

INFORMACIJE B

BROJ 36



Dipl. ing. GVOZDEN JOVANOVIĆ
Dipl. ing. ALEKSANDAR ĆURČIĆ
Dipl. ing. IVAN AHEL

**REZULTATI IZUČAVANJA POVODA ZA FORMIRANJE EKSPLOZIVNE
SMEŠE METANA I VAZDUHA U JAMI „ORASI“ RMU KAKANJ
I TEHNIČKA REŠENJA SANACIONIH MERA ZA OTKLANJANJE
POSLEDICA EKSPLOZIJE**

I. D E O

REZULTATI IZUČAVANJA POVODA ZA FORMIRANJE EKSPLOZIVNE
SMEŠE METANA I VAZDUHA

RUDARSKI INSTITUT BEOGRAD 1965.

Izdavač
RUDARSKI INSTITUT — BEOGRAD

Glavni urednik
Dipl. ing. MOCO SUMBULOVIC

R e d a k c i o n i o d b o r

Blažek ing. Aleksandar, Ceperković 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. Đura, Makić prof. dr ing. Dragomir,
Marinović ing. Ivo, Mihajlović ing. Jovan, Misita ing.
Risto, Novaković ing. Ljubomir, Odić ing. Tvrtko,
Perišić dr ing. Mirko, Popović ing. Božidar, Slokan
prof. dr ing. Karel, Spasojević ing. Borislav.

Stampa: „PROSVETA” — Požarevac

BROJ 36

Dipl. ing. GVOZDEN JOVANOVIĆ
Dipl. ing. ALEKSANDAR ĆURČIĆ
Dipl. ing. IVAN AHEL

**REZULTATI IZUČAVANJA POVODA ZA FORMIRANJE EKSPLOZIVNE
SMEŠE METANA I VAZDUHA U JAMI „ORASI“ RMU KAKANJ
I TEHNIČKA REŠENJA SANACIONIH MERA ZA OTKLANJANJE
POSLEDICA EKSPLOZIJE**

I. D E O

**REZULTATI IZUČAVANJA POVODA ZA FORMIRANJE EKSPLOZIVNE
SMEŠE METANA I VAZDUHA**

S A D R Ž A J

U v o d	3
I. d e o	
Rezultati izučavanja povoda za formiranje eks-	
plozivne smeše metana i vazduha	3
Prikaz regularnog režima provetrvanja	
jame i bilans metana	3
Osnovne karakteristike procesa sagorevaњa	
metana i eksplozije smeše i vazduha	9
Područje eksplozije i posledice	11
Utvrđivanje povoda koji je omogućio sakupljanje opasnih koncentracija metana u području eksplozije	13

U V O D

Neposredno nakon katastrofe u jami „Orasi“ rudnika Kakanj, koja se dogodila 7. VI 1965. godine, stručna ekipa Biroa za ventilaciju i tehničku zaštitu Rudarskog instituta — Beograd dobila je od rudnika Kakanj zadatak da izuči uslove pod kojima se u najkraćem roku i pod sigurnim okolnostima mogu otkloniti posledice katastrofe, kao i da da predlog mera koje bi obezbedile nastavak eksploracionih radova u jami.

Kategorija ovih radova je označena kao „Sanacione mere za otklanjanje posledica katastrofe“, za razliku od neposrednih mera, koje je sprovela komisija koja je vršila uviđaj i mera koje će se sprovesti za nastavak radova na daljem otvaranju i razradijame.

Da bi se sanacione mere mogle utvrditi i sprovesti, prethodno su bile izučene sledeće pojedinoštci:

- režim provetrvanja jame pre eksplozije i gasni odnosi u jami,
- područje eksplozije i posledice,
- povod za nakupljanje opasnih koncentracija metana u području eksplozije,
- tehničke mere koje je sprovela komisija za uviđaj i mogućnost sprovođenja sanacionih radova pod ovim režimom.

Izučavanju ovih pokazatelja i sprovođenju sanacionih mera pristupljeno je odmah iza tragičnog dana tj. 8. VI 1965. g.

U cilju upoznavanja stručne javnosti sa stvarima povodom, razmerama i posedicama katastrofe i sa problematikom vezanom za sanaciju jame, u ovom članku su dati osnovni zaključci do kojih su autori došli u okviru sprovedenih izučavanja, a takođe i rezultati i iskustva stećena u ovom angažovanju.

I D E O

REZULTATI IZUČAVANJA POVODA ZA FORMIRANJE EKSPLOZIVNE SMEŠE METANA I VAZDUHA

Prikaz regularnog režima provetrvanja jame i bilans metana

Način provetrvanja jame i osnovne karakteristike ventilacionog režima su prikazani na linearnoj i kanonskoj šemi u sl. 1 i 2. Na ovim šemama dat je i:

- položaj aktivnih radilišta u ventilacionom sistemu,
- raspored radne snage u ventilacionom sistemu,
- položaj karakterističnih ventilacionih objekata sistema,
- lokalitet separatnog provetrvanja,
- dispozicija mernih mesta za kontrolu režima provetrvanja.

Na sl. 3 prikazan je količinski i procentualni bilans metana.

Iz ovih šema se vidi da je provetrvanje jame „Orasi“ regularno bilo organizovano dijagonalnim sistemom pomoću mehaničkih ventilatora postavljenih u položajima: ventilacioni niskop „Lozančići“ i ventilaciono okno „Stupe“, označeni su sa I₁ odnosno I₂. Svež vazduh je uvođen kroz potkop „Karaula“ (U₁), glavni izvozni niskop „Orasi“ (U₂), i okno „Stupe“ za snabdevanje jame svežim vazduhom, dok se kroz ulaz U₃ uvodi u jamu vazduh, uglavnom, radi provetrvanja prostorija, kojima je trebalo da se radnici, u slučaju vanredne potrebe, povlače iz eksploracionog revira.

Kroz navedene otvore u jamu su uvođene sledeće količine vazduha:

- otvor U_1 (Q_1) = 450 m^3/min
- otvor U_2 (Q_2) = 700 m^3/min
- otvor U_3 (Q_3) = 80 m^3/min

Od 450 m^3/min svežeg vazduha, koji je uvođen kroz otvor U_1 , 330 m^3/min korišćeno je za proveravanje tekućih radova na pripremi zapadnog krila jame, a manji deo od 120 m^3/min uključen je kod tačke II u svežu vazdušnu struju ulaza U_2 , koja je korišćena za provetranje eksploracionog revira.

Izolacija suprotnih pravaca vazdušnih struja unutar samostalnih vretenih odeljenja bila je sprovedena pomoću drvenih vretenih pregrada i pregrada sa vratima, a izolacija vazdušnih struja između vretenih odeljenja pomoću drvenih vretenih mostova (M_3 i M_4) i ukrštanjem vazdušnih struja u različitim nivoima (M_1 i M_2). Za regulaciju raspodele vazduha u unutrašnjem sistemu u ograncima vazdušne struje U_3 -VIII i VIII-VII bili su ugrađeni prigušivači označeni sa P_1 i P_2 . Spoljna regulacija kapaciteta vazduha na ventilatoru „Stupe“ je bila osigurana rezervom u motorskom pogonu i pomoću promene broja obrtaja rotora ventilatora.

Mogućnost obrtanja vazdušne struje bila je obezbedena pomoću uređaja za reverzibilno dejstvo ventilatora ugrađenog na ventilacionom oknu „Stupe“ (I_2).

Merjenje količine i temperature vazduha je bilo organizованo na mernim mestima označenim u linearnoj šemi i na sl. 1, a kontrola sastava jamskog vazduha instrumentalnom i laboratorijskom metodom.

Radovi na otvaranju revira „Čifići“, u fazi njihove aktivnosti, prethvarani su pomoću separatnih ventilatora, kao i aktivna priprema radilišta br. 206 i 207, dok su se ostale prostorije, koje su se nalazile pod dejstvom ventilatora „Lozančići“, provetrvale protočnim sistemom, ostvarivanim pod uticajem depresije ovog ventilatora. Jamske prostorije i otkopna radilišta u zoni dejstva ventilatora „Stupe“ provetrvane su protočnim sistemom pod uticajem depresije ventilatora „Stupe“, a pripremna radilišta pomoću separatnih ventilatora uključenih u ovaj sistem.

Raspodela vazduha u pojedinim ograncima ventilacionog sistema je data u šemama na sl. 1 i 2 i tablici 1 na kojoj su dati i podaci o zaposednutosti pojedinih vazdušnih ograncaka radnom snagom (n_r) absolutni pokazatelji metanonsnosti ($q_n = m^3/min$), procentualni sadržaj CH_4 ($p\%$) i brzine vazdušnih struja ($v = m/sec$). Raspodela vazduha u sistemu je zadovoljavala sledeće uslove:

— specifičnu potrebu po jednom radniku i iznosila je od 4,0 m^3/rad , do 16,0 m^3/rad , što je iznad propisima dozvoljenih minimalnih količina,

— specifičnu potrebu razređivanja metana u protočnom sistemu pojedinih ventilacionih odeljenja na ispod propisima dozvoljeni sadržaj u izlaznim vazdušnim strujama I_1 i I_2 od $p = 0,75\%$ (izlazne vazdušne struje ventilacionih odeljenja su izlazne vazdušne struje jame), ako apsolutni dotok CH_4 u području ventilatora „Lozančići“ ne prelazi $q = 2,7 m^3/min$, a u području ventilatora „Stupe“ $q = 6,5 m^3/min$.

Brzina vazdušnih struja u protočnom sistemu svih vretenih odeljenja su pri aktivnom dejству glavnih jamskih i separatnih ventilatora bile u

Tablica 1

Ogranak	Kol. vazd.					
	broj radnika u karakt. ograncima	$Q_{absolut.}$ m^3/min	$Q_{specif.}$ m^3/rad	Q_r m^3/min	apsolut. sadržaj CH_4 $q m^3/min$ ($p\%$)	brzina vazduha m/sec
U1-IX	—	450	—	—	—	1,20
IX-1	8	450	7,5	1,2	0,27	1,20
1-2	—	230	—	1,27	0,55	0,64
1-3	—	220	—	1,22	0,55	0,73
2-XII	—	430	—	2,39	0,55	0,95
XII-4	18	250	16,0	1,58	0,63	0,76
4-6	—	270	—	1,69	0,62	1,10
6-8	—	330	—	2,02	0,61	1,57
8-J1	—	360	—	2,07	0,58	1,72
U2-I	14	700	—	—	—	2,3
I-II	8	760	—	0,76	0,10	2,3
XII-5	3	180	—	0,99	0,55	0,43
5-II	8	120	—	0,66	0,55	0,29
II-7	—	880	—	1,42	0,16	1,84
7-III	2	850	—	1,37	0,16	1,78
III-IV	5	500	—	0,80	0,16	1,19
III-V	—	350	—	0,57	0,16	0,60
IV-V	4	250	—	0,40	0,16	0,80
V-VI	—	290	—	0,41	0,16	0,80
IV-VI	60	250	4,0	0,95	0,38	0,70
VI-VII	—	540	—	1,36	0,25	2,00
V-VII	45	310	7,0	1,24	0,42	1,29
VII-J2	3	870	—	2,60	0,30	2,60

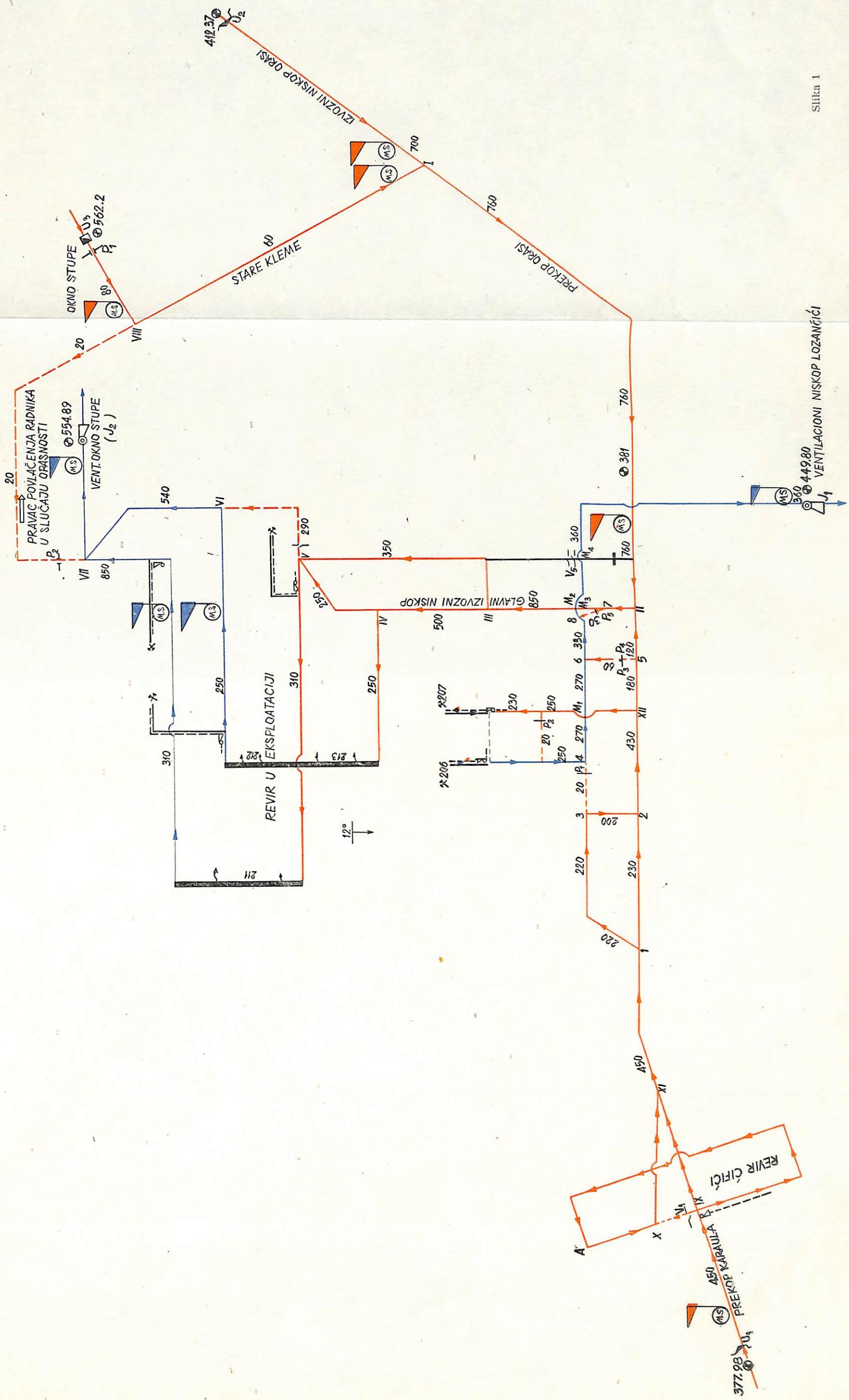
granicama normalnih i propisima dozvoljenih i iznosile su od 0,29 m/sec (ogranak 5-II) do 2,6 m/sec (ogranak VII-I₂).

