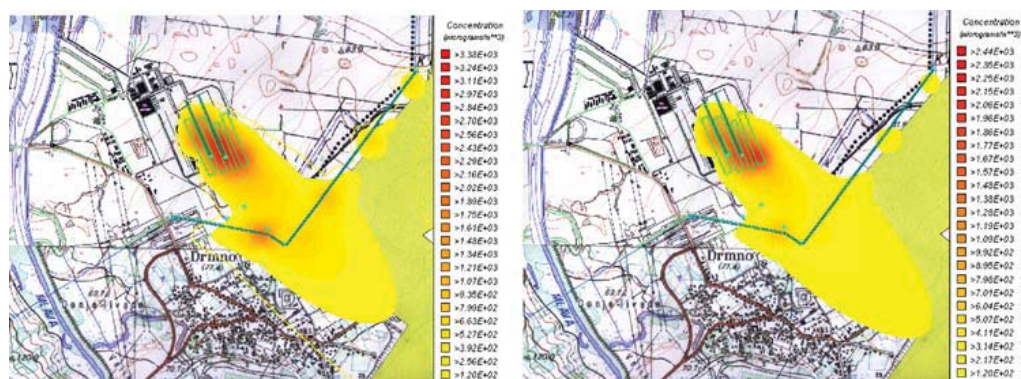
Ograde postavljene u pravcu vetra (uz vetar), na mestima ispred deponija, ako su dovoljno visoke mogu smanjiti brzinu vetra i turbulenciju pre nego što vetar stigne do deponije i na taj način umanjiti uzvitlavanje prašine. Ograde postavljene po pravcu vetra (niz vetar) mogu sprečiti raznošenje prašine. Iako ograde redukuju uticaj vetra na deponije, one takođe mogu uticati na stvaranje i "mrtvih" zona u njihovoj blizini. Prašina naneta (deponovana) u tim zonama, u slučaju duvanja vetra iz suprotnog pravca, ponovo će biti dispergovana (King, 1997). Praktična ispitivanja pokazuju da visina ograde bude ekvivalentna visini deponije, a njena propustljivost oko 50%.

Položaj ograde je važan i trebao bi da bude projektovan tako da efekat vetrova dominantnih pravaca svodi na minimum. Ograničenja pri projektovanju ograde predstavljaju položaj konkretne lokacije i raspoloživa sredstva za izradu. Na primer, ograde mogu biti izgrađene na mestima gde ih je moguće konstruktivno osigurati i gde neće smetati kretanju mobilne opreme.

4.2.6. Sredstva za suzbijanje prašine

Postoje mnoga sredstva koja su na raspolaganju za kontrolu i sprečavanje uzvitlavanja prašine sa deponija. Ona uključuju vodu, sredstva za vlaženje, pene, vezivna sredstva, sredstva koja potpomažu aglomeraciju, kao i hemikalije za dugoročno prekrivanje površina deponije. Teško je porediti efikasnost i cenu tretmana različitim sredstvima.

Prema podacima US EPA (AP-42,1992) i National Pollutant Inventory (1999) emisije čestica prašine iz različitih izvora na površinskim kopovima se mogu smanjiti za 50% i više primenom tehnika kvašenja mineralne sirovine ili obaranja prašine prskanjem vodom. Distribucija suspendovanih čestica oko objekata i opreme za transport, usitnjavanje, klasiranje i deponovanje uglja sa i bez korišćenja tehnika obaranja prašine na TE Kostolac B prikazana je na slici 4.9.



Slika 4.9. Raspodela koncentracija suspendovanih čestica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) oko drobilane i deponije uglja u uslovima duvanja severozapadnog vetra bez i sa primenom metoda i postupaka zaštite od prašine – TE Kostolac B

Hemijska sredstva često služe dvostrukoj nameni, redukuju emisiju prašine ali i sprečavaju oksidaciju uglja smanjujući mogućnost samoupale. Intezitet oksidacije varira značajno u zavisnosti od dodate količine vode i izabrane hemikalije za kontrolu prašine. Primena sredstava za suzbijanje prašine ima i određena ograničenja: cena, često ograničeno iskustvo u upotrebi određenog sredstva, kao i ograničenja sa stanovišta zaštite životne sredine (zagađenje podzemnih voda). Pored toga, može postojati i određena averzija jednog dela korisnika uglja prema dodatim hemikalijama, pre svega zbog nepoznavanja prirode hemikalije i posledica koje se mogu ispoljiti na krajnjem korisniku.

4.2.6.1. Voda

U ovom poglavlju istaknuto je da površinska vlažnost uglja predstavlja ključni faktor koji utiče na uzvitlavanje prašine. Orošavanje deponija sa vodom u cilju povećanja ili održavanja kritične vlažnosti predstavlja najprostiji metod u suzbijanju izdvajanja prašine. Kratkoročno ovo rešenje je i najjeftinije, ali ne mora uvek biti i najefikasnije. Glavni nedostaci postupaka orošavanja vodom su:

- efekat primene orošavanja vodom je kratkotrajan. Kada voda ispari ponovo se uspostavljaju uslovi za stvaranje prašine što zahteva redovno orošavanje;
- dodavanje prekomerne količine vode snižava toplotnu vrednost a time i ekonomsku vrednost uglja. Neophodna je kontrola kako bi se kvalitet uglja sa stanovišta sadržaja vlage održao u dozvoljenim granicama;
- orošavanje vodom može ubrzati efekte izloženosti površina komada uglja atmosferskim uslovima. Ugalj se usitnjava, formirajući finije čestice koje mogu biti izvor uzvitlane prašine;
- vlažan ugalj može rezultirati otežanom manipulacijom;
- primena vode nalaže i potrebu regulisanja eventualnih ocednih voda sa deponije, i
- jak vetar može poremetiti orošavanje vodom.

Orošavanje vodom može da bude sprovedeno tokom formiranja deponije u cilju sprečavanja emisije prašine. Ako se orošavanje vodom vrši na formiranoj deponiji, tada će samo površinski sloj biti vlažan, ali generalno sadržaj vlage u deponiji i dalje ostaje nizak. Emisija prašine takođe zavisi od vremenskih uslova u toku procesa stvaranja i uzvitlavanja prašine što može da rezultira prekoračenjem dozvoljenih granica zapašenosti okoline. U tom smislu ukupna strategija za kontrolu emisije prašine na deponijama uglja (uključujući i odlaganje i uzimanje, kao i period skladištenja) treba biti uzeta u obzir i implementirana još u fazi planiranja.

Dejstvo vodenih prskalica se zasniva da sudaru finih čestica prašine i većih vodenih kapljica. Voda obuhvata čestice prašine izazivajući njihovu aglomeraciju. Kapljice vode, međutim imaju relativno veliki površinski napon, koji limitira sposobnost vode da kvasi čestice prašine, poseb-

no veoma sitne čestice. Zbog toga se ponekad vodi dodaju sredstva koja imaju zadatak da smanje površinski napon vode i omoguće bolje prijanjanje na sitne čestice prašine. Verovatnoća sudara može da bude povećana uvećanjem relativne brzine čestica prašine i kapljica vode, smanjivanjem veličine kapljica vode, ili suprotnim naelektrisanjem kapljica vode u odnosu na naelektrisanje čestica prašine (Coates, 1991; Schmitz, 1994).

Primena vode za kvašenje površine deponije posredstvom vodenih topova može da bude efikasan metod za sprečavanje uzvitlavanja prašine, posebno za deponije sa kratkim vremenom skladištenja uglja. U ovom slučaju da bi se visoka deponija kompletno prekrila vodom potrebno je ostvariti visok pritisak vode na vodenim topovima, kao i odgovarajuću visinu topova. Kako bi se izbegle subjektivne procene operatora za sprečavanje stvaranja i obaranje prašine mogu se koristiti vodeni topovi čiji je rad automatizovan. Automatski se prate: pravac i brzina vetra, temperatura i vlažnost. Kada se stvore uslovi za uzvitlavanje prašine (odgovarajući vetar i ostali vremenski uslovi) aktivira se ceo sistem obezbeđujući najbolje parametre za rad topova, u smislu kompenzovanja uticaja vetra na domet vodenih topova.

4.2.6.2. Sredstva za poboljšanje kvašljivosti

Da bi se smanjila upotreba vode dodaju joj se razna sredstva koji imaju za cilj da poboljšaju kvašljivost čestica prašine. Ova sredstva smanjuju površinski napon vode, omogućavajući formiranje sitnijih kapljica vode i povećavajući njenu sposobnost da kvasi hidrofobne ugljeve. Navedena sredstva se dodaju u koncentracijama od 0,05% do 2% (Coates, 1991). Na ovaj način dejstvo kvašenja je dugotrajnije nego u slučaju primene čiste vode, ali može biti i znatno skuplje. Broj tačaka na kojima se primenjuju raspršivači duž transportne trase, prilikom primene ovih sredstava, u najvećem broju slučajeva može da bude redukovan. Na ovaj način se smanjuje upotreba vode, što ima uticaja na ukupnu cenu eksploatacije sistema.

U svetskoj praksi u primeni je veliki broj različitih sredstava za povećanje kvašljivosti ugljene prašine. Pogodnost primene pojedinih sredstava za određene vrste uglja može jedino biti utvrđen ispitivanjima u laboratoriji ili na terenu. Na ovaj način se određuje se na samo vrsta sredstva nego i potrebna koncentracija u konkretnim uslovima, kao i propratni uticaj na životnu sredinu.

4.2.6.2.1. Pene

Primena sistema sa penom obično zahteva manje od 10% vode, koja se inače koristi u sistemima za obaranje prašine primenom vodenih raspršivača (Coates, 1991). Pena se proizvodi uz pomoć vode, vazduha i sredstva za formiranje pene. Sredstva za povećanje kvašljivosti prašine takođe mogu biti dodata. Umesto vodenih kapljica proizvodi se velika količina mikromehurova. Oni se u kontaktu sa česticom prašine rasprska-

vaju kreirajući veliki broj finih kapljica koje inkapsuliraju, a potom vezuju čestice prašine međusobno. Najbolja primena se postiže na presipnim mestima tokom transporta do deponije ili tokom drobljenja. Primena pena je pogodnija sa stanovišta kontrole sadržaja vlage, nego što je to primena čisto vodenih sredstava sa i bez omekšivača.

4.2.6.2.2. Sredstva za aglomeraciju (ukrupnjavanje)

Dejstvo ovih sredstava svodi se na inteziviranje vezivanja čestica jednih za druge ili za krupnije čestice. Navedena sredstva uključuju ulja, uljne proizvode (asfalt), lignine, smole i proizvode bazirane na polimerima. Ova sredstva se obično raspršuju na mestima presipa duž transportnih trasa do deponija uglja. Neka od ovih sredstava se koriste kao pena, sa ciljem postizanja optimalnog odnosa cene i postignutog efekta.

Glavna prednost sredstava za ukрупnjavanje je njihova dugotrajnost. Efikasna kontrola emisije prašine za jedan duži vremenski period se može postići primenom ovih sredstava na nekoliko presipnih mesta duž transportne trase ili direktno primenom na deponiji. Primena ovih sredstava smanjuje ili čak eliminiše potrebu kontrole prašine tokom pomoćnih manipulativnih operacija uzimanja uglja sa deponije. Nedostatak primene sredstava za aglomeraciju je njihova visoka cena.

Ulje i proizvodi na bazi ulja su posebno pogodni za kontrolu prašine kada se javlja problem niskih temperatura odnosno mržnjenja. Za razliku od vode, upotreba ovih sredstava može povećati toplotnu vrednost uglja. Međutim ako se značajnije poveća koncentracija ovih uljanih materija u uglju, njihova niža tačka paljenja može izazvati požar kada ugallj dospe u drobilicu (Shmitz, 1994). Takođe se javlja i problem zagađenja podzemnih voda prilikom upotrebe ovih sredstava, u slučajevima kada posle izvesnog vremena dođe do njihovog spiranja sa uskladištenog uglja. Takođe se postavlja pitanje uticaja na životnu sredinu i drugih sredstava za ukрупnjavanja, kao što su polisulfidi, koji mogu biti toksični za akvatične organizme, ukoliko se pojave u površinskim vodama.

4.2.6.2.3. Zaptivači

Površina deponije može da bude "hermetizovana" upotrebom sredstava koji stvaraju tanku koricu odnosno zaštitini sloj, a koja se obično raspršuju preko deponije upotrebom vodenih topova. Nakon sušenja, formira se nerastvorljiva pokorica. Ovo direktno utiče na eroziju izazvanu vetrom i kišom. Ujedno doprinosi i stabilnosti deponije jer sprečava poniranje površinskih voda u deponiju i izazivanje eventualnih klizišta. Njihova primena takođe snižava oksidaciju redukujući i mogućnost samoupale. U zavisnosti od primenjenog sredstva, formirana korica omogućava čak i hodanje po njoj bez oštećena. Zbog svoje relativno visoke cene uglavnom se primenjuju za deponije sa dugim periodom skladištenja uglja [Coates, 1991].

Budući da postoji veliki izbor ovih sredstava, adekvatan izbor za konkretne uslove i određenu vrstu uglja je moguće izvršiti na osnovu labo-

ratorijskih ispitivanja kao i proba na terenu (Schmitz, 1994). Pored toga prilikom izbora sredstava treba uzeti u obzir i određene karakteristike deponije: starost, sadržaj vlage, kompaktnost i konfiguraciju. Proizvodi na bazi polimera (polivinil acetat, akrilin i lateks), smola, lignosulfonata, lignina, otpadnih ulja i bitumena su bili korišćeni u ove svrhe. Nepovoljnost kada je u pitanju upotreba lignina i otpadnih ulja je njihova rastvorljivost u vodi i visoka kontaminiranost metalima. Noviji pristup uključuje i primenu trave ili pepela na deponijama. Koren trave može da veže površinu, sprečavajući emisiju prašine, istovremeno unapređujući vizuelni efekat deponije.

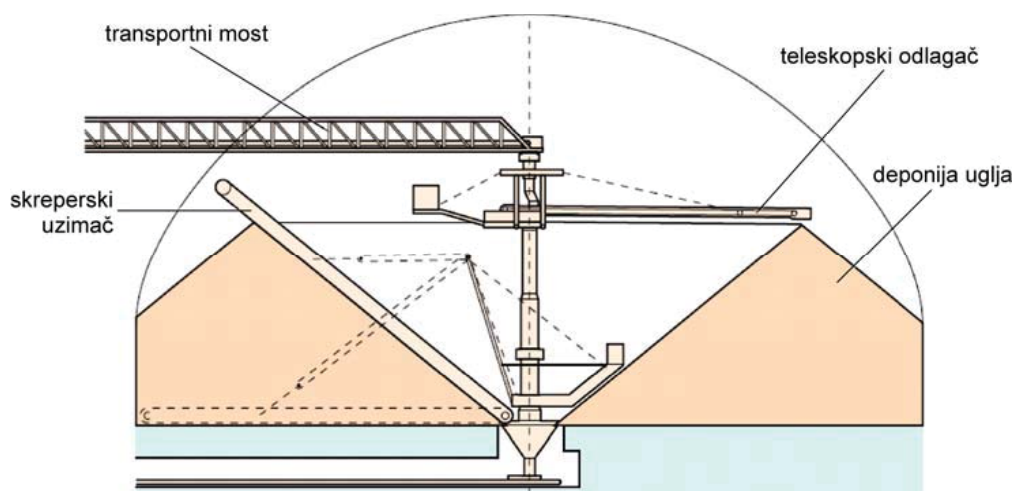
U zavisnosti od sredstva, pokorica može ostati nepromenjena nekoliko meseci. Učestalost obnavljanja primene određenog sredstva zavisi od vrste primenjenog sredstva kao i od meteoroloških uslova. Deponije bi trebalo redovno kontrolisati kako bi svako oštećenje pokorice bilo pravovremeno evidentirano. Delimična oštećenja ili pucanja mogu biti zakrpljenja primenom korišćenog sredstva. Sve to doprinosi produženju vremena potrebnog za ponovno nanošenje sredstva, istovremeno smanjujući ukupne troškove tretmana deponija odgovarajućim sredstvom. Cena primene ove vrste sredstava je niža od cene primene sredstava za aglomeraciju budući da se samo površina a ne i celokupna masa tretira. Međutim, kada se površina ošteti fazom uzimanja uglja, potrebno je ponoviti tretman na deponiji u cilju kontrole stanja zaprašnosti.

Tip upravljanja deponijom, pod nazivom "krater koncept" obuhvata prekrivanje (oblaganje) strana deponije sa sredstvom za stvaranje pokorice kao što je lateks. Spoljna strana deponije je neaktivna i glavne aktivnosti deponovanja i uzimanja uglja se odigravaju unutar "zidova" deponije. U nekim slučajevima je mnogo izvodljivije raditi u krateru oblika potkovice, gde je jedan "zid" deponije odstranjen. U oba slučaja zid oko aktivnog dela služi kao vetrobran i ima funkciju snižavanja emisije prašine sa deponije.

4.2.6.2.4. Prekrivke

Kompletno ili delimično prekrivanje deponije može ograničiti stvaranje prašine. Pored toga, pokrivanje deponije omogućava čuvanje suvog uglja, ograničava oksidaciju, sprečava natapanje i pojavu klizanja usled padavina, štiti zaposlene i opremu od nepovoljnih klimatskih uslova i ograničava ugroženost bukom. Kod novih termoelektrana postoji trend prekrivanja deponija, što ograničava kapacitet deponija.

Kružne deponije su generalno jeftinije za pokrivanje nego linijske deponije. Skreperski izdavači se koriste unutar strukture budući da su rotorni bageri suviše veliki. Slika 4.10 ilustruje jedan sistem za odlaganje i izuzimanje instalisan unutar kupolom prekrivene kružne deponije. Sistem ozbezbeđuje smeštajni kapacitet za 180.000 t i ima prečnik od 120 m. Krov je načinjen od aluminijuma pričvršćenog na potporni betonski zid (Bulk Solids Handling, 1998). Prekrivke se rade takođe i od betona i galvanizovanih čelika. Izbor materijala delom zavisi i od raspona kao i primenjene mehanizacije.



Slika 4.10. Kružna kupola prekrivena kupolom

Bez obzira o kojoj prekrivci je reč, pažnja mora biti posvećena zahtevima ventilacije (prašina i metan) kao i protivpožarnoj i protiveksplozivnoj zaštiti. Na lokacijama gde se koristi mobilna manipulativna oprema, moraju se ostaviti dovoljno veliki prilazi kako ne bi došlo do ugrožavanja konstrukcije prekrivke. U ovim slučajevima treba izvršiti ispitivanja i aerodinamičke analize da bi se utvrdilo da li su emisije prašine u dozvoljenim granicama.

4.2.7. Monitoring i metode ispitivanja

Monitoring nivoa zapašenosti u okolini deponija može identifikovati zone ugroženosti prašinom, a može se koristiti i za određivanje efikasnosti primenjenih postupaka zaštite od prašine.

Precizna merenja nivoa zapašenosti su neophodna za utvrđivanje kvaliteta vazduha i u vezi sa tim analize ispunjenosti zahteva i uslova zakonske regulative u vezi sa ovim problemom. Pri monitoringu deponija uglja radi rešavanja problema emisije prašine, koriste se instrumenti za merenje koncentracija prašine i za merenje intenziteta taloženja prašine.

Uspešan monitoring zapašenosti vazduha zahteva adekvatan izbor mernih mesta, orijentisanih u pravcu dominantnog strujanja vazduha (vetrova). Pored podataka o zapašenosti vazduha potrebne su informacije o meteorološkim prilikama i o operacijama rada na deponiji. Za merenje meteoroloških prilika najčešće se koriste posebni instrumenti za merenje: brzine vetra, temperature, vlažnosti i padavina. Primenu odgovarajućih mera zaštite od prašine moguće je sprovesti na osnovu poznavanja parametra specifičnog stvaranja prašine za pojedine vrste uglja. Stvaranje prašine prilikom padanja uglja sa transporterom sa trakom određuje meru količine prašine koja se podiže tokom formiranja deponije.

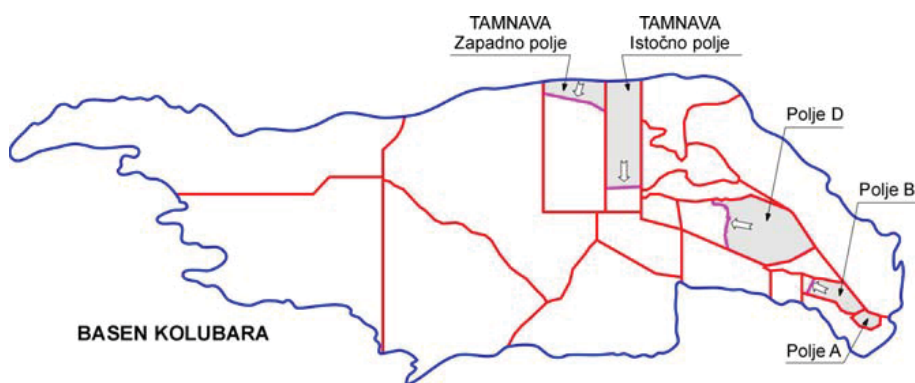
Literatura

- [1] Bulk Solids Handling (1998) A covered storage system for 230,000 m³. Bulk Solids Handling; 18(4); 631-632
- [2] Carras J N, Young B C (1994) Self-heating of coal and related materials: models, application and test methods. Progress in Energy Combustion and Science; 20(1); 1-15
- [3] Chakraborti S (1999) An overview of AEP's coal handling systems. Bulk Solids Handling; 19(1); 81-88
- [4] Coates R T (1991) Chemical methods for dust control. Yearbook of the Coke Oven Manager's Association; 173-179
- [5] Cudmore J F, Proudfoot B W (1988) Spontaneous combustion of coal in stockpiles. In: A workshop on steaming coal: testing and characterisation, Newcastle, NSW, Australia, 17-19 Nov 1987. Newcastle, NSW, Australia, University of Newcastle, Institute of Coal Research, pp L3.1-L3.50
- [6] Fierro V, Miranda J L, Romero C, Andrés J M, Arriaga A, Schmal D, Visser G H (1999) Prevention of spontaneous combustion in coal stockpiles. Experimental results in coal storage yards. Fuel Processing Technology; 59(1); 23-34
- [7] Carpenter A M (1998) Management of coal stockpiles. IEA Coal Research - The Clean Coal Centre; CCC/23; ISBN 92-9029-333-0
- [8] King A (1997) Reduction of fugitive dust from coal stockpiles. Final report. EUR 17162, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities
- [9] Krishnaswamy S, Agarwal P K, Gunn R D (1996) Lowtemperature oxidation of coal. 3. Modelling spontaneous combustion in coal stockpiles. Fuel; 75(3); 353-362
- [10] Olpinski W (1959) Die Bedeutung der Untersuchungen über die Selbstentzündlichkeit von Kohle für die Prophylaxis von Grubenbränden; Freiburger Forschungshefte; 7-22
- [11] Schmitz J (1994) Control of coal dust in transit and in stockpiles. IEAPER/15, London, UK, IEA Coal Research
- [12] Smith A C, Lazzara C P (1993) Spontaneous combustion during the storage and transport of coal. In: 10th annual international Pittsburgh coal conference, Pittsburgh, PA, USA, 20-23 Sep 1993. Pittsburgh, PA, USA, University of Pittsburgh, Pittsburgh Coal Conference, pp 1009-1015
- [13] Sujanti W, Zhang D-K, Chen X C (1999) Low-temperature oxidation of coal studied using wire-mesh reactors with both steady-state and transient methods. Combustion and Flame; 117(3); 646-651
- [14] van Vuuren M C J (1995) Guidelines for the prevention of spontaneous combustion of coal during storage and transport. Report ES9307, Pretoria, South Africa, Chief Directorate Energy, Department of Mineral and Energy Affairs
- [15] Vukanović B, Pavlović N (1984) Studija o samozapaljivosti i uslovima lagerovanja sušenog uglja - Kolubara. Rudarski Institut Beograd
- [16] Walker S (1999) Uncontrolled fires in coal and coal wastes. CCC/16, London, UK, IEA Coal Research

5. Model upravljanja kvalitetom uglja na kopovima "Tamnava"

5.1. Kratak prikaz stanja rudarskih radova i opreme na kopovima "Tamnava"*

Rudarski basen Kolubara je najveći proizvođač uglja u Republici Srbiji i u ukupnoj proizvodnji uglja učestvuje sa oko 65%. Na bazi uglja isporučenog iz Kolubare godišnje se proizvodi oko 42% električne energije u Srbiji. Na slici 5.1 prikazana je karta Kolubarskog basena [Stojaković, 1999.].



Slika 5.1. Kolubarski ugljeni basen

Trenutno najproduktivniji deo Kolubarskog basena je ležište "Tamnava" koje se eksploatiše sa dva površinska kopa: "Tamnava-istočno polje" i "Tamnava-zapadno polje".

