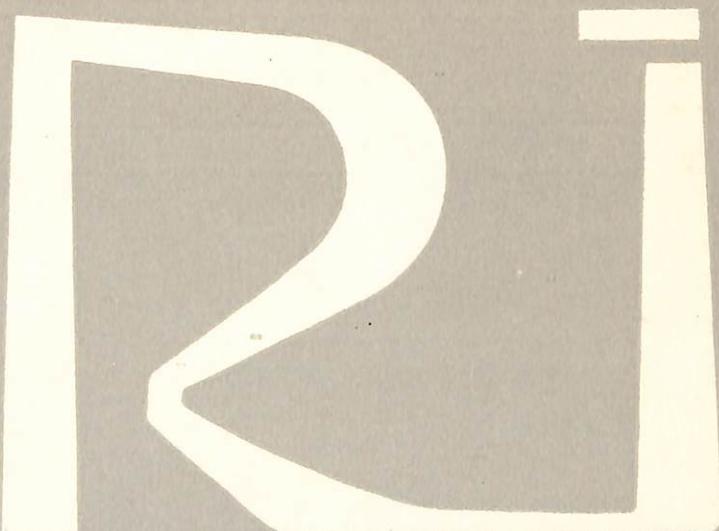


INFORMACIJE B
B R O J 31



Dipl. hem. BRANKA MILOVANOVIĆ - VUKANOVIĆ

**OSVRT NA ZNAČAJ POZNAVANJA PRIRODNOG INDEKSA
SAMOZAPALJIVOSTI UGLJA U CILJU UPOZNAVANJA MOGUĆNOSTI ZA
SMANJENJE ENDOGENIH JAMSKIH POŽARA**

RUDARSKI INSTITUT BEOGRAD 1965.

Izdavač
RUDARSKI INSTITUT — BEOGRAD

Glavni urednik
Dipl. ing. MOCO SUMBULOVIC

Redakcioni odbor

Blažek ing. Aleksandar, Čepercović ing. Miodrag,
Dular ing. Slavko, Đorđević ing. Kirilo, Filipovski
ing. Blagoje, Gluščević prof. ing. Branko, Jovanović
dipl. hem. Nićifor, Kovačević ing. Vjekoslav,
Lešić prof. dr ing. Djura, Malić prof. dr ing. Dragomir,
Marinović ing. Ivo, Mihajlović ing. Jovan,
Misita ing. Risto, Novaković ing. Ljubomir, Odić ing.
Tvrtko, Ferišić dr ing. Mirko, Popović ing. Božidar,
Slokan prof. dr ing. Karel, Spasojević ing. Borislav.

Štampa: „PROSVETA” — Požarevac

B R O J 31

Dipl. hem. BRANKA MILOVANOVIĆ - VUKANOVIĆ

**OSVRT NA ZNAČAJ POZNAVANJA PRIRODNOG INDEKSA
SAMOZAPALJIVOSTI UGLJA U CILJU UPOZNAVANJA MOGUĆNOSTI ZA
SMANJENJE ENDOGENIH JAMSKIH POŽARA**

Beograd 1965.

S a d r ž a j

Uvod	3
Značaj prethodnog poznavanja prirodnog indeksa samozapaljivosti uglja	3
Oksidacija uglja	4
Uticaj temperature na oksidaciju uglja	5
Ostali faktori koji utiču na brzinu samo- oksidacije	5
Definicija i način određivanja prirodnog indeksa SZ	7
Prikaz rezultata dosadašnjeg istraživanja prirodnog SZp indeksa za neke naše slojeve	9
Prirodni SZp indeks za ugljeni sloj Stare jame rudnika „Soko”	9
Analiza uticaja nekih ispitivanih faktora na samozapaljivost ugljenih slojeva rudnika „Soko” i „Aleksinac”	15
Zaključak	16
Rezime	16
Literatura	16

U V O D

Problematika samozapaljivosti ugljenih slojeva sistematski i na naučnim osnovama u našoj zemlji vrlo malo je istraživana, bez obzira što samozapaljivost uglja pri njegovoj eksploataciji stvara velike teškoće u našim rudnicima uglja. Nasuprot tome, u rudarski razvijenim zemljama (SSSR, Poljska, Engleska, Francuska, Nemačka itd.) postignuti su vrlo visoki rezultati na ovom području naučno-istraživačkog rada.

Mali je broj rudnika uglja koji nisu ugroženi pojavom endogenih požara. Ovi požari predstavljaju veliku opasnost u rudnicima, jer ne samo što ugrožavaju sigurnost ljudi u pogonu, tehnološki proces i oruđa za rad, nego prouzrokuju ogromne materijalne štete usled gubitaka ugljene supstance.

Uzroci endogenih požara uglavnom leže u neprilagođenom načinu eksploatacije i ventilacije ležišta u odnosu na fizičko-hemijske osobine pojedinih vrsta ugljeva, tj. u odnosu na prirodnu sklonost ugljene supstance samozapaljenju.

Da bi se mogle preduzeti pravovremene i efikasne zaštitne mere protiv nastajanja endogenih jamskih požara, potrebno je ispitati proces oksidacije naših ugljeva, kao i uslove pod kojima dolazi do samooksidacije tj. do samozapaljenja. Poznavanje odnosa procesa oksidacije uglja i uslova pod kojim dolazi do oksidacije izraženo brojčanim pokazateljem predstavlja stepen prirodne sklonosti uglja samozapaljenju (t^0/min) i označava se kao prirodni (SZ) indeks samozapaljenja.

Da bi se prirodni indeks mogao odrediti potrebno je ispitati sve prirodne osobine ugljenog sloja i sastav ugljene supstance kao: hemijska i fizička svojstva, petrološku strukturu, mineralne i druge

katalizirajuće sastavne delove uglja itd. Ovi parametri koji pod određenim spoljnim uslovima različito utiču na brzinu i intenzitet oksidacije uglja, različiti su kako za svaki ugljeni sloj, tako i za pojedine ploče uglja u istom ugljenom sloju.

Upoznavši značaj prethodnog ispitivanja i određivanja prirodnog indeksa samozapaljivosti uglja za preduzimanje preventivnih tehničkih rešenja u eksploataciji uglja, Biro za ventilaciju i tehničku zaštitu Rudarskog instituta u Beogradu, već duže vremena izučava ovu vrlo složenu materiju na ugljenim slojevima SR Srbije¹⁾ i SR BiH.

ZNAČAJ PRETHODNOG POZNAVANJA PRIRODNOG INDEKSA SAMOZAPALJIVOSTI UGLJA

Određivanje prirodnog indeksa samozapaljivosti nekog ugljenog sloja ima višestruki značaj, kako za rudnike u eksploataciji tako isto i za rudnike, čija se eksploatacija predviđa i projektuje.

Dokazano je da su endogeni požari, uglavnom, posledica sledećih faktora:

- prirodne sklonosti uglja samozapaljenju
- neadekvatnog načina razrade i pripreme ležišta i metode eksploatacije
- neadekvatnog izbora režima provetrvanja.

Ako se kod projektovanja novih proizvodnih objekata tehnički elementi eksploatacije izaberu nepravilno, požari se mogu pojavit i u slojevima, koji

¹⁾ Istraživanje u ovom članku navedenih slojeva SR Srbije finansirao je Republički fond za naučni rad.

prirodno nisu skloni samozapaljenju. Obračno, putem primene pravilnog sistema eksploatacije i ispravnog režima provetrvanja požari se mogu izbegti i u slojevima sa izrazitom prirodnom sklonošću ka samozapaljenju. Prirodni indeks samozapaljivosti je u suštini glavni i osnovni pokazatelj na osnovu koga treba odrediti rudarsko tehničke faktore, koji sprečavaju razvijanje požara ili njegove pojave svode na što je moguće manju meru.

U istom ugljenom sloju pojedine ugljene ploče mogu da pokazuju zнатне razlike, u vrednosti prirodnog indeksa samozapaljivosti. Od ove okolnosti zavisi npr. u kom delu ugljenog sloja treba projektovati jamske komunikacije, kakav treba da bude njihov međusobni položaj, način permanizacije, da li je sa stanovišta razvijanja jamskog požara uopšte u ugljenom sloju pogodno projektovati komunikacije sa velikim razlikama u depresiji i dr. Isto tako, kod definisanja načina otkopavanja prirodni indeks samozapaljivosti je jedan od odlučujućih faktora za izbor otkopne metode, za izbor načina upravljanja stariom radom, utvrđivanja čistoće otkopavanja i eksploatacione brzine napredovanja otkopnog fronta i dr. Prirodni indeks samozapaljivosti uglja ukazuje i na druge preventivne tehničke mere, koje treba projektovati i preduzeti u eksploataciji u cilju smanjenja opasnosti nastajanja jamskih endogenih požara.