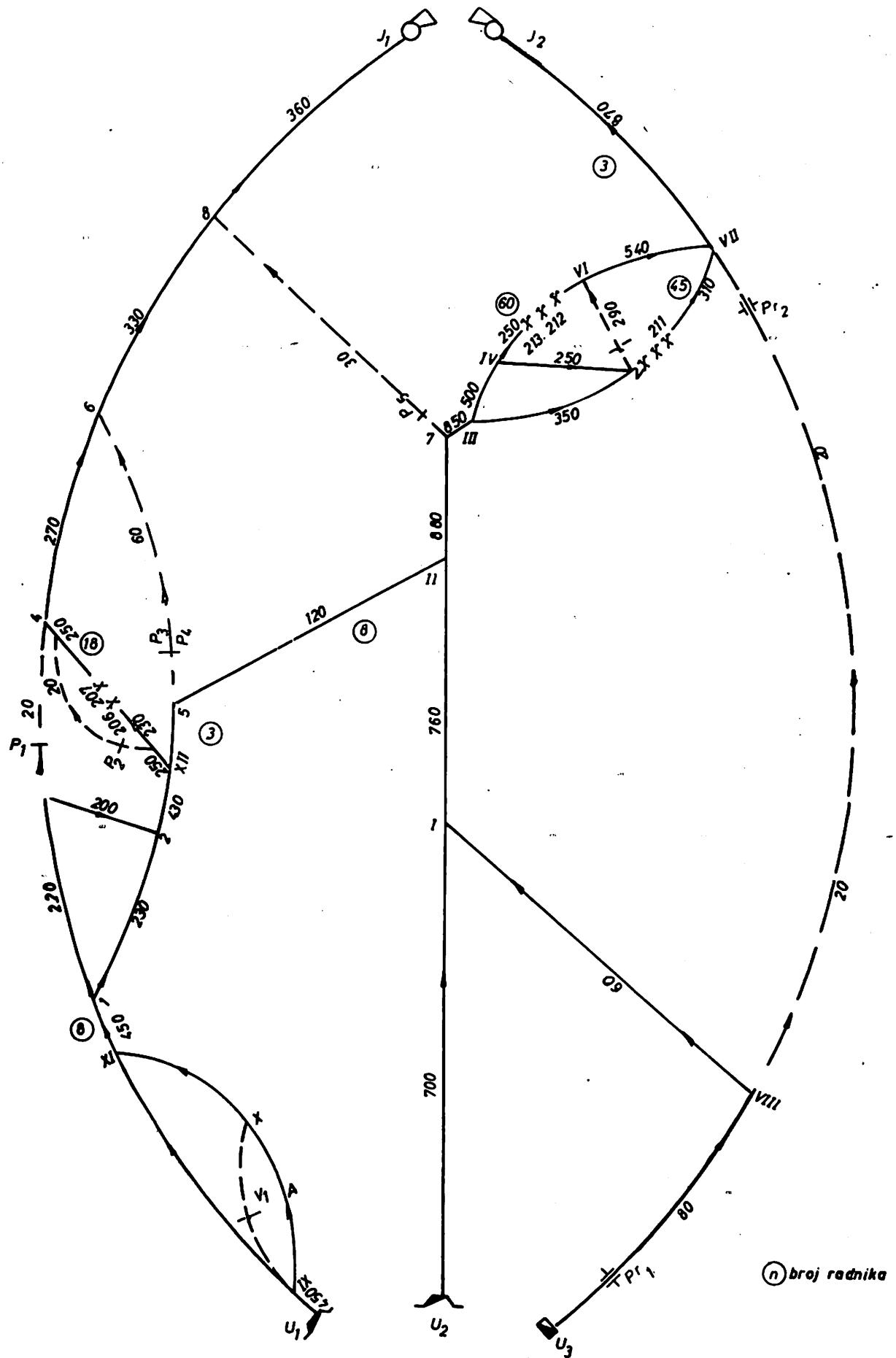
Potrebne količine svežeg vazduha su najkraćim putem dovedene na najnižu kotu jame (osnovni hodnik na koti 381,0) i sa iste su uzlazno razvedene po jami, što odgovara racionalnom korišćenju prirodnog uzgona vazduha i principima vođenja vazdušne struje u jamama sa pojavama metana.

Silazno vođenje izlazne vazdušne struje bilo je organizovano saglasno stavu 2 — tačka 1, člana 317

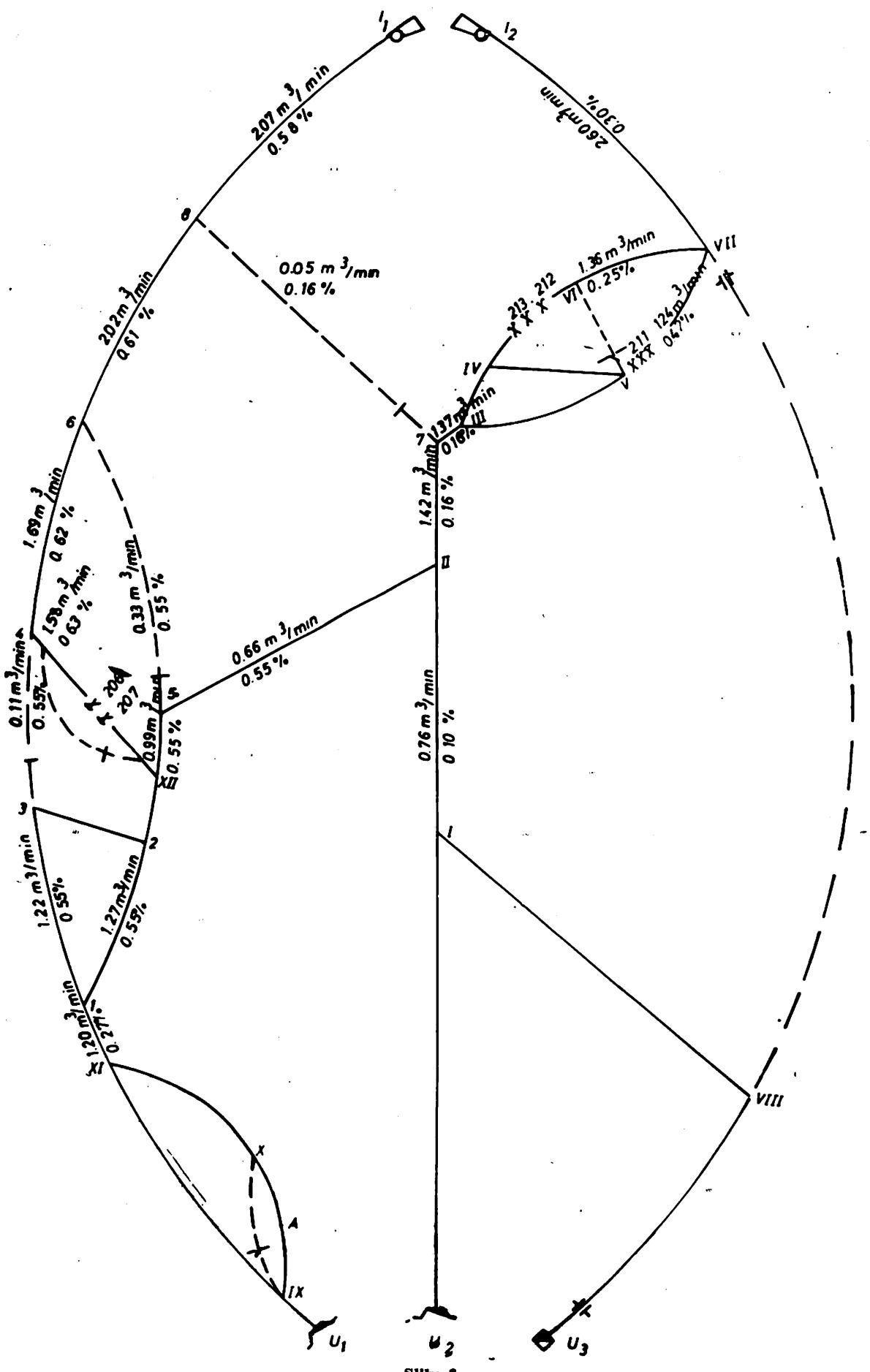
LINEARNI OBLIK ŠEME REGULARNOG PROVETRAVANJA JAME SA SEPARATNIM PROVETRAVANJEM RADILIŠTA NA OTVARANJU PRIPREMI

— Raspodela vazduha i položaj radilišta i ventilacionih objekata u sistemu —





Slika 2



Slika 3

Pravilnika o tehničkim merama, samo u ogranicima A—X i radilištu 206—4.

Depresioni način glavnog jamskog provetrvanja odgovarao je principu koji zahtevaju jame sa pojavama metana i drugim opasnim i škodljivim gasovima (čl. 294 — stav 2 Pravilnika o tehničkim merama).

Kompresioni način separatnog provetrvanja radilišta u otvaranju i pripremi pomoću cevnih ventilatora kompresionog dejstva bio je organizovan u skladu sa osnovnim tehničkim principima provetrvanja radilišta sa pojавama metana i sačasno čl. 294 Pravilnika o tehničkim merama. Radne karakteristike ventilatora separatnog provetrvanja su bile uskladene sa radnim karakteristikama glavnih jamskih ventilatora i ventilacionom karakteristikom jame.

nije mogla da vrši bitan uticaj na poremećaj ravnoteže.

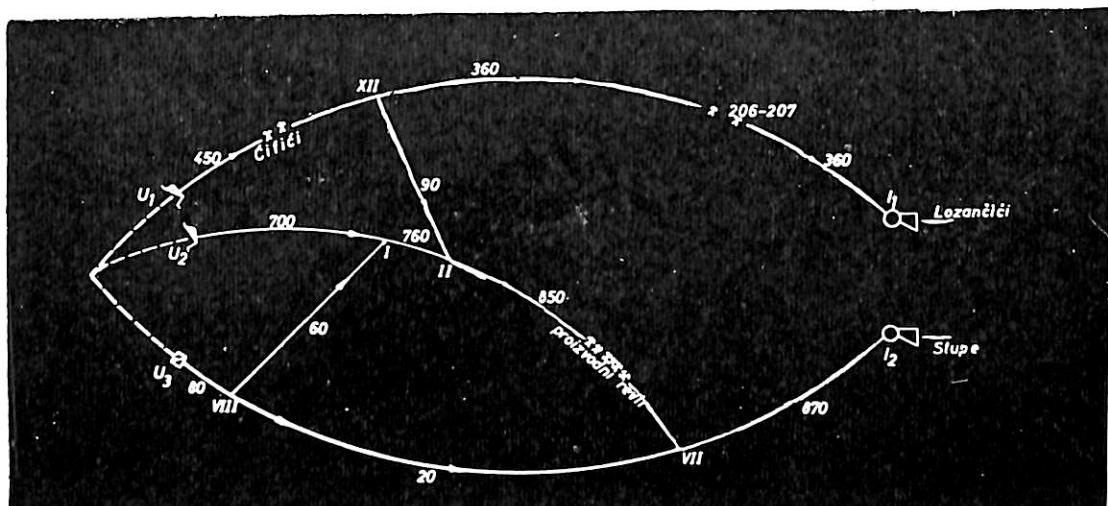
— Iz šeme na sl. 5 se vidi da isključivanje ventilatora „Stupe“ iz pogona dovodi do sledećih bitnih promena u sistemu:

a) izlaz I_2 postaje ulaz za sveži vazduh U_4 usled čega dolazi do promene i smera kretanja vazduha u ogranicima II-VII i VII-I₁ osnovnog sistema,

b) promena smera kretanja vazduha u ogranku XII-II,

c) pripremna radilišta broj 206 i 207 dovode se u područje celokupne izlazne vazdušne struje jame.

Iz izloženog se vidi da zastoje rada ventilatora „Stupe“ prouzrokuje jedino to, da se radilišta br. 206 i 207 dovode u zonu dejstva celokupne izlazne vazdušne struje jame, tj. i u zonu izvođenja vazdušne struje iz eksploatacionog revira.



Slika 4

Sistem provetrvanja jame sa međusobnim uticajem dva ventilatora tj. uvođenjem svežeg vazduha na tri otvora i izvođenjem istrošenog vazduha na dva otvora primenjuje se u jamama sa pojavama CH₄. Međutim, ne može se izbeći činjenica, da ovaj i slični sistemi zahtevaju dopunske mere upravljanja. U daljem izlaganju daju se u obliku rezimea zaključci o izučavanju ovih mera za konkretnе uslove i to:

— Sve dok su promene ventilacionih karakteristika jame u granicama normalnih (odsustvo iznenadnih prigušivača u protočnom sistemu, odsustvo požarne depresije, odsustvo zastoja rada jednog od glavnih ventilatora i sl.), glavni ventilatori jame ostaju u stabilnom međusobnom dejstvu sa usmerenim pravcima kretanja vazduha u količinama prema šemi prikazanoj na sl. 4. Prirodna depresija

Ako je ventilator „Stupe“ u pogonu, a ventilator „Lozančići“ u zastoju nastaje promena u smeru kretanja vazduha u ogranku XII-II, usled čega izlaz I_1 postaje ulaz U_4 (vidi sl. 4 i 6).

Radilišta br. 206 i 207 se u ovom slučaju provetrvaju nezavisnim paralelnim ogrankom u odnosu na radilištu u reviru „Čifići“, ali se zajednička izlazna vazdušna struja ovih ogrankova odvodi prema radilištima u eksploatacionom reviru, što je nepovoljno.

— Položaj radilišta ventilacionog odjeljenja potkop „Karaula“ (U_1) — ventilator „Lozančići“ (I_1) u ventilacionom sistemu jame bio bi zadovoljavajući da su ispunjeni sledeći uslovi (vidi sl. 4) :

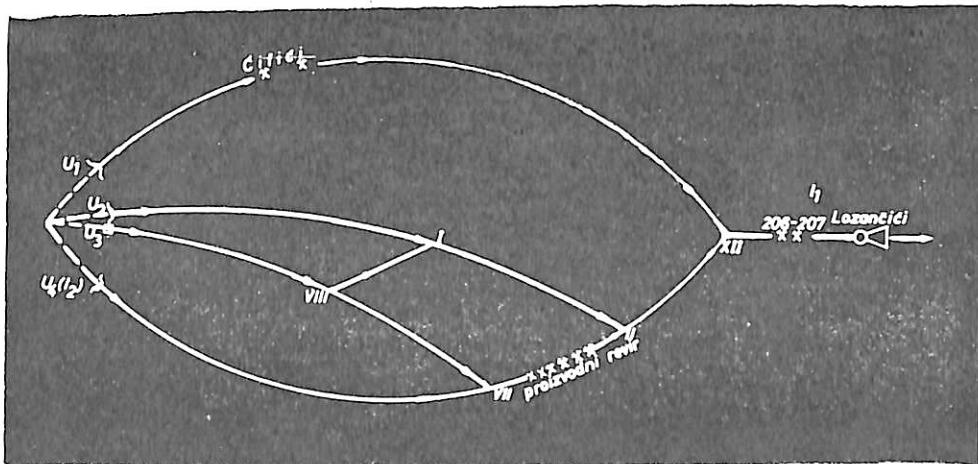
a) da je smer kretanja vazduha u dijagonali XII-II bio suprotan tj. sa smerom od II prema XII;

b) da su u dijagonali XII-II bila ugrađena vetrorena vrata u zatvorenom položaju sa povremenim otvaranjem samo za vreme prolaza ljudi i vozova.