Ležište "Tamnava" nalazi se u severo-zapadnom delu Kolubarskog ugljenog basena i obuhvata prostor koji je ograničen za eksploataciju površinskim kopovima "Tamnava-istočno polje" i "Tamnava-zapadno polje". Ukupna površina ova dva, inače veštački podeljena kopa, iznosi 32 km². Preostale rezerve su oko 412 miliona tona [Veliki Crljeni, 2002].

* Kopovi "Tamnava" su obrađeni samo kao ogledni primer radi sagledavanja realnosti predloženog sistema.

5.2. Geologija

Ugljonosnu seriju površinskog kopa "Tamnava-istočno polje" izgrađuju sedimenti donjopliocenske starosti. Podinu ove serije predstavljaju peskovi donjeg pontu, dok gornjopontski peskovi i alevriti, kao i kvartarni šljunkovi, peskovi i gline izgrađuju povlatu ugljonosne serije. Postanak ugljonosne serije vezan je za gornji pont. U gradnji ove serije pored slojeva uglja učestvuju proslojci i slojevi peskova, ugljevitih i sivozelenih gline različite debljine. Generalno posmatrano, ugljonosna serija ima blag pad ka jugozapadu u kom pravcu raste i njena debljina, uz sve izraženije raslojavanje i povećano učešće jalovih proslojaka. Debljina uglja u južnom delu iznosi i preko 60 metara, dok prema severu ovaj sloj postepeno isklinjava. U ugljenoj seriji se mogu izdvojiti: jedinstveni ugljeni sloj postojane debljine i horizontalnog položaja, prvi ugljeni sloj debljine 10-14 m (lociran u severozapadnom delu kopa i uglavnom već otkopan) i drugi ugljeni sloj debljine 2-8 m (koji se površinski poklapa sa prvim ugljenim slojem).

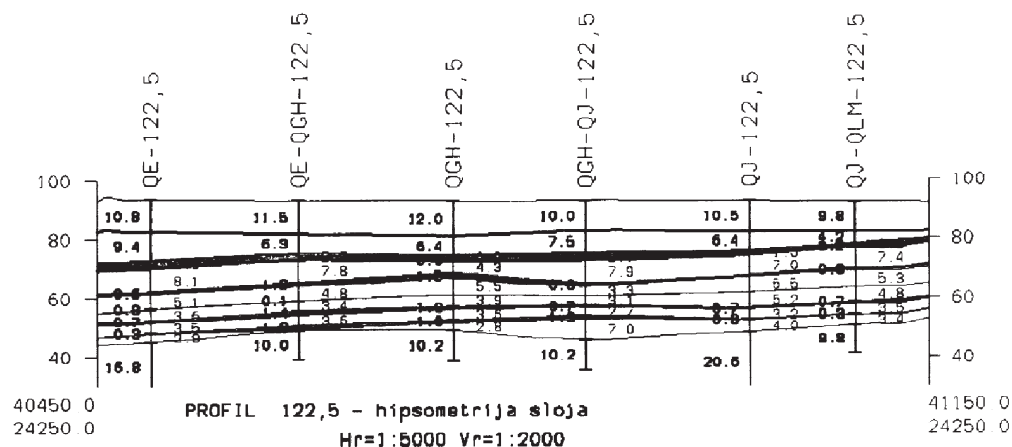
Ugljenosnu seriju na površinskom kopu "Tamnava-zapadno polje" izgrađuju sedimenti donjopliocenske starosti (pont). Podinu čine peskovi gornjeg pontu, dok krovinu uglavnom čine glinovito-peskoviti alevritski sedimenti gornjeg pontu i sedimenti kvartara – šljunkovi peskovi i gline. Ugljonosna serija blago pada ka zapadu i jugozapadu u kom pravcu raste i njena debljina uz sve izraženije raslojavanje i povećano učešće jalovih proslojaka, što utiče na pad kvaliteta uglja. Debljina ugljene serije prema južnom delu ležišta ide i preko 60 m, dok prema severu ugljeni sloj lagano isklinjava. U ugljenosnoj seriji mogu se izdvojiti: jedinstveni ugljeni sloj (javlja se u ograničenom delu polja sa debljinom od 22 do 27 m zajedno sa jalovim proslojcima), prvi ugljeni sloj (prostire se na celoj površini polja sa debljinom 10 do 20 m i debljinom jalovih proslojaka do 2 m), i drugi ugljeni sloj (debljine 2 do 10 m, bez mnogo jalovih proslojaka izuzimajući jugozapadni deo polja). Bilansne rezerve (A+B+C₁) uglja na ovom polju iznose 670.694.000 tona.

Tehničke karakteristike uglja iz ležišta "Tamnava" prikazane su u tabeli 5.1.

Ugljeni sloj koji se eksploatiše iz ležišta "Tamnava" nije homogen, već u njemu postoji više proslojaka jalovine (slika 5.2). Trenutno najveći problem u eksploataciji uglja na ovim kopovima je održavanje stalnog kvaliteta koji se isporučuje termoelektranama "Nikola Tesla" u Obrenovcu. Naime, ugljeni sloj u ležištu je raslojen sa većim brojem jalovih proslojaka različite debljine (od nekoliko centimetara do dva metra), pri čemu i krovinske partije ugljenog sloja predstavljaju mešavinu uglja i gline, kvaliteta ispod 4000 kJ/kg. Za "normalan" rad termoelektrana neophodno je održavati kvalitet uglja iznad 6500 kJ/kg (u zimskim uslovima i veći), a uglj u ležištu "Tamnava" se menja u okviru svake podetaže, u dijapazonu od 0 do 10.000 kJ/kg.

Tabela 5.1. Tehničke karakteristike uglja iz ležišta Tamnava

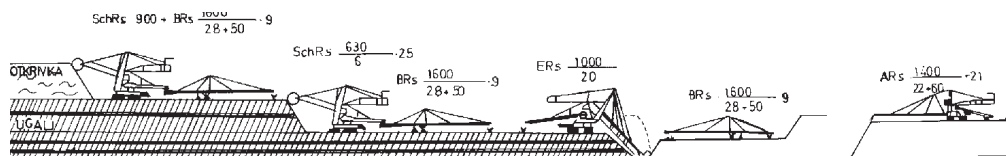
	"Tamnava-istočno polje"	"Tamnava-zapadno polje"
Vlaga (%)	52,36	48,05
Pepeo (%)	13,24	18,36
Sumpor ukupni (%)	0,50	0,42
Sumpor u pepelu (%)	0,28	0,25
Sumpor sagorljivi (%)	0,22	0,19
Koks (%)	30,31	32,37
C-fix (%)	15,27	12,88
Isparljive materije (%)	22,93	19,32
Sagorljive materije (%)	38,15	33,03
DTE (kJ/kg)	7090	I sloj 7909 II sloj 8422



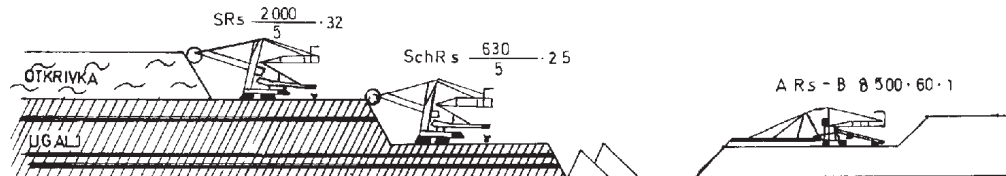
Slika 5.2. Karakterističan profil sa položajem proslojaka na površinskom kopu "Tamnava - istočno polje"

5.3. Eksploatacija

Površinski kop "Tamnava-istočno polje" otvoren je 1977. godine za potrebe snabdevanja termoelektrane "Nikola Tesla-B" snage 2×620 MW. Kop se razvijao fazno, tako da je u prvoj fazi kapacitet iznosio 8×10⁶ tona uglja godišnje, a u drugoj 11,4×10⁶ tona uglja godišnje. Otkopavanje, transport i odlaganje jalovine trenutno se obavlja sa jednim BTO sistemom, a uglja sa dva BTD sistema, pri čemu se visinski blok otkopava rotornim bagerom SchRs 630 25/6, a dubinski blok sa vedričarem ERs 1000/20. Na slici 5.3 prikazan je tehnološki profil rada ovog kopa, a na slici 5.4 kopa "Tamnava-zapadno polje".



Slika 5.3. Tehnološki profil površinskog kopa "Tamnava-istočno polje"



Slika 5.4. Tehnološki profil površinskog kopa "Tamnava-zapadno polje"

Površinski kop "Tamnava-zapadno polje" prvobitno je bio namenjen za potrebe snabdevanja ugljem buduće termoelektrane "Kolubara B", instalisane snage u prvoj fazi 2×350 MW. Kako ova elektrana još uvek nije izgrađena, kop se trenutno koristi kao dopuna kapacitetu površinskog kopa "Tamnava-istočno polje". Eksploatacija uglja na ovom kopu počela je 1995. godine, a projektovani razvoj će se odvijati kroz dve faze:

- **prva faza** obuhvata period do kraja eksploatacionog veka površinskog kopa "Tamnava-istočno polje". U ovoj fazi otkopavanje otkrivke se vrši jednim sistemom, a otkopavanje uglja sa dva sistema. Godišnji kapacitet kopa iznosi 6×10^6 tona uglja;
- **druga faza** obuhvata period od završetka radova na površinskom kopu "Tamnava-istočno polje" do kraja eksploatacionog veka. U ovom periodu jalovina će se otkopavati sa tri BTO sistema, a ugalj i međuslojna jalovina sa tri rotorna bagera i jednim vedričarem. Projektovani godišnji kapacitet u ovoj fazi je 18 miliona tona.

Trenutno na otkopavanju otkrivke rade bageri SRs 2000 32/5 i SchRs (c) 700, a na otkopavanju uglja SchRs 630 25/6, a priprema se bager SchRs 630 25/6.

Geološke prilike na površinskom kopu "Tamnava-istočno polje" tokom prvih godina rada bile su povoljne, a kvalitet uglja dobar. Proslojak jalovine u sloju, koji je tada egzistirao, bio je velike moćnosti i sa jasno izraženim kontaktnim površinama, tako da se lako odvajao selektivnim radom bagera. Međutim, napredovanjem fronta radova ka jugu geološke prilike su se osetno pogoršale. Naime, u zapadnom delu otkopnog polja pojavili su se proslojci gline i glinovitih ugljeva male moćnosti koji se nisu mogli selektivno otkopavati, pa je sagorevanje ovakvog uglja u termoelektranama zahtevalo dodavanje mazuta za podršku vatre. Privremeno rešenje za prevazilaženje ovog problema se sastojalo u tome, što su ove partije uglja lošeg kvaliteta otkopavane u sušnim letnjim mesecima

(kada je i inače potrošnja struje niža) i u kombinaciji sa radom bagera vedričara kada on otkopava ugalj dobrog kvaliteta.

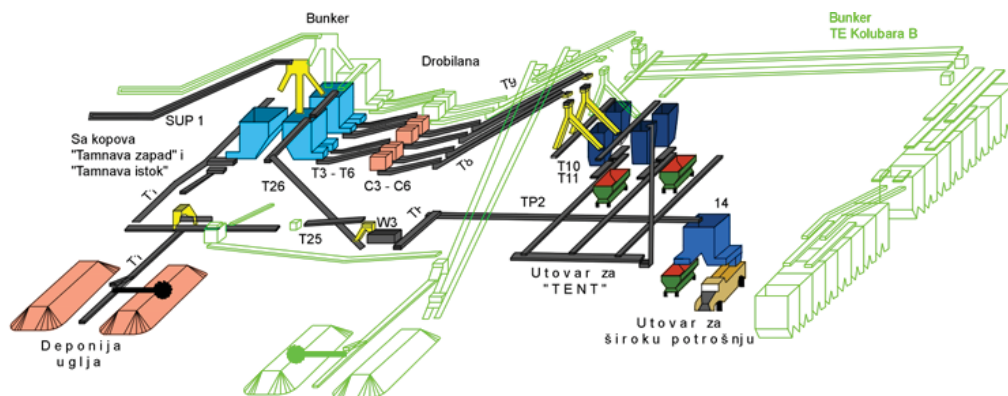
Za razliku od kopa "Tamnava-istočno polje" problemi sa proslojcima jalovine u ugljenom sloju na zapadnom polju javljaju se od samog početka njegovog rada. Kako se trenutno otkopavanje uglja vrši samo sa bagerom SchRs 630 i to sa visinske i dubinske strane transportera i odstupno-nastupno (ispod nivoa stajanja bagera), proslojci koji se pojavljuju u ugljenom sloju otkopavaju se i pomoću samohodnog transportera prebacuju u otkopani prostor.

Otkopani ugalj se zajedničkim transporterom SUP doprema do drobilane gde se nakon drobljenja vrši utovar u vagone i transportuje u termoelektrane "Nikola Tesla" u Obrenovcu.

5.3.1. Deponija uglja na kopovima "Tamnava"

Na kopovima "Tamnava" formirana je zajednička deponija za kop "Tamnava-Zapadno polje" i "Tamnava-Istočno polje". Deponija je formirana na severnoj granici oba kopa. Treba napomenuti da deponija nije do kraja završena zbog kašnjenja u otvaranju kopa "Tamnava-Zapadno polje" i izgradnje TE-TO "Kolubara B".

Tehnološka šema sadašnje deponije i drobilane uglja "Tamnava" data je na slici 5.5, gde je zelenom bojom prikazana linija koja još nije izgrađena, a njena izgradnja je planirana za drugu fazu.



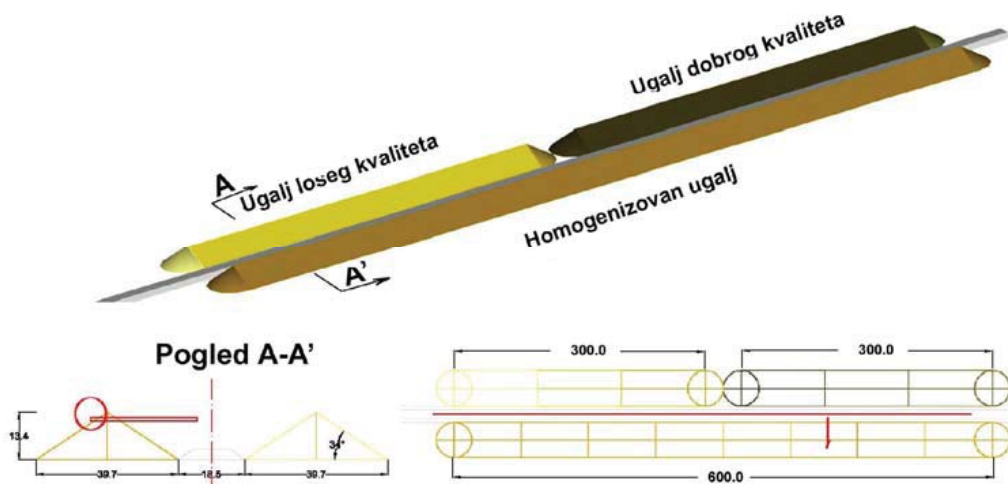
Slika 5.5. Tehnološka šema deponije i drobilane uglja "Tamnava"

Deponija je linijskog tipa, sa ukupnim izgrađenim kapacitetom od 200.000 t deponovanog uglja. Kombinovana mašina RS 35 ima kapacitet na odlaganju od 5000 t/h, odnosno pri izuzimanju 2500 t/h. Vreme potrebno za transformaciju iz radnje deponovanja u izuzimanje traje 14 minuta.

Trenutno se ova deponija više koristi kao pufer u proizvodnji, a manje za homogenizaciju. Razlog ovome je što je proizvodnja uglja na kopu

stalno na granici potrebnog kapaciteta (što ne omogućava zastoje u isporuci uglja termoelektranama za punjenje deponije kvalitetnim ugljem) i postojanje samo jedne mašine na deponiji.

Trenutno, uglj na drobilanu stiže zbirnim transporterom SUP i preko sipke utovara se u bunkere B-1, B-2 i B-3. Ukoliko je potrebno u bunkerima B-1 i B-2 se može vršiti homogenizacija uglja sa transportera SUP i deponije. Ukoliko je uglj koji dolazi sa kopova lošijeg kvaliteta od potrebnog moguće je izvršiti homogenizaciju ugljem sa deponije. Zato je potrebno da se na deponiji nalazi uglj dobrog kvaliteta. Moguće je i obrnuto da se loš uglj sa deponije homogenizuje dobrim ugljem sa kopova. Kapaciteti kod ovakvog rada su limitirani kapaciteta drobilane – 5000 t/h kada rade obe linije u drobilani ili 2500 t/h kada radi jedna linija. Homogenizacija bi se u oba slučaja vršila tako što bi se uglj koji otkopava deponijska mašina mešao ugljem sa kopova.



Slika 5.6. Buduća organizacija deponije uglja "Tamnava"

Namena deponije uglja "Tamnava" u novoj šemi upravljanja kvalitetom uglja se menja utoliko što će ona služiti kao mesto za sekundarnu homogenizaciju. Naime, osnovna ili primarna homogenizacija će se obavljati u fazi otkopavanja i transporta uglja tako da bi do tačke na kojoj se vrši usmeravanje ka drobilani ili deponiji uglj trebao da bude homogenizovan i da odgovara ugovornim uzansama kvaliteta između kopa i termoelektrane. U tom slučaju, deponija bi i dalje imala isključivo ulogu pufera. Međutim, u realnim okolnostima ne sme se isključiti mogućnost da u kraćem vremenskom periodu dođe do poremećaja u ciklusu eksploatacije te da se ka potrošačima usmeri uglj lošijih ili boljih karakteristika od zahtevanih. U tom slučaju bi se koristila i deponija u sistemu upravljanja kvalitetom. Da bi se to ostvarilo na postojećem prostoru deponije bi se formirale tri manje deponije, slika 5.6. Jednu stranu deponije bi činila deponija homogenizovanog uglja, a drugu stranu postojeće deponije deponija uglja boljeg kvaliteta od ugovorenog i deponija uglja

lošijeg kvaliteta od ugovorenog. Prostorna podela na deponiju lošijeg i boljeg kvaliteta ne bi bila potpuno definisana već bi se u zavisnosti od količina koje pristižu menjala njihova veličina. Razume se, program bi bio tako podešen da operativci i planeri u CUKU (Centar za upravljanje kvalitetom uglja) stalno imaju informaciju koliko je kojeg uglja deponovano i na kojem mestu. Po potrebi bi se izuzimao ugalj sa deponija i davao uglju koji direktno ide na drobilanu.

Ovakvim pristupom separatnog deponovanja nema potrebe da se menja postojeća tehnologija rada, niti postojeća kombinovana mašina, a raspoloživi prostor i oprema bi se maksimalno koristili.

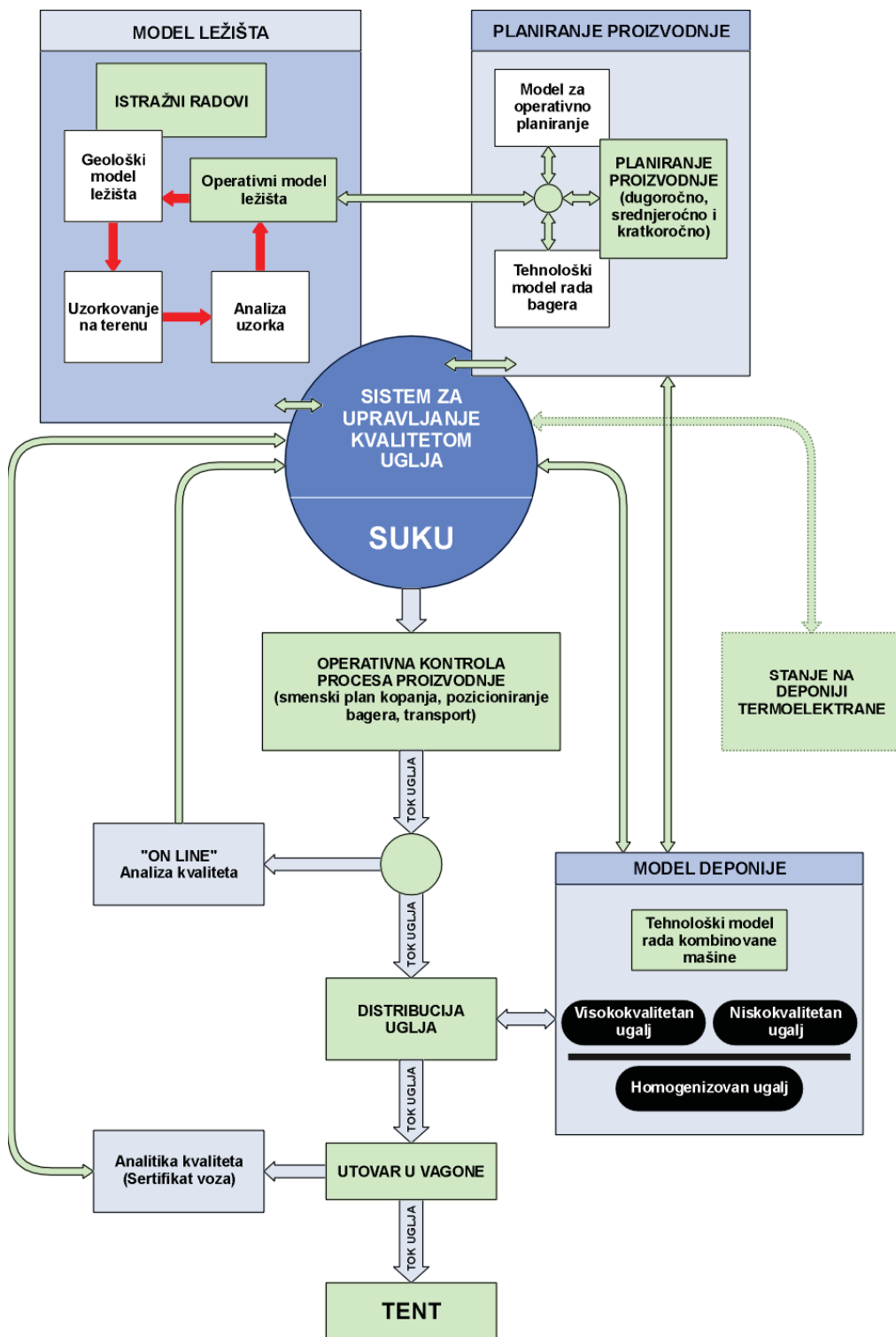
5.4. Koncept homogenizacije uglja sa kopova "Tamnava"

Na bazi iskustava koja su stečena u dosadašnjoj primeni sistema za upravljanje kvalitetom uglja u zemljama sa najvećom proizvodnjom uglja i najnovijih tehnoloških i informatičkih dostignuća u ovoj oblasti definisan je konceptualni model sistema upravljanja kvalitetom uglja na površinskim kopovima EPS-a dat na slici 5.7.

Model se zasniva na nizu aktivnosti koje podrazumevaju:

- Izradu geološkog modela ležišta,
- Izradu tehnološkog modela ležišta,
- Operativnom planiranju i analizi rada bagera,
- Operativnoj kontroli rada bagera uz korišćenje on-line analizatora,
- Korišćenju deponije, po potrebi, i
- Isporuku uglja TENT-u potrebnog kvaliteta i količine sa izveštavanjem – automatskim slanjem sertifikata voza odmah po utovaru.

Upravljanje kvalitetom faktički započinje od ležišta uglja. Za njegovo poznavanje koriste se podaci iz postojećih istražnih radova. To su podaci koji su prikupljeni radi overe rezervi uglja kod nadležnih državih organa. Istražni radovi za verifikaciju rudnih rezervi u svemu su prilagođeni cilju, uz stalnu kontrolu i ograničavanje troškova i ulaganja. Po pravilu, koje nije samo naša specijalnost, gustina istražnih bušotina, način uzorkovanja, broj analiza i tačnost podataka koji se pri tome dobijaju nije dovoljna za sofisticirano poznavanje uglja iz ležišta, odnosno za precizno (srednjeročno i kratkoročno) planiranje proizvodnje uglja. Da bi se došlo do preciznijih podataka vrši se periodična dopuna baze podataka po operativnom programu istraživanja koji je potpuno prilagođen potrebama upravljanja kvalitetom uglja. Iz istražnih bušotina ili sa čela otvorene etaže uzimaju se uzorci iz svakog litološkog člana, pažljivo pakuju i analiziraju u akreditovanim laboratorijama. Svi rezultati se redovno dostavljaju Centru za upravljanje kvalitetom uglja. Dobijeni podaci se "uvlače" u postojeću bazu podataka koja se tako stalno inovira i koriguje. Svi dalji radovi, analize i planovi obavljaju se na bazi ovako inovirane baze podataka u geološkom modelu.