Njegovo poznavanje pruža osnovu za šira naučna istraživanja metoda i tehničkih sredstava (lateksi, uretani i dr.), pomoću kojih se u fazi eksploatacije mogu uspešno smanjiti oksidacioni procesi i jamski požari, te na taj način preventivno dejstvovati na latentne opasnosti koje ugrožavaju zapoštene radnike, tehnološki proces, društvenu imovinu i mineralnu supstancu.

On određuje i stepen kontrole, koji treba organizovati u cilju pravovremenog upoznavanja indikacionih elemenata oksidacionih procesa, pomoću kontrolnih indikatora.

Može se stići utisak, da prirodni indeks samozapaljivosti uglja ima značaj samo kod novih projektovanja razrade i eksploatacije ležišta. Naprotiv, njegovo poznavanje ništa manje nije značajno i za ležišta uglja čija je eksploatacija u toku, jer naročito kod jama u kojima je eksploatacija u toku, a imaju često indicirane endogene požare, njegovo poznavanje može da posluži za objašnjenje, da li su oni posledica prirodne sklonosti uglja samozapaljenju ili neadekvatnih tehničkih faktora eksploatacije (SZt). Prema tome, njegovo poznavanje treba da posluži kako inženjerima u praksi, tako i naučnim radnicima, u kom pravcu treba orijentisati is-

traživanja tehničkih rešenja za sprečavanje razvijanja požara i metoda za savladivanje već razvijenih požara.

U okviru ovog rada zadržaćemo se isključivo na analizi i metodologiji upoznavanja prirodnog (SZ) indeksa samozapaljivosti uglja, značajnog za brzinu oksidacije različitih vrsta uglja i definisanje hemizma oksidacije.

OKSIDACIJA UGLJA

I pored vrlo opširne naučne literature, samozapaljenje uglja nije još dovoljno objašnjeno. Razlog tome je vrlo komplikovan tok oksidacije uglja na temperaturi koja je bliska normalnoj. Složeni fizičko-hemijski proces oksidacije uglja i njegovog samozapaljenja zavisi od mnogih faktora, koje je teško povezati u jednu celinu. Naročito radi nepoznavanja toka oksidacije na niskim temperaturama dolazi do znatnih teškoća u rešavanju ovog važnog problema.

Danas je dokazano, da je oksidacija uglja uzrok njegovom samozapaljenju. Postoji više teorija koje objašnjavaju stvaranje topote neophodne za samooksidaciju uglja. Sve one baziraju na hemizmu oksidacije. Razlika je među tim teorijama samo u tome, što svaka od njih pridaje značaj oksidacije drugom uzroku. Tako npr. piritna teorija pridaje značaj oksidaciji pirita; fenolna — fenolnoj grupi u uglju; bakterijska — uticaju bakterija na oksidaciju organskih jedinjenja u uglju itd.

Jedan od ovih osnovnih fizičko-hemijskih procesa, čiji intenzitet određuje stepen zagrevanja uglja, je sorpcija gasova od kojih je za oksidaciju uglja najznačajniji kiseonik.

Pod sorpcijom gasa podrazumevamo fizičku i hemijsku adsorpciju. Fizička adsorpcija se pripisuje dejstvu sila između čvrste površine absorbenta (supstanca na koju se vrši adsorpcija) i molekula adsorbata (supstanca koja se adsorbuje), a slične su van der Waalsov-im silama između molekula. Energija absorbovanja je veličina od nekoliko stotina do nekoliko hiljada kalorija po molu. Fizička adsorpcija je u opštem slučaju sasvim lako reverzibilna tj. smanjenjem pritiska adsorbovani gas se desorbuje.

Nasuprot fizičkoj adsorpciji, hemosorpcija je rezultat mnogo jačih sila vezivanja, koje se mogu porebiti sa onim, koje dovode do stvaranja hemijskih jedinjenja. Adsorpcija se u ovom slučaju može smatrati kao stvaranje neke vrste površinskog jedinjenja. Energija adsorpcije se kreće od 10^4 do 10^5 cal. po molu. Hemosorpcija je retko reverzibilna.

Pri sorpciji određene količine kiseonika dolazi do oslobođenja toplotne i to u količini koja je proporcionalna sili kojom ugljenik veže atome kiseonika. Ako se atom ugljenika pod uticajem kiseonika otkine od ugljene mase u obliku ugljenmonoksida ili ugljendioksida ili samo oslabi svoju vezu sa drugim atomima utrošiće se deo toplotne energije za ovo otkidanje ugljenika, a taj deo je utoliko veći, ukoliko ima da razruši jaču vezu. Krajnji efekat toplotne reakcije ugljenika i kiseonika, prema tome, zavisi od:

- energije koja se oslobađa pri spajanju kiseonika i ugljenika,
- energije koja se utroši da bi se olabavili spojevi unutar ugljene mase.

Samozagrevanje je u početnoj fazi posledica oksidacije atoma ugljenika ili vodonika, koji se nalaze na spoljnoj površini uglja. Ako atomi leže na uglovima i rubovima slabije su vezani sa drugim susednim atomima, te se lakše i otkidaju. Veliki toplotni efekat oksidacije ovih atoma može izazvati početak zagrevanja, pa će drugi atomi brže reagovati usled nastale povećane temperature.

Iz izloženog se vidi da pored adsorpcije kiseonika nastaje i njegovo hemijsko sjedinjavanje — hemosorpcija, što dovodi do oslobođenja toplotne tj. $2,1 \text{ cal}$ pri adsorpciji 1 cm^3 kiseonika. Ako se toplota ne gubi, onda će se ona u uglju stalno povećavati. Porast temperature u početku je veoma mali, ali kasnije postaje sve veći i veći. Izrazito brz porast temperature nastaje u intervalu od 60 do 100°C (prema Budryku na 60°C), te se ta temperatura smatra kritičnom za samozapaljenje.

Ustanovljeno je da onaj ugalj, koji vezuje veću količinu kiseonika, ima i veću sklonost samozapaljenja.

Najveću sposobnost oksidacije, a s tim u vezi i samozapaljenja imaju sitan ugalj i prašina, jer imaju veliku površinu kontakta sa kiseonikom.

Uticaj temperature na oksidaciju uglja

Ako posmatramo zavisnost toka oksidacije od temperature videćemo da temperatura ima veliki uticaj na brzinu oksidacije uglja.

Porast temperature ubrzava oksidacione procese, pa ako se toplota stvorena oksidacijom ne odvodi, dolazi vrlo brzo do samozapaljenja, tj. do endogenih požara u jami.

Prema ispitivanju Oreszki-a promena težine uglja za vreme njegove oksidacije, uz porast

temperature, može se podeliti na sledeće faze:

- počev od normalne temperature pa sve do 80°C raste težina uglja usled adsorpcije i hemosorpcije kiseonika,

- iznad 80°C težina uglja opada, jer dolazi do raspadanja nastalih jedinjenja i dostiže minimum za razne vrste uglja kod temperature 155 – 170°C u slučaju zagrevanja na vazduhu,

- kad se prekorači ova temperatura, pa sve do temperature paljenja, težina uglja opet raste,

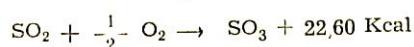
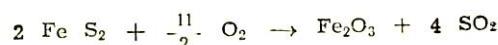
- posle prekoračenja temperature paljenja (233 – 330°C u struji vazduha) težina vrlo brzo opada, jer nastaje brzo raspadanje površinskih jedinjenja. Na ovoj temperaturi počinje faza tzv. švelovanja kod niske temperature.

Za samozapaljenje uglja najvažnija je prva faza.