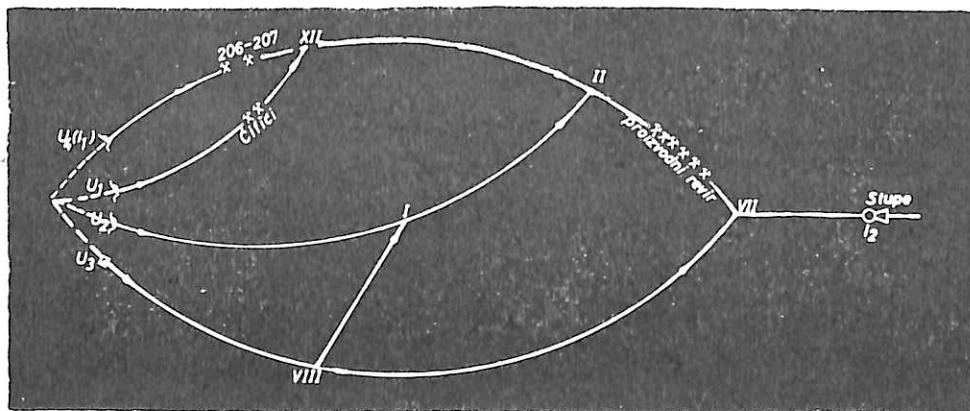
Slučaj pod b) bio je jednostavniji za primenu, a obezbedivao je i viši stepen unutrašnje stabilnosti sistema.

Vetrena vrata, ugrađena u ogranku XII-II, štitiće unutrašnji sistem i u slučaju da bilo iz kog razloga doče do prekida u radu jednog od glavnih ventilatora.

CH_4 u ulaznim vazdušnim strujama radilišta nije tlo u suprotnosti sa važećim tehničkim propisima. Naime, naši propisi ne predviđaju ograničenje sadržaja CH_4 u vazdušnoj struci koja se sa jednog pripremnog radilišta šalje na drugo, već određuju maksimalni sadržaj CH_4 u izlaznoj vazdušnoj struci vetrenog odeljenja od 1%. Sadržaj



Slika 5



Slika 6

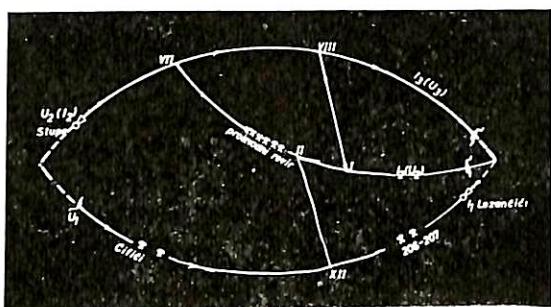
Sinhronizovano reverziranje vazdušne struje pomoću uređaja za reverziranje, ugrađenih na ventilatorima i u sistemu, bilo je delimično obezbedeno pomoću uređaja na ventilacionom oknu „Stupe“. Ovo rešenje bilo je dovoljno osiguranje da se uključivanjem u pogon reverzibilnog uređaja na ventilatoru „Stupe“ spreči ma kakvo prodiranje opasnih gasova u eksploracioni deo revira (vidi sl. 7).

Raspored radilišta u vetrenim odeljenjima za organizovani način separatnog provetrvanja i postojeće gasne odnose (procentualni sadržaj

CH_4 u protočnom vazduhu vetrenih odeljenja, prema upoznatim apsolutnim dotacionim (q_{II}), bio je ispod propisima dozvoljene granice (vidi tablicu 1). Trebalo bi da tehnički propisi bliže odrede uslove u vezi sa graničnim sadržajem CH_4 u ograncima vazdušnih struja, koje se u protočnom sistemu odvode sa jednog na drugo radilište, kako je to predviđeno u rudarskim propisima nekih zemalja (SSSR, Poljska i dr.).

Izolacija ulazne i izlazne vazdušne struje sistema bila je izvedena shodno zahtevima čl. 321

Propisa o tehničkim merama, izuzev što nije bilo obnovljeno malterisanje drvenih pregrada i drvenih vetrenih mostova. Ovo rešenje zadovoljavalo je potrebe izolacije vazdušnih struja u smislu odustavljanja njihovog slivanja u normalnom protocnom sistemu. Važeći propisi ne predviđaju viši stepen izolacije, zaštićen i od udara pritiska eksplozije, što bi svakako trebalo da definišu (raniji propisi su cvu odredbu sadržavali), mada u konkretnom slučaju, kako će se kasnije videti, izolacija pomoći drvenih mostova nije značajno uticala na razmere katastrofe (trovanje zaposlenih radnika u eksploracionom reviru).



Slika 7

Sistem provetrvanja u unutrašnjoj raspodeli vazduha po vetrenim odcljenjima u pogonskim uslovima nije bio zaštićen od prodora opasnih gasova iz jednog vetrenog odjeljenja u drugo, i mera koje predviđa čl. 379 — stav 4 Propisa o tehničkim merama. To znači da ovim merama nije postojala mogućnost da se brzom i nepropusnom blokadom onemogući kretanje škodljivih gasova iz jednog vetrenog odjeljenja u drugo. Ovaj nedostatak u konkretnom slučaju i konkretnim uslovima mogao se je uspešno zamenniti:

- okretanjem vazdušne struje pomoći za to ugradenog uređaja na ventilatoru „Stupe“, čak i kada je ventilator „Lozančići“ u zastoju,
- obustavom rada ventilatora „Stupe“ pri normalnom depresionom radu ventilatora „Lozančići“.

Postojeći sistem provetrvanja zahtevao je u smislu tehničkih propisa poseban tehnički i organizacioni postupak kod ispuštanja akumulacije opasnih gasova iz zatvorenih i nedovoljno provetrenih prostorija, a zbog mogućnosti dovodenja opasnih gasova iz vazdušne struje jednog ventilacionog područja u ulaznu vazdušnu struju drugog ventilacionog područja. U uslovima solidne pripreme i disciplinovane organizacije pri sprovodenju akcije, ove intervencije su se, međutim, uspešno mogle da obavljaju.

Cosnovne karakteristike procesa sagorevanja metana i eksplozije smeše metana i vazduha

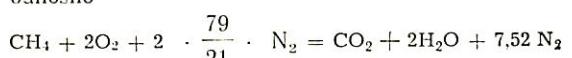
U cilju potpunijeg sagledavanja uticajnih elemenata, koji su prouzrokovali katastrofu, daju se najkarakterističniji pokazatelji osobina metana u smeši sa vazduhom.

Najvažnija osobina metana je njegova sklonost sagorevanju i sposobnost da zapaljen, u povoljnoj smeši sa vazduhom, eksplodira.

Sagorevanje metana sa eksplozivnim dejstvom se odvija po sledećoj hemijskoj reakciji:



odnosno



Sagorevanje je propraćeno oslobadanjem topline koja iznosi oko 219 kcal/g-molu.

Iz hemijske reakcije sagorevanja vidi se, da su za sagorevanje jedne zapreminske jedinice (m^3) metana potrebine dve zapreminske jedinice (m^3) kiseonika, odnosno $2 + 7,52 = 9,52$ zapreminskih jedinica vazduha. Potpuno sagorevanje metana je moguće samo ako su ispunjeni ovi zapreminski odnosi tj. ako procentualni sadržaj metana u vazduhu iznosi

$$\text{CH}_4 = \frac{1}{10,52} \cdot 100 = 9,50\%$$

Temperatura pri kojoj dolazi do upaljenja metana uglavnom zavisi od koncentracije metana u vazduhu, pritiska i sadržaja kiseonika u vazduhu i kreće se u granicama od 645°C do 850°C .

Sagorevanje metana ne nastaje istovremeno kada i njegovo upaljenje, već gorenje počinje sa izvesnim zakašnjenjem — indukcionim periodom, čija dužina zavisi i od temperature izvora topline, pritiska pod kojim se nalazi gasna smeša i sadržaja metana u vazduhu. Primera radi navodimo da indukcioni period kod temperature izvora topline oko 650°C iznosi 10", pri temperaturi izvora topline od 1000°C svega 1", a kod temperature od 1200°C svega 0,02".

Ako je sadržaj metana u vazduhu manji od 5%, sagorevanje postoji samo u neposrednoj okolini izvora temperature paljenja.

Eksplozija je najopasniji vid sagorevanja metana, čiji intenzitet i brzina rasprostiranja zavise, pre svega, od procentualnog sadržaja kiseonika u metanu i vazduhu.

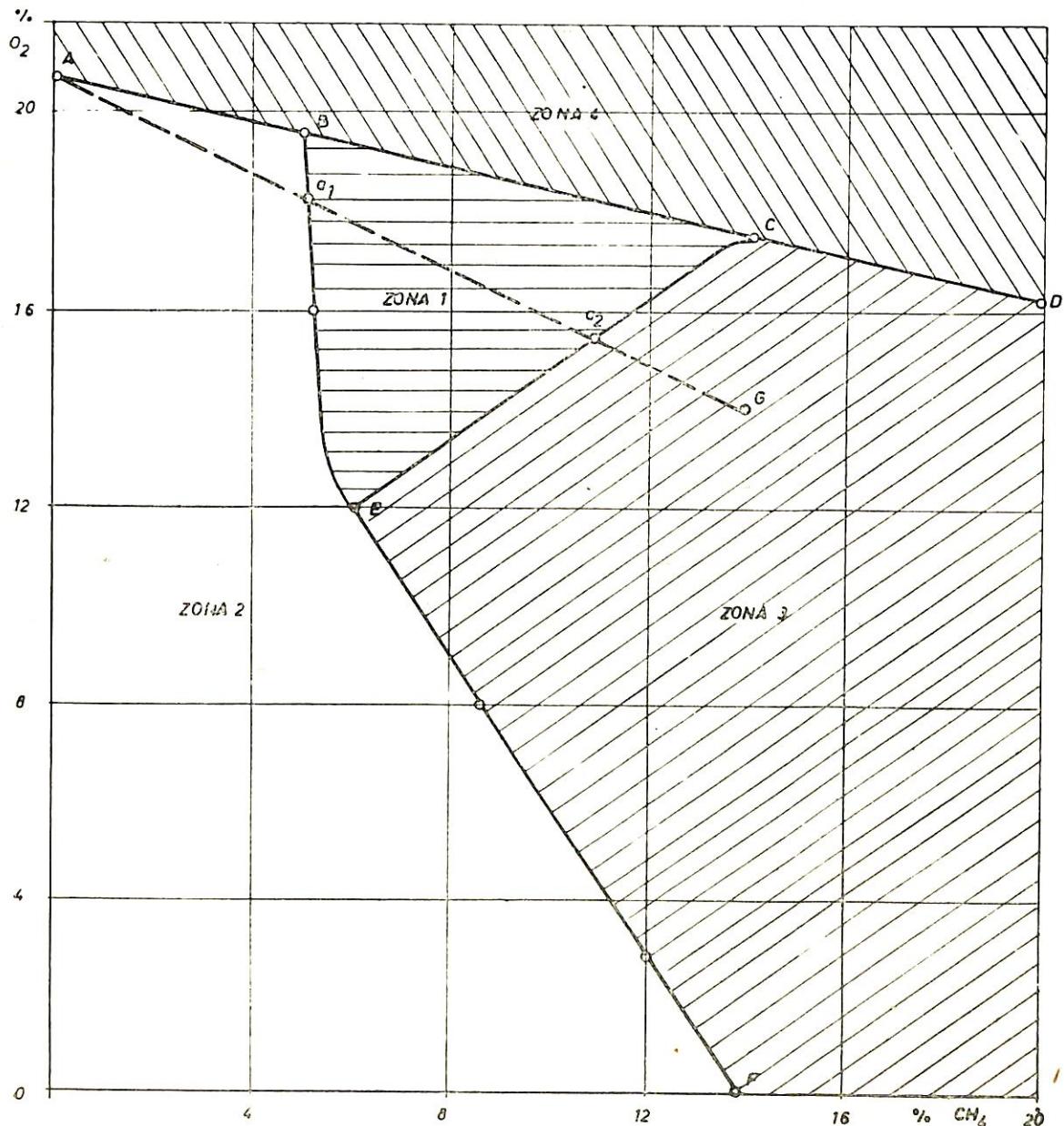
Najjača eksplozija nastaje ako se metan i kiseonik, odnosno metan i vazduh nađu u odnosima navedenim kod objašnjenja hemijske reakcije sagorevanja metana, odnosno ako procentualni sadržaj metana u vazduhu iznosi 9,5%. Za donju granicu eksplozivnosti smeše metana i vazduha zavisno od temperature, pritiska i sastava jamskog vazduha, utvrđen je sadržaj metana u vazduhu od oko 5%, a

za gornju — sadržaj metana od oko 14%. Pri stabilnim koncentracijama metana iznad 14% smeša vazduha i metana nije eksplozivna, već na izvoru topline i uz konstatno dovođenje vazduha odnosno kiseonika, sagoreva mirnim plamenom.

Procentualni odnosi O_2 i CH_4 u vazdušnoj smeši, koji moraju biti zastupljeni da bi smeša bila eksplozivna, dovoljno tačno se utvrđuju na osnovu dijagrama COWARD-HARTWELL-a (vidi sl. 8).

Na dijagramu datom na sl. 8, tačka A označava normalan atmosferski vazduh, tačka B donju

granicu eksplozivnosti smeše sa 5% CH_4 , a tačka C gornju granicu sa 14% CH_4 . Svi odnosi CH_4 i O_2 , koji se nalaze u trouglu BCE, označavaju eksplozivnu sposobnost smeše (područje eksplozije). Svi odnosi koji mogu nastati u području 2 — levo od linije BEF — ne predstavljaju eksplozivnu smešu. Područje 3 — desno od linije CEF — takođe označava smeše koje nisu eksplozivne, ali koje razređene svežim vazduhom mogu to da postanu. Tako na pr. ako u tački G postoji eksplozivno bezopasna smeša vazduha i metana, u kojoj sadržaj CH_4 i O_2



Slika 8

iznosi po 14%, pri razblaženju iste svežim vazduhom odnos kiseonika i metana će se menjati po liniji A-G i smeša postaje opasna na odseku a₁-a₂ sa donjom eksplozivnom granicom pri sadržaju O₂ = 18,2% i CH₄ = 5,3% i gornjom eksplozivnom granicom pri sadržaju O₂ = 15,6% a CH₄ = 10,8%. To znači, da će se eksplozivna smeša dobiti ako primarna smeša u eksplozivnoj iznosi

$$\frac{5,3 \cdot 100}{14} = 38\%$$

(za donju granicu eksplozivnosti)

odnosno

$$\frac{10,8 \cdot 100}{14} = 77\%$$

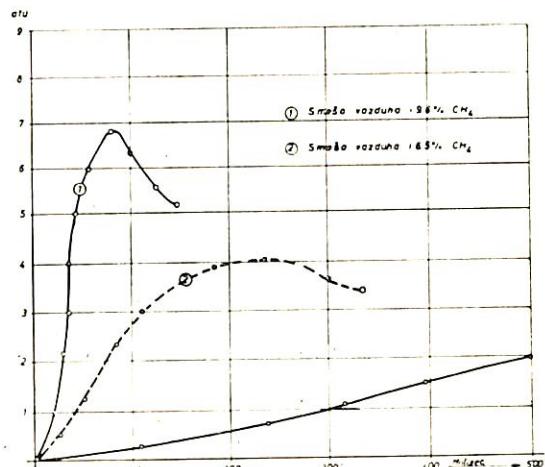
(za gornju granicu eksplozivnosti).