Slika 5.7. Konceptualni model upravljanja kvalitetom uglja

Podaci iz korigovane baze podataka se direktno koriste za izradu kratkoročnih i operativnih planova. Ovo planiranje se obavlja preko tzv. tehnološkog modela. Tehnološki model u sebi sadrži model rada osnovne opreme na otkopavanju uglja i model rada deponije uglja. Time se na jednom mestu sučeljavaju realno stanje u ležištu i tehnološke mogućnosti opreme kojom se raspolaže. Pri tome se deponija uglja posmatra kao "novo" ležište ograničenog kapaciteta uglja potpuno određenih karakteristika. Saglasno ovome se modelski može simulirati rad celokupnog sistema tako da se konkretnim pozicioniranjem svakog bagera za rad u jasno određenom mini-bloku, sa potpuno definisanim rezom i kapacitetom može obaviti predviđanje kvaliteta uglja koji bi se (u tako postavljenoj realnoj situaciji) dobio, uz zadržavanje zadanog kapaciteta svih proizvodnih jedinica. Simulacijom bi se uočila i potreba korišćenja uglja sa deponije, odnosno mogućnosti da se korišćenjem uglja sa deponije kvalitet uglja dovede u tražene granice. Istovremeno bi simulacija pokazala efikasnost korišćenja bagera, odnosno stepen redukovanja kapaciteta bagera koji su pozicionirani u uglju slabijeg ili boljeg kvaliteta od potrebnog. Ukoliko se u predviđenom vremenu može kontinualno održavati proizvodnja uglja potrebnih karakteristika simulacija služi kao osnova za izradu kratkoročnih i operativnih planova. Ukoliko se simulacijom utvrdi da nije moguće ostvariti željene parametre (kvalitet i kvantitet) menjaju se uslovi eksploatacije bilo da se menjaju parametri rada bagera ili da se vrši korekcija pozicije nekog od bagera. U slučaju da na deponijama termoelektrane ima dovoljno uglja i da se neko vreme može raditi sa manjim kapacitetom vrši se simulacija i te situacije. Od svih mogućih situacija inženjer zadužen za planiranje izabire najracionalniju i prema njoj vodi proces otkopavanja, transporta i distribucije uglja.

Na rad CUKU naslanja se i dispečerska služba tako što će se svi raspoloživi podaci usmeravati u Centar i distribucija uglja obavljati preko Centra.

Na bazi planova proizvodnje izdaju se konkretna zaduženja svakoj proizvodnoj jedinici, a u operativnoj kontroli Centra vrši se stalno praćenje postignutih rezultata i upoređivanja sa podacima koji su dobijeni prethodnom simulacijom. Za kontrolu rada sistema koriste se instalisani on-line analizatori. On-line analizatori se pozicioniraju na svakoj proizvodnoj jedinici, odnosno iza svakog mesta mešanja ugljeva. Zbog mogućih varijacija krupnoće uglja, vlage i DTE on-line analizatori nisu u potpunosti pouzdani tako da se rezultati koriste samo kao indikativni. Ako dođe do bitnog razilaženja u podacima koji se očekuju i koje pokazuju on-line analizatori na operativnom inženjeru u Centru za kontrolu kvaliteta uglja je da proceni da li su podaci analizatora netačni ili podaci iz baze podataka nisu tačni. Razume se, prethodno je obavezan da proveri da li svaka proizvodna jedinica radi na zadanoj poziciji i sa zadanim parametrima. Saglasno donesenom zaključku operativac donosi novu naredbu sa izmenjenim parametrima rada bagera i/ili izdaje nalog da se izvrši dodatno uzorkovanje i analiziranje uglja. U zavisnosti od istog zaključka operativac može privremeno promeniti i plan distribucije uglja,

bilo da deo proizvodnje usmeri ka kopovskoj deponiji ili da poveća količinu uglja koji izuzima sa deponije. Ukoliko, pak, kontinualni analizatori pokazuju da je kvalitet uglja u očekivanim granicama vrši se distribucija uglja prema planu.

Distribucija uglja podrazumeva usmeravanje uglja ka termoelektranama ili ka kopovskoj deponiji. Sistem se tako projektuje da obezbeđuje zadanu količinu uglja u zadanim intervalima isporuke. Plan je da se korišćenje elektranskih deponija svede na najmanju moguću meru, što je ekonomski opravdano. Ukoliko je kapacitet proizvodnje uglja veći od plana isporuke termoelektranama višak uglja se usmerava na kopovsku deponiju. Korišćenje deponije podrazumeva prethodno pozicioniranje deponijske mašine kako bi se ugalj, saglasno DTE, deponovao u pravom delu deponije. Deponija je praktično izdeljena u tri manje deponije. Na oko 1/2 zapremine se deponuje ugalj čiji je kvalitet u granicama koje su ugovorena sa termoelektranama, a na po 1/4 zapremine deponije kvalitetniji i ugalj slabijih karakteristika od ugovorenih (zadanih). Da bi se deponija mogla preciznije koristiti unutar svakog dela deponije formiraju se po tri dodatne zone kvaliteta uglja tako da se unutar svake deponuje ugalj približno istih karakteristika (DTE je u granicama od oko 800 kJ/kg). Distribucija podrazumeva i nalog da se nedostajuće količine uglja potrebnog kvaliteta izuzimaju sa deponije i usmeravaju ka termoelektranama.

Utovar u vagone je, sa strane Rudnika, poslednja aktivnost posle koje Rudnik ne može da utiče na kvalitet uglja. Ugalj utovaren u vagon treba da odgovara svim ugovorenim karakteristikama, a poslednju kontrolu predstavlja on-line analizator. Ovaj analizator radi u tehnološki najpovoljnijim uslovima, jer su varijacije svih parametara najniže, što znači da postoje realne mogućnosti da analizator daje tačne i pouzdane rezultate. Rezultat koji ovaj analizator pokaže štampa se kao sertifikat koji se, istovremeno, šalje ka termoelektrani. Ako se, iz bilo kojih razloga, pokaže da kvalitet uglja ne odgovara ugovorenim uzansama (slabiji/kvalitetniji) o tome se odmah informiše dispečer u termoelektranama tako da on ima dovoljno vremena da organizuje istovar voza ili pojedinih vagona saglasno organizaciji rada deponije kod termoelektrane.

Ovaj konceptualni model, dakle, predviđa kompleksno softversko upravljanje procesom proizvodnje uglja uz kontinualnu kontrolu postignutih rezultata i uspostavljanje više mesta na kojima se može intervenirati kako bi isporučeni ugalj bio uvek u ugovorenim (zahtevanim) granicama.

5.5. Softversko rešenje modela

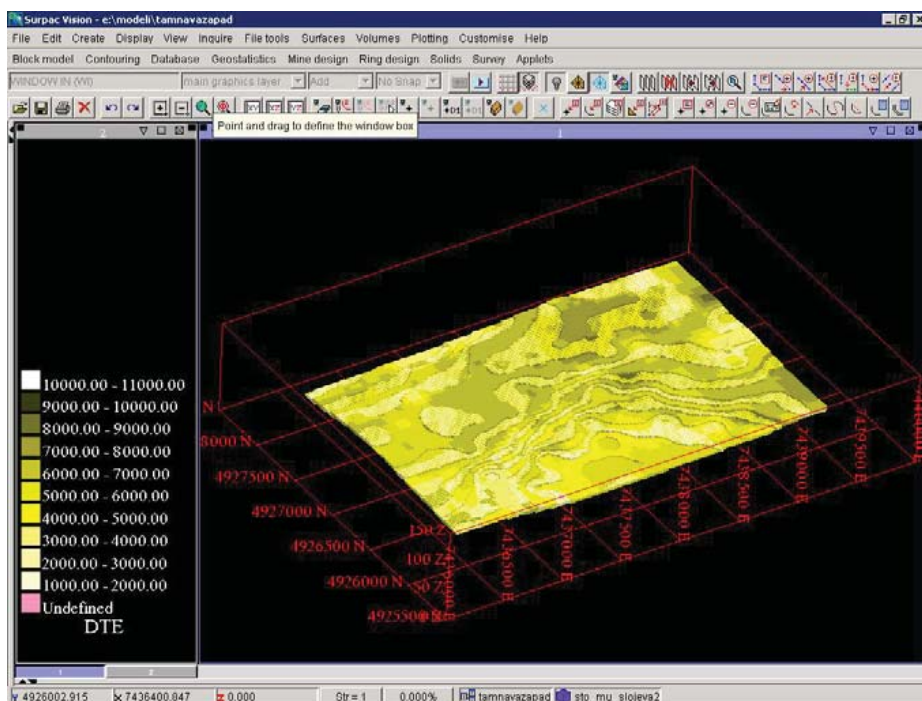
Osnovu za efikasno planiranje homogenizacije uglja predstavlja svakako kvalitetno razvijen sistem (softver) na bazi konceptualnog modela. Ovaj sistem treba da verodostojno odslikava operativne uslove rada na eksploataciji uglja kako sa aspekta geologije tako i sa aspekta tehnologije rada. Za potrebe ovog projekta razvijen je softver nazvan Sistem za upravljanje kvalitetom uglja (SUKU).

Sistem je razvijen u MS Visual Studio .NET 2003 razvojnom okruženju. Baza podataka je razvijena u MS SQL Server-u, verzija 2000. Osim toga, za korišćenje aplikacije je potrebno posedovati AutoCAD kompanije Autodesk, verzija 2004 ili novija, kako bi bilo moguće u potpunosti iskoristiti sve funkcionalnosti softvera.

5.5.1. Geološki model ležišta

Uzimanje uzoraka za potrebe određivanja kvaliteta uglja obavlja se tokom geoloških istraživanja radova. Na osnovu ovih ispitivanja utvrđuje se kvalitet uglja u celom eksploatacionom polju, koji služi za projektovanje termoelektrane. Odnosno, karakteristike ložišta i kotla, određuju se na osnovu izmerenih parametara kvaliteta uglja (DTE, pepeo, sumpor, itd.) s obzirom da je ležište prirodna tvorevina koja je praktično nepromenljiva u eksploatacionom veku ležišta. Na osnovu istih istraživanja pravi se geološki model ležišta, definiše eksploataciono polje, oprema za otkopavanje i transport. Definiše se i tehnologija rada. Dakle, istražni radovi pre početka rada površinskog kopa imaju izuzetnu važnost. Zbog toga je posebno važno da su podaci dobijeni istražnim radovima što pouzdaniji kako bi se ležište moglo što tačnije kvalitativno i kvantitativno definisati za potrebe upravljanja eksploatacijom i kvalitetom uglja.

Raspoloživa geološka baza o ležištu "Tamnava" je korišćena za izradu geološkog modela kvaliteta uglja u ležištu primenom "Surpac" paketa za modeliranje ležišta mineralnih sirovina, slika 5.8.

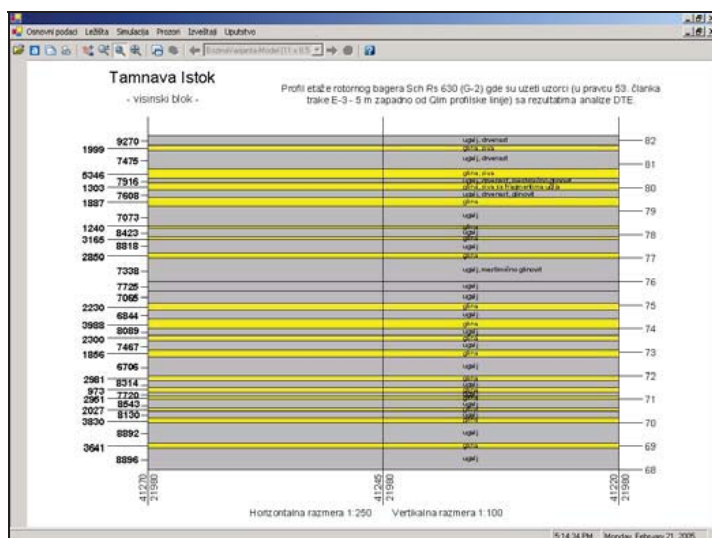


Slika 5.8. Geološki blok model kvaliteta uglja ležišta "Tamnava – Zapadno polje"

Analizom raspoloživih parametara u bazi podataka o kvalitetu uglja, konstatovano je da su oni određeni laboratorijski standardizovanim metodama na jezgru dužine 5 m, tako da su izolinije kvaliteta uglja praktično davane za celu moćnost ugljenog sloja, slika 5.8. Interpretacija parametara kvaliteta uglja na ovaj način svakako nije dovoljno pouzdana za potrebe homogenizacije uglja s obzirom da ova procedura u praksi ima nedostatke pogotovo kada se radi o delovima ležišta gde postoji velika raslojenost (prisustvo većeg broja proslojaka gline manje debljine) i slabijem kvalitetu uglja. U većini slučajeva pri određivanju kvaliteta korišćeni su različiti kriterijumi selektivnosti za međuslojnu jalovinu (0,5; 0,7; 1 m), kao i određivanje donjeg nivoa ekonomske vrednosti kvaliteta uglja (5230 kJ/kg), što za posledicu ima nerealnu sliku o ležištu sa aspekta upravljanja eksploatacijom i kvalitetom uglja.

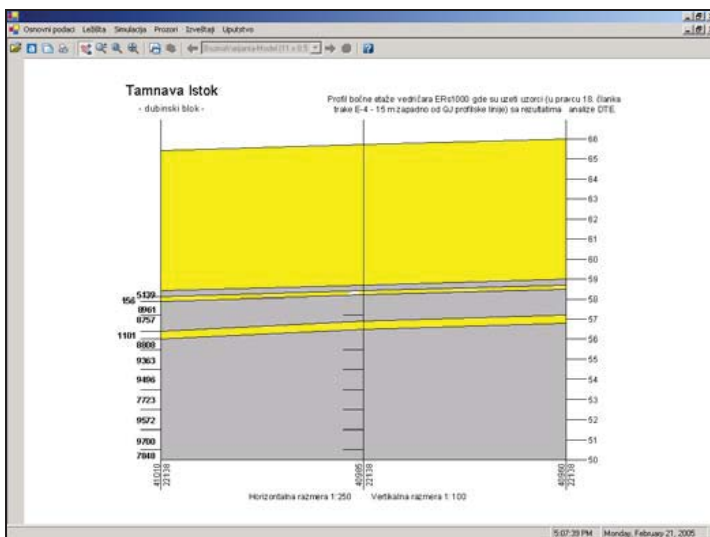
Iz navedenih razloga pristupilo se dodatnim – operativnim geološkim istraživanjima na terenu, odnosno uzimanju uzoraka sa otvorenih etaža na mestu rada otkopne mehanizacije, na oba površinska kopa "Tamnava – Istok" i "Tamnava – Zapad", kako bi se verodostojno mogao definisati operativni geološki model. Ova istraživanja je obavila, početkom februara meseca 2005. godine, ekipa stručnjaka (rudara i geologa) koja je posebno formirana od strane menadžmenta Kolubare da se bavi kvalitetom uglja na ležištu "Tamnava". Korišćena je metoda uzorkovanja na svakom intervalu promene kvaliteta uglja, tako da su uzorci uzimani u intervalima 0,2 do 1 metra, posle čega je odmah urađena laboratorijska analiza čime su dobijeni veoma pouzdani podaci o kvalitetu.

Rezultati laboratorijskih analiza kvaliteta uglja na mestu kopanja bagera na površinskom kopu "Tamnava – Istok" dati su na slikama 5.9 i 5.10, dok je na slici 5.11 prikazan visinski i dubinski blok uglja na kopu "Tamnava – Zapad".

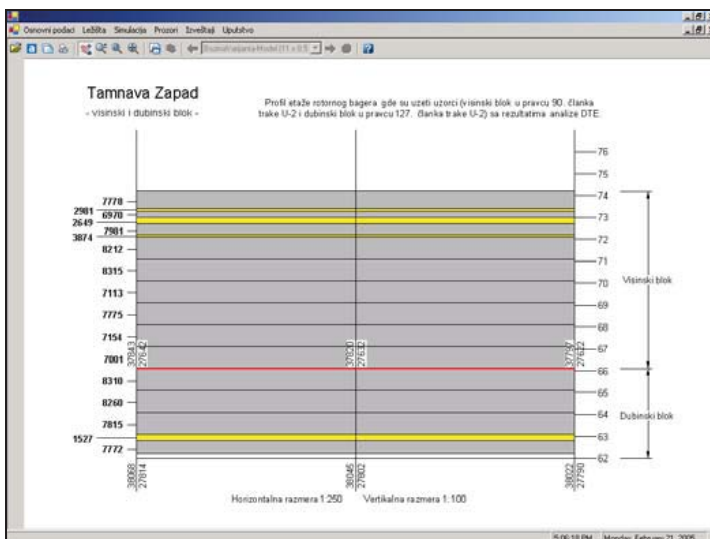


Slika 5.9. Visinski blok bagera SchRs 630

Kreiranje operativnog geološkog modela - pod operativnim geološkim modelom u kontekstu homogenizacije uglja se podrazumeva blok model kod koga su dimenzije i orijentacija bloka u XY ravni prilagođene osnovnoj otkopnoj mehanizaciji koja se koristi na određenom kopu, dok se po visini etaže teži što vernijem reprodukcivanju slojevitosti promene kvaliteta uglja u sloju. Formira se na bazi operativnih rezultata geoloških istraživanja (slike 5.9-5.11), tako što se novi podaci unose u bazu podataka softvera SUKU i na dalje se koriste kao osnova za izradu operativnih planova i tehnoloških modela rada osnovne mehanizacije.



Slika 5.10. Dubinski blok bagera ERs 1000



Slika 5.11. Visinski i dubinski blok bagera SchRs 630

U prvom koraku se kreira prostorni položaj operativnog geološkog modela, odnosno dela ležišta koje će se kratkoročno otkopavati površinskim kopom, slika 5.12.

	Zapadna granica	Južna granica	Istocna granica	Severna granica
▶	7436000	4927000	7438000	4925000
*				

Slika 5.12. Izgled panela za definisanje operativnog geološkog modela

Izgled panela za unos podataka o otkopnom bloku je prikazan na slici 5.13.

Slika 5.13. Panel za unos podataka o operativnom geološkom bloku

Unos podataka započinje definisanjem prostornog položaja otkopnog bloka, tako da ovi podaci omogućavaju integrisanje novodefinisanog bloka u već postojeći geološki model.

Položaj bloka u XY ravni je dat izmerenim koordinatama mesta uzimanja uzoraka, dok kota krovine i podine etaže definiše položaj ugljenog sloja po visini. Ovi podaci su neophodni kako bi se mesto uzorkovanja ispravno lociralo u modelu i kako bi uneti podaci mogli biti ispravno interpretirani.

Kada je sam blok kreiran, potrebno je definisati sve slojeve koji su definisani istražnim radovima. Unos slojeva počinje od krovine bloka, i za svaki sloj je potrebno uneti kote krovine i podine, kao i vrednosti svih parametara koji se prate, u ovom slučaju DTE, sadržaj pepela, vlage i sumpora. Spisak navedenih parametara ni u kom slučaju nije konačan, već se može prema potrebama korisnika proširivati. Unete podatke je potrebno potvrditi čime se kreira sloj. Po završenom unosu svih slojeva uglja, blok se snima u bazi u odgovarajući model ležišta.

5.5.2. Kreiranje tehnološkog modela

Na osnovu podataka o operativnim geološkim blokovima, koji se očitavaju iz baze, vrši se kreiranje tehnološkog modela rada osnovne mehanizacije koja se koristi za otkopavanje uglja. Prvi korak predstavlja pozicioniranje etažnih ravni, kako bi se ugljeni sloj podelio na otkopne etaže. Etažne ravni se definišu kao površi, pri čemu je moguće da nagib površi u različitim delovima ležišta bude različit u skladu sa primenjenom mehanizacijom i potrebnim kapacitetom. Etažne površi se diskretizuju na sličan način kao i samo ležište, pri čemu se koriste već definisane dimenzije - dužina, širina i orijentacija bloka.

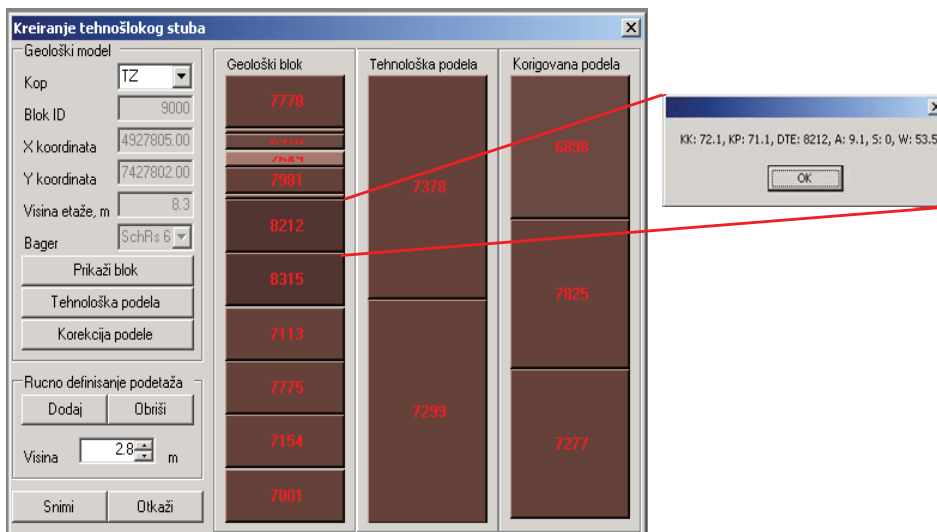
Budući da geološki model može biti veoma glomazan za kompjutersku obradu i manipulisanje, s obzirom da sadrži i već otkopane blokove, softver omogućava da se definiše operativni tehnološki model za kratkoročno otkopavanje samo delova ležišta. Ovim se povećava brzina rada, budući da je broj blokova koje treba proračunati daleko manji. Osim kreiranja novog, omogućeno je i pregledanje postojećih modela, ali ne i njihova modifikacija. Umesto toga, oni se mogu koristiti kao osnova za kreiranje novog modela kod koga će pojedini blokovi biti korigovani.

Definisanje tehnološke podele se može izvesti za bilo koji broj izabranih blokova (ili za sve blokove ležišta) odjednom, a postoji i mogućnost njenog definisanja za svaki operativni blok pojedinačno. Primenjena metodologija kreiranja podetaža u funkciji homogenizacije biće prikazana za otkopni blok visinske etaže bagera SchRs630, koji je ograničen koordinatama 4 627 805, 7 427 802 (127 članak trake U-2) na površinskom kopu "Tamnava-zapadno polje".

Na slici 5.14 prikazan je panel za kreiranja tehnološke podele etaže.

Procedura započinje očitavanjem odgovarajućeg operativnog geološkog bloka iz baze podataka. Bloku je moguće pristupiti (pošto se izabe-

re površinski kop) navođenjem njegovog broja ili koordinata. Izabrani otkopni blok uglja se sastoji od niza slojeva sa različitim kvalitetom (vrednostima DTE), kao najvažnijim parametrom koji se prati. Ostali parametri, bilo kog sloja u bloku mogu se očitati tako što se mišem izabere konkretan sloj, slika 5.14.



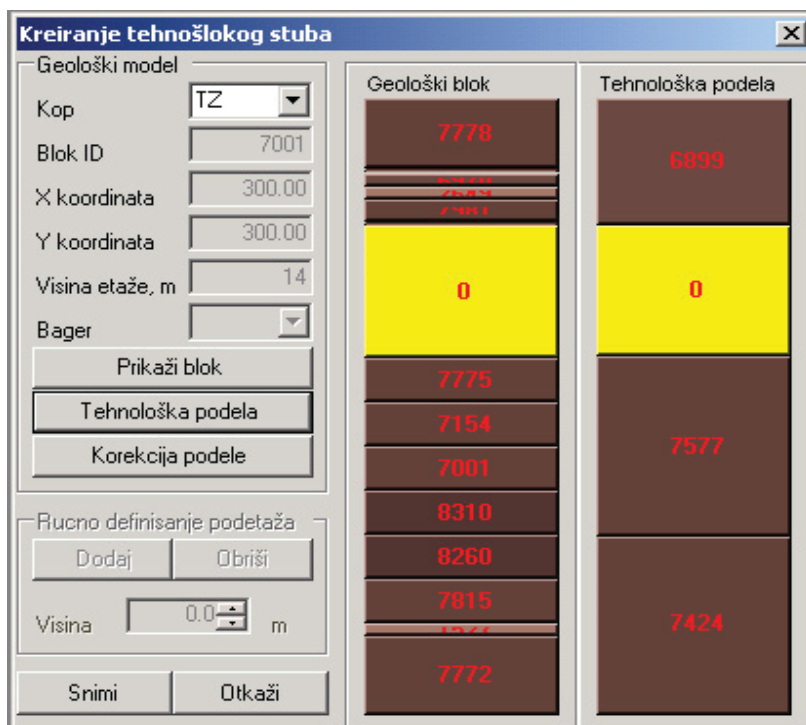
Slika 5.14. Izgled panela za kreiranje tehnološkog bloka

U sledećem koraku se vrši izbor konkretnog bagera koji će otkopavati dati blok, posle čega se vrši podela bloka na podetaže. Pri prvom prolasku kroz blok softver vrši izdvajanje eventualnih jalovih proslojaka koji će se otkopavati selektivno. Od ovakvih proslojaka se odmah formiraju posebne podetaže, a zatim se pristupa podeli preostalog dela ugljenog sloja na podetaže. Pri deljenju se vodi računa o tehnološkim karakteristikama izabranog bagera, tako što će se visina podetaže kretati u intervalu $0,5D + 0,7D$, pri čemu se teži da broj podetaža bude maksimalno racionalan. Za svaku podetažu vrši se preračunavanje parametara kvaliteta (DTE, A, S, w, itd.). Proslojci čija je debljina manja od granice selektivnog kopanja otkopavaju se zajedno sa ugljem, pri čemu se kod proslojaka peska i šljunka uzima za DTE vrednost 0, a u slučaju gline vrednost će biti negativna. Vrednost razblaženja kvaliteta uglja u slučaju otkopavanja proslojaka gline sa ugljem je utvrđena laboratorijskim ispitivanjima i krive zavisnosti su ugrađene u softver. Na ovaj način se uvek teži (ukoliko je to moguće) da ponderisani kvalitet uglja u okviru podetaže bude u dijapazonu kvaliteta koji zahteva termoelektrana, slika 5.14 – tehnološka podela.