Prema iskustvima dr W. Budryka sigurno će se u kratkom vremenu zapaliti onaj ugalj, koji se u sloju zagreje na oko 60°C , ako se ne spreči pristup vazduha. U ovoj fazi glavnu ulogu igra sorpcija kiseonika. U početku toplota koja se stvara oksidacijom uglja povećava se polako. Period sorpcije kiseonika traje nekoliko nedelja, zavisi od prirodnog indeksa sklonosti samozapaljenju. Ovaj period se zove inkubacioni, a prate ga sledeći oslobođeni gasovi: ugljenmonoksid, ugljendioksid i vodena para. Posle inkubacije dolazi indikacioni period. On traje mnogo kraće, a prate ga još i nezaštićeni ugljovodonici. Nakon toga, dolazi do otvorenog požara, kad se javljaju veće količine gasova. Prema tome, ispitivanje sorpcije kiseonika i produkata oksidacije ima veliki značaj u objašnjenju oksidacionih procesa a samim tim i samozapaljenja.

Ostali faktori koji utiču na brzinu sameoksidacije

Piritna grupa. — Sulfidni derivati koji se nalaze u samom uglju ili pratećim naslagama su: pirit, markazit i pirhotin. Od ovih je za brzinu sameoksidacije najznačajniji markazit. On može katalitički da utiče na oksidaciju bilo direktno prema jednačini:



bilo indirektno prema sledećoj jednačini, stvaranjem

funkcionalnih sulfonskih grupa ili stvaranjem tion-skih kiselina:



Važno je napomenuti i to, da se pri oksidaciji pirita izdvaja dva puta veća količina topote (4,3 cal na 1 cm³ O₂), nego kod oksidacije uglja (2,1 cal. na 1 cm³O₂). Oksidacija pirita vrši se na nižoj temperaturi (10—15°C).

Vлага olakšava oksidaciju pirita, a ta reakcija predstavlja važan faktor u procesu samozapaljenja uglja (Bylo Z.).

Oksidacija pirita u povoljnim prilikama predstavlja potpomažući faktor u razvoju početnog zagrevanja.

M e t a l n i k a t a l i z a t o r i . — Komplikovana i promenljiva struktura uglja u petrografskom, hemijskom i fizičkom pogledu sve do danas nije u potpunosti razjašnjena. Prisustvo u uglju neorganiskih materija, među kojima i elemenata poznatih kao katalizatori ubrzava samooksidaciju. U uglju se nalaze soli metala jedinjenja fosfora, arsena, antimona. Ove soli su dispergovane usled rastvaranja, kada je ono moguće i mogu u dodiru sa vazduhom da razviju toplotu koja će ubrzati oksidaciju u samom uglju. Tako npr. oksidi gvožđa vanadijuma, mangana i molibdena povećavaju brzinu oksidacije, dok, s druge strane, postoje elementi koji usporavaju oksidacione procese kao npr. aluminijum, barijum, bor, itd.

U ovu grupu spadaju i organo-metalni katalizatori, koji se mogu naneti pri eksploataciji uglja, tj. razne soli kao sastojci maziva ili adicione sredstva za tečna maziva. Dejstvo ovih raznovrsnih soli malo je proučeno u dosadašnjem istraživanju, ali izgleda da se izvestan broj brzih oksidacija može pripisati ovim solima.

B i l j n i k a t a l i z a t o r i . — Uloga drveta u pojavi samooksidacije ogleda se u biološkom dejstvu pretvaranja celuloze pod uticajem mikroorganizama koji se nalaze u terenu pogodnom za njihov razvoj. Atmosfera u rudnicima je obično pogodna za razmnožavanje svih vrsta mikroorganizama. Usled pomenutog bioološkog dejstva obično dolazi do raspadanja drveta upotrebljenog u rudnicima i do snižavanja polazne temperature sagorevanja, koja može da padne do 180°C, što dovodi do katalitičkog dejstva na oksidaciju uglja.

K o l i č i n a v a z d u h a. — Ako je količina vazduha koja se nalazi u kontaktu sa ugljem dovoljna da odstrani toplotu stvorenu od samooksidacije, tada dolazi do stabilnog režima te se samo-oksidacija ne može ubrzati, jer se temperatura ne povećava. Na ovom se nećemo zadržavati, pošto to zahteva dugo izlaganje teorije i prakse, ali možemo potvrditi, da se zagrevanje može smanjiti do izvesnog stepena povećanjem količine svežeg vazduha.

Opasnost se povećava kad je količina topote, koja se oslobođa (razvija) pri samooksidaciji, veća od količine topote okoline. Ovo ima za posledicu povišenje temperature okoline.

V l a g a . — Ugalj absorbuje ili izdvaja iz okoline vlagu u količini, koja zavisi od vrste i strukture uglja, kao i od temperature i pritiska vodene pare u okolnom vazduhu. Prisustvo vode ubrzava hemijski proces samozagrevanja uglja, a naročito slojeva sklonih samozapaljenju.

D r H o d g e s i p r o f. H i n s l e y ispitivali su uticaj vlage na samooksidaciju uglja u nizu laboratorijskih ogleda. Ova ispitivanja su pokazala da postoje dva izvora vlage o kojima se mora voditi računa i to:

- vлага u vazduhu,
- vлага u uglju.

Na osnovu laboratorijskih ispitivanja oni su došli do zaključka da prisustvo vlage u vazduhu ima mnogo veći značaj na brzinu samooksidacije nego vлага u samom uglju.

W o l w c z y k uočava, da se broj samooksidacije znatno povećava posle isušivanja jama i delova koji su bili poplavljeni vodom.

P e t r o g r a f s k i s a s t a v u g l j a . — Fuzit ima veliku sposobnost adsorpcije kiseonika, jer se lako raspada u najsitniji prah. Kod 15°C upija fuzit 1,5 do 2,0 puta više kiseonika, a kod 50°C oko 5 puta više nego drugi sastojci uglja (Stoper). Prema tome, fuzit može biti središte samozagrevanja, koje je nužno za početak intenzivne oksidacije drugih sastojaka uglja.

Vitrit je vrlo krt sa malim sadržajem pepela, a njegove pukotine su često ispunjene piritom, lake se drobi i mrvi što ima znatnog uticaja na oksidaciju. Ispitivanja su pokazala da ugljevi koji sadrže dosta vitrita su skloni oksidaciji.

Definicija i način određivanja prirodnog indeksa SZ

S obzirom da je sklonost samozapaljenju kod raznih vrsta uglja, pa čak i kod istog i u pojedinim pločama različita, pokazala se je potreba za pronaalaženjem metode na osnovu koje bi se ugljevi mogli klasificirati prema sklonosti samozapaljenju.

Ovom problemu u proteklom periodu poklonjeno je mnogo pažnje, ali ni jedna od predloženih metoda nije prihvaćena za masovno određivanje samozapaljenja, jer je ili metoda bila suviše komplikovana za masovna određivanja ili rezultati nisu davali dovoljnu karakteristiku o sklonosti uglja sa-mozapaljenju.

Već u samom početku istraživači su se podeli-li u dve grupe:

— radovi prve grupe odnose se na oksidaciju uglja dejstvom nekog spoljnog oksidanta,

— radovi druge grupe ispituju samooksida-ciju uglja.

Tako su T a h i r o (1958) i K a u r e k a (1964) ispitivali oksidaciju uglja dejstvom azotne kiseline, dok Maciejasz (1956) i Lason (1959) dejstvom vodenog peroksidnog rastvora.

Maciejasz i Lason ispitivali su zavisnost, koja postoji između porasta temperature u sistemu ugajl — voden rastvor perokside i empirički utvrđene sklonosti uglja samozapaljenju. Ispitivanja su po-kazala da reakcija u pomenutom sistemu ima ka-rakterističan tok, koji je kod ugljeva sklonih samo-zapaljenju drukčiji nego kod ugljeva kod kojih ta sklonost nije izražena. Ugajl koji je sklon samoza-paljenju u početku pokazuje neznatno povišene tem-perature, dok kasnije porast temperature postaje veoma brz uz jednovremeno naglo kipljenje rastvo-ra. Kod ugljeva, koji nisu skloni samozapaljivanju, temperatura sistema se podiže vrlo lagano posle čega i ravnomerno opada.

Poslednjih godina ponovo se pridaje velika pa-žnja ispitivanju samooksidacije uglja, koje su za-počeli istraživači W i n m i l l , D a v i d i B y r n e još 1926. godine, usavršavajući uređaj koji je radio pod adijabatskim uslovima i imao približne uslove, koje je imao ugajl u ležištu.

M a y e r s je razradio metodu za određivanje apsolutne brzine reakcije između koksa i kiseonika na rastresitim zrnima koksa. Opit je vršio u laboratorijskoj peći.