Temperatura eksplozije smeše metana i vazduha kod sadržaja metana u vazduhu od 9,5% iznosi u trenutku eksplozije 2650°C. Kod graničnih eksplozivnih koncentracija ova temperatura je znatno niža i iznosi oko 1500°C.

Iz Gey-Lysak-ovog zakona, pri kome gasovi pri zagrevanju za svaki 0°C povećavanja temperature povećavaju svoju zapreminu za 1/273 deo svoje prvočitne zapremine, proizilazi da se zapremina gasova eksplozije, zavisno od temperature vazduha, kod temperature eksplozije od 1500°C povećava za 5,4 puta, a kod temperature 2650°C za oko 10 puta. Kako se eksplozija događa i rasprostire brzinom, koja može da dostigne nekoliko stotina metara u sekundi, to se naglo povećavanje zapremine gasova u jami odražava kao snažan primaran udar. Pravac ovog udara, koji odgovara usmerenom kretanju eksplozivnog talasa, propraćen je reakcijom metana i kiseonika i obrazovanjem ugljendioksida i vodene pare (u slučaju potpune oksidacije). Kao posledica naglog hlađenja gasova na temperaturu okoline i kondenzacije vodene pare, u predelu eksplozije dolazi do stvaranja vakuma, što obrazuje sekundarni (povratni) udar takođe snažnog razornog dejstva.

Udar eksplozije može se u jamskim uslovima odraziti i proširiti na velike udaljenosti. Najjači je u blizini izvornog mesta eksplozije, a njegovo razorno dejstvo je znatno veće, ako se širi u jednom pravcu nego u više njih. Teoretski, pritisak eksplozije po Mariottovom zakonu iznosi 10 atm, ali je optima u zatvorenom prostoru ustanovljeno da iznosi oko 6,8 atm. (vidi sl. 9). U jamskim uslovima u kojima se ne radi o eksplozijama u zatvorenom prostoru jačina pritiska je svakako manja i zavisi od stepena stešnjenosti područja eksplozije.

Kvalitetni sastav jamskog vazduha posle ekspozije zavisi od sadržaja metana u jamskom vazduhu pre eksplozije. Ako je sadržaj metana u vazduhu manji od 9,5%, usled prisustva dovoljne količine kiseonika, doći će uz ostale ispunjene uslove do njegovog potpunog sagorevanja kvalitetnim prelazom sistema N₂-O₂-CH₄ u sistemu N₂-CO₂-ostatak O₂. Kada je sadržaj metana u vazduhu veći od 9,5% eksplozija je nepotpuna, jer je sadržaj kiseonika u sistemu N₂-O₂-CH₄ manji od za potpunu reakciju potrebne količine, te ovaj gasni sistem prelazi u sistem N₂-CO₂-CO - ostatak metana. Sto je eksplozivna smeša metana u vazduhu bliža gornjoj granici eksplozivnosti, u proizvodu eksplozije povećavaće se sadržaj ugljenmonoksida, a opadati će sadržaj ugljendioksida i obrnuto.



Slika 9

Područje eksplozije i posledice

Područje eksplozije određeno je na osnovu tragova koje je u jami ostavilo mehaničko dejstvo eksplozije.

Na sl. 10 prikazane su zone mehaničkog dejstva eksplozije, razvrstane u sledeće kategorije:

- 1 — zona najvećih razaranja i oštećenja,
- 2 — zona delimičnih zarušavanja i oštećenja,
- 3 — zona poremećaja i laktih oštećenja,
- 4 — zona izvan uticaja razornog dejstva eksplozije.

U zonu najvećih razaranja (zona 1) uključeno je područje u kome su jamske prostorije najviše oštećene, a jamski objekti P₁, P₂, P₃ i V₃ potpuno uništeni. Ova zona na sl. 10 označena je crvenom bojom. Zona najvećih razaranja obuhvata ukupno 1.150 m jamskih prostorija, odnosno oko 7.500 m³ jamskog prostora. Najizraženiji tragovi mehaničkog dejstva eksplozije u ovoj zoni su u ogranku I-XII.

Tablica 2

Zona	1	2	3	
Vm ³	7.500	8.600	6.000	22 100
%	31	33	27	100

Zona delimičnih zarušavanja i oštećenja (zona 2) obuhvata jamske prostorije koje su delimično zarušene i u kojima je podgrada prostorija potpuno izbijena. U ovoj zoni delimično su oštećeni objekti P₄, P₅, M₂ i M₃. Prostorije zahvaćene ovom zonom na sl. 10 označene su žutom bojom. Ukupna dužina ovih prostorija iznosi 1.350 m, što odgovara zapremini od oko 8.600 m³ jamskog prostora.

Zona poremećaja i lakih cstećenja (zona 3) obuhvata jamske prostorije označene na sl. 10 zelenom bojom. U ovoj zoni lako su oštećeni objekti V₄, V₅ i M₄ i potpuno uništена drvena vretena vrata na potkopu „Karaula“ — V₂. Jamska podgrada i drugi predmeti su potisnuti u smeru delovanja pritiska eksplozije. Dužina prostorija obuhvaćenih ovom zonom iznosi 800 m, što odgovara zapremini od oko 6.000 m³ jamskog prostora.

Sve ostale jamske prostorije u kojima nisu nađeni vidljivi tragovi dejstva eksplozije razvrstane su u zonu izvan uticaja razornog dejstva eksplozije. Na sl. 10 njihov kontakt sa zonom poremećaja i lakih oštećenja je označen smeđom bojom.

U zonu izvan uticaja dejstva eksplozije spada i ventilacioni niskop „Lozančići“ što navodi na zaključak, da ventilacioni uređaj „Lozančići“ nije mogao da bude oštećen. Vrata na ušću ovog niskopa, iako su bila na pravcu smera pritiska eksplozije, nisu pretrpela velika oštećenja. Takođe, ventilacioni uređaj na ventilatoru „Stupe“ nije pretrpeo oštećenja.

Pod dejstvom udarnog talasa eksplozije izolaciona vretena vrata na oba ventilaciona niskopat. „Lozančići“ i „Stupe“ mogla su da se otvore, a povratni udar da ih zatvori i zaustavi oba ventilatora. Kontrakcija povratnog udara deluje suprotno od pravca obrtanja rotora ventilatora, što može da dovede do njihovog zaustavljanja, pri čemu bi veličina povratnog pritiska morala da bude veća od vrednosti depresija koje su stvorili ventilatori tj.

$$P_{\text{povr}} > h_L > h_{\text{St}}$$

Razvodna električna mreža i elektro-mašinska oprema koja je bila instalirana u uskopima 206 i 207 je uništена, kao i deo instalacija na osnovnom horizontu (u neposrednoj blizini tačke XII). Ova oprema nije bila instalirana i na drugim lokalitetima analiziranih područja dejstva eksplozije, te se dejstvo eksplozije i odrazilo samo na navedenoj opremi.

U sledećoj tablici 2 prikazani su procentualni odnosi pojedinih zona razaranja s obzirom na zahvaćene površine.

Na kanonskoj šemi (sl. 11) prikazan je pravac kretanja otrovnih i zaguljivih gasova nastalih pri eksploziji.

Vazduh zagaden ovim gasovima, koji je pod dejstvom ventilatora „Stupe“ kroz dijagonalu XII-II povučen prema eksploatacionom reviru, sadržavao je smrtonosnu koncentraciju CO i pored toga što je sa strane ulaza U₂ dolazilo oko 700m³/min svežeg vazduha. To pokazuje da je u eksplozivnoj smeši metana i vazduha sadržaj CH₄ bio iznad 9,5%, odnosno u koncentraciji koja je bila blizu gornje granice eksplozivnosti (vidi dijagram na sl. 7).

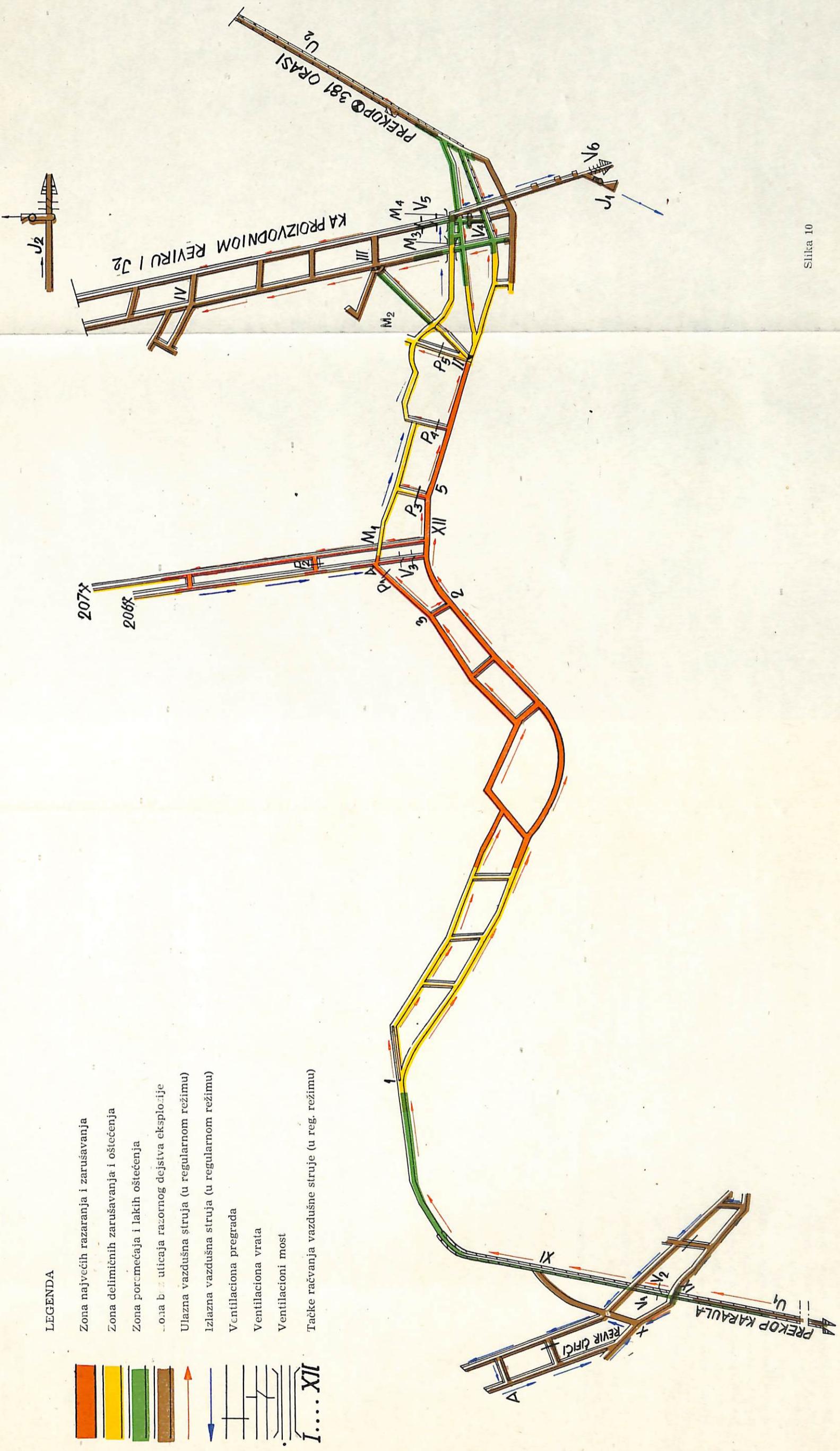
Okretanje celokupne količine nastalih opasnih gasova prema eksploatacionom reviru, zbog čega je unesrećeno 93 zaposlenih rudara u ovom reviru, moglo se dogoditi jedino u slučaju, ako ventilator „Lozančići“ nije pravovremeno ponovo pušten u pogon odnosno ako je radio samo ventilator „Stupe“. Šta više, prema šemi na sl. 6, pod ovim okolnostima ne samo da ventilator „Lozančići“ ne polazi i gasove prema ventilacionom niskopu „Lozančići“, već obrnuto ovaj niskop postaje provodnik za ulaznu vazdušnu struju.

U ovim uslovima, oštećenja nastala na vretenim mostovima M₂ i M₃ imala su beznačajan uticaj na pravac kretanja otrovnih gasova.

Prema merenjima i analizama izvršenim u okviru priprema za saniranje jame, tj. na osnovu dobivenih podataka o raspodeli vazduha u novostvorenim jamskim uslovima, da je ventilator „Lozančići“ bio u pogonu oko 80% opasnih gasova bilo bi povučeno u pravcu „Lozančića“, zbog čega bi s obzirom na dovodenu količinu svežeg vazduha u tačku II, vazduh usmeravan prema eksploatacionom reviru bio znatno manje opasan (vidi šemu na sl. 5). Autori nisu mogli da dođu do pouzdanih podataka, a u vezi s tim i do pouzdanih objašnjenja, zašto i koliko dugo ventilator „Lozančići“ nije bio u pogonu.

Odvodenje najvećeg dela otrovnih gasova prema izlazu I₁, osim pravovremenim aktiviranjem ventilatora „Lozančići“, moglo je da bude sprovedeno i puštanjem u pogon reverzibilnog uređaja na ventilacionom oknu „Stupe“ (vidi šemu na sl. 7) ili samo zaustavljanjem ventilatora „Stupe“, da je ventilator „Lozančići“ bio u radu.

PODRUČJE EKSPLOZUE SA ZONAMA MEHANIČKOG DEJSTVA



Utvrđivanje povoda koji je omogućio sakupljanje opasnih koncentracija metana u području eksplozije

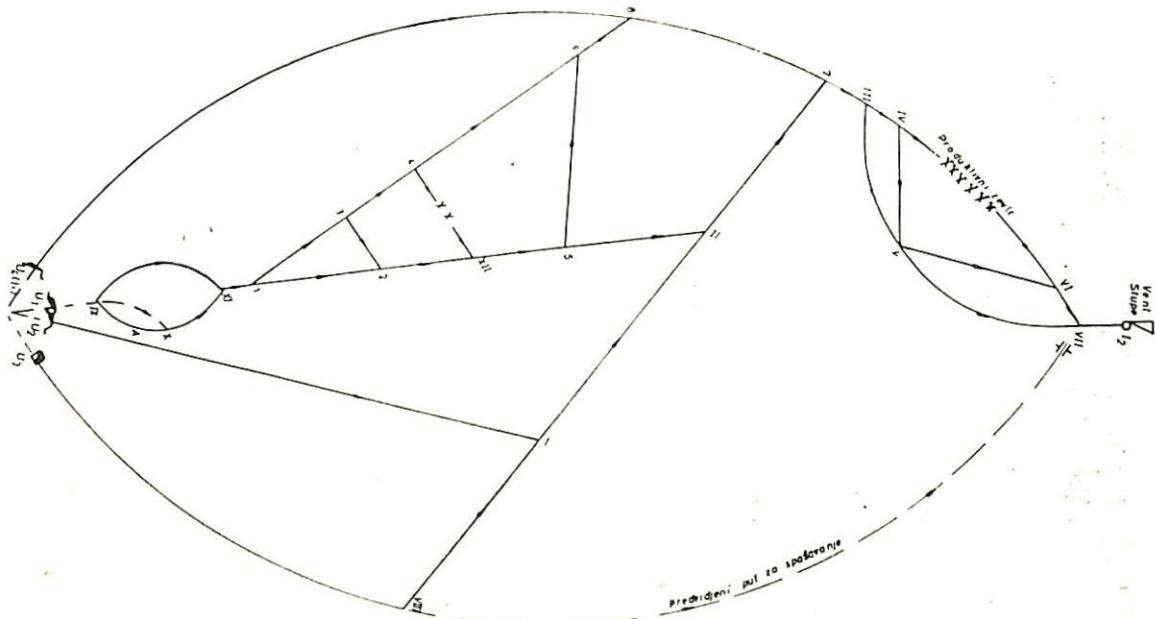
Za analizu mogućnosti stvaranja visokih koncentracija metana uzeta su područja dejstva eksplozije i svi pravci gravitirajućih vazdušnih struja prema tim područjima.