Program automatski, na bazi prethodno definisanih kriterijuma, daje predlog optimalne tehnološke podele. Planer tehnološku podelu računara može korigovati (visinu i/ili broj podetaža) ukoliko postoje operativni razlozi za to na terenu, slika 5.14 – korigovana podela. Izabrana varijanta tehnološke podele se na kraju snima u bazu. Na isti način moguće je

vršiti korekciju tehnoloških podela kreiranih pri kratkoročnom planiranju otkopavanja za čitavo ležište ili njegove delove.

Pošto u ovom slučaju kartiranja otkopni blok u strukturi ugljenog sloja nije sadržao proslojak jalovine za selektivno otkopavanje, a radi potreba ilustracije primenjene metode, modifikovan je jedan od postojećih otkopnih blokova. Sa slike 5.15 može se videti, u datom slučaju, da je ugljena etaža podeljena u četiri podetaže pri čemu se u drugoj podetaži otkopava selektivna jalovina.



Slika 5.15. Tehnološka podela u slučaju selektivnog otkopavanja jalovine

Na ovaj način se formiraju otkopni blokovi sa tehnološkom podelom za svaki od bagera.

5.5.3. Model deponije uglja

Integralni deo sistema za upravljanje kvalitetom uglja svakako predstavlja i deponija uglja. Značaj koji deponija ima u sistemu homogenizacije uglja zavisi od koncepcije njene upotrebe. Strukturirana upotreba rudničke deponije omogućava samo ograničene intervencije u kvalitativnom i kvantativnom smislu. Ovakva upotreba podrazumeva koncepciju deponije sa tri jasno definisana segmenta deponije sa "niskokvalitetnim", "visokokvalitetnim" i "homogenizovanim" ugljem. Ugalj se u ovim segmentima odlaže kontrolisano na pozicije prema klasama kvaliteta.

Prilikom odlaganja vodi se računa o tome da se ugalj sipa na delu predviđenom za prihvatanje datog kvaliteta. S obzirom da sa kopova dolazi ugalj poznatog kvaliteta, za ovakvo sortiranje potrebno je ostvariti minimum kontrole: praćenje kvaliteta uglja koji se odlaže, i praćenje odložene količine date klase kvaliteta. Ovako formirana deponija omogućava korigovanje kvaliteta uglja koji ide ka termoelektranama u mnogo širim granicama. Deo deponije sa homogenizovanim ugljem se ne deli na segmente, budući da se odlaganje planira na takav način da se po celoj dužini ostvari kvalitet uglja u potrebnom dijapazonu.

Razume se, Rudnik ima interesa da ugalj šalje direktno sa kopova u termoelektranu, bez prethodnog deponovanja. Saglasno tome, deponovanje uglja treba posmatrati kao nužnu potrebu koja se koristi radi izbegavanja ekscenčnih situacija.

U programskom sistemu za upravljanje kvalitetom uglja (SUKU) implementiran je model deponije. Operateru se nudi potpun uvid u stanje deponije, kako po pitanju ponderisanog kvaliteta u svakom segmentu, tako i po pitanju količina koje su na raspolaganju po segmentima deponije. U zavisnosti od raspoloživog stanja operater donosi odluku sa kog dela deponije će se uzeti ugalj i vrši pozicioniranje deponijske mašine, u zavisnosti od toga da li je potrebno podići ili oboriti kvalitet mešavine uglja koji se isporučuje termoelektranama. Osim toga, u slučaju zastoja nekog od bagera i nemogućnosti da se postigne projektovani kapacitet, vrši se dopuna kapaciteta sa dela deponije sa homogenizovanim ugljem.

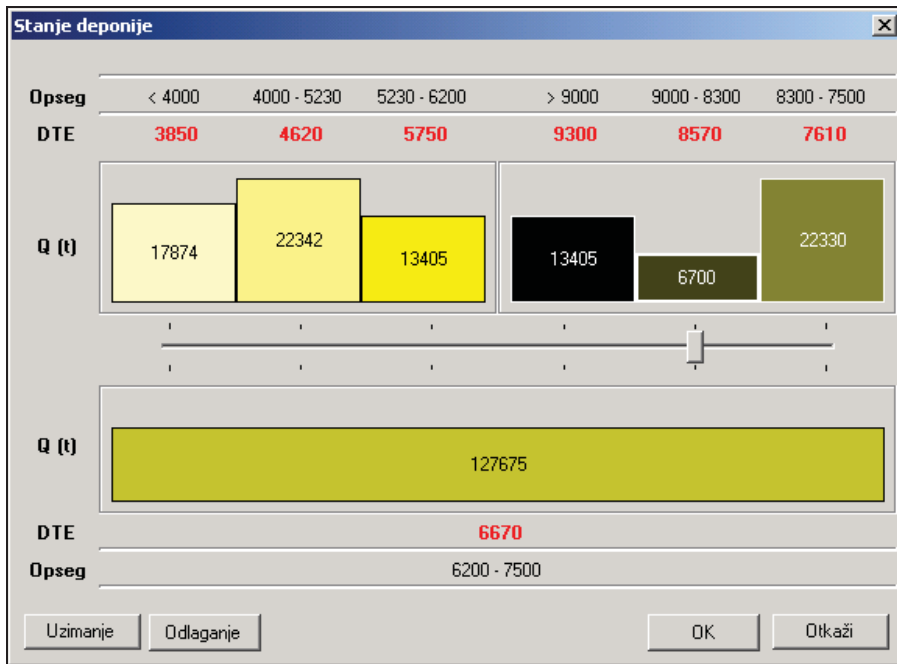
Da bi se umanjila mogućnost da deponija ostane bez uglja određenog kvaliteta sistem automatski upozorava operatera da je količina uglja određenog kvaliteta pala ispod definisanog minimuma i da je potrebno izvršiti dopunu.

Dopunjavanje deponije se vrši tako što se deponijska mašina pozicionira na odgovarajući segment i vrši odlaganje. Količina materijala na segmentu deponije se uvećava za odloženu količinu i vrši se ponderisanje vrednosti DTE. Vrednosti prikazane na displeju operatera (slika 5.16) će se ažurirati u skladu sa novonastalim promenama.

Ovakvim rešenjem omogućava se optimalno raspolaganje ugljem odloženim na deponiji i povećava efikasnost deponije u sistemu homogenizacije.

5.5.4. Model za operativno planiranje proizvodnje i kontrolu kvaliteta uglja

Primarni cilj ovog modela je da pomogne planeru u kontrolisanju kvaliteta uglja koji se otkopava na svim otkopnim mestima u planskom periodu. Ovi modeli optimiziraju proizvodnu količinu uglja, obično određenu kao funkciju cilja za koju važi skup ograničenja koja definišu izvodljivost rešenja. Funkcija cilja i ograničenja su matematičke funkcije varijabli i parametara odlučivanja. Varijable odlučivanja su aspekti sistema koji mogu biti kontrolisani, dok parametri ne mogu biti kontrolisani od strane donosioca odluke.



Slika 5.16. Izgled panela za kontrolu rada deponije

Ciljevi modela operativnog planiranja rada bagera su dvostruki. Prvo, treba da budu zadovoljeni zahtevi vezani za kvalitet uglja u određenom planskom periodu pri čemu važe neka fizička i geološka ograničenja i koriste se određena pravila i metode otkopavanja. Drugo, zahtevi vezani za količinu treba da osiguraju projektovanu smensku (dnevnu) proizvodnju uglja. Ova dva cilja imaju najviši prioritet u operativnom planiranju jer izostanak kontrole kvaliteta i količine uglja imaju neizostavno nepovoljan ekonomski efekat za rudnik.

Prilikom formiranja modela, posebno se vodilo računa o sledećim faktorima:

- Operativno planiranje treba da bude u skladu sa kratkoročnim, srednjoročnim i dugoročnim planovima. Ovo ograničenje sprečava otkopavanje samo uglja visokog kvaliteta ili niskog kvaliteta i isto tako usaglašava razvoj rudnika sa dugoročnim ekonomskim optimumom.
- Model treba da je dovoljno fleksibilan kako bi verodostojno predstavljao stanje rudarskih radova i za vreme perioda u kojima se javljaju tehnološki problemi.
- Za svaki planski period, npr. smenu, sve raspoložive otkopne mašine i posade radnika treba da su angažovane kako bi operativni troškovi bili što niži.

Definisanje problema - upravljanje kvalitetom uglja sa gledišta rešavanja problema homogenizacije se može svesti na problem pronalazjenja optimalnog kapaciteta sa kojim treba da rade bageri u proizvodnom

sistemu (na jednom ili više kopova) tako da pri poznatom kvalitetu uglja na otkopnom bloku (podetaži) i tehnološkim ograničenjima ostvari optimalnu isporuku uglja potrošaču.

Izbor metode - Jedna od metoda kojom se uspešno rešavaju slični problemi je Simpleks metoda (algoritam). *Simpleks algoritam* pronalazi maksimum (ili minimum) linearne funkcije više promenljivih pri definisanim linearnim ograničenjima.

$$\text{Ciljna funkcija: } F = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

$$\text{Ograničenja: } A_{i1} X_1 + A_{i2} X_2 + \dots + A_{in} X_n \leq, =, \geq B_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$$

gde su: A_{ij} , B_i , C_j konstante, a X_i promenljiva.

Postupak rešavanja postavljenog problema je sledeći:

Generisanje Simpleks tabele na osnovu ciljne funkcije i ograničenja. Nebazne (slobodne) promenljive iz ograničenja se unose u poseban vektor i moraju sve biti pozitivne.

Pozitivne izravnavajuće (slack) promenljive se generišu automatski za ograničenja tipa \leq i smeštaju u bazu (postaju zavisne promenljive). Negativne izravnavajuće promenljive se generišu automatski za ograničenja tipa \geq i ne pojavljuju se u polaznoj bazi. Veštačke promenljive se generišu automatski za \geq i = tip ograničenja i smeštaju se u polaznu bazu (tj. bazni vektor).

Prva faza metode pokušava da eliminiše veštačke promenljive bez obzira na ciljnu funkciju. Ukoliko uspe, ova faza daje polazno dopustivo bazično (feasible) rešenje iz domena ograničenja tj. rešenje koje zadovoljava sva postavljena ograničenja.

Odrediti da li je ovo rešenje optimalno. Eliminirati bazne promenljive iz ciljne funkcije i proveriti znak koeficijenata svake nebazne promenljive. Ako je bilo koji od ovih koeficijenata pozitivan, optimalnost još nije dostignuta i rešavanje se nastavlja korakom 5. Ako jeste, rešavanje se završava i rezultat se prosleđuje.

Odrediti promenljivu koja treba da uđe u bazu: od nebaznih promenljivih se bira ona koja najviše uvećava ciljnu funkciju, tj. bira se nebazna promenljiva čiji je koeficijent u ciljnoj funkciji najveći. Neka je k indeks promenljive koja ulazi u bazu.

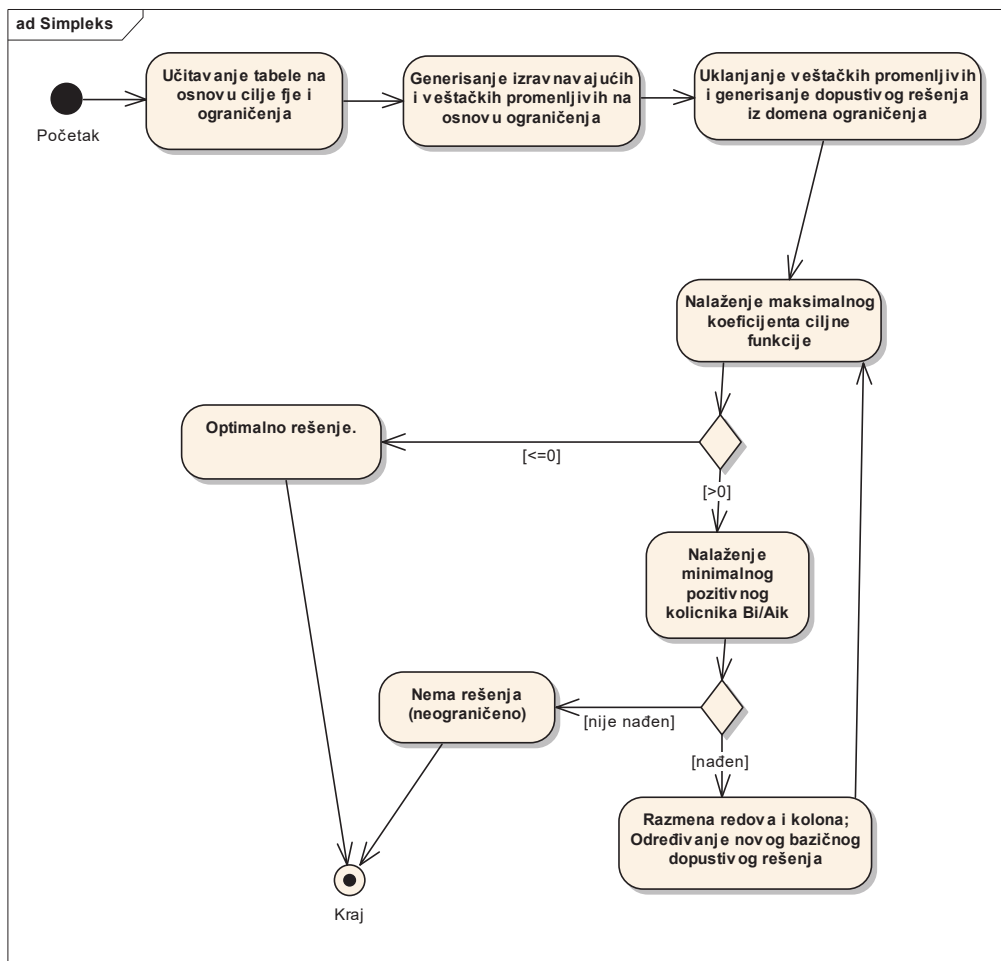
Odrediti promenljivu koja napušta bazu birajući onu baznu promenljivu koja prva dostiže nulu kada se uvećava promenljiva koja je ušla u bazu (iz koraka 5). Posmatraju se pozitivni količnici B_i/A_{ik} i bira se promenljiva koja odgovara najmanjem i ona izlazi iz baze.

Odrediti novo dopustivo bazično (feasible) rešenje. Elementarne transformacije se izvršavaju na redovima da bi se bazne promenljive izrazile preko nebaznih. Cela tabela se tako transformiše, uključujući red sa ciljnom funkcijom. Vratiti se na korak 4.

Izlazni kodovi označavaju:

- optimalno rešenje je nađeno,
- ne postoji konačno rešenje tj. ograničenja su neograničena,
- ne postoji bazično dopustivo rešenje.

Na slici 5.17 je prikazan dijagram koji ilustruje opisanu proceduru.



Slika 5.17. Dijagram aktivnosti Simpleks metode

Formiranje modela – ako u proizvodnom sistemu imamo n bagera kapaciteta Q_i , $i = 1 \dots n$ (broj bagera).

Funkcija cilja u modelu je definisana kao:

1. $F_{\max} = C_1 \times Q_1 + \dots + C_n \times Q_n$; $C_i = \text{Cena (DTE}_i)$, $i=1 \dots n$
– maksimizacija profita
2. $F_{\min} = (\text{DTE}_1 - \text{DTE}_{\text{opt}}) \times Q_1 + \dots + (\text{DTE}_n - \text{DTE}_{\text{opt}}) \times Q_n$
– minimizacija odstupanja parametra kvaliteta

Definisana ograničenja u modelu su:

- Tehnološka ograničenja kapaciteta bagera:

$$Q_{i\min} \leq Q_i \leq Q_{i\max}, i=1, \dots, n$$

- Ograničenje zahtevanog kapaciteta proizvodnog sistema:

$$Q_{\min} \leq Q_1 + \dots + Q_n \leq Q_{\max},$$

- Ograničenje kvaliteta uglja:

$$DTE_{\min} \leq (DTE_1 \times Q_1 + \dots + DTE_n \times Q_n) / (Q_1 + \dots + Q_n) \leq DTE_{\max}$$

- Ograničenje pepela:

$$(A_1 \times Q_1 + \dots + A_n \times Q_n) / (Q_1 + \dots + Q_n) \leq A_{\text{dozv}}$$

- Ograničenje sumpora:

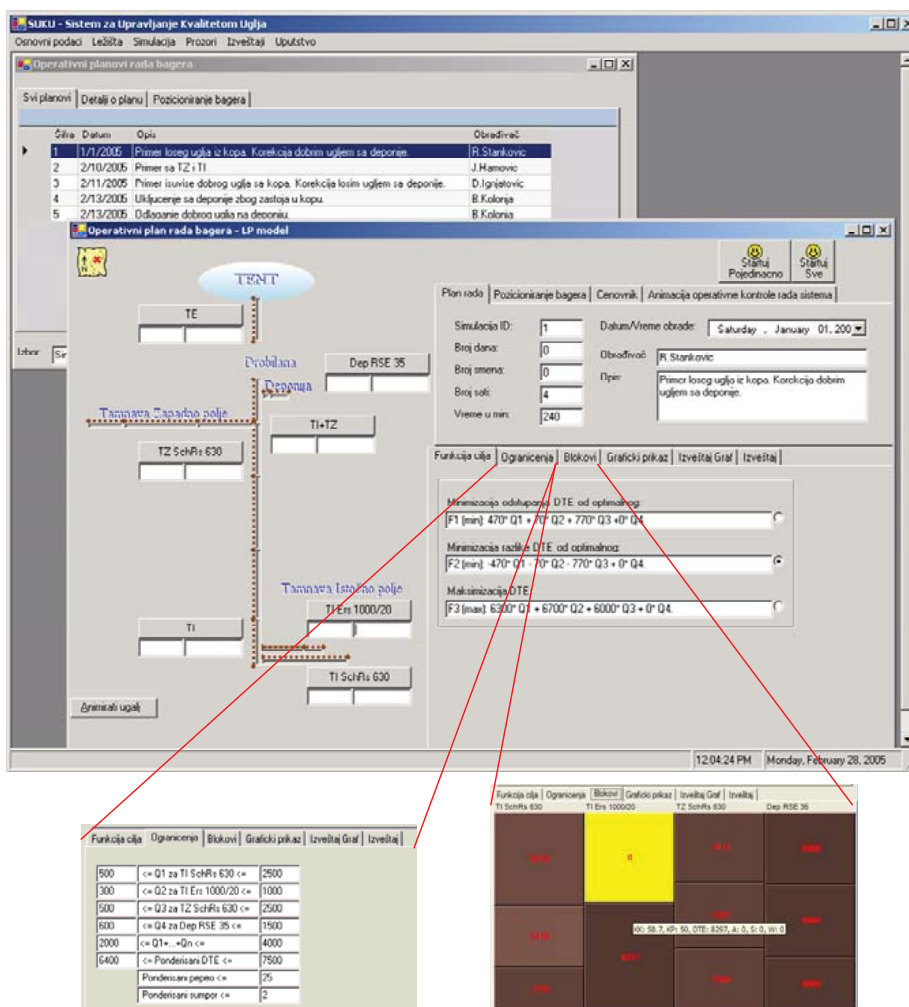
$$(S_1 \times Q_1 + \dots + S_n \times Q_n) / (Q_1 + \dots + Q_n) \leq S_{\text{dozv}}$$

Rešavanje problema - Programsko rešenje simpleks metode je realizovano kao komponenta Sistema za upravljanje kvalitetom uglja (SUKU). Na slici 5.18 je prikazan panel softvera na kom se mogu videti polazni parametri: ciljna funkcija i ograničenja modela. Softver određuje operativni kapacitet sa kojim treba da radi svaki od raspoloživih bagera, a na osnovu definisanih tehničkih i tehnoloških ograničenja i na osnovu podataka o kvalitetu uglja u blokovima, odnosno podetažama koje bageri otkopavaju. Funkcija cilja u LP (linearno programiranje) modelu je minimizacija odstupanja od optimalne vrednosti za termoelektranu, a to je u ovom slučaju 6700 kJ/kg ($\pm 10\%$). Softver pruža mogućnost izbora jedne od više ponuđenih funkcija cilja, ali za rešavanje konkretnog problema je najpogodnija predložena funkcija minimizacije odstupanja od projektovanog parametra sagorevanja uglja u bloku termoelektrane. Na levom delu slike 5.18 je prikazana shema transportnog sistema i bagera, a u desnom se nalaze kartice sa panelima za zadavanje ulaznih parameta i prikaz međurezultata. U donjem levom panelu su prikazana ograničenja modela, a u desnom pozicije bagera: blokovi i podetaže, sa vrednostima DTE.

Stabilizovanje rešenja - integrisanje simpleks metode u Sistem za upravljanje kvalitetom uglja (SUKU) je urađeno u okviru dela softvera kojim se pravi operativni plan rada bagera. Simulaciju rada bagera, odnosno kreiranje (predloga) operativnog plana rada je moguće vršiti za različite vremenske periode, nekoliko sati, jednu ili više smena ili dana. Na početku simulacije bageri se pozicioniraju u prostoru, odnosno za svaki bager se unose blok i podetaža na kojoj se oni nalaze, a softver na osnovu te pozicije iz baze podataka i ranije definisanog tehnološkog modela očitava kvalitet uglja koji bageri otkopavaju i ostale parametre potrebne za rešavanje simpleks metode. Kao rezultat LP procedure pro-

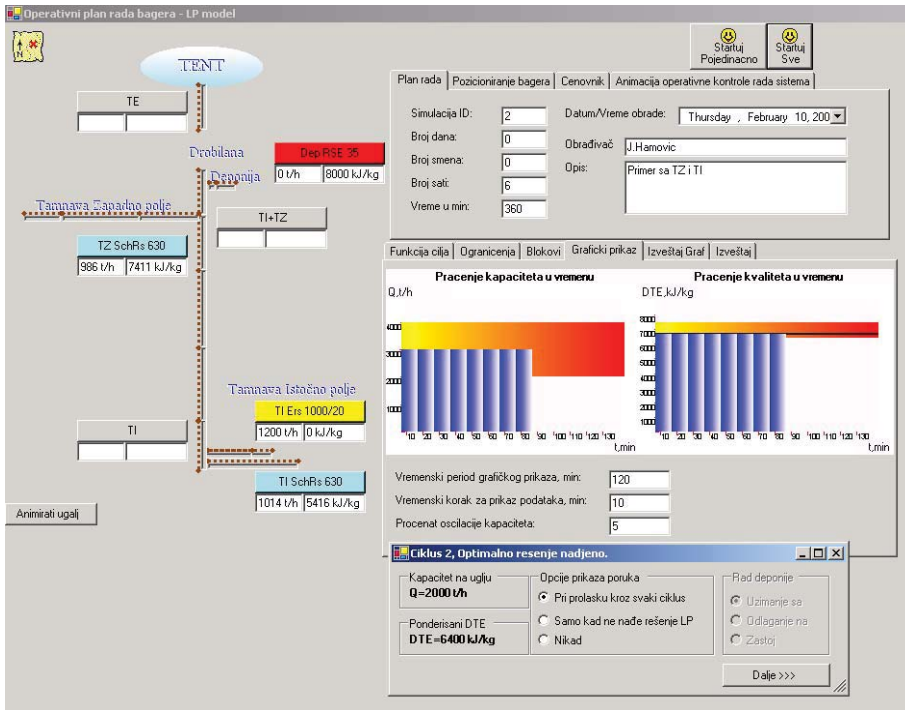
gram vraća operativni kapacitet kojim svaki bager treba da radi, što se vidi na slici 5.18.

Sve dok su polazni parametri modela važeći, tj. dok su isti bageri raspoloživi i dok rade u istom kvalitetu važe dobijeni operativni kapaciteti. Čim se neki od uslova promene, tj. čim neki od bagera promeni podetažu ili se desi zastoj na nekom od bagera, menjaju se uslovi rada i LP procedura se automatski ponovo startuje za novonastalu situaciju. Na osnovu tehnologije rada evidentirane u bazi kroz tehnološke parametre bagera i bloka prati se njihovo napredovanje u prostoru i shodno tome se uzima odgovarajući kvalitet uglja iz modela ležišta.