Peć se zagreva brzinom od 6—25°C/min. U peći se nalazi cev sa ispitivanim koksom i termoelemen-tom. Vazduh ili kiseonik propušta se kroz cev od-

ređene brzine. Temperatura probe u početku je niža od temperature peći. Međutim, posle izvesnog vremena temperatura probe brže raste kao posle-dica nastajanja topote reakcije i prekoračuje tem-perature peći. Mayers je merio temperature u mom-entu izjednačenja temperature probe i peći, pret-postavljajući da u tom momentu cela količina na-stale topote ostaje upotrebljena za zagrevanje probe.

Za razliku od M a y e r s-a prof. dr W. O l p i n-s k i je umesto rastresitih zrna upotrebo pastilu i umesto stalnog porasta temperature peći održavao je konstantnu temperaturu. Time je postignuto tač-nije određivanje adijabatičnog momenta, a samim tim i prirodnog indeksa.

Stvaranje ognjišta požara, koja nastaju usled samozapaljenja zavise s jedne strane od reakcionog intenziteta oksidacije tj. od intenziteta stvaranja topote pri ovoj reakciji i s druge strane, od brzine odavanja topote. U cilju uporedne ocene sklonosti uglja samozapaljenju iz mnogobrojnih do sad pred-loženih metoda, prof. Olpinski je izabrao merenje brzine povećanja topote uglja $\frac{dT}{dt}$ °C/min u mom-entu afiabatne oksidacije po Mayers-u.

Ova metoda dozvoljava, da se izmeri brzina samozagrevanja ispitivanog uglja, usled reakcije sa vazduhom, dakle, pojava koju i ruder označava kao samozagrevanje. Metoda je ispitana na više hiljada proba uglja.

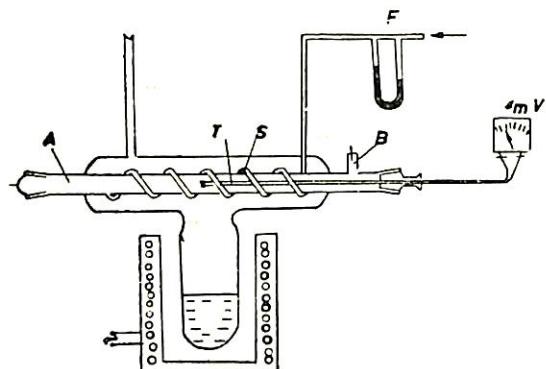
S obzirom na sve veći značaj metode i uređe-nja, koji se u postupku ispitivanja primenjuje, daje se kratak opis iste i uređaja koji se u opitu koriste. —

Aparatura je izrađena od stakla i prikazana na slici br. 1.

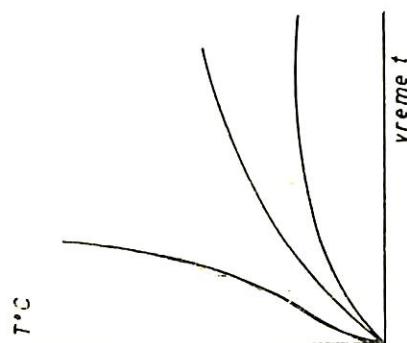
Reakciona cev A zgreje se na temperaturi od 230°C. Kroz merač protoka F i zagrevne spirale S struji vazduh u reakcionu cev. Vazduh izlazi kroz odvod B. Jedan kraj cevi A hermetički je za-tvoren, a kroz suprotan kraj prolazi termoelement T, koji je spojen sa milivoltmetrom. U zagrejanu reakcionu cev umetne se pastila ispitivanog uglja. Ako je pastila od nesagorivog materijala to će se posle izvesnog vremena temperatura pastile i vaz-duha izjednačiti.

Međutim, kako ugajl sa vazduhom reaguje, to temperatura pastile prekoračuje 230°C i to tim pre, ukoliko je ugajl više sklon oksidaciji. U tački gde

kriva preseca liniju na 230°C , temperature ispitivanog uglja i vazduha su iste. Diferencijal krive u tački 230°C $\frac{dT}{dt} = 0^{\circ}\text{C}/\text{min}$, prof. dr W. Olpinski je nazvao kao prirodni indeks samozapaljenja ispitivane probe i označio ga sa SZ.



Sl. 1 — Aparatura za određivanje SZ-a



Sl. 2 — Karakteristične krive brzine oksidacije naših ugljeva.

Na osnovu ovih merenja rade se dijagrami porasta temperature ispitivanog uglja. Ukoliko ugalj brže reaguje sa kiseonikom, prist temperature je veći, a samim tim kriva je strmija.

Slika 2 prikazuje tri karakteristična primera ispitivanja naših ugljeva.

Konstatovano je da SZ opada proporcionalno sa sadržinom mineralne materije u probi, pa da bi se okarakterisala sama ugaljena supstanca, preračunava se na ugalj bez vlage i pepela — na čistu ugaljenu supstancu i označava se simbolom SZ^b .

Ispitujući više desetina uzoraka ugljeva prof. dr ing. W. Olpinski došao je do zaključka, da se na osnovu vrednosti za prirodni indeks SZ^b svi ugljevi mogu podeliti u četiri grupe, koje se međusobno razlikuju prema sklonosti samozapaljenju.

Tablica 1

Samozapaljenje	SZ^b	$^{\circ}\text{C}/\text{min}$	Grupa
veoma malo	ispod	80	I
		80—100	II
		100—120	III
veoma veliko	iznad	120	IV

Može se reći da ugljevi sa indeksom ispod $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ nisu skloni samozapaljenju, a sa indeksom iznad $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ naginju samozapaljenju.

Strogo uzevši indeks SZ ne daje karakteristiku ponašanja uglja u dodiru sa vazduhom kod kritične temperature za proces brze oksidacije, jer je ta temperatura kod $60—80^{\circ}\text{C}$. Međutim, ispitivanja su pokazala da ugljevi, koji intenzivno reaguju sa vazduhom na povišenoj temperaturi u laboratorijskim uslovima imaju visok SZ indeks, energično reaguju sa vazduhom na nižim temperaturama u normalnim jamskim prilikama. Kao brza metoda, koja se oslanja na merenja efekta koji je neposredno vezan sa intenzitetom izdvajanja topline, ova metoda daje pouzdane rezultate.

Pošto prirodni indeks meri ovaj intenzitet ili prema njemu stoji u nedvosmislenom odnosu, kao što je npr. slučaj kod porasta topline, tada su u njemu sve osobine sumarno obuhvaćene kao i sastavni delovi uglja koji utiču na razvijanje topline.

Ako su probe uglja ispravno uzete, svi prirodni faktori sumirani su u prirodnom indeksu. Međutim, oni sami za sebe nisu dovoljni da pokažu u praksi opasnost koja preti od požara, već se moraju uzeti u obzir i rudarsko-tehnički faktori, koji često igraju presudnu ulogu na intenzitet stvaranja i odvođenja topline.

Bez obzira na rudarsko-tehničke faktore, prirodni indeks će u svakom slučaju pokazati koliko je jedan sloj sklon samozapaljenju i kolika preti opasnost od požara. Ako se prirodni indeks ne slaže sa rezultatima eksploracije u odnosu na razvijanje oksidacionih procesa, ne znači da je prirodni indeks pogrešno određen, već uzroke neslaganja treba tražiti u neadekvatnim rudarsko-tehničkim faktorima. U tome i jeste značaj prirodnog indeksa, koji na osnovu dobijenih vrednosti u laboratoriji daje pravac u izboru takvih tehničkih mera da do endogenog požara ne dođe.

PRIKAZ REZULTATA DOSADAŠNJEG ISTRAŽI- VANJA PRIRODNOG SZP INDEKSA ZA NEKE NAŠE SLOJEVE

Kao što je u prethodnom izlaganju rečeno u laboratorijama Biro-a za ventilaciju i tehničku zaštitu RI Beograd, vršena su određivanja ove veoma važne prirodne karakteristike za neke slojeve rudnika SR Srbije. Navodimo neke karakteristične primere za koje su ova istraživanja sprovedena.

Prirodni SZP indeks za ugljeni sloj Stare jame rudnika „Soko”

Eksploatacioni sloj ugljenog sloja rudnika „Soko” pripada pliocenu i mladim tercijarnim naslagama. Talasanja glavnog ugljenog sloja su česta sa različitim promenama pada koji variraju između 30 i 40°. Generalni pravac pružanja je istok-zapad, sa padom prema severu. Moćnost sloja varira i na području predviđenom za otkopavanje iznosi oko 20–30 m.