Analizirano područje obuhvata: granu ulazne vazdušne struje od tačke U_1 do tačke II i granu ulazne vazdušne struje od tačke XII do tačke I_1 tj. ventilaciono područje ventilatora „Lozančići“ (vidi sl. 1 i 2).

por sistema ograničavao ukupnu količinu vazduha u ovom deljenju na manje od $299 \text{ m}^3/\text{min}$.

Količinski i procentualni bilans metana dat je u poglavljiju „Prikaz regularnog režima provetranja jame i bilans metana“, a veličine su definisane na bazi podataka rudnika, istražnog materijala, našim ispitivanjima i posredno računskom metodom.

Mogućnost stvaranja opasnih koncentracija CH_4 u reviru „Čifići“. — Za ovu analizu neophodno je poznавање stanja ventilacionih prilika u ovom reviru pre eksplozije. Na



Slika 11

Analiza je izvršena po granama vazdušne struje sledećim redosledom:

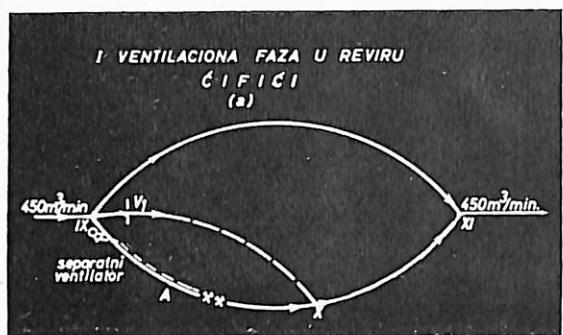
- revira „Čifići“ od tačke U_1 do tačke XI.
- osnovni ventilacioni hednik prekopa „Karaulle“ od tačke X do tačke XII.
- pripremna radilišta 206 i 207 od tačke XII do tačke I_1 .

Raspodela vazduha u ovom ventilacionom području, prikazana na sl. 1 i 2, dobijena je proračunom na bazi izlaznih količina vazduha na ventilatoru „Lozančići“ pre eksplozije, a tačnost raspodele praktično je proverena našim merenjima, u toku saniranja eksplozijom poremećenog sistema. Raspodela vazduha utvrđena merenjima u neposredno nakon eksplozije improviziranom sistemu provetranja, pomoću platnenih zavesa na kratkim spojevima nije se mogla uzeti u obzir, jer je sistem bio poremećen ruševinama, te je ot-

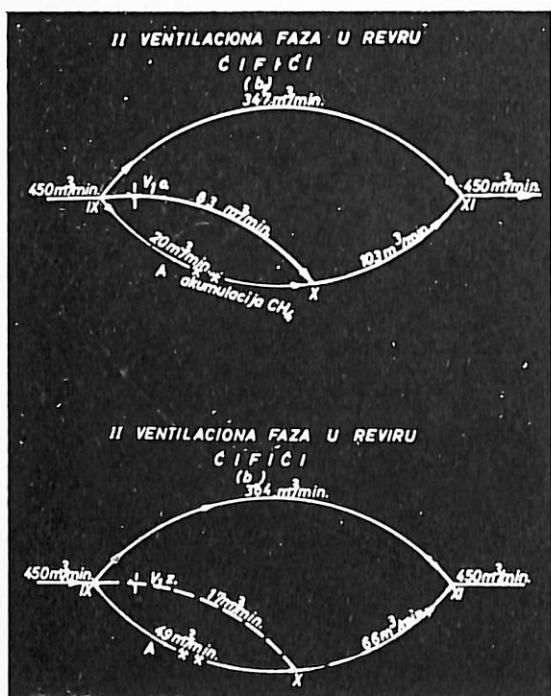
osnovu raspoloživih podataka izведен je zaključak da su u ovom reviru tj. u grani U_1 -XI postojale tri ventilacione faze i to:

- paralelno razvodjenje vazduha po ogranicima i rad separatnih ventilatora u ogranicima (vidi sl. 12),
- paralelno razvodjenje vazduha i obustavljanje rada separatnih ventilatora-alternative b i b_1 (vidi sl. 13),
- serisko razvodjenje vazduha (separatni ventilatori u zastoju), vidi sl. 14.

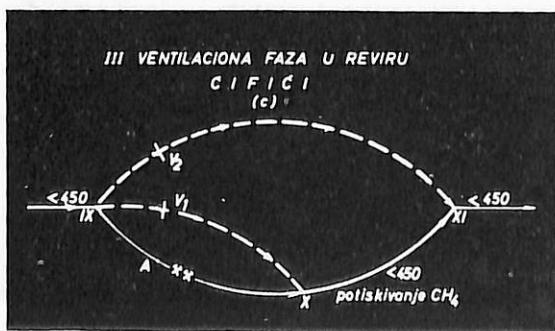
Utvrđivanje tačne raspodele vazduha po ogranicima u prvoj ventilacionoj fazi u okviru ove analize nije bilo moguće, ali se pretpostavlja da su separatni ventilatori obezbeđivali dovoljne količine vazduha za razvodjenje CH_4 u određenim fazama razvoja rudarskih radova, jer je u ovoj fazi izrađeno oko 600 m^3 jamskih prostorija.



Slika 12



Slika 13



Slika 14

Prva faza nije pružala mogućnost akumuliranja većih količina CH_4 , pošto u grani i ograncima postoji prinudni protočni sistem, ostvarivan pomoću separatnih ventilatora.

Uzroci prelaska na drugu ventilacionu fazu nisu poznati, ali je ona najverovatnije uslovljena porastom sadržaja CH_4 zbož smanjenja količine vazduha u ogranku IX-A-X, kao posledica porasta otpora u ovom ogranku, nastalom napredovanjem rudarskih radova. Rekonstrukcija razvođenja vazduha u ovoj fazi je moguća, pošto se radi o prirodnoj raspodeli vazduha. U ovoj fazi postojala je mogućnost akumuliranja CH_4 , jer nema prinudne protočne ventilacije u ograncima, te će ona biti detaljnije i analizirana.

Treća ventilaciona faza je serijsko razvođenje vazduha pri čemu se ostvaruje jedan jedinstveni protočni sistem kroz koji protiče sva ulazna količina vazduha, te se ona može razmatrati samo kao eventualno sredstvo za potiskivanje CH_4 , a ne i kao razlog za njegovu akumulaciju.

Analiza druge ventilacione faze u reviru „Cifići“. — U ovoj ventilacionoj fazi prirodne raspodele vazduha bila su moguća tri slučaja:

- prirodna raspodela vazduha, ako su vrata V_1 u ogranku IX-X zatvorena (označena sa V_{1z} na sl. 13 b);
- prirodna raspodela vazduha, ako su vrata V_1 u ogranku IX-X otvorena (označena sa V_{1o} u sl. 13 b₁);
- prirodna raspodela vazduha, ako su vrata V_1 zatvorena, a slepo okno u ogranku a-b otvoreno za prolaz vazduha (vidi sl. 24).

Za prvi analizirani slučaj otpori i raspodela vazduha u ograncima dati su na sl. 15 i 17.

Pojedinačni otpori ogrankaka su izračunati u odnosu na karakteristike pojedinih prostorija, dok je otpor pregrade sa vratima usvojen iz literaturе.

Rezultujući otpor grane IX-X je:

$$M_{r(IX-X)} = \frac{M_{(IX-X)}}{\left(\sqrt{\frac{M_{(IX-X)}}{M_{(IX-A-X)}} + 1} \right)^2} = \\ = \frac{604,4}{\left(\sqrt{\frac{604,4}{72} + 1} \right)^2} = 40 \text{ mijurga}$$

Nakon ovoga proračuna šema dobija izgled prikazan na sl. 16.

Količina vazduha koja prolazi kroz ogrank IX-X iznosi:

$$Q_{(IX-XI)} = \frac{Q_0}{\sqrt{\frac{M_{(IX-XI)}}{M_{(IX-X-XI)}} + 1}} = \\ = \frac{7,5}{\sqrt{\frac{1,5}{51} + 1}} = 6,4 \text{ m}^3/\text{sek}$$

ili

$$Q_{(IX-XI)} = 384 \text{ m}^3/\text{min}$$

Količina vazduha u ogranku IX-X-XI je:

$$Q_{(IX-X-X)} = 66 \text{ m}^3/\text{min}$$

U ovoj analizi posmatra se i količina vazduha koja će proći kroz zatvorena vrata pod dejstvom razlike pritiska između tačaka IX i XI bez obzira što ona predstavlja malu vrednost.

Količina vazduha u ogranku IX-X-XI je:

$$Q_{(IX-X)} = \frac{Q_{(IX-X-XI)}}{\sqrt{\frac{M_{(IX-X)}}{M_{(IX-A-X)}} + 1}} = \\ = \frac{1,1}{\sqrt{\frac{604,4}{72} + 1}} = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

ili

$$Q_{(IX-X)} = 17 \text{ m}^3/\text{min}$$

Količina vazduha koja prolazi ogrankom IX-A-X, prema tome, je:

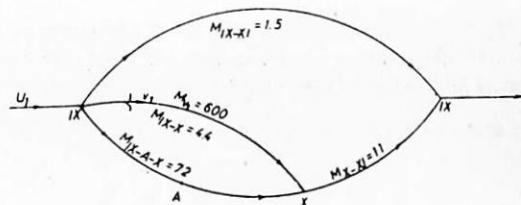
$$Q_{(IX-A-X)} = Q_{(IX-X-XI)} - Q_{(IX-X)} = \\ = 66 - 17 = 49 \text{ m}^3/\text{min}$$

Prema tome, stvarna raspodela vazduha bi bila kako je dato u šemi na sl. 17.

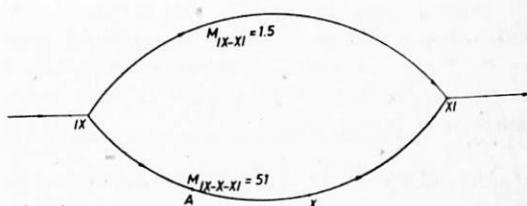
Postavlja se pitanje, da li je u ogranku IX-X i ogranku IX-A-X moglo da dođe do akumulacije većih količina metana kod ovih protočnih količina vazduha.

Prema raspoloživim podacima na ulazima i izlazima ogranka IX-X i IX-A-X konstatovane su pre eksplozije koncentracije metana od 5%. Takođe je utvrđeno da u ovim ograncima separativni ventilatori nisu radili dva dana pre eksplozije, te je prirodna raspodela vazduha početni uslov za ovu analizu.

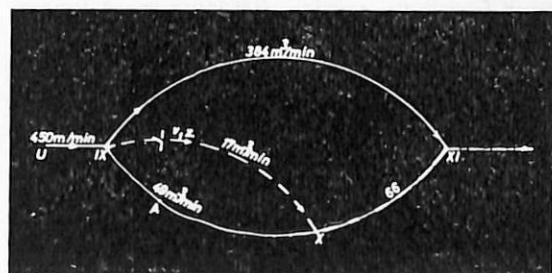
Ako se ogrank IX-A-X posmatra kao komora zapremine $V = 3.000 \text{ m}^3$ u kojoj je stvorena posle određenog vremena t prosečna koncentracija CH_4 po celom profilu od 5%, može se izračunati dotok metana q (m^3/min), a takođe i potrebno vreme



Slika 15



Slika 16



Slika 17

punjena t. Za vreme dt dotok u ovoj zapremini povećava količinu metana za iznos $q \times dt$. Količina metana, koja dolazi s vazduhom koji ulazi u prostoriju, iznosi $Q C'_0 dt$, gde je C'_0 koncentracija metana u ulaznoj vazdušnoj struji. Ove dve količine povećavaju sadržaj metana u prostoriji u

funkciji vremena. Pošto se u istom vremenskom intervalu dt iz komore iznese metana u količini Q $K' C dt$, količina metana koja se zadržava u prostoriji za posmatrano vreme iznosi:

$$VdC = Q C'_0 dt + q dt = Q K' C dt$$

U ovom analitičkom izrazu je:

C — srednja analitička koncentracija metana,

K' — koeficijent turbulentne difuzije delimično zaplinjene vazdušne struje

$$K' = K + (1-K) \frac{C'_0}{C},$$

K — koeficijent turbulentne difuzije posmatranog protoka.

Množenjem ovog izraza sa -1 i zamenom vrednosti K' dobija se sledeća relacija:

$$Q K C + Q (1 - K) C'_0 dt - q dt - Q C'_0 dt = \\ = - V dC$$

odnosno

$$\frac{dC}{dt} = \frac{Q K C'_0}{V} + \frac{q}{V} - \frac{Q K C}{V}$$

Srednji izraz predstavlja diferencijalnu jednačinu prirasta metana u prostoriji u jedinici vremena dt . Prva dva člana jednačine predstavljaju apsolutni priliv CH_4 u prostoriju, a treći količinu isticanja iz prostorije.