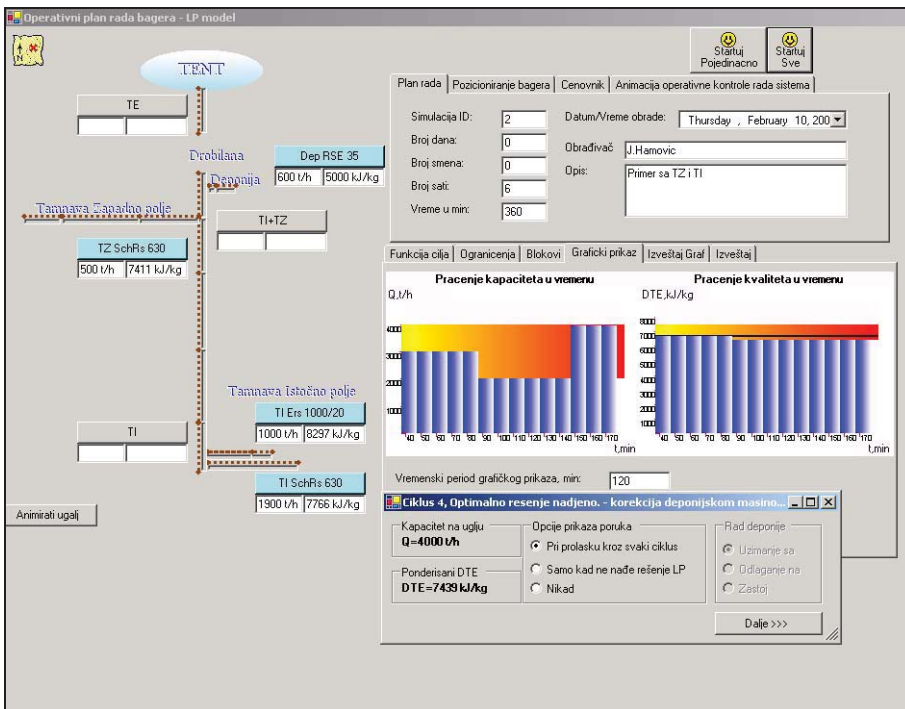


Slika 5.18. Panel sa parametrima modela operativnog planiranja

Pri svakom pozivu LP modela mogu da se dese dve situacije: da problem ima rešenje bez uključenja deponije ili da ne postoji rešenje ciljne funkcije pod zadatim ograničenjima (bez deponije). Ukoliko se nađe rešenje, korisnik se informiše i simulacija se nastavlja (slika 5.19).



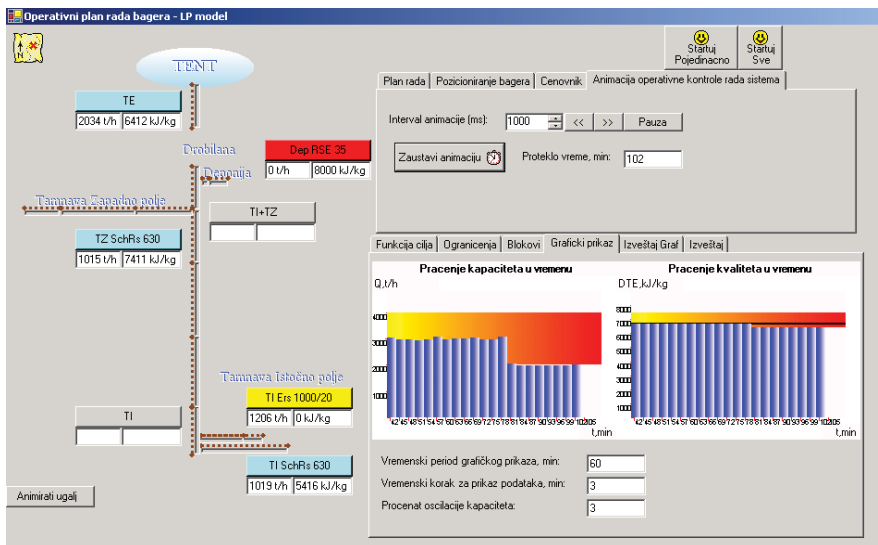
Slika 5.19. Panel sa primerom kada LP model ima rešenje bez deponije



Slika 5.20. Panel sa primerom rešenja problema uključivanjem uglja sa deponije

Ukoliko LP procedura ne može da nađe rešenja, problem se rešava uključenjem deponije radi iznalaženja rešenja, slika 5.20. Razlog zbog kog nema rešenja može biti da je otkopani ugalj suviše dobrog kvaliteta, što se može rešiti dodavanjem uglja lošeg kvaliteta sa deponije ili da je otkopani ugalj neodgovarajućeg kvaliteta, pa se koristi ugalj dobrog kvaliteta sa deponije da mu se kvalitet poboljša. Takođe, ako se zbog zastoja nekog od bagera ne može postići traženi kapacitet, nezavisno od kvaliteta, uključuje se deponija, ali tada se uzima ugalj homogenizovanog kvaliteta. Pretpostavka za ove operacije je da se u datom trenutku na deponiji nalazi ugalj potrebnog kvaliteta. Ukoliko ga nema, korisnik može da bira, u zavisnosti od ostalih zahteva proizvodnje, da odlaže na deponiju ili da uzima sa deponije.

Analiza rešenja - Da bi se korisniku pružila mogućnost sistematske analize napravljenog operativnog plana, odnosno urađene simulacije, razvijen je deo softvera kojim se vrši animacija rada bagera. Nakon urađene simulacije, osim animacije rada bagera moguće je analizirati dobijene izveštaje u grafičkom i tekstualnom obliku. Na panelu se dinamički, u funkciji vremena, prikazuju kapacitet i kvalitet uglja koji se isporučuje termoelektrani. Animaciju je moguće raditi za željeni vremenski period (npr. 60, 90, 240 minuta) a takođe se može varirati i korak prikaza parametara sistema (svaki minut, ili na 3, 5, 10 minuta). Korisnik može da prilagodi i brzinu izvršavanja animacije što mu omogućava da što realnije sagleda željene efekte određene varijante operativnog plana, slika 5.21.



Slika 5.21. Panel sa animacijom rada sistema

Ukoliko korisnik nije zadovoljan urađenim operativnim planom, može ponoviti simulaciju sa korigovanim parametrima, ponovo izvršiti animaciju i tako ponavljati proceduru sve dok se ne iznađe optimalno rešenje operativnog plana.

5.5.5. Namena on-line analizatora u sistemu upravljanja kvalitetom uglja na kopovima "Tamnava"

U sistemu u kojem je potpuno poznat kvalitet svih litoloških članova koji se otkopavaju i kada je moguće precizno i tačno izračunati kvalitet uglja koji će se dobiti eksploatacijom u svakom rezu bagera sistem za upravljanje kvalitetom uglja će se bazirati na rezultatima iz geološkog modela. Težnja je da se dnevne analize uglja potpuno razrede, a da se kvalitetom upravlja preko rezultata iz geološkog modela s tim da on-line analizatori služe samo za okvirnu kontrolu uspešnosti. U slučaju kada se rezultat koji daje on-line analizator ne slaže sa procenjenim kvalitetom sistem će se i dalje voditi na bazi rezultata iz geološkog modela uz dodatnu analizu uzroka razilaženja dobijenih rezultata.

5.6. Izbor vrste analizatora uglja

Na bazi prethodnih saznanja o vrstama merača i potrebnim merenjima može se izvršiti preliminarni izbor vrste analizatora uglja. Istovremeno polazeći od stranih iskustava (u prvom redu iskustva iz Grčke, Bugarske i iz bivše istočne Nemčke) na eksploataciji on-line analizatora na lignit-skim ugljevima kao najpodesniji se pokazuju:

- DUAL analizatori koji se baziraju na tehnologiji slabljenja gama zračenja pri prolasku kroz sloj uglja na transportnoj traci, i
- merač sadržaja pepela baziran na prirodnim gama emiterima u pepelu.

DUAL analizator određuje srednji atomski broj sagorljivih i nesagorljivih delova u uglju i preračunava učešće pepela u uglja. DUAL analizatori su prihvatljivi zbog toga što se lako mogu instalirati na postojeće transportne sisteme za on-line merenje, tačnost se kreće do 1,5%, vreme merenja je nisko (obično oko 2 minuta), kao i nabavna cena. Ono što može kompromitovati upotrebu ovih analizatora jeste postojanje radioaktivnog izvora i tačnost merenja na lignitima usled velikih varijacija karakteristika lignita.

Analizatori koji koriste prirodnu radioaktivnost uglja imaju sve prednosti kao i DUAL analizatori uz dodatak da ne poseduju radioaktivni izvor čime je njihovo korišćenje podesnije.

Kako se ligniti odlikuju visokim i veoma promenljivim učešćem pepela i vlage to je tačnost merenja, a time i upotrebljivost on-line analizatora, po pravilu – problematična i iziskuje proveru upotrebljivosti ispitivanjima na svakom uglju pojedinačno. Tim ispitivanjima treba, u konkretnim i realnim uslovima, ispitati tačnost analizatora za različite kvalitete uglja upoređivanjem rezultata koji se automatski dobijaju preko analizatora sa rezultatima koji se dobiju konvencionalnim laboratorijskim metodama (hemijskim analizama). Danas ne postoji standardizovana metoda za evaluaciju on-line analizatora već samo nacrt ISO-standarda koji nosi

naziv "Solid mineral fuels – evaluataion of the measurement performance of on-line analysers". Nacrt ovoga standarda predviđa utvrđivanje stabilnosti rada instrumenta, uporednu preciznost merenja i dinamički test reproduktivnosti rezultata. Verifikacija se vrši nekim od statističkih metoda (F-test, t-test, grafičke analize, linearne regresione analize i dr.).

Bez obzira što standard još nije potpuno razvijen, testiran i usvojen u literaturi se mogu naći rezultati dobijeni njegovom primenom. Saglasno tome, i u slučaju primene on-line analizatora na lignitu "Tamnava", odnosno "Kolubara", pre opredeljenja i kupovine predviđenog broja analizatora potrebno je ispitati primenljivost ovde predviđenih vrsta analizatora: DUAL i analizatora baziranih na prirodnom gama zračenju.

5.6.1. Kontrolni parametar

Za praćenje kvaliteta uglja koji se otkopava na kopovima "Tamnava" opredeljenje je za kontinualno praćenje vlage i toplotne moći uglja.

Toplotna moć je jedna od osnovnih karakteristika uglja kao goriva, i određuje se standardnim postupkom pri sagorevanju uglja u kalorimetrijskoj bombi. Toplotna moć uglja nije supstancijalna, već indirektna karakteristika zavisna od sadržaja, sastava i strukture sagorivih i nesaгорivih materija u uglju, pa se može odrediti i izračunavanjem iz podataka elementarne analize uglja ili iz podataka tehničke analize. Određivanje toplotne moći uglja iz podataka tehničke analize može se izvršiti iz regresionih formula dobijenih statističkom obradom tehničkih analiza u kojima su dati podaci o sadržaju pepela i vlage, i njima odgovarajući podaci za DTE.

Analizom višegodišnjih snimanja kvaliteta uglja može se uočiti da je najmanje odstupanje za vrednost pepela, kao i da je pepeo najmanje promenljiv - razlika je manja od 1% [Studije RGF, 2000]. Iz tih razloga smatralo se najcelishodnijim da se uspostavi zakonitost $DTE = f(A)$, kao i $W=f(A)$. Zavisnosti su prikazane kao linearna, kvadratna i kubna.

Laboratorija	Zavisnost		
	linearna	kvadratna	kubna
Kolubara R=0.79	DTE=9522-133A	DTE=-0.45A ² -117.7A + 9397	DTE=0.116A ³ -7.31A ² + 8.48A+8673
TENT R=0.75	DTE=9521-134A	DTE=0.08A ² -137.5A + 9547	DTE=0.08A ³ -6.09A ² - 2.52A+8648

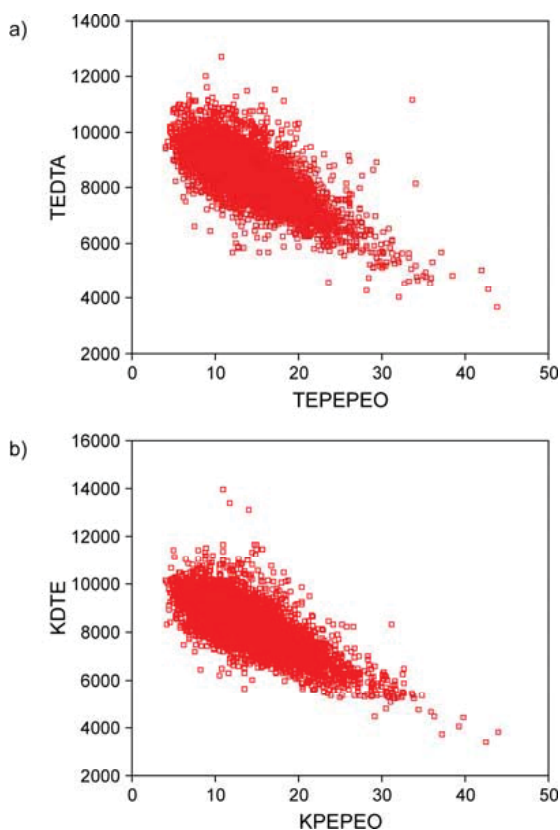
Dobijeni koeficineti korelacije su u zadovoljavajućim granicama. Za svaku zavisnost date su preračunate vrednosti DTE za 4 odabrane vrednosti pepela (8, 12, 16 i 24%), i na kraju kao provera podaci dobijeni za tu vrednost pepela statističkom obradom uzoraka za $\pm 0.2\%$.

DTE = f (A) (podaci iz rudničke laboratorije, R = 0,79)

sadržaj pepela, %	Zavisnost			Statistički podaci za A±0.2%
	Linearna	Kvadratna	Kubna	
A = 8	8458	8366	8422	8332
A = 12	7926	7919	7922	7917
A = 16	7394	7398	7412	7405
A = 24	6330	6313	6269	6273

DTE = f (A) (podaci iz laboratorije TENT-a, R = 0,75)

sadržaj pepela, %	Zavisnost			Statistički podaci za A±0.2%
	Linearna	Kvadratna	Kubna	
A = 8	8449	8452	8279	8365
A = 12	7913	7908	7879	7892
A = 16	7377	7367	7376	7386
A = 24	6305	6293	6185	6232



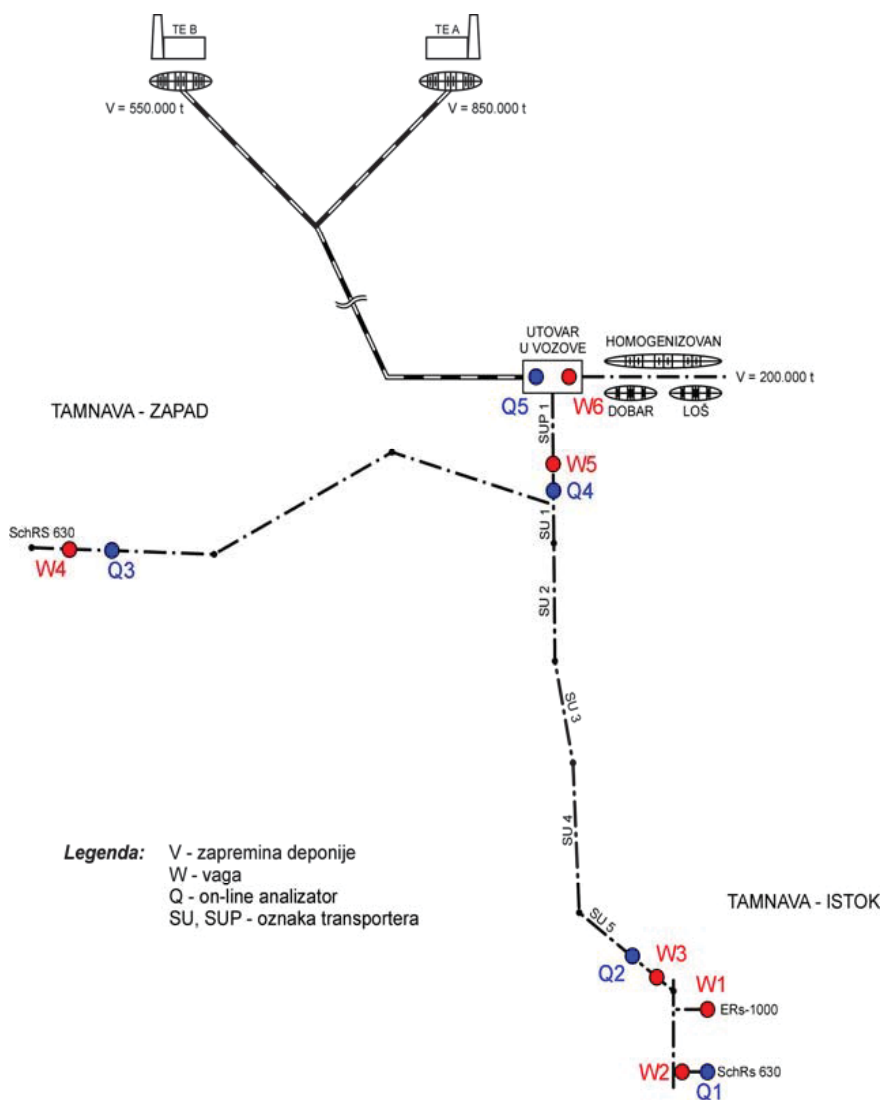
Slika 5.22. Zavisnost DTE – pepeo za uzorke sa kopa "Tamnava"
a) podaci iz laboratorije TENT-a, b) podaci iz laboratorije Vreoci

5.7. Upravljanje procesom homogenizacije

5.7.1. Potrebna oprema

Da bi se moglo upravljati procesom homogenizacije uglja neophodna je nabavka i ugradnja opreme i uređaja za merenje mase i kvaliteta uglja (vaga za trake i on-line analizatora za DTE, pepeo, vlagu, sumpor, itd.), kao i odgovarajućeg sistema za akviziciju informacija.

Šema transportera na kopovima "Tamnava-istočno polje" i "Tamnava-zapadno polje" sa položajem vaga i on-line analizatora data je na slici 5.23.



Slika 5.23. Šematski prikaz položaja instalisane opreme u sistemu

On-line oprema – u sistemu je ukupno predviđeno instalisanje 6 vaga na transporterima i 5 on-line analizatora kvaliteta uglja.

Tri vage (na šemi označene kao W_1 , W_2 i W_4) su instalisane na transporterima postojećih bagera. Namena im je kontinualno merenje količine uglja koju svaki od bagera otkopava. Dobijeni podatak služi za kontrolu rada bagera (stalno poređenje zadanih i otkopanih količina uglja) i za bilansiranje količina uglja koje su upućene ka drobilani, deponiji odnosno ka termoelektranama. Četvrta vaga (na šemi označena sa W_3) je instalisana na transporteru SU5 na kojem se sabira ugalj sa oba bagera sa P.K. "Tamnava-Istočno polje". Peta vaga (na šemi označena sa W_5) je montirana na transporteru SU1 posle objedinjavanja uglja sa oba kopa, a šesta (na šemi označena sa W_6) na sistemu za utovar uglja koji se usmerava ka deponijama termoelektrana "Nikola Tesla". Ovaj podatak se koristi za bilansiranje, a njegovim korišćenjem se posredno dobija i količina raspoloživog uglja na kopovskoj deponiji.

Tačnost i preciznost vaga treba da bude u granicama koje propisuje proizvođač jer one služe za sva bilansiranja i obračunavanja.

Prvi on-line analizator (na šemi označena sa Q_1) se nalazi na bageru SchRS 630 i služi za kontrolu kvaliteta uglja koji se otkopava tim bagerom. Drugi (na šemi označena sa Q_2) je montiran na transporteru SU-5. Namenjen je za kontrolu uglja koji na kopu "Tamnava-Istok" otkopavaju bageri ERs-1000 i SchRS 630. S obzirom da se ka termoelektranama uvek upućuje mešavina ugljeva interesantan je samo kvalitet te mešavine, a ne i pojedinačni kvalitet uglja koji otkopava svaki bager. Međutim, ako dođe do nekog poremećaja u kvalitetu uglja koji se otkopava ovaj analizator će poslužiti da se utvrdi koji bager je to uzrokovao. Naime, ako analizator Q_1 pokaže da je ugalj koji otkopava bager SchRS 630 u zadanim granicama onda je problem u radu drugog bagera i obrnuto. Treći on-line analizator (na šemi označena sa Q_3) prati rad bagera lociranog na P.K. "Tamnava-Zapad", dok je četvrti (na šemi označena sa Q_4) montiran na transporteru SU-1 posle mešanja ugljeva sa oba kopa. Praktično, ovaj analizator pokazuje skupni kvalitet uglja koji se upućuje ka drobilani i deponiji, odnosno ka termoelektranama. Peti on-line analizator (na šemi označena sa Q_5) je montiran na mestu utovara uglja u vagonu i služi za formiranje "sertifikata o kvalitetu uglja" koji se upućuje ka termoelektranama.

Određene varijacije u svim parametrima kvaliteta treba očekivati na mestima gde su montirani on-line analizatori Q_1 do Q_4 . Analizator Q_5 je montiran na mestu na kojem se utovara izdrobljen i prethodno homogenizovan ugalj što znači da su se stekli osnovni preduslovi da njegov rad bude pouzdan. Zbog toga se on i koristi za izradu sertifikata o kvalitetu uglja, odnosno za izveštavanje termoelektrane o karakteristikama uglja koji se upućuje.

Ugrađeni on-line analizatori služe za posredno praćenje kvaliteta uglja, ali se proces ne vodi preko njih već preko rezultata iz operativnog geološkog modela ležišta. Nevezano od ovoga opredeljenja tačnost i preci-

znost on-line analizatora treba uvek održavati u granicama koje je propisao proizvođač.

Oprema za akviziciju podataka - U okviru sistema za upravljanje kvalitetom uglja potrebno je obezbediti prenos podataka od mesta merenja, odnosno prikupljanja do Dispečerskog centra (DC). Neke od tačaka merenja se nalaze na stabilnim objektima (stacionarnim transporterima, utovarnom mestu itd), čiji se položaj u odnosu na dispečerski centar neće menjati, dok se neke od tačaka merenja nalaze na mašinama koje se u toku rada često pomeraju (bageri), ili povremeno (etažni trakasti transporteri). Zbog ove druge grupe mernih mesta neophodno je da se koristi mobilni ili bežični sistem prenosa podataka. Kako na površinskim kopovima Tamnava ne postoji odgovarajući sistem za prenos podataka za potrebe ovog projekta potrebno je jedan takav sistem instalirati. Prilikom projektovanja ovakvog sistema treba imati u vidu činjenicu da količina podataka koju treba preneti u okviru sistema za upravljanje kvalitetom uglja nije velika, i da dinamika prenosa ne zahteva brz i učestali prenos informacija. Procena je da je potrebno skeniranje (prozivanje) mernih mesta sa periodom ne kraćom od jednog minuta, a da se pri tome mora preneti negde od desetak kb podataka sa svakog mernog mesta. Broj mernih mesta je manji oko deset. Druga važna činjenica je da su rastojanja u nekim slučajevima gde je potrebno obezbediti bežičan prenos podataka relativno velika, od 2 do 6 km. Na osnovu iznetih činjenica, a polazeći od raspoložive opreme na svetskom i našem tržištu moguća su dva rešenja: kombinacija bežične i optičke ethernet mreže i korišćenje GSM mreže mobilne telefonije.

5.7.2. Kombinacija bežične (wireless LAN) i optičke ethernet mreže

Fiksna postrojenja bi sa dispečerskim centrom bila povezana optičkim kablovima, dok bi merne tačke na objektima koji se pomeraju bila povezana bežičnim putem sa centrom. Na tržištu su dostupni sistemi za bežični prenos podataka koji rade na 2,4 GHz, po protokolu IEEE 802.11. Ovakav sistem bi mogao da obezbedi prenos podataka i više od 54 Mbps, što je daleko iznad potrebne količine u posmatranom slučaju. Sistem bi trebao da sadrži nekoliko tačaka pristupa (access point) sa usmerenim antenama većeg dometa za spoljnu montažu (naprimer parabolic grid ili solid dish), sa uglom pokrivanja od 35° do 45°. Ovakve antene proizvode firme "Cisco", "3com", itd.