Jedan deo ugljenog sloja, koji je tektonski bio izdignut do površine, zapaljen je u ranijem geološkom dobu na dužini oko 500 m i izgoreo je do dubine od oko 50 m. Limonizirane partiepepele izgorelog izdanka sloja debele su oko 30 m.

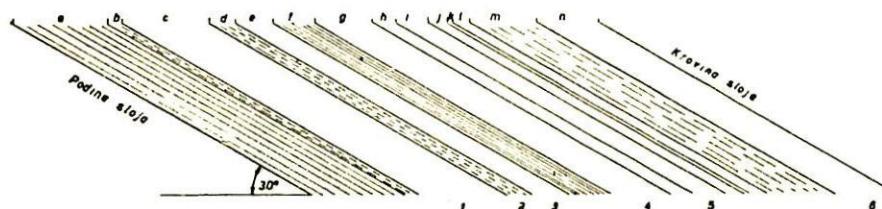
Prema analizama laboratorijskih ispitivanja mineraloško-petrografske, fizičko-mehaničke i tektonske osobina ugalj je mrkolignitski, ksilitiske strukture, mrke boje i ogreba, školjkastog preloma. Pripada grupi kompaktnih i vrlo tvrdih i žilavih ugljeva.

U ugljenom sloju nalaze se laporoviti proslojci jalovine čija ukupna moćnost iznosi 2–3 m. Raspored ugljenih ploča i jalovih proslojaka prikazan je na profilu sloja (slika 3).

Na osnovu rasporeda jalovih umetaka ugljeni sloj je podeljen na tri dela: podinski, srednji i povlatni deo. Kvalitet uglja je najbolji u krovinskom delu sloja, a prema podini se pogoršava. Svi jalovi umeci raspoređeni su po ugljenom sloju sa nestalom debeljinom.

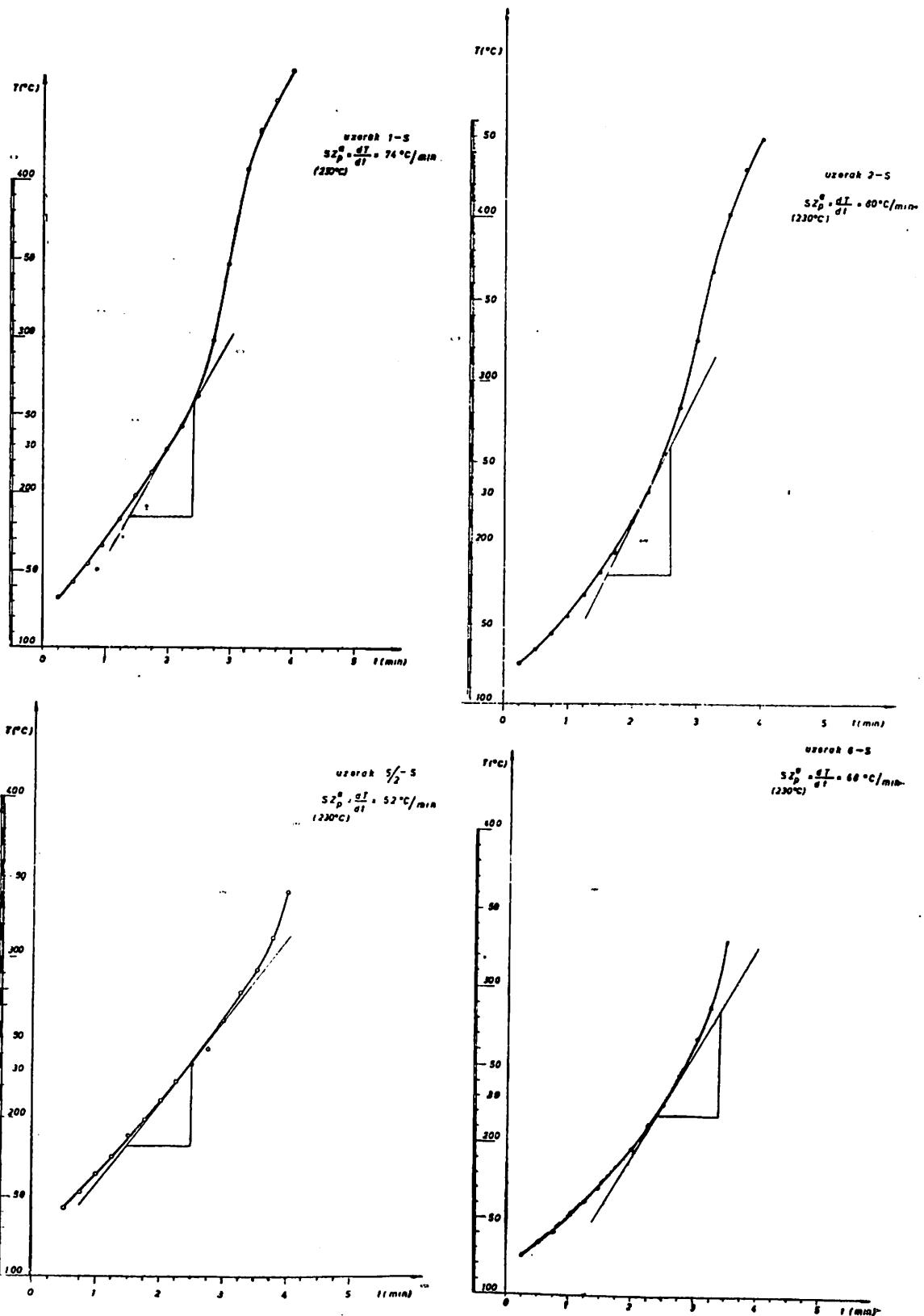
Neposrednu krovinu ugljenog sloja čine tvrdi, glinasti kalcitni laporci oko 2–3 m moćnosti. Ostale krovne nasiage su bez ikakve slojevitosti i to, uglavnom, gline, nevezani šljunak, sitnozrni i srednje zrni peskovi, škriljci, škriljaste gline itd. Pod uticajem vlaste krovinski materijali bujaju i teško propuštaju vodu i gasove.

Podina sloja sastoji se iz različitih glinaca više ili manje peskovitih, često laporovitih i sitnozrnih peščara i ugljenih glinovitih škriljaca. I podinske naslage sloja sklone su bujanju.



mesto uzorka sloja	vrsta materijala	medn u sm.	ukupno moć u sm.
a	glinoviti ugalj	440	440
b	jalovima	70	510
c	podinski sloj ugalja	400	910
d	uglevita gлина	120	1030
e	ugalj	170	1200
f	glinoviti ugalj	200	1400
g	srednji sloj ugalja	300	1700
h	laporac	70	1770
i	ugalj	170	1940
j	ugalj	60	2000
k	peljivac	20	2020
l	peseljiv ugalj	80	2100
m	škriljav ugalj	330	2430
n	krovni sloj ugalja	320	2650

Sl. 3 — Profil sloja Stare jame rudnika „Soko”



Sl. 4, 5, 6, 7 — Karakteristična kriva brzine oksidacije uglja za ruđnik „Soko” — Stara jama.

Rudnik mrkog uglja „Soko” — Stara jama

Tablica 2.