Ako odnos $\frac{Q K C'_0}{V} + \frac{q}{V}$ obeležimo sa R_o ,

a izraz $\frac{Q K C}{V}$ sa R , dobijamo da je:

$$\frac{dC}{dt} = R_o - R C. Vrednosti R_o i R su$$

konstantne, ako su apsolutni priliv i oticanje nepromenljive veličine. Integracija ove jednačine po C daje izraz

$$C = e^{-Rt} \left(\frac{R_o}{R} e^{Rt} + C_1 \right)$$

Folazeći od početnih uslova, tj. da je $C=C_0$ i $t=0$, dobija se:

$$C_1 = C_0 - \frac{R_o}{R}$$

Unošenjem ove vrednosti u izraz za C , dobija se krajnja jednačina za određivanje koncentracije metana u prostoriji u posmatranom trenutku vremena, tj.

$$C = e^{-Rt} \left[(e^{Rt} - 1) + C_0 \right]$$

U posmatranom slučaju radilišta su dobijala potpuno svežu vazdušnu struju te je $C_0 = 0$, i jednačina dobija oblik:

$$C = \frac{R_o}{R} \left(1 - \frac{1}{e^{Rt}} \right),$$

odačle je:

$$R_o = \frac{C R}{1 - \frac{1}{e^{Rt}}}$$

U našem slučaju za $k = 0,49$

$$R = \frac{Q K}{V} = \frac{49 \cdot 60 \cdot 0,49}{3000} = 0,48$$

$$\text{Kako je } R_o = \frac{Q \cdot K \cdot C'_0}{V} + \frac{q}{V}$$

$$\text{za } C'_0 = 0 \text{ dobija se da je } R_o = \frac{q}{V}$$

Zamenom ove vrednosti u ranije datom izrazu za R_o dobijamo da je:

$$q = \frac{C R V}{1 - \frac{1}{e^{Rt}}}$$

Unošenjem brojčanih vrednosti za posmatrani slučaj dobija se:

$$q = \frac{0,05 \cdot 0,48 \cdot 3000}{1 - \frac{1}{0,48 \cdot 24}} = 72 \text{ m}^3/\text{čas } CH_4$$

ili

$$q = 1,2 \text{ m}^3/\text{min}$$

Izračunati prosečni priliv metana od $1,2 \text{ m}^3/\text{min}$ u ovoj grani poklapa se sa podacima analize, koja je vršena u odnosu na protočni sistem i merenjima, koja su izvršena pre i posle eksplozije u njemu, a takođe i sa merenjima izlaznih količina CH_4 iz jame.

Ako ovu vrednost vratimo u jednačinu koja prikazuje porast CH_4 u određenom vremenskom intervalu, može se za različite vrednosti t dobiti grafički prikaz porasta koncentracije CH_4 od momenta obustavljanja separatnih ventilatora u ovoj grani do stabilizacije njegovog akumuliranja.

Iz dijagrama na sl. 18 se vidi da je punjenje odnosno porast koncentracije do cca 5% mogao da se izvrši u roku od 8-10 časova.

Frožna prosečna koncentracija, koja je merenjima utvrđena na ulazu i izlazu iz ove grane, unutar ventilacionog sistema nije podjednako rasporedena, što zavisi, uglavnom, od nagibnog ug-

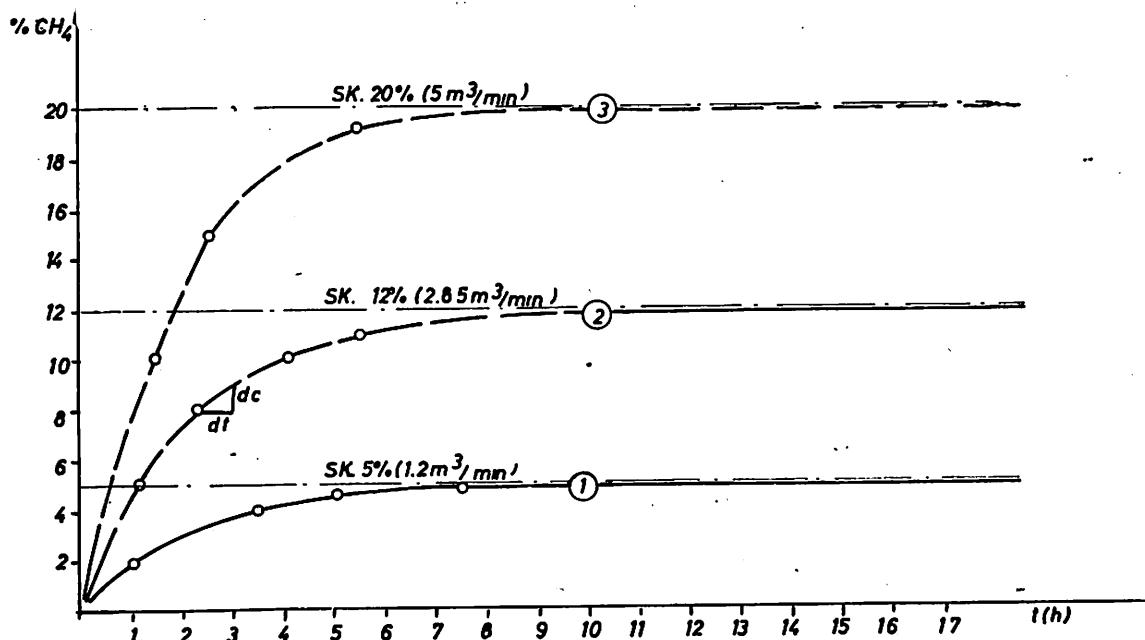
la prostorija i pravca strujanja vazduha u odnosu na njega, poprečnih preseka prostorija, načina podgradivanja i vrste podgráde, mesta izvora metana, brzine strujanja vazduha i temperature sredine.

Približna raspodela koncentracije CH_4 u ovoj grani data je u dijagramu na sl. 19. Učinjena greška kod ove aproksimacije nema značaj za doneće zaključke, pošto bi se u analiziranim uslovima dužina ogrankaka od cca 300 m našla u zoni koncentracije između 5% i 12%. U ovoj analizi uzeta je

Ovakva pojava prouzrokuje naglo povećanje apsolutnog dotoka CH_4 , brže punjenje ogrankaka i porast prosečne koncentracije CH_4 u vazduhu (vidi dijagram 18 i 19).

Analiza varijante b_1 prirodne raspodele vazduha, tj. kada su otvorena vrata (V_1) u ogranku IX-X pokazuje sledeće.

Pojedinačni otpori pri otvorenim vratima V_1 u pojedinim ograncima imaju vrednosti date na šemci u sl. 20.



Slika 18

najnepovoljnija koncentracija za brzinu stvaranja akumulacije od 5% (merena vrednost) pri maksimalnom protoku vazduha kod prirodne raspodele u ogranku IX-A-X-XI od $49 \text{ m}^3/\text{min}$.

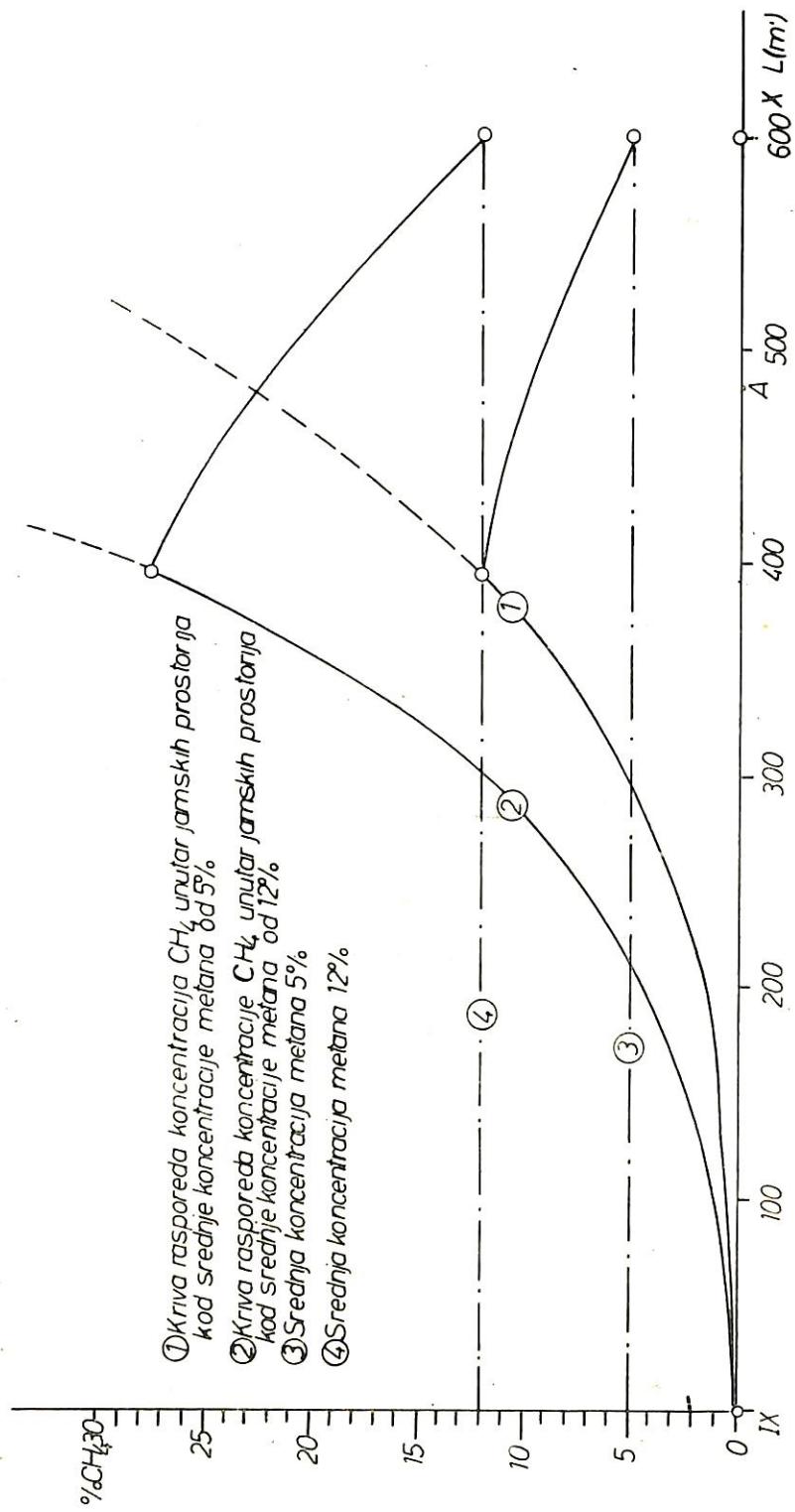
Sve koncentracije veće od analizirane daju veći specifični dotok CH_4 , a s tim i brže punjenje.

Na osnovu gasnih produkata eksplozije, koje karakteriše visok sadržaj ugljenmonoksida, može se usvojiti da je prosečna koncentracija u posmatranom ogranku bila veća od 5%, što je moglo da nastane trenutnim prodom CH_4 iz prirodnih akumulacija (puhača). U slučaju ovakvih prodora prosečna koncentracija CH_4 raste kako je to isprekidanom linijom prikazano na dijigramima 18 i 19.

Rezultirajući otpor ogrankaka IX-X je:

$$M_{R(IX-X)} = \frac{M_{(IX-X)}}{\left(\sqrt{\frac{M_{(IX-X)}}{M_{(IX-A-X)}} + 1} \right)^2} =$$

$$= \frac{4,4}{\left(\sqrt{\frac{4,4}{72} + 1} \right)^2} = 2,8 \text{ mijurga}$$



Slika 19

Proračun količine vazduha u ogranku IX-XI izvršen je prema sl. 21.

$$Q_{(IX-XI)} = \frac{Q_0}{\sqrt{\frac{M_{(IX-XI)}}{M_{(IX-X-XI)}} + 1}} =$$

$$= \frac{7,5}{\sqrt{\frac{1,5}{13,8} + 1}} = 5,78 \text{ m}^3 \text{ sek}$$

ili

$$347 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Količina vazduha u ogranku IX-X-XI je:

$$Q_{(IX-X-XI)} = Q_0 - Q_{(IX-X)} = 450 - 347 =$$

$$= 103 \text{ m}^3/\text{min}$$

Proračun količine vazduha u ogranku IX-X izvršen je prema sl. 22.

$$Q_{(IX-X)} = \frac{Q_{(IX-X-XI)}}{\sqrt{\frac{M_{(IX-X)}}{M_{(IX-A-X)}} + 1}} =$$

$$= \frac{1,72}{\sqrt{\frac{4,4}{72} + 1}} = 1,38 \text{ m}^3/\text{sek}$$

ili

$$83 \text{ m}^3/\text{min}$$

Količina vazduha u ogranku (IX-A-X) je:

$$Q_{(IX-A-X)} = Q_{(IX-X-XI)} - Q_{(IX-X)} =$$

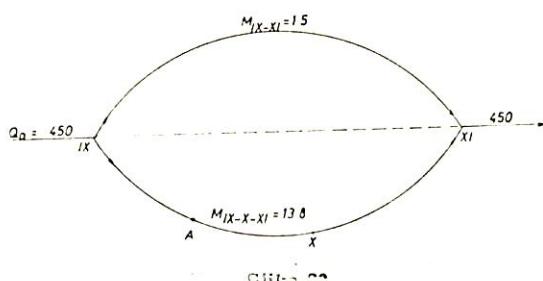
$$= 103 - 83 = 20 \text{ m}^3/\text{min}$$

Stvarna raspodela vazduha u grani data je na sl. 23.

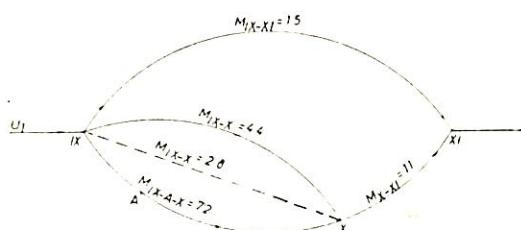
Iz prethodne analize se vidi da je, iako su sve prostorije bile otvorene, praktično kretanje vazduha ostvarivano uglavnom preko ogranka (IX-XI) (direktni pravac kretanja vazduha prekopom „Karaula“ — vidi linearnu šemu na sl. 1) i delom preko ogrankaka IX-X (zaobilazni hodnik).

Ako i u ovoj analizi usvojimo najnepovoljniju koncentraciju za akumuliranje CH₄, tj. merenjem utvrđenu vrednost od 5% CH₄, dobija se da je apsolutni dotok CH₄ u ogranku IX-A-X mogao da iznosi:

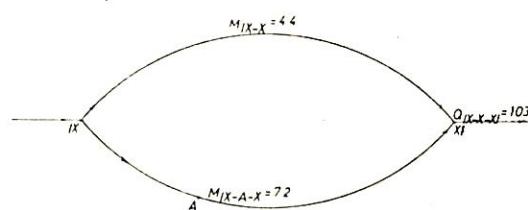
$$q \frac{C \cdot Q \cdot K}{100} = \frac{5 \cdot 20 \cdot 0,49}{100} = 0,49 \text{ m}^3/\text{min}$$



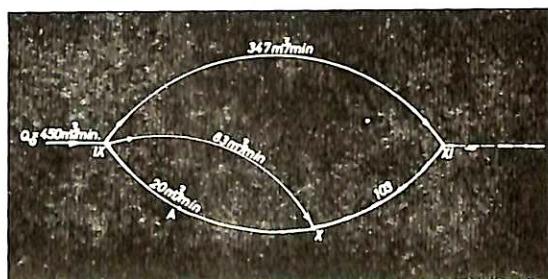
Slika 20



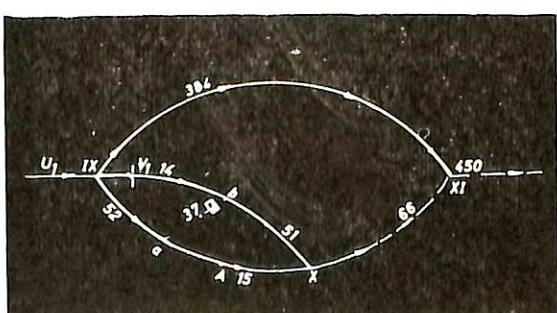
Slika 21



Slika 22



Slika 23



Slika 24

I kod ovog apsolutnog dotoka mogla se je stvoriti akumulacija CH_4 i preko 5% u najvišim delovima ogranka do njegovog izlaznog kraka.