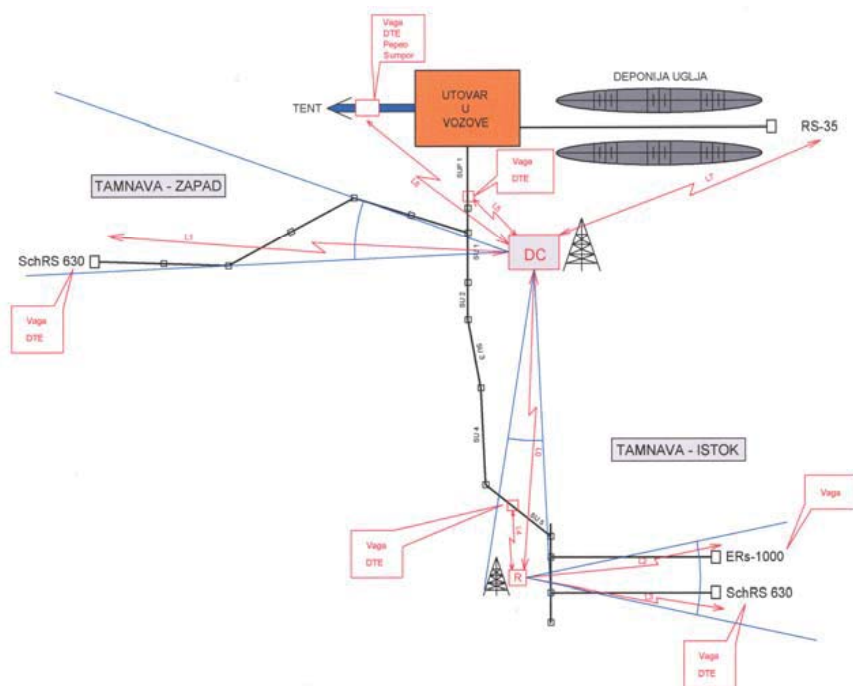
Konfiguraciju sistema za akviziciju podataka činili bi, slika 5.24:

- jedna pristupna tačka (access point) na dispečerskom centru (DC) sa tri usmerene antene, i tri ili četiri optičke konekcije prema stabilnim delovima sistema,
- jedna pristupna tačka – repetitor (R) sa dve usmerene antene,
- sedam do deset "klijenata", mernih mesta (on-line analizatori),
- računari za obradu podataka i podršku sistemu.

Broj potrebnih računara zavisi od opreme koja bi se koristila za merenje, tj. od nivoa opremljenosti merne opreme.

Kod konačnog projektovanja treba razmotriti i mogućnost potpunog pokrivanja kopa bežičnom mrežom, u tom slučaju se ne bi koristili optički kablovi. Ovo bi uticalo na povećanje cene, međutim povećalo bi fleksibilnost sistema i njegovu pouzdanost.

Wireless LAN sistem na kopu bi bio zaseban sistem i njegovo održavanje bi bilo u nadležnosti službi na kopu, koje treba da budu osposobljene za ovaj posao.



Slika 5.24. Šematski prikaz konfiguracije sistema za akviziciju podataka

5.7.3. Korišćenje neke od javnih GSM mreža mobilne telefonije

Alternativna mogućnost predloženom rešenju može biti umrežavanje mernih mesta na kopu korišćenjem neke od javnih GSM mreža mobilne telefonije. Ukoliko su kopovi "Tamnava" pokriveni signalom mobilne telefonije nekog od operatera mogao bi se iskoristiti sistem prenosa podataka na bazi korišćenja GPRS servisa. Oba operatera u našoj zemlji pružaju kvalitetan GPRS servis koji omogućava prenos podataka između 50 i 100 kbps, što je za potrebe sistema za homogenizaciju sasvim dovoljno. Uređaji (ruteri) za povezivanje na GPRS mrežu omogućavaju integrisanje udaljenih jedinica u sistem ethernet mreže na jednostavan način, bez izgradnje bilo kave infrastrukture. Takođe, omogućavaju povezivanje uređaja za merenje preko serijskih portova (RS232 i RS 485) na mrežu, što je u ovom slučaju značajno, jer većina mernih instrumenata imaju izlaz na neki od standardnih serijskih portova. Ove uređaje proizvodi više firmi.

Održavanje ovakvog sistema je krajnje jednostavno, i ne zahteva posebnu službu, jer se koriste usluge mobilnog operatera. Cena ovih usluga nije velika, a u ovakvim slučajevima sistemskog korišćenja GPRS servisa operateri daju posebne popuste.

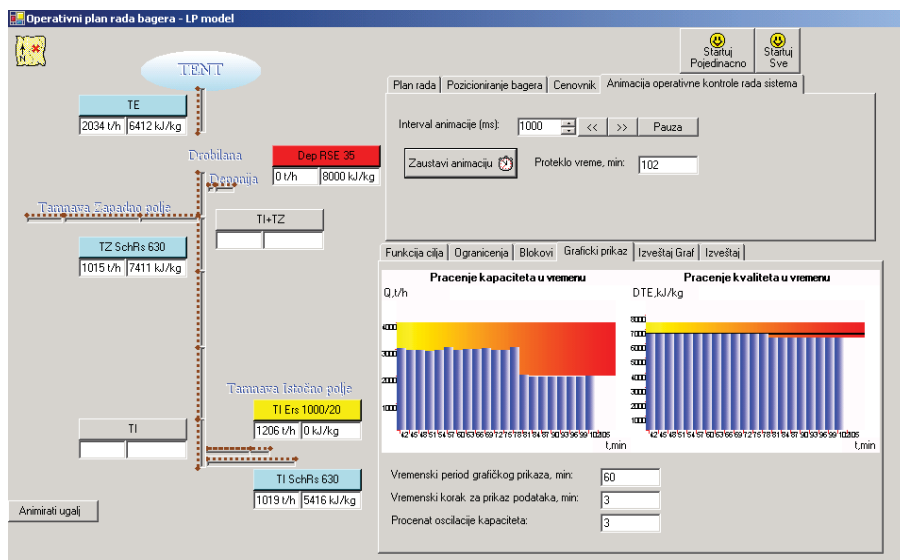
U ovom slučaju na mernim mestima sasvim sigurno ne bi bili potrebni računari, već samo u dispečerskom centru.

Oba predložena rešenja omogućavaju integraciju u ethernet mrežu na nivou EPS-a, a time i u globalnu mrežu.

5.7.3.1. Operativno praćenje proizvodnje

Dakle, na svim mestima na kojima se predviđa homogenizacija (na bagerima, zbirnim transporterima i deponiji) kontinuirano se prati trenutni kvalitet i kapacitet. Čitav proces nadgleda operativni inženjer za upravljanje kvalitetom koji je stacioniran u "Centaru za upravljanje kvalitetom uglja" i koji u slučaju da dođe do incidentne situacije, po potrebi, reaguje na odgovarajući način, odnosno vrši korekciju kapaciteta odgovarajućih bagera, uključuje deponijsku mašinu i dr.

Izgled displeja za nadzor nad procesom otkopavanja i transporta prikazan je na slici 5.25.



Slika 5.25. Izgled displeja za nadzor nad procesom otkopavanja i transporta

Nakon pozicioniranja bagera (na etaži i u bloku) a na osnovu izlaznih rezultata iz modela za operativno planiranje inženjer za vođenje procesa daje nalog rukovodcima svih bagera kojim kapacitetom dati bager treba da radi u odgovarajućoj podetaži. Bagerista informaciju (koja ustvari predstavlja radni nalog) dobija na displeju koji se nalazi u kabini (slika 5.26).

X:	38045	Clanak:	55
Y:	27802		
Podetaza:	1	Visina:	5.8 m
Duzina nastupa:	11		m
Zadati kapacitet:	1500	t/h	
Zadata proizvodnja:	9000	t/sm	
Trenutni kapacitet:	1200	t/h	
Ostvarena proizvodnja:	3420	t/sm	
F1	F2	F3	F4 F5

Slika 5.26. Operativni displej na bageru

Na displeju se pored kapaciteta nalaze informacije o trenutnoj poziciji bagera, potrebnoj visini podetaže i dužini napredovanja u datoj podetaži.

Pozicioniranje bagera duž etaže vrši se na osnovu etažnog transportera (broju članka na transporteru), a u bloku na osnovu mernog uređaja na bageru. Za potrebe vođenja homogenizacije ovo je sasvim dovoljno tačan način pozicioniranja. U kasnijim fazama razvoja može se uvesti preciznije GPS pozicioniranje.

Pored zadatog kapaciteta na displeju bageriste i dipečara se prati trenutna vrednost kapaciteta koja se dobija merenjem mase otkopanog uglja (vaga se postavlja na odložnom transporteru bagera), tako da bagerista i dispečer u svakom trenutku može da uoči razliku između zadatog i trenutnog kapaciteta i da izvrši korekciju.

"Triger" za novi proračun tekućeg plana otkopavanja i za slanje nove informacije bageristima je trenutak kada jedan od bagera menja podetažu, odnosno kada se menja kvalitet koji se otkopava, ili kada na jednom od bagera dođe do otkaza ili planiranog zastoja.

Otkopane mase se prate do trenutka utovara u vagone. Nakon završenog utovara izdaje se sertifikat kvaliteta uglja u datom vozu (slika 5.27) koji se odmah upućuje službi za praćenje proizvodnje u RB "Kolu bara" i TENT-u, tako da u trenutku dok se voz još uvek nalazi na lokaciji kopa u termoelektranama znaju koji kvalitet uglja će im biti upućen i da po potrebi adekvatno reaguju.

Ovakvim načinom praćenja stvoriće se preduslovi za stalnu isporuku uglja potrebnog kvaliteta. Čak i u izuzetnim slučajevima kada dođe do "incidentne situacije", termoelektrana će na vreme biti obavestena o "dolasku uglja lošeg kvaliteta" i moći će odgovarajuće da reaguje tako što će taj ugaj uputiti na deponiju i tek nakon njegove homogenizacije sa već odloženim ugljem uputiti ga na sagorevanje.

Ovaj sistem će omogućiti i praćenje proizvodnje u bilo kom vremenskom periodu za svaki pojedinačni bager, pojedinačni kop, i na kraju za oba kopa u celini. Izgled izveštaja sa pregledom proizvodnje prikazan je na slici 5.28.

Sertifikat voza	
Voz broj	123
Broj vagona	30
Količina (t)	1500
DTE (kJ/kg)	6700
Pepeo (%)	18
Upuceno ka	TENT A
Smena	1
Vreme utovara	2/1/2005 10:10:00 AM
	2/1/2005 10:50:00 AM
UKUPNO ISPORUČENO	
TENT A	1500
TENT B	
TENT A+ B	1500

Slika 5.27. Sertifikat voza

PREGLED PROIZVODNJA		
OD: <u>2/1/2005 0700</u> DO: <u>2/1/2005 1500</u>		
	Proizvodnja (t)	DTE (kJ/kg)
1. TAMNAVA - istočno polje		
1. Bager - SchRs 630:	5500	8200
2. Bager - ERs1000:	2000	6775
UKUPNO:	7500	7820
2. TAMNAVA - zapadno polje		
1. Bager - SchRs 630:	6000	6085.5
UKUPNO:	6000	6085.5
3. Deponija		
1. Zahvaćeno:	0	
2. Odloženo:	0	
4. Isporučeno TENT-u		
1. TI + TZ + D:	13500	7050

Slika 5.28. Izveštaj o proizvodnji

5.8. Uzorkovanje uglja

Na osnovu dugogodišnje analize praćenja kvaliteta uglja i postojećih učestalih problema nedovoljnih i neadekvatnih podataka, neposredno vezanih za pitanje upravljanja kvalitetom uglja, došlo se do saznanja da dosadašnji pristup ovom pitanjima zahteva izvesna poboljšanja. Iz ovakvih analiza jasno se izdvajaju dva pitanja: pitanje obezbeđivanja dodatnih podataka o kvalitetu uglja u ležištu i sa tim najtešnje vezano pitanje određivanja mesta, načina dodatnih uzorkovanja sa obradom materijala; i drugo, daleko lakše za rešavanje pitanje, ali sa značajnom težinom, je rukovanje izdvojenim uzorcima, skladištenje, transport i njihova obrada.

Uspešno funkcionisanja predloženog modela upravljanja kvalitetom oslanja se, u prvom redu, na pouzdanost podataka o kvalitetu uglja koji je u ležištu i koji se otkopava.

Tokom geoloških istraživanja – iz istražnih bušotina, dobijaju se osnovni podaci o kvalitetu uglja po miniblokovima, odnosno kvalitetu za ležište i celo eksploataciono polje. Međutim, za samu tehnologiju otkopavanja i upravljanja kvalitetom postojeća mreža istražnih radova nije dovoljna. Tako je tokom eksploatacije neophodno vršiti drugi ciklus istražnih bušenja, ispred fronta radova, na etažama i ispred samih bagera. Na ovaj način bi se, relativno retka mreža oprobavanja, dovela na zadovoljavajuću gustinu i dobili bi se neophodni (dovoljno) tačni podaci (o praćenju kvaliteta na delu ležišta) neohodni za ujednačavanja kvaliteta uglja za termoelektrane.

Na površinskim kopovima "Tamnava – Istočno polje" i "Tamnava – Zapadno polje" odnedavno se vrše pokušaji uvođenja ovakvih dodatnih ispitivanja kvaliteta [konsultacije sa menadžmentom rudnuka]. Ova posebna istraživanja, koja prethode samoj eksploataciji, mogu da se vrše bušenjem sa krovine uglja, što znatno olakšava i ubrzava istraživanja, uzimanjem kompletnog jezgra iz ugljenog sloja. Međutim, tokom ovakvih istraživanja moguće je izvesti i takozvane nestandardne operacije. Za dobijanje podataka iz takozvanih "brzih analiza" mogu se vršiti uzorkovanja po svim litološkim članovima. Ovaj način oprobavanja ima i dobrih strana jer se do rezultata analize dolazi veoma brzo uz male mogućnosti neadekvatnog rukovanja uzorcima (greške skladištenja, transporta). Bušenjem sa krovine skraćuje se vreme rada kao i sama dubina bušenja jer se izbegava bušenje kroz jalovinu, odnosno otkrivku. Karakteristika ovakvog načina istražnog bušenja je da se mreža formira prema zahtevu operativnog osoblja, a dubina bušotine ne mora biti takva da obuhvati ceo sloj, već je određena potrebom pojašnjenja kvaliteta u delu sloja.

Drugi vid dopunskog određivanja kvaliteta se izvodi uzorkovanjem sa čela otvorene etaže, najčešće metodom brazde zahvatanjem rovnog uglja iz jednog reza bagera. Rez se uzorkuje brazdom po celoj visini, ili na jednom ili više mesta, već zavisno od promene kvaliteta. Uzorkovanje se može vršiti, posebno za tu svrhu načinjenim (konstruisanim) alatima. Uslovi ovakvog rada su teški zbog pristupa rezu, koji može biti i 20 m viši od etažne ravni. Pored toga visina reza je i do 6 m, tako da je vrlo te-

ško brazdom obuhvatiti celu visinu. Ovo je u suštini najveći problem kod ove, inače vrlo brze i tačne metode uzorkovanja. Posebnu teškoću pričinjava i rad bagera koji se ne može remetiti zbog uzorkovanja, kao i sama obrada tako dobijenog primarnog uzorka većih masa.

Treći vid, pored dve gore navedene slike metode oprobavanja, a koji se u praksi već primenjuje na kopovima, je metoda odlaganja (bagerom zahvaćenog) otkopanog materijala na etažnu ravan. Naime u momentu kada se želi izdvajanje uzorka, okrene se odložna traka bagera nekoliko sekundi sa mesta presipa na etažnu ravan, a zatim se traka ponovo vrati na presip. Okretanjem trake van presipa odlaže se određena količina rovnog uglja dostupna za sekundarno uzorkovanje. Formiranje gomile "primarnog uzorka", na ovaj način je lakše ukoliko bager radi sa samohodnim transporterom, jer deponovani ugalj ne smeta radovima. Važno je da se ugalj ne odloži na kablove. Ukoliko se utovar uglja vrši sa bagera direktno, preko utovarnih kolica na etažnu traku, postupak je nešto složeniji. U tom slučaju poželjno je na kratko zaustaviti odložnu traku bagera, da gomila koja se formira ne zatrpa šinu po kojoj idu utovarna kolica. Uzorkovanje se može vršiti iz jednog ili više pojaseva, jednog reza, već zavisno od promene kvaliteta po širini na otvorenom profilu. Ovakav način uzorkovanja uvek se vrši koordinirano sa proizvodno-tehničkim osobljem površinskog kopa. Uzorkovanje sa ovako formirane gomile "primarnog uzorka", je dosta težak i kompleksan posao, jer se radi o većoj količini rovnog uglja koji je neophodno pravilno skratiti do minimalno dozvoljene i dovoljne mase reprezentativnog uzorka.

Za izvođenje dodatnih istražnih radova na ležištu potrebno je rad prilagoditi potrebama modelovanja ležišta i korišćenja tog modela za upravljanje kvalitetom uglja. Od mogućih načina opredeljenje je da se dopuna podataka vrši na dva načina:

- dodatnim istražnim bušenjima sa etaže ispred aktivne mehanizacije, radi dobijanja podataka za srednjeročno planiranje, i
- uzorkovanjem sa čela etaže koja se otkopava, radi dobijanja podataka za kontrolu srednjeročnog planiranja i za izradu kratkoročnih (dnevni i smenskih) operativnih planova.

Dodatno istražno bušenje može Rudnik organizovati u vlastitoj "režiji" ili angažovanjem specijalizovanih firmi za tu vrstu radova. I u jednom i u drugom slučaju posebnu pažnju treba obratiti na uzimanje i rukovanje sa uzorcima koji se dobijaju bušenjem.

Kod uzorkovanje bitno je:

- da geolog odmah po vađenju jezgra prepozna sve litološke članove i da uzme uzorke iz svakog litološkog člana bez obzira koliko je taj član moćan, odnosno da li se postojećom tehnologijom rada može izbeći njegovo otkopavanje kao nekorisne supstance; u slučajevima kada je sloj (uglja ili jalovine) moćniji od 1 m pojedinačni uzorak treba uzeti na svakih 1 m,
- zbog tačnosti koju je neophodno postići da bi model bio potpuno upotrebljiv potrebno je posebnu pažnju posvetiti očuvanju priro-

dne vlažnosti uzetog uzorka pa je zadatak odgovornog izvršioca da svaki uzeti uzorak propisno spakuje (hermetizuje) i što je moguće pre dostavi laboratoriji na analizu, bez čekanja da se skupi više serija uzoraka radi jeftinijeg transporta,

- laboratorije koje budu određene za analitičke poslove treba da odmah po pristizanju uzoraka započnu njihovu obradu formirajući serije po broju prispelih uzoraka,
- laboratorije treba svoj rad da u potpunosti prilagode dinamici bušenja i uzimanja uzoraka, što podrazumeva i rad u više smena.

Uzorkovanje sa čela etaže treba u početku organizovano jednom nedeljno ili jednom u dve nedelje, a posle uspostavljanja pravilnih relacija između rezultata dobijenih klasičnim analitičkim metodama i rezultata dobijenih preko on-line analizatora uzorkovanje treba organizovati povremeno (mesečno ili polugodišnje) radi rutinskih kontrola ili po proceni dežurnih operativaca ako uoče da dolazi do bitnih promena u strukturi sloja koji će se narednih dana otkopavati. Sve analize koje se rade na uzorcima sa čela etaže treba tretirati kao "brze analize", što znači da je uzorke potrebno obraditi u roku koji neće biti duži od 24 časa. Sve mere opreza predviđene za rukovanje sa uzorcima iz istražnih bušotina treba predvideti i kod rukovanja ovim uzorcima.

Poseban problem kod korišćenja uzoraka sa čela otvorene etaže predstavlja uzimanje uzoraka. Naime, da bi se dobio reprezentativan uzorak za ceo sloj potrebno je i uzorkovanjem obezbediti takav sastav uzorka. Pri ovom uzorkovanju uzorkivač se nalazi pred dva (fizička) problema: kako uzeti uzorak kada je moćnost ugljenog sloja višestruko nadmašuje "dohvatnu" visinu uzorkivača i, drugi, kako uzeti reprezentativan uzorak kada je mesto uzorkovanja nepristupačno, a potrebni fizički napor natprosečan.

Prvi problem se rešava korišćenjem vozila sa korpom čija je dohvatna visina iznad visine sloja koji se uzorkuje. Saglasno iskustvima sa rudnika iz Nemačke, za ovu operaciju treba koristiti vatrogasna vozila koja već postoje na rudniku. Raspoložive korpe omogućavaju komotan rad jedne osobe i privremeno skladištenje većeg broja uzoraka što ih čini prihvatljivim. Kako se vozilo i korpa angažuju posebno za uzimanje uzoraka to postoji mogućnost da se lokacija sa koje će se uzimati uzorak pažljivo odabere, da se vreme zadržavanja prilagodi stvarnim potrebama, da se uzorkivač nalazi na svakoj visinskoj poziciji onoliko vremena koliko mu je potrebno da uzme i upakuje uzorak, odnosno da se kontinualno i lagano spušta pri uzimanju uzorka metodom brazde.

Drugi problem predstavlja samo uzorkovanje. Najbolji način je uzimanje uzorka metodom "brazde". To znači da uzorkivač treba da "zagara" brazdu od početka (vrha) svakog litološkog sloja (ako ih može vizuelno razlikovati) ponaosob i da ta brazda ide do kraja tog litološkog sloja. Kada je debljina slojeva mala to neće biti poseban (fizički) problem, ali hoće na slojevima moćnosti iznad 1 m. Zbog toga, uzorkivač treba da dužinu "brazde" ograniči na jedan metar, kada su slojevi veće moćnosti. Za uzimanje treba napraviti poseban alat (baziran na principu brusilice) koji će se moći zabiti u sloj (dubina brazde treba da bude bar 10 cm, a

širina 20 cm) i koji će omogućiti kontinualno "paranje" sloja na određenoj dužini. Kada se to omogući problem predstavlja skupljanje zahvaćenog uzorka. Naime, iz zaparane zone uzorkivač treba da posebnom vrstom čekića "otkopa" sav materijal, da ga skupi u za to pripremljenu kesu, upakuje i odloži do završetka uzorkovanja.

5.8.1. Definisanje karakteristika uglja koje je potrebno meriti u novom sistemu

Kvalitet uglja koji se, kao gorivo, koristi u termoelektranama definisan je standardom JUS B. H1. 003 (Službeni list SFRJ broj 4/87) – "Ugalj za upotrebu u termoelektranama".

Ovim standardom se utvrđuje klasifikacija i tehnički uslovi uglja za upotrebu u termoelektranama. Ugalj za termoelektrane klasifikovan je prema šest osnovnih karakteristika i to:

- Q – donja toplotna vrednost u MJ/kg,
- V – sadržaj vlage u%,
- P – sadržaj pepela u%,
- T – temperatura (tačka) topljenja pepela u C°,
- S – sadržaj ukupnog sumpora u%,
- I_m – indeks meljivosti.

Šest navedenih osnovnih karakteristika u okviru standarda svrstano je u osam grupa, gde je u prvoj grupi najkvalitetniji ugalj, a u poslednjoj ugalj najslabijeg kvaliteta. Primera radi, ugalj koji se priprema i otprema za TENT – Obrenovac sa površinskog kopa "Tamnava – Istočno polje" najvećim delom pripada grupi sedam standarda: (Q = 6300 – 8300 kJ/kg, V = 35 – 45% i P = 30 – 40%), manji delovi isporuka pripadaju grupi šest (kvalitetniji ugalj: Q = 8300 – 10400 kJ/kg), odnosno grupi osam (manje kvalitetniji ugalj: Q = 4200 – 6300 kJ/kg).

Prema standardu, u isporuci uglja za TE ne sme biti blata, zemlje i drugih primesa koji mogu uticati na kvalitet uglja i na normalan rad kotlovskeg postrojenja. Granulometrijski sastav uglja za pojedine klase krupnoće je prema jugoslovenskom standardu JUS B. H8. 372. Priprema uglja za termoelektrane podrazumeva da se rovni ugalj usitnjavanjem i prosejavanjem svede na zahtevanu krupnoću, pod uslovom da je kvalitet uglja u zahtevanim granicama. Ukoliko kvalitet uglja nije u zahtevanim granicama (odstupa neka bitna karakteristika), ugalj se pored usitnjavanja i prosejavanja mora uputiti na dodatnu pripremu s ciljem da se kvalitet popravi i dovede u zahtevane granice. Dodatna priprema podrazumeva postupak čišćenja ili postupke mešanja i homogenizacije.

Iako je standardom JUS B. H1. 003 bliže definisan kvalitet uglja koji se koristi u termoelektranama, termoelektrane sa svoje strane imaju i posebne zahteve vezane za kvalitet uglja. Ti zahtevi se odnose na sledeće:

Granulometrijski sastav. Rovni ugalj otkopan na površinskim kopovima basena "Kolubara" i pripremljen za upotrebu u termoelektranama (TE "Nikola Tesla" – Obrenovac, TE "Kolubara" i TE "Morava" – Svilaj-

nac) treba da bude min. 90% -40+0 mm, s tim da učešće zrna krupnoće -60+ 40 mm može da bude max. 10%

Navedeni uslov zahteva permanentnu kontrolu rada uređaja za prosejavanje i drobljenje u postrojenju za pripremu uglja. Rade se kontrolne analize granulometrijskog sastava uglja za TE i prema potrebi podešava se otvor za pražnjenje drobilica ili menjaju pohabane prosevne površine na uređajima za prosejavanje uglja.