Podina sloja	Broj uzerka	Mocn. cm	% Vl:ge	% ukupne pepele	SZ _a ^b C/min.	SZ _a ^b O/min.	Grupa	na čistu ugljenu materiju				
								S sag.	C %	H %	O+N %	Ispar. mater. %
U galj	1—S	400	29,20	10,03	74	82	II	0,93	1,10	67,61	5,64	25,65
Umetak uglja drvenaste strukture	1/1—S	—	30,48	4,92	80	84	II	0,67	0,70	—	—	54,96
Ugalj sa umetkom prita	1/2—S	—	29,87	8,17	86	93	II	1,31	2,50	—	—	—
U galj	2—S	120	22,00	28,82	80	112	III	1,42	3,73	65,48	5,48	25,31
Umetak uglja drvenaste strukture	2/1—S	—	32,39	5,81	75	80	II	0,99	1,65	—	—	53,82
U galj	3—S	170	28,90	15,25	85	103	III	0,95	1,43	68,25	5,56	24,76
Ugalj sa umetkom prita	3/1—S	—	28,73	11,51	112	126	IV	1,81	2,09	—	—	—
U galj	4—S	300	28,90	18,86	84	103	III	0,89	1,10	67,55	5,69	25,66
U galj	5—S	100	27,50	17,14	94	113	III	2,14	5,03	67,88	5,58	21,51
Sijajan ugaj školjkastog preloma	5/1—S	60	17,62	17,62	102	122	IV	2,27	5,18	68,34	5,74	20,74
Glinoviti ugaj	5/2—S	10	27,94	49,13	52	—	—	0,47	1,96	—	—	59,90
U galj	6—S	155	29,10	21,91	68	87	II	0,98	1,46	67,24	5,66	25,64
Ugalj glinovit	6/1—S	20	24,16	29,29	58	82	II	1,33	2,37	—	—	54,13
Ugalj kompaktan pločast	6/2—S	145	28,57	10,29	87	97	II	0,57	0,78	68,49	5,21	25,52
Krovina sloja	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53,39

Rudnik mrkog uglja „Aleksinac” — Jama Dubrava

Krovina ugjeni škriljac	Broj uzerka	Mocn. cm	% Vl:ge	% pepele	SZ _a ^b C/min.	SZ _a ^b O/min.	Grupa	na čistu ugljenu supstancu				
								S sag.	C %	H %	O+N %	Ispar. mater. %
U galj	1—D	90	15,45	17,59	128	167	IV	3,10	8,17	70,15	4,94	16,74
Glinoviti ugaj	2—D	15	12,30	41,87	102	175	IV	—	10,99	—	—	53,71
U galj	3—D	80	13,57	22,41	135	174	IV	—	8,66	70,04	4,97	16,33
Kvarcit zvani „željezar”	4—D	30	4,33	77,99	80	—	—	0,46	—	—	—	49,40
U galj	5—D	90	16,44	18,69	156	191	IV	3,48	12,08	69,00	5,43	13,49
Gasni ugaj	6—D	80	5,10	29,97	112	159	IV	5,60	14,40	69,30	8,38	8,02
U galj	7—D	150	15,96	25,89	140	188	IV	2,63	8,75	63,54	4,79	17,92
Podina peščar	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47,01

Tablica 3.

Vrednosti prirodnog indeksa
SZp. — Prirodni indeks odredili smo kod svih ispitivanih uzoraka i karakterističnih proslojaka, po metodi prof. Olpinskog koju smo ranije opisali. Sva ispitivanja prirodnog indeksa predstavljaju srednju vrednost određivanja. Ukoliko su odstupanja bila veća od 5 jedinica ispitivanje je ponovljeno više puta.

Prirodni indeks je određen iz dobijenih podataka kako grafički tako i računski.

Na osnovu dobijenih vrednosti konstruisane su krive i povlačenjem tangente u tački 230°C izračunate su vrednosti za prirodni indeks. Na slikama 4, 5, 6 i 7 prikazane su krive za 4 ispitivana uzorka.

Iz dijagrama vidimo da nagli porast temperaturu, koji nastaje usled izdvajanja topote od samo-oksidacije, nastaje tek iznad 300°C , a da je porast temperature na 230°C u jedinici vremena mali.

Dobijene vrednosti za prirodni indeks date su u tablici 2 gde:

SZ_p^a °C/min¹⁾ — znači eksperimentalno dobijena vrednost

SZ_p^b °C/min¹⁾ — vrednost preračunata na indeks bez vlage i pepela tj. na čistu ugljenu supstanцу.

Kako indeks opada proporcionalno sa sadržajem mineralnih materija u uglju, to da bi se okarakterisala čista ugljena supstanca preračunava se na ugljenu supstancu bez pepela i vlage. Ovako preračunata vrednost za indeks mnogo se lakše poredi sa drugim ispitivanim uzorcima, a u slučaju potrebe uvek se može uzeti u obzir sadržaj pepela.

Da bi se vrednosti za prirodni indeks mogle što bolje objasniti i interpretirati, u tablici 2 dati su rezultati hemijskih analiza.

Vrednosti za prirodni indeks, što se vidi iz tablice 2, ukazuju nam da je ispitivani ugalj malo sklon i sklon samozapaljenju.

¹⁾ U svojoj nomenklaturi Biro za VTZ RI Beograd je za indeks samozapaljivosti uveo dopunski znak „p“ koji označava prirodni indeks, za razliku od oznake SZt, koja označava vrednost indeksa koji rezultira iz tehničkih uslova eksploatacije.

Izuzetak čini uzorak br. 5/l-S moćnosti 60 cm, koji je jako sklon samozapaljenju. Do ovog zaključka smo došli na osnovu vrednosti za prirodni indeks, koji se kreće u granicama od $82^{\circ}\text{C}/\text{min}$ do $113^{\circ}\text{C}/\text{min}$ za ugalj. Prema klasifikaciji prof. Olpinskog ugalj dolazi u II i III grupu.

Umetak uglja drvenaste strukture, koji se češće nalazi u podinskom delu ugljenog sloja, a imaga i u krovini, malo je sklon samozapaljenju, jer se nalazi u II grupi.

Ugalj sa umecima pirita nalazi se u II i IV grupi.

Na osnovu izvršenih ispitivanja možemo zaključiti da je 53,84% ugljenog sloja malo sklono, 30,76% sklono i 15,38% jako sklono samozapaljenju.

Rudnik mrkog uglja „Aleksinac“ — jama Dubrava

Glavni ugljeni sloj koji se u rudniku eksploratiše je moćan 2—6 m i protkan jalovim umecima. Broj i moćnost jalovih proslojaka variraju. Ukoliko je ugljeni sloj moćniji, to je učešće jalovine veće. Najčistiji je sloj u predelu okna Logorište.

Karakteristična je pojava kvarcita lokalno nazvanog „zeljezar“ koji se javlja u vidu sočiva i proslojaka moćnosti 0,05—0,30 m.

Po fizičkim osobinama ugalj spada u tvrde ugljeve. Ugalj je fino trakast, crne boje, polusajan, osrednje trošnosti, ogreba mrkog, preloma neravnog sa oštrim ivicama.

„Gasni ugalj“ je jednorodan i mat, boje je svetlo mrke do skoro crne u zavisnosti od količine mineralnih primesa. Velike je tvrdoće i žilavosti, a preloma školjkastog.

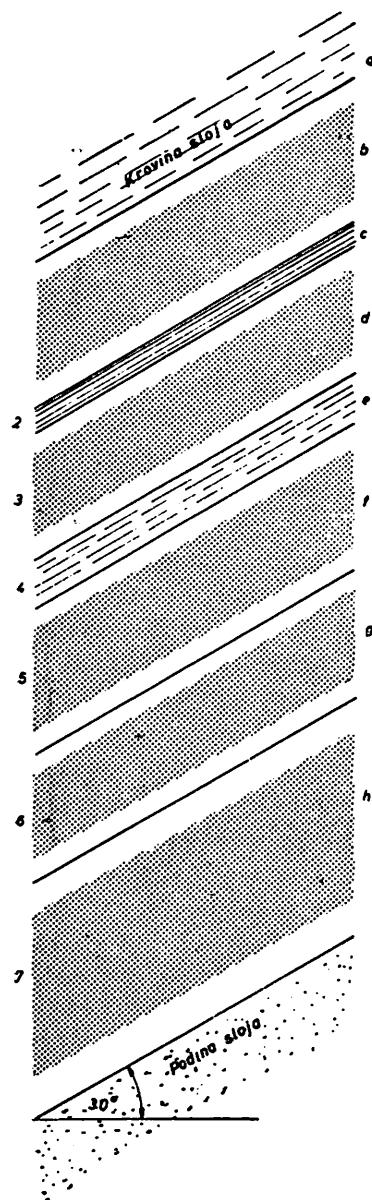
Neposrednu podinu predstavlja sitnozrni peščar sa promenljivim sadržajem gline. Podina buja čim dođe u dodir sa vodom, a stepen bujavosti zavisi od sadržaja gline i količine vode. U krovini se nalaze ugljeni škriljci, koji su uslojeni i žilavi. Na slici 8 dat je geološki profil sloja.

Vrednosti prirodnog indeksa
SZp. — Rezultati prikazani u tablici 3 predstavljaju srednju vrednost određivanja. Na osnovu njih konstruisane su krive i indeks određivan kako grafički tako i računski. Na slikama 9, 10, 11 i 12 date su krive sa 4 ispitivana uzorka.

Dijagrami nam pokazuju vrlo strm tok krivih. Prirast temperature u jedinici vremena na 230°C je velik, te je i prirodni indeks vrlo visok.