Vreme punjenja metanom, prema analognom proračunu za prethodnu alternativu, iznosi 8-10 časova. Međutim, nema objektivnih razloga za odstupanje od u alternativi 1 dokazanog specifičnog dotoka od $1,2 \text{ m}^3/\text{min}$, što za ovu alternativu raspodele vazduha ubrzava vreme akumuliranja metana i povećava prosečnu koncentraciju na:

$$C = \frac{q \cdot 100}{q \cdot K} = \frac{1,2 \cdot 100}{20 \cdot 0,49} = 12\% \text{ CH}_4$$

Prema tome, ova alternativa omogućuje nakupljanje prosečne koncentracije i preko 5% i bez prodora metana iz prirodnih akumulacija, a pri najverovalnjem apsolutnom dotoku od $1,2 \text{ m}^3/\text{min}$.

Izmerena prosečna koncentracija od 5% moguće da je dobijena ako je merenje vršeno u ogranku X-XI kroz koji prolazi $103 \text{ m}^3/\text{min}$ vazduha, u kojem je metan razređen na nižu koncentraciju ili je indiciranje izvršeno benzinskom sigurnosnom lampicom, koja ne registruje veću koncentraciju od 5%. Kod prosečne akumulacije CH_4 od 12% moguće su koncentracije CH_4 u najvišim delovima ovoga ogranka i do 28% (vidi dijagram na sl. 13 i 19).

Analizirana je i treća alternativa sa razvedenjem vazduha prema šemi na sl. 24, koja obuhvata i eventualno kretanje vazduha slepim oknom u ogranku a-b.

Prema šemi se vidi da deo ogranka IX-A-X od tačke A do tačke X ima protok od $15 \text{ m}^3/\text{min}$ vazduha. Pošto je dokazano, da se kod protoka od $50 \text{ m}^3/\text{min}$, odnosno $20 \text{ m}^3/\text{min}$ mogu stvoriti opasne akumulacije CH_4 , to je suvišno dokazati i ovaj slučaj.

Našim merenjima gasnog stanja u zatvorenom području revira „Čifići”, izvršenim 80 dana nakon katastrofe, utvrđeno je da koncentracija metana iza izolacionih pregrada iznosi 50–60% a apsolutni dotok CH_4 $0,65 \text{ m}^3/\text{min}$.

Nađeni apsolutni dotok nalazi se u analiziranim granicama i razlika, od za proračun usvojenog dotoka $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{min}$, verovatno proizišazi zbog uticaja vremenskog faktora degazacije na veličinu apsolutnog dotoka, s obzirom da priprema radilišta ovog područja duže vremena nisu bila u pogonu.

Mogućnost stvaranja opasnih koncentracija CH_4 u ogranku XI-XII protičnog sistema provetrvanja (osnovni hodnik na koti + 381). — Na osnovu naših merenja izvršenih nakon eksplozije, analize uticaja eksplozije na stvaranje sekundarnih izvora metana i analize uticaja depresije ventilatora

„Lozančići“ na intenziviranje apsolutnog dotoka metana u posmatranom ogranku, utvrđeno je da je apsolutni dotok metana iznosi $1,3 \text{ m}^3/\text{min}$.

Ovaj dotok metana, zajedno sa metanom iz revira „Čifići“, u normalnom protoku mogao je u ogranku XI-XII da stvari prosečnu koncentraciju od 0,55%.

Ova koncentracija u protičnom sistemu isključuje mogućnost stvaranja akumulacija metana i eksplozivne smeše. Do stvaranja eksplozivne koncentracije u ovom ogranku moglo je doći jedino ako u njemu iz bilo kojih razloga nije postojalo proticanje vazduha, a što nije dokazano.

Mogućnost stvaranja opasne koncentracije metana u području pripremnih radilišta 206 i 207. — Našim merenjima nakon eksplozije utvrđeno je, da maksimalni dotok CH_4 sa pripojenih radilišta 206 i 207 iznosi $0,16 \text{ m}^3/\text{min}$.

Prilikom merenja uskopi br. 206 i 207 bili su poremećeni. Može se pretpostaviti da je zbog nastalih ruševina u ovom području apsolutni dotok metana trebalo da bude veći nego u uslovima pre eksplozije. Međutim, ispravno je uzeti u obzir i okolnost da radilišta 206 i 207 nisu radila u fazi naših merenja, pa je izdvajanje CH_4 usled vremenskog faktora prirodne degazacije moglo da bude manje.

Za interpretaciju usvojen je priliv CH_4 u iznosu od $0,2 \text{ m}^3/\text{min}$, što kod ekshalacije metana približno odgovara uslovima pre eksplozije. Varijacije su moguće jedino u slučaju pojave naglih isicanja.

Za analizu ovog slučaja takođe je usvojeno da su u protičnom sistemu ove grane bile moguće varijacije količina vazduha u granicama od $150-310 \text{ m}^3/\text{min}$. Donja granica je predstavljena za slučaj da je na pregradici P_1 bio potpuno otvoren prigušivač, kroz koji je u tom slučaju moglo da protiče oko $100 \text{ m}^3/\text{min}$ vazduha.

Radi potpunije analize izvršen je proračun maksimalnog dotoka metana, koji se u okviru ovih graničnih količina može uspešno da razreduje na koncentraciju predvidenu u tehničkim propisima od 1,0%.

Proračun pokazuje da:

— Za $Q_{\max} = 310 \text{ m}^3/\text{min}$ protičnog vazduha dozvoljena apsolutna količina metana u ovoj granici može da iznosi $q_{doz} = 3,10 \text{ m}^3/\text{min} \text{ CH}_4$.

— za $Q_{sr} = 230 \text{ m}^3/\text{min}$

$q_{doz} = 2,30 \text{ m}^3/\text{min} \text{ CH}_4$

— za $Q_{\min} = 150 \text{ m}^3/\text{min}$

$q_{doz} = 1,50 \text{ m}^3/\text{min} \text{ CH}_4$

Apsolutne količine metana koje su mogle da se postignu u ovom ogranku, u zavisnosti od priliva metana sa ulaznom količinom vazduha i apsolutnog priliva iz područja radilišta 206 i 207 iznosile su:

— za $Q_{\max} = 310 \text{ m}^3/\text{min}$ vazduha

$$q_{\max} = \frac{310 \cdot 0,55}{100} + 0,2 = 1,9 \text{ m}^3/\text{min} \text{ CH}_4$$

— za $Q_{sr} = 230 \text{ m}^3/\text{min}$ vazduha

$$q_{sr} = \frac{230 \cdot 0,55}{100} + 0,2 = 1,46 \text{ m}^3/\text{min} \text{ CH}_4$$

— za $Q_{\min} = 150 \text{ m}^3/\text{min}$ vazduha

$$q_{\min} = \frac{150 \cdot 0,55}{100} + 0,2 = 1,02 \text{ m}^3/\text{min} \text{ CH}_4$$

Iz ovog proizlazi da se propisima dozvoljene količine koncentracije CH_4 ne mogu da prekorače bez obzira na varijacije u količinama vazduha koje protiču kroz uskope, već da zavisno od količina vazduha, koje se u ogranak dovode, postoje rezerve od 47-70%.

Ovaj proračun pokazuje da u normalnim uslovima u ogranku XII-4 nije moglo doći do akumuliranja metana. Do stvaranja opasne koncentracije moglo je doći jedino u sledećim slučajevima:

- a) povećanjem koncentracije CH_4 u ulaznoj vazdušnoj struji ovog ogranka,
- b) povećanjem koncentracije CH_4 usled pojačanog dotoka CH_4 u ogranku XII-4,
- c) povećanjem koncentracije CH_4 usled nedovoljnih količina vazduha koje protiču kroz graničnu XII-4,
- d) zbog naglog potiskivanja akumuliranog CH_4 u slepim delovima radilišta 206 i 207,
- e) zbira parcijalnih uticaja navedenih elemenata.

Slučaj naveden pod a) analiziran je u poglavljima „Mogućnost stvaranja opasnih koncentracija CH_4 u reviru „Cifići“ i „Mogućnost stvaranja opasnih koncentracija CH_4 u ogranku XI-XII protočnog sistema provetrvanja (osnovni hodnik na koti + 381)“, a mogućnost dovođenja opasnih koncentracija metana u ovaj ogranak biće analiziran kasnije.

U slučaju pod b) nema dokaza da je u protočnom sistemu bilo isticanja ili prodora CH_4 koji bi mogli da stvore eksplozivnu koncentraciju.

Za stvaranje koncentracije CH_4 preko 5% potrebno bi bilo konstatovati isticanja sa prilivom CH_4 od $q_{\min} = 7,5$ do $q_{\max} = 15,5 \text{ m}^3/\text{min}$ CH_4 (u odnosu na analizirane količine vazduha u protočnom sistemu).

U slučaju pod c) dokazano je da je kritičnog dana ventilator na niskopu „Lozančići“ bio u neprekidnom radu, te su prema našim proračunima kroz ogranak XII-4 prolazile količine vazduha od

$q_{\min} = 150 \text{ m}^3/\text{min}$ do $q_{\max} = 310 \text{ m}^3/\text{min}$ zbog čega nije moglo da dođe do stvaranja opasnih akumulacija.

U slučaju koji je naveden pod d) do povećanja koncentracija u protočnom sistemu moglo je da dođe uz prethodni uslov, da su na slepim delovima radilišta 206 i 207 akumulirane takve koncentracije CH_4 , koje bi mogle naglim potiskivanjem da zapline protočni sistem do eksplozivnih koncentracija.

Radilišta su kritičnog dana bila u neprekidnom radu, što dokazuje otpucani ugalj na radilištu 207 i napunjene a neotpucane minske rupe na radilištu 206.

Iz podataka rudnika vidi se da su na ovim radilištima postojale pojave metana, koje su bile iznad propisima dozvoljenog sadržaja.

Ove pojave mogle su da se stvore pod sledećim uslovima:

a) zbog velike udaljenosti krajeva ventilacionih cevi od čela radilišta, što nije bio slučaj;

b) zbog nepravilnog postavljanja ventilacionih cevi u poprečnom profilu prostorije (ovo nije utvrđeno);

c) usled gubitaka vazduha zbog slabog zapitivanja ventilacionih cevi (ovo nije utvrđeno);

d) obustavom rada separatnih ventilatora (ovo nije bio slučaj);

e) pri redovnim količinama vazduha koji dostavljaju separatni ventilatori na čelu radilišta;

f) nepravilnim postavljanjem separatnih ventilatora u odnosu na protočni sistem. Na osnovu podataka autori zaključuju da je položaj separatnih ventilatora bio ispravan, te se ovaj slučaj može da isključi;

g) uticaj svih citiranih elemenata parcijalno.

Slučajevi navedeni pod d) i f) nisu detaljnije analizirani, jer su unapred isključeni.

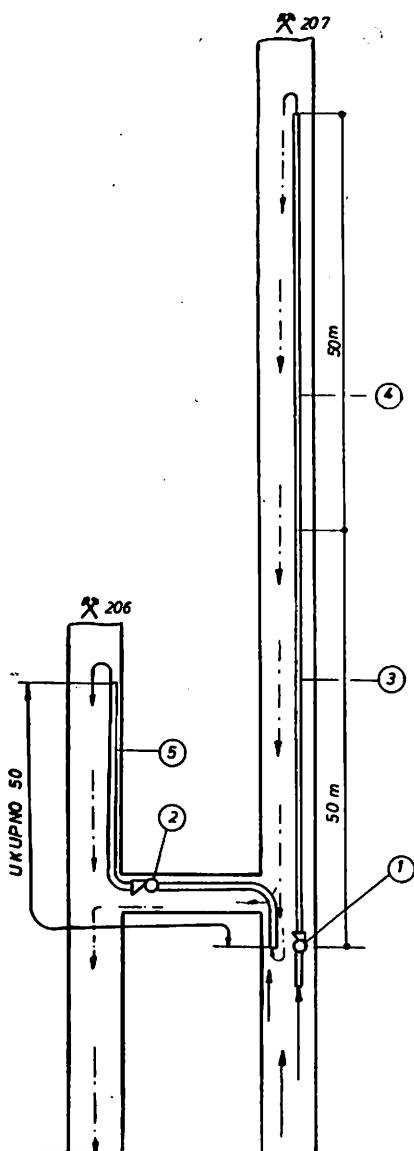
Slučajevi navedeni pod a), b) i c) se detaljno ne analiziraju, jer nisu mogli da imaju bitan uticaj na razmere eksplozije.

Iz ovoga proizlazi da u detaljnoj analizi treba obuhvatiti slučajeve pod e) i g).

Položaj separatnih ventilatora, njihov kapacitet i protočne količine vazduha date su na sl. 25, a veza ovih radilišta sa mrežom ventilacionog sistema u šemaršu na sl. 1 i 2. Našim tehničkim propisima nisu regulisani odnosi kapaciteta ventilatora u odnosu na protočnu vazdušnu struju. Prema standardima SSSR-a kapacitet separatnih ventilatora sme da iznosi 70% od protočnih količina vaz-

duha u grani u kojoj se postavlja, dok se veći kapacitet posebno odobrava ukoliko se želi promena u količinama vazduha u toj grani. Ako ovaj propis primenimo na naš slučaj, separatni ventilatori radišta 206 i 207 smeju da iz protočnog sistema uzimaju sledeće količine vazduha:

Protočni sistem	Dozvoljeni protok kroz ventilatore
$Q \text{ (m}^3/\text{min})$	$Q_v \text{ (m}^3/\text{min})$
$Q_{\text{min}} = 150$	$Q_{v \text{ min}} = 110$
$Q_{\text{sred}} = 230$	$Q_{v \text{ sred}} = 160$
$Q_{\text{max}} = 310$	$Q_{v \text{ max}} = 220$



Slika 25

Prema podacima ventilator „Katowice“ i „Korfmann“ su u protočnom sistemu bili raspoređeni kako je to prikazano na sl. 25, uz koje su date i nazivne karakteristike ventilatora.

Ventilator „Katowice“

$$Q = 270 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$h = 95 \text{ mm VS}$$

$$\eta = 0,54$$

Ventilator „Korfmann“

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$h = 70 \text{ mm VS}$$

$$\text{Ventilacione cevi } \varnothing 600 \text{ mm}$$

$$\text{Ventilacione cevi } \varnothing 300 \text{ mm}$$

Iz dispozicije na sl. 25 vidi se da je ventilator „Katowice“ radio sa ventilacionim cevima $\varnothing 600$ i $\varnothing 300$ mm u dužini od po 50 metara, a ventilator „Korfmann“ sa ventilacionim cevima $\varnothing 300$ mm u dužini od oko 50 metara.