Ujednačeni kvalitet uglja. U definisanim granicama površinskog kopa "Tamnava" utvrđene su rezerve i kvalitet uglja, kao i dinamika otkopavanja i potrošnje uglja u termoelektranama "Nikola Tesla" – Obrenovac. Na bazi projekata, termoelektrane za najveći deo isporuka očekuju ugalj čija je prosečna vrednost DTE 6700 kJ/kg, tzv. "garantni ugalj". Kvalitet uglja iznad garantnog je poželjan, ali donja granica za kvalitet uglja pri čemu se postiže puna snaga TE, a dopunski ne koristi mazut iznosi 5443 kJ/kg.

Nepoželjne primese i ostalo. U uglju za termoelektrane nepoželjno je visoko učešće primesa koje se po prirodi stvari mogu naći u masi uglja. Toleriše se periodično pojavljivanje gline do max. 15%, a peska do max. 5%. Nepoželjna je i vlaga iznad 55%, ali i ispod 25%. Metalni predmeti i kamenje su nepoželjni.

5.9. Organizacija centra za upravljanje kvalitetom uglja na kopu

Saglasno konceptualnom modelu upravljanja kvalitetom uglja u basenu Kolubara formira se nova organizaciona jedinica pod nazivom "Centar za upravljanje kvalitetom uglja" (CUKU) sa zadatkom da analizira, planira, vodi, kontroliše i vrši distribuciju uglja u sistemu otkopavanja, transporta i usmeravanja prema termoelektranama "Nikola Tesla-A" i "Nikola Tesla-B".

"Centar za upravljanje kvalitetom uglja" je organizaciono nadređena jedinica koja u sistemu upravljanja direktno odgovara Direktorru rudnika, a izdaje konkretne operativne zadatke odgovornim izvršiocima u sistemu eksploatacije ležišta, transporta i distribucije uglja prema termoelektranama.

Lokacijski centar se može smestiti na bilo kojoj uređenoj lokaciji u krugu kopa. Uređenje, u prvom redu, podrazumeva obezbeđenje komunikacijskih veza između Centra, kopova, deponije, instalisane opreme i odgovornog osoblja.

Broj i struktura izvršilaca, stručna sprema i osnovna zaduženja su data u tabeli 5.2.

Konkretna osnovna zaduženja svakog od navedenih izvršilaca su sledeća:

Operativni inženjer za upravljanje kvalitetom uglja:

- sprovođenje kratkoročnih planova eksploatacije ležišta (pozicioniranje bagera, zadavanje kapaciteta i vremena rada, izrada smenskih planova eksploatacije, transporta i usmeravanja),
- praćenje ostvarenja planirane proizvodnje, analiza i davanje predloga i sugestija za unapređenje proizvodnje,
- praćenje stanja na deponijama uglja,
- usmeravanje uglja na odgovarajuću deponiju uglja,
- usmeravanje uglja prema potrošačima u zavisnosti od njihovog zahteva, mogućnosti kopa i raspoloživog kvaliteta uglja,
- praćenje tekućih problema u proizvodnji i stalno inoviranje kratkoročnih (dnevni i smenski) planova u zavisnosti od stvarne situacije na kopu i potreba termoelektrana.

Tabela 5.2. Osoblje za "Centar za upravljanje kvalitetom uglja"

Red. br.	Radno mesto	Kvalifikacija	Broj izvršilaca		Zaduženja
			po smeni	ukupno	
1.	Operativni inženjer za upravljanje kvalitetom uglja	VSS, dipl. ing. rud. sa 3 godine radnog staža	1	5×1=5	operativna kontrola procesa upravljanja kvalitetom uglja i dispečing
2.	Inženjer za planiranje rudarskih radova	VSS, dipl. ing. rud. sa 3 godine radnog staža	1	1×1=1	planiranje rudarskih radova
3.	Inženjer za planiranje geoloških radova	VSS, dipl. ing. geol. sa 3 godine radnog staža	1	1×1=1	Uzimanje uzoraka, inoviranje i ažuriranje geološke baze

Inženjer za planiranje rudarskih radova:

- inoviranje i ažuriranje operativnog modela planiranja rudarskih radova,
- izrada srednjoročnih i kratkoročnih planova eksploatacije uglja i otkrivke na bazi rezultata ažuriranog geološkog modela ležišta,
- kontrola ostvarenja planiranih aktivnosti, analiza i davanje predloga i sugestija za unapređenje procesa,
- kontrola stanja rudarske opreme i mogućnosti ispunjenja datih radnih zadataka i predlaganje mera za unapređenje procesa.

Inženjer za planiranje geoloških radova:

- inoviranje i ažuriranje geološke baze podataka,
- operativno planiranje istražnih radova za srednjoročno i kratkoročno planiranje,
- kontrola izvođenja istražnih radova predviđenih operativnim planom za srednjoročno i kratkoročno planiranje,
- kontrola rada službe uzorkovanja,

- kontrola rada službe koja vrši planirane analize,
- analiza dobijenih rezultata i donošenje zaključaka, predloga i definisanje načina unapređenja procesa,
- izrada geoloških karata za kratkoročno planiranje rudarskih radova,
- upoređivanje rezultata dobijenih klasičnim hemijskim analitičkim postupcima i korišćenjem on-line analizatora,
- staranje o stanju on-line analizatora, njihovoj kalibraciji i održavanju.

5.10. Usklađivanje u jedinstven sistem upravljanja kvalitetom uglja Kolubare

U okviru RB "Kolubara" kompletnu koordinaciju proizvodnje uglja obavlja "Služba proizvodnje" koja je locirana u Vreocima. Da bi se ostvarilo "kompletno" upravljanje kvalitetom uglja neophodno je da ovaj centar objedini rad Dispečarskih centara na kopovima, da od njih prima informacije i da ih prosleđuje ka termoelektranama "Nikola Tesla".

Potpuni efekat upravljanja kvalitetom ostvario bi se kada bi sistem upravljanja kvalitetom uveo na obe lokacije (istočni deo basena "Polje B" i "Polje D", kao i zapadni deo basena "Tamnava-Istočno polje" i "Tamnava-Zapadno polje") i kada bi ova služba u svojoj nadležnosti imala distribuciju uglja ka TENT-u, tj. da ona u koordinaciji sa TENT-om upućuje vozove ka jednoj ili drugoj termoelektrani.

Dakle, ova služba bi pratila (on-line) utovar u vozove i vršila njihovu distribuciju ka termoelektranama ili bi ih upućivala po potrebi na odlaganje na jednoj od deponija termoelektrana.

Konceptualni model upravljanja kvalitetom uglja na nivou RB "Kolubara" i TENT-a prikazan je na slici 5.29. Da bi se on primenio neophodno je umrežavanje svih Dispečarskih centara na kopovima i termoelektranama.

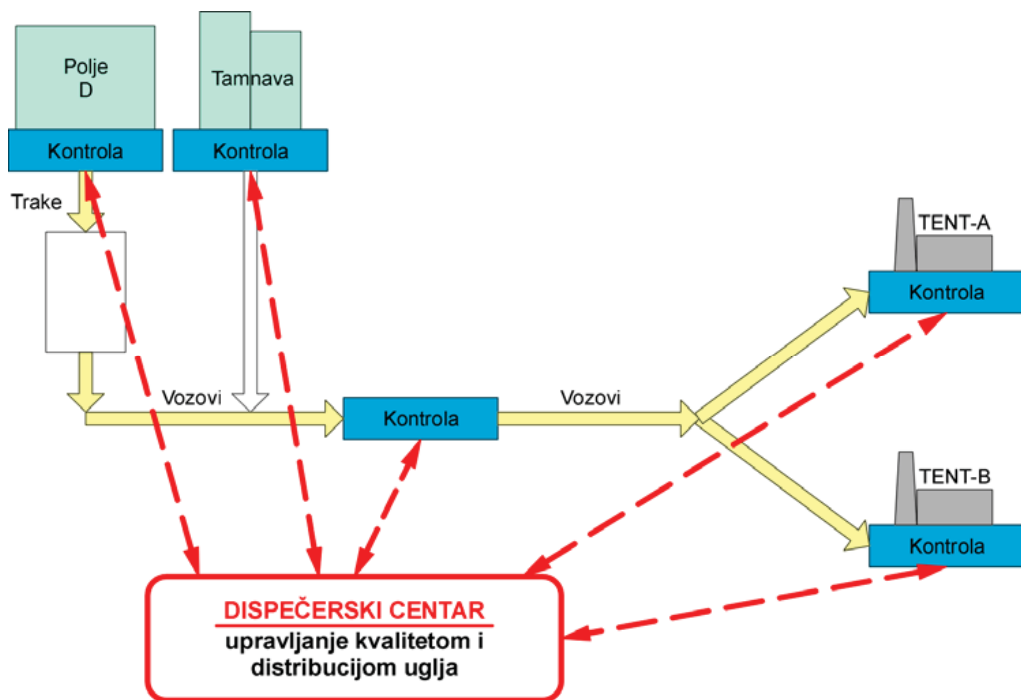
5.11. Redukovanje kapaciteta bagera zbog selektivnog otkopavanja

Kapacitet rotornog bagera kao i bagera vedričara zavisi od sredine koju otkopava. Dakle najveći kapacitet bageri postižu u uslovima optimalnih dimenzija bloka i kada je otpor na kopanje usaglašen sa reznom silom bagera. Pored toga kapacitet bagera zavisi i od broja pomoćnih operacija koje su neizbežni deo radnog procesa tokom otkopavanja bloka. To su pre svega promena reza, promena bloka i slično.

Međutim, ukoliko se bagerima otkopava blok sa proslojcima i delovima bloka sa smanjenim kvalitetom, tehnologija se komplikuje. U ovakvim uslovima kopanja primenjuje se tehnologija selektivnog rada i homogenizacije. U oba slučaja dolazi do problema u radu bagera. Kao prvo,

manjuje se raspoloživo vreme za otkopavanje uglja, zbog potrebe otkopavanja proslojaka kod selektivnog rada. Pored toga, sa povećanjem broja podetaža, povećavaju se vremena pomoćnih operacija prelazaka bagera iz reza u rez, pri prelasku otkopavanja uglja na prebacivanju proslojaka i obrnuto, potrebno je isprazniti trake, kao i promeniti položaj pretovarnog uređaja, bio to odlagač ili "F traka".

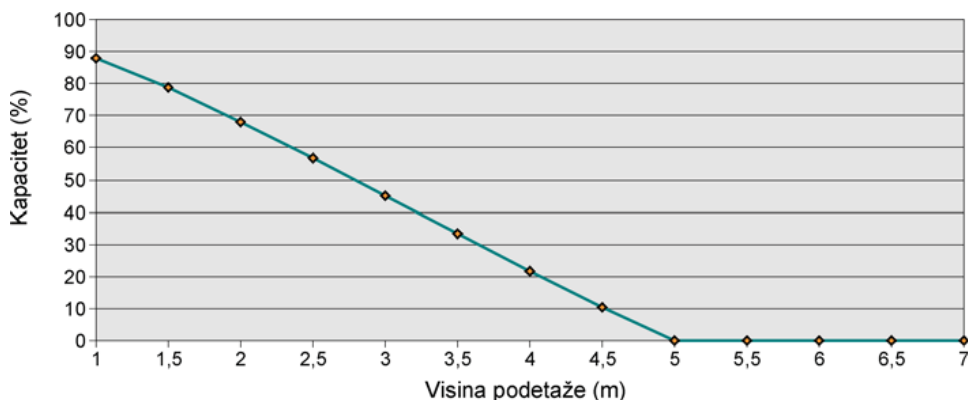
Pri dobroj organizaciji posla, zastoji zbog promene reza bagera i praznjenja trake i postavljanja pretovarnog uređaja u odgovarajući položaj, ne moraju da se superponiraju. Obično je praznjenje trake i prebacivanje "F trake" u potrebni položaj duži zastoj, tako da bager čim završi otkopavanje reza uglja, može da pređe u poziciju za otkopavanje proslojaka ili obrnuto.



Slika 5.29. Konceptualni model upravljanja kvalitetom na nivou RB "Kolubara" i TENT-a

Pored smanjenja raspoloživog vremena otkopavanja uglja, često se mora otkopavati podetaža, čija visina nije dovoljna za ostvarivanje potrebnog kapaciteta. Poznato je iz teorije bagerovanja da visina podetaže treba da je $0,5 \div 0,7$ prečnika radnog točka. To je preporuka upravo zbog toga što se sa takvim visinama podetaže postiže dobro punjenje kašika odnosno potreban kapacitet. Međutim često se dešava da je potrebno otkopavati podetažu, čija je visina nedovoljna da bi se postigao željeni kapacitet. To za sobom, naravno, povlači pad kapaciteta bagera i to zbog nemogućnosti kompenzacije male visine reza, maksimalno mogućom dubinom i širinom odreska.

Na slici 5.30 prikazana je zavisnost kapaciteta bagera SchRs 630 u funkciji od promene visine reza.



Slika 5.30. Procentualno smanjenje kapaciteta bagera SchRs 630 u funkciji visine podetaže

Pad kapaciteta bagera u ovakvim slučajevima nameće potrebu da se pad kapaciteta na jednom kompenzira povećanim kapacitetom na drugom bageru, kako bi se obezbedilo kontinuirano snabdevanje elektrana potrebnim količinama uglja.

S druge strane, zbog malog kapaciteta, bager kopa sloj male debljine vremenski znatno duže nego što je to slučaj pri normalnom radu. Posledica ovoga je takođe problem kompenzacije pada kapaciteta bagera u jednom dužem vremenskom periodu.

U praksi se tehnologija otkopavanje slojeva uglja i gline, manjih od potrebne visine, radi postizanja potrebnog kapaciteta razlikuje.

Pri otkopavanju uglja u podetažama smanjene visine koriste se veliki nastupi (povećava se debljina odreska) i koristi se maksimalna brzina kružnog kretanja strele radnog točka. Međutim, kod otkopavanja gline u istim uslovima, ne koristi se ni maksimalni nastup, niti se koristi maksimalna brzina kružnog kretanja strele radnog točka. Kada se otkopava glina sa velikim nastupom bagera (50÷60 cm) i kada se koristi maksimalna brzina od 30 m/min, odvaljuju se veliki komadi gline koji stvaraju probleme pri transportu. Naročito je problem na presipu sa "kliznog voza" na prijemnu traku odlagača, kada se često već zaobljeni komadi gline kotrljaju nazad niz odložnu traku, a zatim ispadaju.

U tabeli 5.3 prikazani su ostvareni kapaciteti bagera SchRs 630 na otkopavanju uglja i međuslojne jalovine na površinskom kopu "Tamnava – Istočno polje". U tabeli se jasno uočava razlika u ostvarenom kapacitetu do 1996 i nakon toga. Naime, u preiodu do 1996 godine ovaj bager je ostvarivao prosečno oko 1830 t/h. U drugoj polovini devedestih godina na površinskom kopu Tamnava-istočno polje u ugljenom sloju počinju da se javljaju proslojci veće debljine, što je uslovalo uvođenje tehnologije selektivnog rada i nabavku nove opreme (F trake). Nakon toga pro-

sečni kapacitet ovog bagera opada na oko 1000 t/h, s tim što se kapacitet na otkopavanju uglja kretao oko 1400 t/h, a na otkopavanju proslojaka oko 650 m³/h.

Tabela 5.3. Pokazatelji rada bagera SchRs630.25/6 (G-2) na P.K. "Tamnava – Istočno polje"

Godina	Ugalj			Međuslojna jalovina		
	Proizvodnja (t)	Efektivno vreme rada (h)	Kapacitet (t/h)	Proizvodnja (m ³)	Efektivno vreme rada (h)	Kapacitet (m ³ /h)
1989	8.980.777	4158	2159	-	-	-
1990	7.233.459	3347	2161	-	-	-
1991	8.532.624	4376	1949	-	-	-
1992	6.960.381	3968	1754	-	-	-
1993	6.392.765	3603	1774	-	-	-
1994	6.485.902	4125	1572	-	-	-
1995	6.457.000	4539	1422	-	-	-
1996	3.814.040	3002	1270	22.150	164	135
1997	4.538.652	3570	1271	164.512	236	697
1998	5.056.791	3624	1395	352.532	401	879
1999	4.713.038	3401	1386	948.506	1037	914
2000	5.290.473	3510	1507	1.338.615	1489	898
2001	2.970.583	1919	1548	930.235	1960	474
2002	2.339.258	1797	1301	746.142	1868	399
2003	4.501.301	2965	1518	882.525	1655	533
2004	3.161.025	2423	1304	1.220.216	1735	703

Uvođenjem sistema za upravljanje kvalitetom uglja, odraziće se dvojako na kapacitet bagera, odnosno celog proizvodnog sistema na sledeći način:

Povremeno u kratkotrajnim intervalima rada dolaziće do pada kapaciteta bagera, i pored toga što model operativnog planiranja u jednom od ograničenja ima i zahtev za ostvarenjem potrebnog kapaciteta bagera u intervalu 2000 ÷ 4000 t/h. S druge strane, potrebni smenski kapacitet kopova se kreće od 7 do 12 vozova, odnosno od 10.000 do 18.000 tona, i sa instalisanim kapacitetima bagera na ova dva kopa (SchRs 630 - 4100 m³/h, ERs - 1800 m³/h, SchRs 630 - 4500 m³/h, kao i povremeno angažovanje deponijske mašine RS 35 sa kapacitetom od 2500 t/h) potre-

bnna smenska proizvodnja se može ostvarivati i u nepovoljnim uslovima rada.

Uvođenjem ovog sistema omogućiće se otkopavanje i isporuka ugljeva slabijeg kvaliteta, odnosno otkopavaće se deo masa (ugalj lošijeg kvaliteta) koje do sada nisu otkopavane, već su prebacivane na unutrašnje odlagalište, tako da će se smanjiti potreba za selektivnim radom i omogućiće se delimično povećanje kapaciteta bagera, zbog većeg raspoloživog vremena za otkopavanje uglja.

Generalno uvođenje ovog sistema neće imati značajan uticaj na kapacitet kopova i raspoložive mehanizacije.

5.12. Rezime

Proces upravljanja kvalitetom uglja je zamišljen kao proces maksimalnog kontrolisanja kvaliteta i količine uglja koji se otkopava, a saglasno planovima koji se redovno donose na dugoročnom, srednjoročnom i kratkoročnom nivou. Tako, kontrolisano otkopani ugalj se prati tokom transporta, deponovanja i utovara u vagone kako bi se izbegle i predupredile eksczesne situacije koje bi poremetile zadati cilj – isporuka uglja poznatog i zadanog kvaliteta. Celokupni posao bi se analizirao, simulirao i planirao posebno izrađenim softverom koji je baziran na geološkom, tehnološkom i modelu deponije uglja "Tamnava".

Osnovu za izradu geološkog modela predstavlja tačno i precizno poznavanje karakteristika uglja u ležištu. Na bazi raspoloživih geoloških podataka o kvalitetu uglja ne može se upravljati procesom homogenizacije uglja pa je neophodno obavljati dodatna operativna geološka istraživanja karakteristika uglja u ležištu. Analiza uzoraka za precizniju izradu baze podataka geološkog modela predstavljaju potpuno nove radove i aktivnosti, ali se obim ukupnih radova na analiziranju i praćenju kvaliteta uglja ne povećava nego - smanjuje. Naime, po sadašnjoj praksi svakodnevno se uzimaju uzorci otkopanog uglja, najpre na kopovima, a potom na termoelektranama i analiziraju na bitne parametre. Rezultati tih analiza praktično pokazuju šta je sve već iskopano i sagoreno (dakle, istorija!) tako da služe samo za interno obračunavanje između Rudnika i Termoelektrana. Saglasno nameni, analize su vršene u postojećim internim laboratorijama. Različiti rezultati koji se dobijaju u različitim laboratorijama (kopovskim i elektranskim) su rešavani "super" analizama i dogovorima što je obema stranama stvaralo utisak "izrabljivanja od strane onih drugih", ali kako ti rezultati nisu imali uticaj na tehnološki proces, svi nesporazumi su se zadržavali na nivou menadžmenta obe strane. U novom sistemu, proces otkopavanja i proces sagorevanja će se planirati i voditi saglasno rezultatima analiza uglja što svemu daje potpuno novo dimenziju. Dakle, potrebno je uzimati uzorke iz blokova (sa otvorene etaže i/ili bušenjem sa krovine ugljenog sloja) koji će se otkopavati u narednom periodu (narednih 10-20 dana), precizno i tačno ih obraditi po verifikovanim metodologijama i takve rezultate uneti u bazu podataka

geološkog modela. Potom će se na bazi tih rezultata izvršiti reinterpetacija podataka o ležištu kao osnova za planiranje procesa otkopavanja uglja.

U tehnološkom modelu će se obraditi raspoloživa oprema, njene tehnološke mogućnosti i realno stanje kao osnova za operativno planiranje mesta i uslova otkopavanja. "Uvođenjem" operativnog geološkog modela u tehnološki softverski će se dobiti predlog korišćenja pojedinih bagera sa ciljem da se (korišćenjem celokupne raspoložive mehanizacije i opreme) dobiju zadane količine uglja zadanog kvaliteta. Program omogućava brzu simulaciju radi sagledavanja u kojoj meri se planirani i zahtevani uslovi ispunjavaju. Kada se inženjer zadužen za kontrolu i vođenje procesa (softverski) uveri da će se dobiti zadovoljavajući rezultati on izdaje konkretne operativne zadatke svakom rukovaocu i nastavlja da prati ostvarene rezultate. Komunikacija između Centra za upravljanje kvalitetom uglja i bagerista se ostvaruje bežičnom vezom, a ugrađena oprema omogućava inženjeru u Centru da u svakom trenutku zna kako koja mašina radi i koji rezultat se dobija simultanim radom više mašina. Dežurni inženjer ima ovlašćenja da vrši privremene (i povremene) korekcije izdatih operativnih zadataka. Kao deo tehnološkog modela pojavljuje se i model rada postojeće deponije uglja "Tamnava" tako da dežurni inženjer može da donosi odluku o korišćenju deponovanog uglja radi korekcije kapaciteta ili kvaliteta uglja, koji se otprema prema termoelektranama ili o privremenom punjenju deponije.

Celokupni proces se vodi saglasno rezultatima iz inovirane baze podataka operativnog geološkog modela, a ugrađeni on-line analizatori služe samo za okvirnu kontrolu tih podataka. Izuzetak čini poslednji on-line analizator u tehnološkom nizu montiran na mestu utovara uglja u vagon. Rezultati koje daje taj analizator koriste se za ispisivanje sertifikata o kvalitetu uglja, koji se upućuje ka termoelektranama, sertifikat se izdaje posebno za svaki utovareni vagon. Od ovoga se odustaje samo kada navedeni on-line analizator pokaže nelogične rezultate. "Tehnološko poverenje" samo u ovaj analizator je proizašlo iz činjenice da se on može kalibrirati da radi u uskom dijapazonu očekivanih vrednosti parametara kvaliteta uglja (vlaga, pepeo, DTE, S) kao posledica tehnoloških aktivnosti koje se preduzimaju na mestima otkopavanja i unutar transportnog sistema.

Predloženi model upravljanja kvalitetom uglja, dakle, bazira se na kontroli i upravljanju svim delovima procesa otkopavanja, transporta, deponovanja i utovara uglja. Za ovakav rad, apriori je potrebno obaviti stručno **dugoročno planiranje** na nivo Basena ili zavisnih delova kopova kako bi se izbegle situacije da u pojedinim vremenskim periodima nije moguće postići homogenizaciju uglja po kvalitetu, potom **srednjoročno planiranje** na nivou kopa ili kopova koji se objedinjavaju u jedinstveni sistem kako bi se rudne rezerve i oprema koristili racionalno i **kratkoročno planiranje** – operativno kako bi svaki učesnik u procesu imao konkretan, jasan i nedvosmoslen zadatak koji treba da ostvari bez da se, kao pojedinac, stara o radu, mogućnostima i zadacima drugih učesnika.

Kada se dublje sagleda suština procesa upravljanja kvalitetom uglja dolazi se do zaljučka da je njegov osnov - uspostavljanje potpune tehnološke discipline i organizacije koja koristeći tehnička dostignuća u najboljoj meri povezuje prirodne uslove u ležištu sa mogućnostima savremene rudarske i termoelektrične opreme. Pri tome, sva oprema koja se ciljano nabavlja radi homogenizacije ima osnovnu namenu da prati ostvarenje plana i ukaže na slabe tačke, odnosno na one delove sistema ili pojedince koji se ne uklapaju ili krše uspostavljenju tehnološku disciplinu i/ili organizaciju. Ovo je i razlog da uspostavljanjem homogenizacije uglja (gotovo) svi učesnici u tehnološkom procesu višestruko dobijaju, a da (gotovo) niko ne gubi.