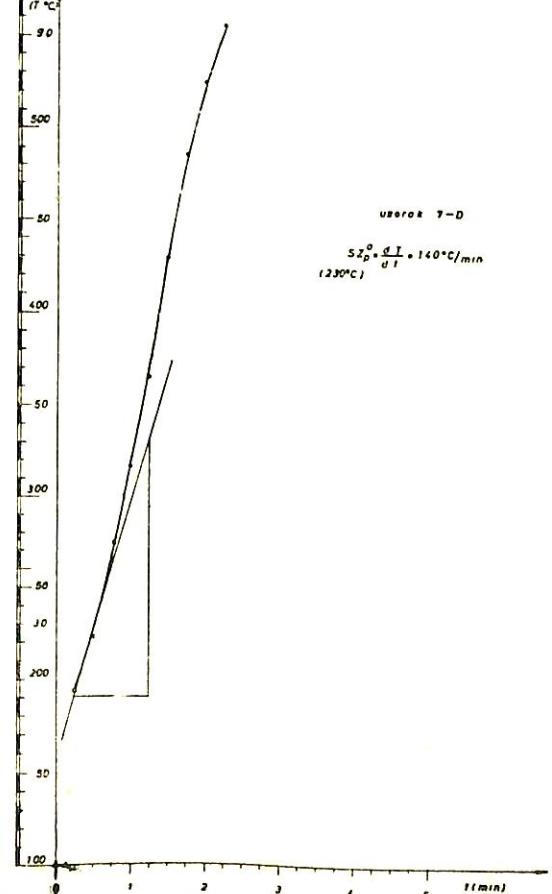
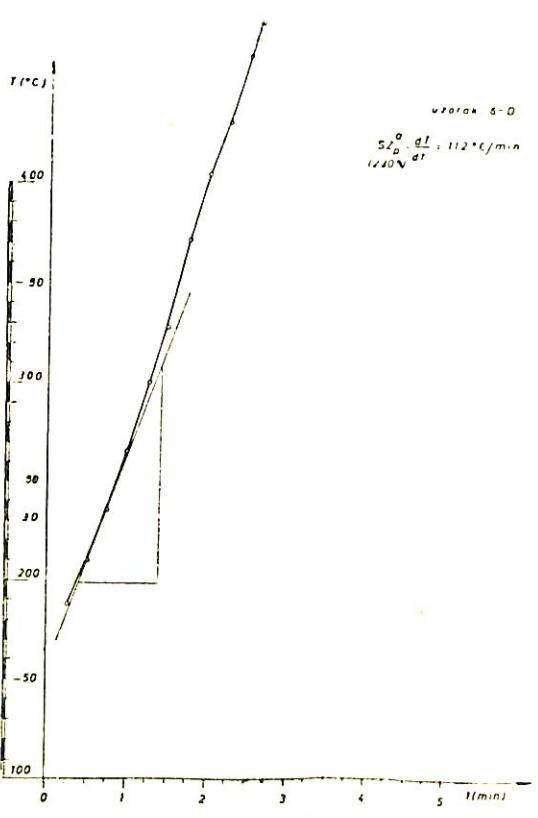
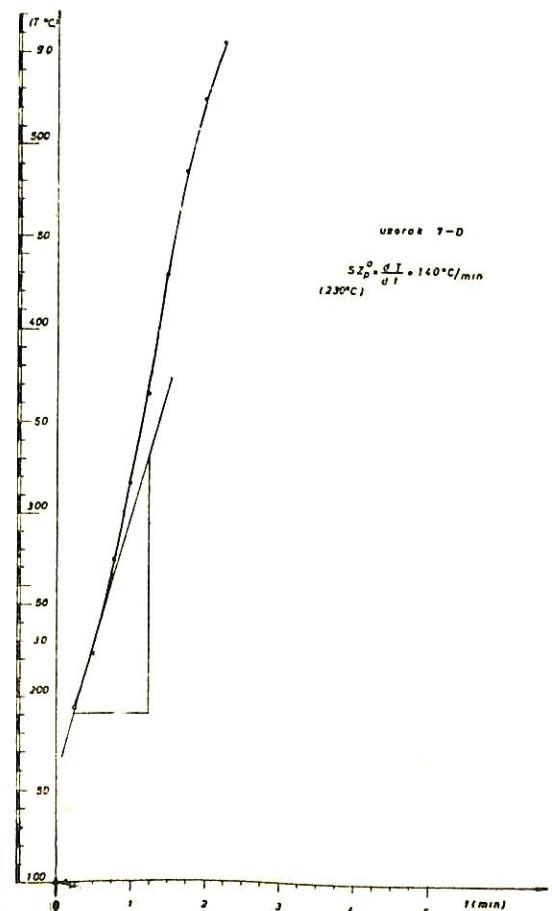
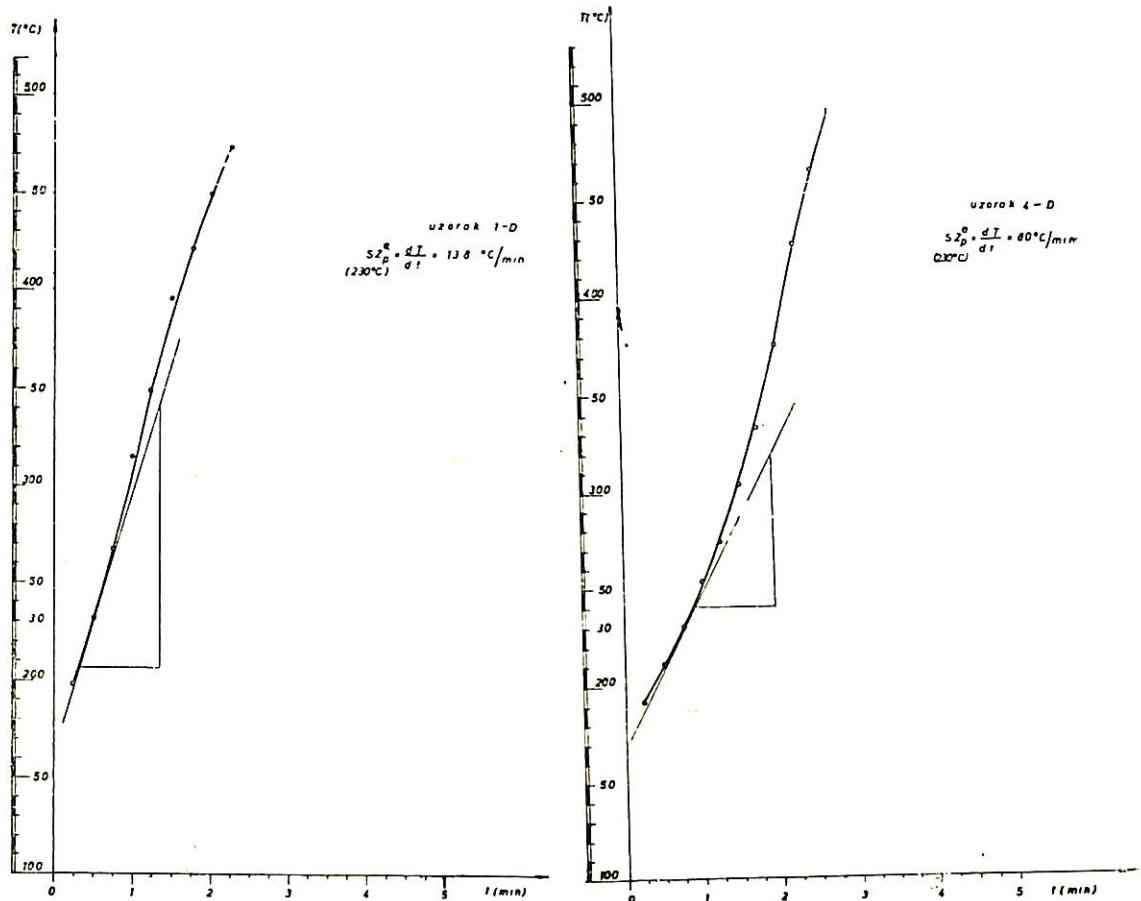
Iz tablice 3 vidimo da su vrednosti za prirodni

indeks iz jame „Dubrava“ veoma visoke i da se kreću od $159^{\circ}\text{C}/\text{min}$ do $188^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Prema tome, ispitivani ugalj je veoma sklon samozapaljenju i nalazi se u IV grupi, tj. u najopasnijoj.



mesto uzorka	partija	vrsta materijala	moc. u sm	ukup. moc u sm
-	a	ugljjeni kariljac	-	-
1	b	ugalj	90	90
2	c	glinovit ugalj	15	105
3	d	ugalj	80	165
4	e	kvarcit (deljezar)	30	215
5	f	ugalj	90	305
6	g	gasni ugalj	80	385
7	h	ugalj	150	535
-	i	peščar	-	-

Sl. 8 — Profil sloja jame Dubrava rudnika „Aleksinac“.