Sa aspekta Rudnika uspostavljanje sistema upravljanja kvalitetom uglja sprečava nekontrolisano razbacivanje rudnim blagom uz proširenje sirovinske osnove, sa aspekta termoelektrane omogućava se uspostavljanje regularnijih uslova sagorevanja uglja uz proizvodnju jeftinije električne energije, sa aspekta okruženja izbegavanjem ekscenčnih situacija postižu se povoljniji uslovi za održanje povoljnije ekološke situacije, a smanjenjem količine mazuta koji se koristi bitno se smanjuje emisija oksida sumpora u okolinu. Uspostavljeni sistem omogućava stalno praćenje rada i ostvarenih rezultata na svakoj proizvodnoj jedinici (površinskom kopa) te saglasno tome i planiranje nabavke nove opreme. Razume se, uvođenje striktnih ekonomskih pokazatelja u svakodnevni rad kopa i termoelektrane uz integralno sagledavanje mogućnosti i potreba i kopa i termoelektrane treba da potpomogne da se donesu preciznije i tehnološki opravdanije investicione odluke.

Implementacija novog sistema upravljanja kvalitetom uglja na kopovima "Tamnava" treba provesti u nekoliko faza.

Faza I je pripremna sa ciljem da se obavi akreditacija postojećih (ili samo odabranih) laboratorija u kojima će se vršiti analize uglja i da se odredi dinamika i uslovi izvođenja radova na doistraživanju ležišta. Kao rezultat radova iz faze I treba da se dobiju akreditovane laboratorije, da se uslovi uzorkovanja, skladištenja i obrade uzoraka u potpunosti jednoznačno odrede i kao takve sprovede, da se metode za svaki analizirani parametar definišu, osoblje obuči i da se u konkretnim i praktičnim uslovima verifikuju dobijeni rezultati čiji stepen reproduktivnosti treba da bude saobražen sa svetskim standardima. Projektom doistraživanja treba definisati obim poslova kao osnovu za dalje radove. Dakle, na radovima prikazanim u fazi I baziraće se sve naredne aktivnosti, a stepen njihove upotrebljivosti treba da bude maksimalno mogući. Ukoliko se radovi iz ove faze u potpunosti ne obave i ne dobiju zadovoljavajući rezultati svaka dalja aktivnost je izlišna!

Faza II je posvećena radovima na projektovanju i nabavci nove opreme za merenje i akviziciju. Zadatak je da se uradi odgovarajuća tehničko-investiciona dokumentacija kako bi se omogućio rad celog sistema u punom obimu. Ove radove je potrebno započeti odmah na početku zbog vremena potrebnog da se raspiše tender, odabere isporučilac i oprema uradi.

U **fazi III** obavljaju se svi radovi potrebni za početak probnog rada i uvođenje nove organizacije u planiranju. U tehnološkom smislu, ovo je najvažnija faza jer se u njoj predviđa započinjanje istražnih radova, organizacija Centra za upravljanje kvalitetom uglja, završetak aplikativnog softvera i njegova implementacija na licu mesta i probni rad, pod direktnim nadzorom, u periodu od oko 3 meseca.

Faza IV je faza testiranja nove opreme i početka operativnog rada sistema kontrole. U ovoj fazi se predviđa potpuno zaokruživanje sistema upravljanja i postepeni prelazak svih nadležnosti na obučene operativce koji će u prvom periodu voditi celokupni proces rada Rudnika.

Sa četvrtom fazom ne prestaju aktivnosti na implementaciji sistema upravljanja kvalitetom uglja na kopovima "Tamnava" nego se dalje nastavljaju sa uključivanjem preostalih kopova u basenu i konačno zaokruživanje sistema uključivanjem termoelektrana i njihovih tehnoloških sistema vezanih za snabdevanje ugljem u **integralni sistem upravljanja kvalitetom uglja**.

Podjednako važno je i pravovremeno donošenje svih poslovnih i tehničkih odluka bez kojih se sistem ne može ni implementirati ni razvijati. Celo vreme je neophodno vršiti obuku osoblja radi što lakšeg prihvatanja i prelaska na novi sistem rada kopa. Obuci treba da podležu radnici (posebno inženjeri) svih struka, od geološke do elektrotehničke, jer u delokrugu rada svih će doći do promena u pristupu poslu, načinu rada, a bitno će se promeniti i način vrednovanja uspeha i neuspeha. Saglasno tome, mnoge ustaljene rutine će trebati menjati u hodu uz osvajanje novih. U svemu ovome treba, što je pre moguće, prepoznavati radnike (ponovo akcent treba staviti na inženjere!) koji nisu spremni da se menjaju jer njihovo zadržavanje na bitnim radnim mestima nosi nepotrebne probleme i troškove.

Literatura:

- [1] Ignjatović D., 2001, Određivanje eksploatacionog kvaliteta uglja za sagorevanje u termoelektranama Nikola Tesla, Zbornik radova XXXIII oktobarskog savetovanja, Bor
- [2] Kolonja B. et al., 2002, Management of coal quality from Kolubara mines for power plants supply, Zbornik radova III miedzynarodowy kongres Gornictwo wegla brunatnego, Polska – Belchatow, pp.
- [3] Kolonja B. et al., 2004, Primena procesa homogenizacije u cilju iskorišćenja niskokaloričnih lignite, Zbornik radova naučnog skupa Electra III, Herceg Novi, pp. 188-194
- [4] Kolonja B. et al., 2006, Konceptija upravljanja kvalitetom uglja na primeru površinskih kopova "Tamnava", Elektroprivreda, Vol. LVIII, No. 1, pp. 72-86
- [5] Kuester L. J., Mize H. J., 1973, Optimization Tehniques with Fortran, McGraw-Hill Book Company

- [6] Michaelides X., 1999, Successful on line physical and chemical analysis of coal, New technologies for coal quality control and homogenization, proceedings of workshop, Athens
- [7] Mitas et al., 1995, Coal quality analysis linked to power plant control, Power engineering
- [8] Njegovan V.N., 1969, Osnova hemija, Naučna knjiga, Beograd
- [9] Press H. W. et al., 1992, Numerical Recipes in Fortran, ...
- [10] Stojanović D. et al., 1996, Introduction of new method of selective working into the existing technolugu of mining in order to improve the rank of coal in the "Tamnava-istočno polje" surface pit mine, Zbornik radova X kongres o uglju, Turska
- [11] Stojanović D. et al., 1997, Primena računara u procesu praćenja selektivnog rada i homogenizacije uglja na površinskom kopu "Tamnava - Istočno polje" RB - Kolubara, Zbornik radova YU INFO, Brezovica
- [12] THERMIE, 1999, New Technologies for Coal Quality Control and Homogenisation, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [13] Tomanec R. et al, 1999, Coal sampling parameters for Drmno coal field, Kostolac. - Proceedings of 8th Balkan conference on Mineral Processing, Volume one, Belgrade
- [14] Wright A., 1996, Planning with Linear Programming, Balkema, Rotterdam
- [15] Živanović V., Ćuk Lj., 1996., Ugalj naš najveći izvor energije, Energija, ekonomija, ekologija br. 2, vol. 1, Beograd, pp.73-75
- [16] xxx, 2000, Stacking, blending, reclaiming, Trans Tech Publications, Claustehall

Literatura

Knjige

- [1] Bhattacharya J., 2001, Quality control and management: methods and practice in the mineral industry, Allied publishers limited, New Delhi
- [2] Carpenter M.A., 1995, Coal blending for power statuuions, IEA Coal Research, London
- [3] Carpenter M.A., 1999, Management of coal stockpiles, IEA Coal Research, London
- [4] Coates R. T. (1991) Chemical methods for dust control. Yearbook of the Coke Oven Manager's Association; 173-179
- [5] Ignjatović D., 2001., Izbor pomoćne mehanizacije za površinske kopove, Zadužbina Andrejević, Beograd
- [6] King A. (1997) Reduction of fugitive dust from coal stockpiles. Final report. EUR 17162, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities
- [7] Kirchner A., Maude C., 1994, On-line analysis of coal – symposium review, IEA Coal Research, London
- [8] Kuester L. J., Mize H. J., 1973, Optimization Tehniques with Fortran, McGraw-Hill Book Company
- [9] Olpinski W. (1959) Die Bedendung der Untersuchungen uber die Selbstentzundlichkeit von Kohle fur die Prophylaxis von Grubenbränden; Freiburger Forschungskefte; 7-22
- [10] Press H. W. et al., 1992, Numerical Recipes in Fortran, ...
- [11] Schmitz J (1994) Control of coal dust in transit and in stockpiles. IEAPER/15, London, UK, IEA Coal Research
- [12] Tomanec R., 2000, Metode ispitivanja mineralnih sirovina u PMS. – Rudarsko geološki fakultet, Beograd
- [13] van Vuuren M C J (1995) Guidelines for the prevention of spontaneous combustion of coal during storage and transport. Report ES9307, Pretoria, South Africa, Chief Directorate Energy, Department of Mineral and Energy Affairs
- [14] Vukanović B, Pavlović N (1984) Studija o samozapaljivosti i uslovima lagerovanja sušenog uglja - Kolubara. Rudarski Institut Beograd
- [15] Walker S (1999) Uncontrolled fires in coal and coal wastes. CCC/16, London, UK, IEA Coal Research

- [16] Wright A., 1996, Planning with Linear Programming, Balkema, Rotterdam
- [17] Wall T. et al., 2001, A review of the state-of-the-art in coal blending for power generation final report, Cooperative research centre for black coal utilisation, Callaghan
- [18] xxx, 1999., Lignite in Europe, Rheinbraun Aktiengesellschaft, Cologne
- [19] xxx, 2000, Stacking, blending, reclaiming, Trans Tech Publications, Claustehall
- [20] xxx, 2003, Coal industry across Europe, European Association for Coal and Lignite (Euracoal), Brussels
- [21] Zemliakov B. A., 1978, Prognozirovanie kharakteristik obogatimosti uglei, NEDRA, Moskva

Članci, saopštenja, referati

- [1] Belbot M. et al., 2001, A comercial on-line coal analyzer using pulsed neutrons, Zbornik radova XVI Intern. Conf. Application of Accelerators in reasearch and industry, American Institute for Phyzics
- [2] Bonisch R., Hohna U., Modern coal quality control for run-of-mine coal homogenization in the Lusatian lignite mining area (Federal Republic Germany)
- [3] Bulk Solids Handling (1998) A covered storage system for 230,000 m³. Bulk Solids Handling; 18(4); 631-632
- [4] Canić M. et al, 1992, Homogenizacija ili čišćenje uglja "Gacko" pre sagorevanja, Elektroprivreda, broj 7-9, Beograd
- [5] Canić M. et al, 1997, Mogućnost ujednačavanja kvaliteta uglja u fazi eksploatacije i homogenizacija na deponijama termoelektrana, Elektroprivreda, broj 1, Beograd
- [6] Carras J N, Young B C (1994) Self-heating of coal nd related materials: models, application and test methods. Progress in Energy Combustion and Science; 20(1); 1-15
- [7] Chakraborti K.S., 1995, American electric power's coal pile management program Bulk solids handling, vol 15, no. 3, pp. 421-428
- [8] Chakraborti S. (1999) An overview of AEP's coal handling systems. Bulk Solids Handling; 19(1); 81-88
- [9] Cierpisz S., Heyduk A., 2002, Dynamics of on-line ash monitors in monitoring and control systems", Coal preparation No. 22
- [10] Cudmore J F, Proudfoot B W (1988) Spontaneous combustion of coal in stockpiles. In: A workshop on steaming coal: testing and characterisation, Newcastle, NSW, Australia, 17-19 Nov 1987. Newcastle, NSW, Australia, University of Newcastle, Institute of Coal Research, pp L3.1-L3.50
- [11] de Wet N., 1994, Homogenizing/blending in South Africa – an update, Bulk solids handling, vol 14, no. 1, pp. 93-97
- [12] Fierro V, Miranda J L, Romero C, Andrés J M, Arriaga A, Schmal D, Visser G H (1999) Prevention of spontaneous combustion in coal stockpiles. Experimental results in coal storage yards. Fuel Processing Technology; 59(1); 23-34

- [13] Hofmann et al., 1999, On line determination of lignite quality in Rheinbraun opencast mines, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [14] Ignjatović D. et al., 2004, Predikcija kvaliteta kolubarskog lignite za potrebe sagorevanja u TE Nikola Tesla, Zbornik radova simpozijuma Termoelektrane 2004, Vrnjačka Banja, CD
- [15] Ignjatović D., 2001, Određivanje eksploatacionog kvaliteta uglja za sagorevanje u termoelektranama Nikola Tesla, Zbornik radova XXXIII oktobarskog savetovanja, Bor
- [16] Kavourides K., Pavlidakis F., 1999, Determination of Ptolomais (Greece) lignite quality variations – supportive fuels and homogenization methods to improve lignite quality for power generation purposes, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [17] Kavourides K., Pavlidakis F., 2003, Use of on-line Analysis Systems for Monitoring the Quality Fluctuations of the Lignite Produced From a Multi-Layered Deposit, Proceedings of symp. Mine planing and equipment selection, Kalgoorlie, pp. 1-8
- [18] Kirchner A., Maude C., "ON-line analysis of coal – symposium review", IEA Coal Research, London, 1994.
- [19] Kolonja B. et al., 2002, Management of coal quality from Kolubara mines for power plants supply, Zbornik radova III miedzynarodowy kongres Gornictwo wegla brunatnego, Polska – Belchatow, pp.
- [20] Kolonja B. et al., 2004, Primena procesa homogenizacije u cilju iskorišćenja niskokaloričnih lignite, Zbornik radova naučnog skupa Electra III, Herceg Novi, pp. 188-194
- [21] Kolonja B. et al., 2006, Konceptija upravljanja kvalitetom uglja na primeru površinskih kopova "Tamnava", Elektroprivreda, Vol. LVIII, No. 1, pp. 72-86
- [22] Kolonja B. et al., 2006, Koristi od homogenizacije uglja na primeru sistema površinskih kopova "Tamnava" - Termoelektrana "Nikola Tesla - B", Energija, ekonomija, ekologija, Beograd, Vol. V, No. 1-2, pp.116-119
- [23] Kolonja B. et al., Management system for the coal quality control on lignite open pit mines in Serbia, Zbornik radova, The 3rd Inter. Conf. Logistics and Transport, Vysoke Tatry, CD
- [24] Kolonja B. et al, 2004, Uticaj tehnologije rada deponijskih mašina na efikasnost procesa homogenizacije, Zbornik radova simpozijuma Termoelektrane 2004, Vrnjačka Banja
- [25] Kolonja B., Ignjatović D., 2000, Simulacija procesa otkopavanja i transporta uglja na ležištu Tamnava i cilju praćenja njegovog kvaliteta, Zbornik radova savetovanja IMES 2000, Arandjelovac
- [26] Kolonja B., Ignjatović D., 2001, Mogućnost ujednačavanja kvaliteta uglja homogenizacijom na površinskim kopovima Tamnava, Zbornik radova drugog međunarodnog savetovanja o površinskoj eksploataciji uglja, Beograd
- [27] Krishnaswamy S, Agarwal P K, Gunn R D (1996) Lowtemperature oxidation of coal. 3. Modelling spontaneous combustion in coal stockpiles. Fuel; 75(3); 353-362

- [28] Michaelides X., 1999, Successful on line physical and chemical analysis of coal, New technologies for coal quality control and homogenization, proceedings of workshop, Athens
- [29] Mitas et al., 1995, Coal quality analysis linked to power plant control, Power engineering
- [30] Njegovan V.N., 1969, Osnova hemija, Naučna knjiga, Beograd
- [31] Pavloudakis F., 1998, Homogenisation systems in coal stockyards, Zbornik radova sa Prvog međunarodnog savetovanja o površinskoj eksploataciji uglja, "Ugalj '98.", Beograd, pp. 125-134
- [32] Pavloudakis F., Agioutantis Z., 1999, "Computer aided coal quality control and homogenization – A state-of-the-art-review", "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens,
- [33] Schofield C.G., 1983, Homogenization/Blending System Design and Control for Minerals Processing
- [34] Schott et al., 2003, Karge-scale homogenization in mammoth silos: calculation homogenization efficiency and modeling input properties, Int. Journal of mineral processing, No. 71, Elsevier, Amsterdam, pp. 179-199
- [35] Shehata S.R., Wilton-Clark H.M., 1993, World's largest circular reclaim system at Belledune Power Station", Bulk solids handling, vol 13, no. 3, pp. 485-487
- [36] Smith A C, Lazzara C P (1993) Spontaneous combustion during the storage and transport of coal. In: 10th annual international Pittsburgh coal conference, Pittsburgh, PA, USA, 20-23 Sep 1993. Pittsburgh, PA, USA, University of Pittsburgh, Pittsburgh Coal Conference, pp 1009-1015
- [37] Snider et al., Using an on-line elemental coal analyzer for improved boiler efficiency, Hunter Coal Gen paper, Utah (offline, PGNNA)
- [38] Stasinakis A., 1999, Homogenization in Megalopolis lignite center, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [39] Stojaković M. et al, 1999, Problematika određivanja kvaliteta uglja na površinskim kopovima "Tamnava – Istok", Teslić
- [40] Stojaković M. et al., 1998, The supervision og the process of digging on the open pits Tamnava with the aim of equalization of composition of coal on the pit itself, ICAMC98 - 13 International Conference on Automation in Mining, Košice
- [41] Stojaković M. et al., 2000, Governing the blending proces om the tamnava deposit, Zbornik radova međunarodnog simpozijuma Lignite Innovations for future in Europe, Feiberg
- [42] Stojanović D. et al., 1996, Introduction of new method of selective working into the existing technologu of mining in order to improve the rank of coal in the "Tamnava-istočno polje" surface pit mine, Zbornik radova X kongres o uglju, Turska
- [43] Stojanović D. et al., 1997, Primena računara u procesu praćenja selektivnog rada i homogenizacije uglja na površinskom kopu "Tamnava - Istočno polje" RB - Kolubara, Zbornik radova YU INFO, Brezovica

- [44] Sujanti W, Zhang D-K, Chen X C (1999) Low-temperature oxidation of coal studied using wire-mesh reactors with both steady-state and transient methods. *Combustion and Flame*; 117(3); 646-651
- [45] Šer et al., 1991, Prikaz najnovijih uređaja za kontinuiranu kontrolu kvaliteta uglja, zbornik radova XIII jugo. simpozijum o PMS
- [46] THERMIE, 1999, New Technologies for Coal Quality Control and Homogenisation, "New technologies for coal quality and homogenization", workshop, Athens
- [47] Tomanec R. et al, 1999, Coal sampling parameters for Drmno coal field, Kostolac. - Proceedings of 8th Balkan conference on Mineral Processing, Volume one, Belgrade
- [48] Tomanec R. Et al., 2002, Značaj prognoze kvaliteta pri rešavanju problema homogenizacije uglja, Zbornik radova 18. Jugoslovenski simpozijum o pripremi mineralnih sirovina – sa međunarodnim učesćem, Banja Vrujci
- [49] Woodward R.C. et al., "A major step forward for on-line coal analysis", www.thermo.com/com/CMA/Files/articlesFile_20692.pdf
- [50] Yu S. et al., 2004, Calibration of online ash analyzers using neural networks, Proceedings SME Annual Meeting Cincinnati, pp. 03-047
- [51] Dreyer N.H., Stackers and reclaimers add value to mineral processing, www.saimh.co.za/beltcon/beltcon8/paper817.html
- [52] Zador A. T., 1991, Technology and Economy of Blending and Mixing, *Bulk Solids Handling*, Vol. 11, No. 1, pp. 1-11
- [53] Živanović V., Ćuk Lj., 1996., Ugalj naš najveći izvor energije, *Energija, ekonomija, ekologija* br. 2, vol. 1, Beograd, pp.73-75

Tehnička dokumentacija

- [1] Perišić M. et al., 1982, Utvrđivanje potrebnih veličina deponija uglja za termoelektrane", Rudarski institut, Beograd
- [2] Stojanović G., 1999: Tehnička dokumentacija postrojenja za pripremu uglja "Tamnava". Stručni rad, FSD, Lazarevac
- [3] xxx, 1999, Studija utvrđivanja najniže vrednosti donjeg toplotnog efekta uglja ležišta "Tamnava-istočno polje" i "Tamnava- zapadno polje" koji se može opravdano koristiti za sagorevanje u termoelektrani "Nikola Tesla", knjiga I, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [4] xxx, 2000, Određivanje eksploatacionog kvaliteta uglja za snabdevanje termoelektrana "Nikola Tesla" u Obrenovcu, studija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [5] xxx, 2004/05, Upravljanje procesom homogenizacije uglja u cilju povećanja iskorišćenja niskokvalitetnih ugljeva i uštede mazuta u termoelektranama, RGF, Projekat EE101-189 B, finansiran od strane MNT R. Srbije, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [6] xxx, Nikola Tesla – Kratak pregled rezultata termo-tehničkog proračuna, dokument TENT-B-4500/0064

Internetski sajтови

- [2] www.csiro.au
- [3] www.emag.katowice.pl
- [4] www.energytechinc.com
- [5] www.mining-technology.com
- [6] www.rgi-ms.com
- [7] www.scantech.com.au
- [8] www.thermo.com
- [9] www.wilpo.com.pl

Ostalo

- [1] Stojaković M., 1999, Metodika upravljanja procesom homogenizacije uglja na površinskim kopovima "Tamnava", magistarski rad, Beograd
- [2] Prospekti firmi F.L.Smidth, FAM, KRUPP i dr.



Dragan Ignjatović, rođen 1962. u Arandelovcu. Srednju školu završio u Lazarevcu, a diplomirao 1986. na Smeru za mehanizaciju Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Na istom fakultetu magistrirao 1993. i doktorirao 1998. Po diplomiranju zaposlio se u obrazovnom centru Lazarevcu, a zatim u REIK Kolubara. Od 1990. je nastavnik na Rudarsko-geološkom fakultetu. Danas u zvanju vanrednog profesora.

Bavi se istraživanjima, projektovanjem i rešavanjem problema u domenu mehanizacije za površinsku eksploataciju i transport. Učestvovao u izradi više desetina projekata, studija, analiza, elaborata, softvera i ekspertiza. Objavio je 1 knjigu i preko 100 stručnih i naučnih radova.

Dinko Knežević, rođen 1955. u Otonu (Knin, Hrvatska). Diplomirao 1978. na Smeru za pripremu mineralnih sirovina Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Na istom fakultetu magistrirao 1991. i doktorirao 1995. Po diplomiranju zaposlio se u »Rudarskom institutu-Beograd« gde je radio 16 godina, potom jednu godinu u privatnoj firmi »Dunav-hydro«, a od 1997. je nastavnik na Rudarsko-geološkom fakultetu. Danas u zvanju vanrednog profesora.

Bavi se istraživanjima, projektovanjem i rešavanjem problema u domenu pripreme mineralnih sirovina. Učestvovao u izradi više desetina projekata, studija, analiza, elaborata i ekspertiza. Objavio je 4 knjige i preko 140 stručnih i naučnih radova.



Božo Kolonja, rođen 1954. u D. Malovanu (Kupres, BiH). Diplomirao 1979. na Smeru za površinsku eksploataciju mineralnih sirovina Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Na istom fakultetu magistrirao 1984. i doktorirao 1993. Na početku radio u Rudniku željezne rude Vareš, a od 1983. radi na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu. Danas u zvanju redovnog profesora.

Bavi se istraživanjima i projektovanjima sistema za površinsku eksploataciju mineralnih sirovina. Učestvovao je u izradi više desetina projekata, studija i elaborata, objavio 2 knjige i preko 100 naučnih i stručnih radova.

Nikola M. Lilić, rođen 1958. u Beogradu. Diplomirao je 1982. na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu, na Smeru za podzemnu eksploataciju ležišta mineralnih sirovina. Magistrirao je iz oblasti tehničke zaštite 1985., a doktorirao iz oblasti ventilacije 1990. na istom fakultetu. Na Rudarsko-geološkom fakultetu radi od decembra 1982. Danas ima zvanje redovnog profesora.

Bavi se problematikom tehničke zaštite i zaštite životne sredine na lokalitetima velikih rudarskih kompleksa. Objavio je 7 knjiga i više od 60 naučnih i stručnih radova.



Ranka Stanković, rođena 1964. u Nikšiću. Diplomirala 1988. na Smeru za računarstvo i informatiku Matematičkog fakulteta u Beogradu. Na istom fakultetu magistrirala 2000. Zvanje Microsoft Certified Solution Developer je stekla 2002., a Microsoft Certified Trainer 2003. Po diplomiranju zaposlila se na Rudarsko-geološkom fakultetu, kao stručni saradnik u Računarskom centru, a od 2001. je u zvanju asistenta.

Bavi se softverskim inženjeringom, veštačkom inteligencijom i projektovanjem informacionih sistema i baza podataka. Učestvovala je u izradi više desetina projekata i studija, koautor 3 monografije, preko 60 naučnih i stručnih radova. Autor je više od 20 softverskih rešenja.