Sl. 9, 10, 11, 12 — Karakteristična kriva brzine oksidacije za rudnik „Aleksinac“ — jama Dubrava.

Analiza uticaja nekih ispitivanih faktora na samo-zapaljivost ugljenih slojeva rudnika „Soko“ i „Aleksinac“

Na osnovu izvršenih ispitivanja, prema tablicama 2 i 3, možemo zaključiti da su uticaj na samo-zapaljivost vršili:

V l a g a. — Ugalj u sloju (Stara jama, Dubrava) sadrži visok procenat vlage koji se kreće u granicima od 15—30% i ima veliki uticaj na razvijanje oksidacionih procesa. Prema mnogim autorima, a posebno iz SSSR-a ovaj procenat vlage je najpovoljniji za proces samooksidacije.

P i r i t n i s u m p o r. — Sadržaj piritnog sumpora varira: za Staru jamu se kreće u granicama od 0,89—2,27, dok za jamu Dubrava 2,63—5,60%.

Kod iznošenja rezultata koji su do sada postignuti u objašnjenju uticaja piritnog sumpora na samooksidaciju, naglašeno je da se pri oksidaciji pirlita izdvaja dva puta veća količina topote nego kod oksidacije uglja i to na temperaturama 10-15°C. Veličinu njegovog uticaja za Staru jamu na prirodni indeks nismo mogli odrediti, obzirom da kod različitih uzoraka sa različitim sadržajem pirlita nismo mogli da ustanovimo neku određenu zavisnost, obzirom da ima analiziranih uzoraka uglja koji imaju isti prirodni indeks, a različit sadržaj pirlita, kao što je to slučaj sa uzorcima 2-S i 5-S.

S obzirom da jama Dubrava ima dosta piritnog sumpora i visok prirodni indeks, sigurno je, bez obzira što neki autori ne daju veliki značaj piritnom sumporu kod samooksidacije uglja, da je on u konkretnom slučaju jedan od glavnih faktora koji utiču na ovako visok prirodni indeks.

K i s e o n i k. — Prema sadržaju kiseonika onečišćenog azotom može se zaključiti da je ugalj sklon oksidaciji u momentu pojave povišene temperature, jer sadrži oko 16% (jama Dubrava) i oko 25% (Stara jama) kiseonika u samoj ugljenoj supstanci, koji i sam učestvuje u procesu oksidacije ugljene materije.

I s p a r l j i v e m a t e r i j e. — Isparljive materije sračunate na čistu ugljenu supstancu kreću se u granicama 52,05%—55,29% za Staru jamu i 46,89%—49,40% za Dubravu.

Jedni autori (Koppers i dr.) smatraju da ugljevi sa većim sadržajem isparljivih materija imaju veću

reaktivnost, dok drugi (Fischer, Brener Broche) su došli do zaključka, da reaktivnost ne zavisi od isparljivih materija, već od razvijenosti površine uglja. Do ovog zaključka dolazimo i na našem primeru prikazanom u tablici 4.

Tablica 4

Broj uzoraka	% ispar. materija na čistu ugljenu supstancu	SZ _p ^b °C min.
1 — D	46,89	167
5 — D	47,90	191
7 — D	47,01	188
3 — D	49,40	174
3 — S	52,05	103
5/1—S	53,61	122
6 — S	53,71	96
4 — S	54,44	103
1 — S	54,32	82
2 — S	55,29	112

U g l j e n i k. — Neki autori su predlagali da se izvrši klasifikacija ugljeva u odnosu na samo-zapaljivost prema sadržaju ugljenika. Ovaj predlog nije mogao naći primene u praksi, s obzirom da ima ugljeva sa visokim sadržajem ugljenika, a da im je prirodni indeks mali i obratno, a što i mi dokazujemo našim ispitivanjem kao što se vidi iz tablice 5.

Tablica 5

Broj uzoraka	% C na čistu ugljenu supstancu	SZ _p ^b °C/min
2 — S	65,48	116
4 — S	67,55	103
1 — S	67,61	90
5/1—S	68,34	122
6/2—S	68,49	97
7 — D	68,54	188
5 — D	69,00	191
3 — D	70,04	174
1 — D	70,15	167

ZAKLJUČAK

Navedeni primeri istraživanja prirodnih sklonosti ugljenih slojeva ka samozapaljenju pokazuju, kako je to već u prethodnom izlaganju rečeno, da postoje u ovom smislu vrlo velike razlike. Ovo poнаšanje ugljenih slojeva se može prethodno da utvrdi upoznavanjem njihovog prirodnog indeksa samozapaljivosti, koji obuhvata skup niza veličina karakterističnih i uticajnih na samoooksidaciju uglja.

Vrednosti prirodnih indeksa predstavljaju specifičnost svakog ispitivanog uzorka, obzirom na njegova prirodna svojstva i mogu da objasne njihovo

ponašanje u procesu eksploatacije ugljenog sloja. Adekvatna tehnička rešenja eksploatacije mogu da utiču na smanjenje ukupnog indeksa samozapaljivosti uglja i obrnuto, ugljevi sa niskim prirodnim indeksom samozapaljivosti; kod neadekvatno odabranih tehničkih rešenja mogu da postanu izvor intenzivnih jamskih endogenih požara.

Dalja istraživanja na upoznavanju prirodnog indeksa samozapaljivosti ugljeva SFRJ šire će objasniti ponašanje ugljenih slojeva u ovom smislu i daće pravilnu stručnu ocenu o uzročnicima pojave intenzivnih oksidacionih procesa i požara, koji prate tekuću proizvodnju uglja.

Значение изучения естественного индекса самовозгоряемости угля в целях ознакомления с возможностями борьбы против эндогенных пожаров в шахтах

Б. Милованович — Вуканович*)

Изучение факторов которые влияют на естественную склонность угля к самовозгоранию имеет большое значение как для эксплоатации шахт так и для проектирования, открытия разработки новых шахт.

Эти факторы содержащиеся в параметре обозначенном в виде естественного индекса склонности угольного слоя к самовозгоранию дают возможность достаточно верно подразделить влияние естественных и технических факторов на развитие эндогенных пожаров и по определении подразделенных индексов самовозгоряемости определить методы борьбы с появлением этих пожаров.

Первая часть статьи дает краткое описание достижений по изучению факторов влияющих на развитие процессов окисления на низких температурах — приблизительно нормальных, при чем была использована опубликованная до сих пор литература из этой области а также результаты лабораторных исследований в Бюро вентиляции и технических средств защиты Горного института в Белграде.

Во второй части даны результаты проведенных исследований по определению естественного индекса самовозгорания для некоторых шахт в СР Сербии.

Literatura

- Budruk, W., 1954: Požari i eksplozije u rudnicima (prevod). — Krakow.
- Hodges, D. J., Hinsley, F. B., 1964: The Influence of Moisture on the Spontaneous Heating of Coal. — „The Mining Engineer“ br. 123. str. 211—224.
- Mayers, M. A., 1935: Méthodes de détermination de la réactivité des cokes. — 15-the Congr. de chim. ing., Brussels.
- Mayers, M. A., Sebastian, J. J., 1937: Reaktivnost koksa. Određivanje pomoću modifikovanje metode tačke topljenja (prevod). — „Industrial and Engineering Chemistry“, 29, 10, 1118.
- Olpinski, W., 1952: Analiza wyników masowych oznaczeń samozapalności węgli. Katowice.
- Olpinski, W., Gabrus, J., Rozmus, J., 1953: Samozapalność węgli kamennych. — Katowice.
- Olpinski, W., 1959: Die Bedeutung der Untersuchungen über die Selbstentzündlichkeit von Kohle für die Prophylaxis von Grubenbränden. — Freiberger Forschungshefte, Seite 7—22.

*) Dipl. hem. Branka Milovanović-Vukanović, saradnik Biroa za ventilaciju i tehničku zaštitu Rudarskog instituta, Beograd.