Veličina otpora u cevovodu kombinovanom iz ventilacionih cevi $\varnothing 300$ i $\varnothing 600$ mm je:

$$R_u = R_{L300} + R_{L600}$$

$$M_{L600} = \frac{6,5 \cdot \alpha \cdot L \cdot 1000}{d^5}$$

gde je:

$$\alpha = 0,00038$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$d = 0,6 \text{ m}$$

$$M_{L600} = \frac{6,5 \cdot 0,00038 \cdot 50 \cdot 1000}{0,6^5} = 1.570 \text{ mijurga}$$

$$M_{L300} = \frac{5,5 \cdot 0,0044 \cdot 50 \cdot 1000}{0,3^5} = 59.000 \text{ mijurga}$$

$$R_u = 1.570 + 59.000 = 60.570 \text{ mijurga}$$

Na osnovu ukupnih otpora određena je karakteristika cevovoda prema relaciji:

$$h = \frac{M \cdot Q^2}{1000} = \frac{60.570 \cdot Q^2}{1000}$$

u kojoj se vrednosti za Q uzimaju kao nezavisne promenljive, a h se računski dobija kao funkcija

Dobijeni rezultati prikazani su u dijagramu na sl. 26.

Stavljanjem u odnos karakteristika otpora cevovoda sa karakteristikama ventilatora dobija se da je ventilator „Katowice“, radio sa radnim karakteristikama (vidi dijagram na sl. 26):

$$Q_v = 100 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$h_v = 165 \text{ mm VS}$$

$$\eta = 0,35$$

Veličina otpora u cevovodu ventilatora „Korfmann“ za dužinu cevovoda 50 m, već je izračunata u prethodnom slučaju i iznosi 59.000 mijurga. Karakteristika otpora posmatranog cevovoda je data na sl. 27. Na istoj slici data je i karakteristika jednog od sličnih tipova „Korfmann“-ovih ventilatora, jer tačan tip ventilatora nije mogao da bude utvrđen.

Greška, koju izaziva izbor sličnog tipa ventilatora radnih karakteristika blizu označenih na sl. 25, ne vrši bitan uticaj na definisanje zaključka.

Režim rada ventilatora u posmatranom slučaju određen je prosečnom tačkom karakteristike ventilatora i karakteristike otpora cevovoda (vidi dijagram na sl. 27).

Iz dijagrama se vidi da je ovaj ventilator radio sa približno sledećim radnim karakteristikama:

$$Q_v = 83 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$h = 115 \text{ mm VS}$$

Kako oba ventilatora koriste protočni vazduh grane XII-4, ukupna količina vazduha koji bi mogli da uzimaju pri potpuno paralelnom radu iznosi 183 m³/min.

Ove količine zadovoljavaju slučaj maksimalnog protoka vazduha protočnim sistemom od $Q_{\max} = 310 \text{ m}^3/\text{min}$, a takođe i u slučaju srednjeg protoka od $Q_{sr} = 230 \text{ m}^3/\text{min}$.

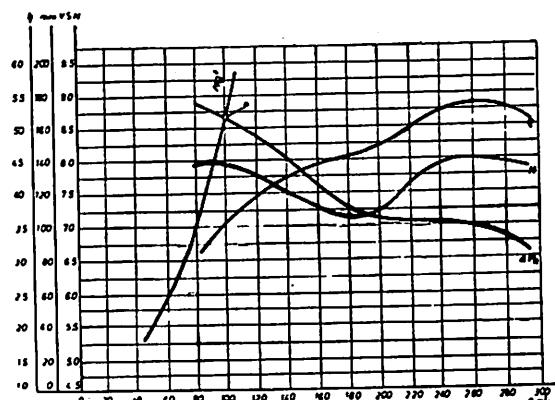
U slučaju minimalnog analiziranog protoka vazduha od $Q_{\min} = 150 \text{ m}^3/\text{min}$ ovaj uslov ne bi bio zadovoljen, kada bi između ventilatora i radilišta postojala pregrada (vidi sl. 28), tj. ako bi ventilatori bili u potpuno paralelnoj spredi. U konkretnom slučaju ventilatori su bili spregnuti delimično serijski, a delimično paralelno (kombinovani rad), pošto između ventilatora i radilišta nije bilo pregrade, te je uslov o dozvoljenom korišćenju protočnih količina u ovom slučaju zadovoljen.

U slučaju da ventilator „Korfmann“ i koristi jedan deo vazduha, koji prolazi kroz ventilator „Katowice“, to mogu da budu minimalne količine od nekoliko m³/min.

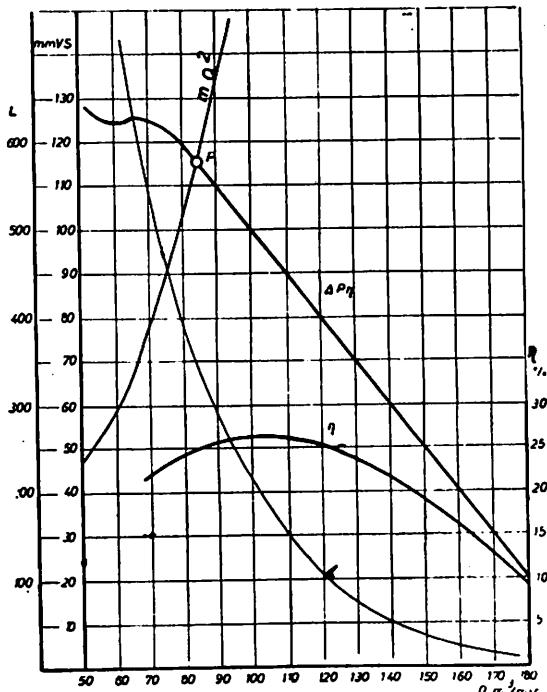
Male količine recirkulacionog vazduha ne mogu uticati na porast CH₄ u ulaznoj struci ventilatora „Korfmann“. Ukoliko bi taj porast bio i znatniji, ostaje činjenica da ovakav način provetrvanja ne može uticati na porast koncentracija na čelima radilišta, pošto u jednakim vremenskim intervalima preko čela radilišta protiče kvalitetno isti vazduh, a priliv CH₄ ostaje nepromjenjen.

Da bi se u posmatranim prostorijama ostvarilo turbulentno kretanje vazduha, koje može da obezbedi mešanje metana sa vazduhom, treba zadovoljiti sledeći uslov:

$$V_{\min} = \frac{5}{dp \sqrt{\alpha}} \text{ (m/sek)}$$



Slika 26



Slika 27

gde je:

$$dp = \text{prečnik pregrade (cm)}$$

$$\alpha = \text{koefficijent otpora prostorije}$$

U našem slučaju potrebno je:

$$V_{\min} = \frac{5}{20 \sqrt{\frac{16}{16}}} = 0,062 \text{ m sek}$$

Pošto su brzine povratnog vazduha na oba radilišta iznosile:

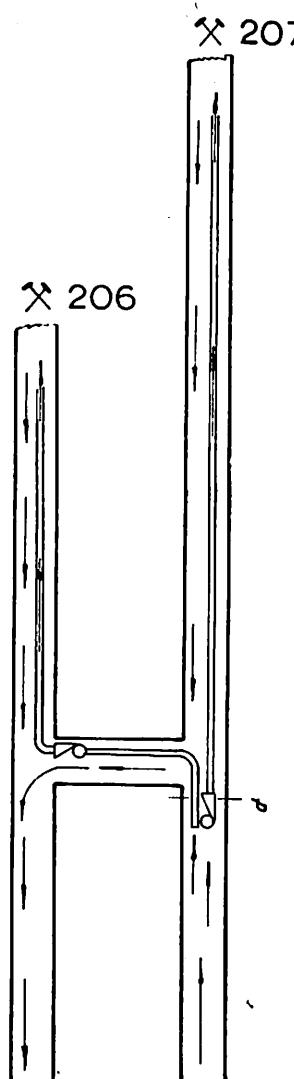
$$V_{207} = \frac{Qv}{F} = \frac{1,67}{9} = 0,19 \text{ m sek}$$

odnosno

$$V_{206} = \frac{Qv}{F} = \frac{1,33}{6} = 0,22 \text{ m sek}$$

i ovaj uslov je u oba slučaja zadovoljen.

Propis SSSR-a za pripremna radilišta dozvoljava minimalnu brzinu od 0,15 m/sek.



Slika 28

Minimalno potrebna količina vazduha za razredivanje metana do granica predviđenih tehničkim propisima kod kompresionog načina provetrvanja iznosi:

$$Q = \frac{q \cdot 100}{KC \left(1 - \frac{C_0}{C} \right)}$$

gde je:

q = apsolutni dotok CH_4 na radilištu

$$q = 0,1 \text{ m}^3/\text{min}$$

C = dozvoljena koncentracija CH_4 na radilištu

$$C = 1,5\% \text{ CH}_4$$

C_0 = sadržaj CH_4 u ulaznoj vazdušnoj struji

$$C_0 = 0,55\% \text{ za radilište } 207 \text{ i}$$

$$C_0 = 0,6\% \text{ za radilište } 206.$$

K = koeficijent turbulentne difuzije

$$K = 0,29$$

Potrebitna količina vazduha za provetrvanje radilišta 207 iznosi:

$$Q = \frac{0,1 \cdot 100}{0,20 \cdot 1,5 \left(1 - \frac{0,55}{1,5} \right)} = 50 \text{ m}^3 \text{ min}$$

Pošto je separatni ventilator „Katowice“ radio sa karakteristikom od $100 \text{ m}^3/\text{min}$ u slobodnoj struji vazduha nije moglo doći do stvaranja opasnih koncentracija CH_4 na ovom radilištu.

Potrebitne količine vazduha za provetrvanje radilišta 206 iznose:

$$Q = \frac{0,1 \cdot 100}{0,20 \cdot 1,5 \left(1 - \frac{0,6}{1,5} \right)} = 55 \text{ m}^3/\text{min}$$

Proračun pokazuje da pod analiziranim uslovima ni na radilištu 206 nije moglo da dođe u slobodnoj struji vazduha do nakupljanja opasnih koncentracija CH_4 , jer je ventilator „Korfmann“ radio sa karakteristikom od $80 \text{ m}^3/\text{min}$.

Ako se uzme u razmatranje kumulativni uticaj svih navedenih elemenata, proizlazi da se objektivno može isključiti mogućnost stvaranja većih količina CH_4 na ovim pripremnim radilištima. Ako je do porasta sadržaja CH_4 i došlo, ove su količine manjeg značaja i lokalizovane su u slabije provetrvanim delovima radilišta (čelo radilišta, udubljenja i sl.).

Fojava opasnih koncentracija CH_4 u užem području radilišta 206 i 207, koja bi omogućila eksploziju ostvarenih razmera, onemogućila bi rad zapošljenih radnika na ovim radilištima usled nedostatka kiseonika. Posle eksplozije nađeno je više unesrećenih radnika od ugljenmonoksida na samim čelima

radilišta u položajima i uslovima koji ukazuju na normalno odvijanje radnog procesa pre eksplozije.

Ako se i pretpostavi da je do stvaranja akumulacije CH_4 na ovim radilištima došlo iz bilo' kojih neobjašnjениh uzroka, kretanje zaplinjenog vazduha bi bilo u pravcu ventilatora „Lozančići“ tj. u normalnom smeru kretanja ulazne vazdušne struje protičnog sistema, a nikako suprotno ovom kretanju, kroz svežu vazdušnu struju prema tački XII. Ovako kretanje omogućilo bi jedino obustavljeni rad ventilatora „Lozančići“, što nije bio slučaj. Dalje, ako bi ovaj slučaj čak i nastao, kretanje eksplozivnih koncentracija metana ne bi se moglo izvršiti u pravcu ulazne vazdušne struje U_1 , tj. u pravcu prema potkopu „Karaula“, već bi se ono obavilo prirodnim tokom i pod dejstvom ventilatora „Stupe“ prema produktivnom reviru. Čađ i garež kao produkti termičkog procesa eksplozije, nađeni u grani vazdušne struje U_1 -XII tj. suprotno kretanju vazdušne struje u ovom ogranku, takođe isključuju mogućnost da je u eksploziji učestvovala akumulacija metana stvorena u području radilišta 206 i 207.

Fojava većih koncentracija metana na ovim radilištima u trenutku eksplozije, vezana je za njegovo transportovanje iz druge akumulacije normalnim protočnim putevima.

Definisanje uslova za dovođenje metana u područje eksplozije. — Obrađene analize razmatrale su sve uticajne elemente koji su mogli delovati na mogućnost stvaranja većih akumulacija metana u pojedinim delovima posmatranog područja. Na osnovu ovih analiza može se zaključiti da je područje revira „Čifići“, grana IX-X, jedini lokalitet, gde su postojale objektivne mogućnosti za veću akumulaciju metana koja je dovela do eksplozije nastalih razmera. Postojanje ovakve akumulacije računski je dokazano i kod najnepovoljnijih uslova za njen formiranje. Svi ostali analizirani slučajevi isključuju se i kao moguće alternative.

Pokretanje ove akumulacije nakon njenog formiranja (II ventilaciona faza u reviru „Čifići“) nije se moglo izvršiti u novouspostavljenom ventilacionom režimu u ovom reviru bez većih promena u njemu. Priliv metana iz ove akumulacije u vetrovo deljenje U_1 — I₁ ostaje u granicama $q = 1,2 \text{ m}^3/\text{min}$, što stvara prosečnu koncentraciju metana prema grani XI-XII od 0,27%, bez obzira na postojanje akumulacije sa visokim sadržajem CH_4 .

Postavljanjem i zatvaranjem vetrenih vrata (V_2) formiran je novi ventilacioni sistem (III ventilaciona faza u reviru „Čifići“). Paralelno razvođenje vazduha sa prirodnom raspodelom prelazi u serijsko vođenje vazdušne struje i celokupna protočna vaz-

dušna struja sa ulaza U_1 protiče preko ogranka IX-A-X.

Količina vazduha koja protiče kroz ovaj ogrank penje se sa $15 - 49 \text{ m}^3/\text{min}$ na vrednost od $350 - 400 \text{ m}^3/\text{min}$ (ukupna količina vazduha se smanjuje zbog prelaska na serijsko vođenje vazdušne struje) i potiskuje akumulirani metan prema ogranku XI-XII i dalje.

Pokretanje akumuliranog metana moglo se je takođe izvršiti ponovnim puštanjem u rad separatnih ventilatora u području revira „Čifići“ ili blokiranjem ulaza U_2 , u kom slučaju bi ulaz U_1 postao ulaz za celokupnu ulaznu vazdušnu struju jame. Oba posmatrana slučaja ne bi mogla da izvrše naglo potiskivanje akumuliranog metana sa visokim sadržajem CH_4 u vidu „metanskog čepa“, već bi se potiskivanje CH_4 izvršilo ravnomernije sa nižim sadržajem CH_4 zbog malih protočnih struja koje bi u ovim slučajevima prolazile kroz granu IX-A-X.

Zatvaranje vrata (V_2) je izvršeno kritičnog dana oko 11 h i 20'.

Potrebitno vreme za transportovanje „metanskog čepa“ u područje eksplozije računa se na bazi smanjenih ulaznih količina vazduha zbog povećanog otpora u novom ventilacionom režimu. Tačna količina vazduha ne može se odrediti, ali je realno očekivati, da se ona krećala oko $350 \text{ m}^3/\text{min}$. Raspodela ove količine po granama uzeta je proporcionalno raspodeli pokazanoj za regularan režim provetrvanja.

Da bi „metanski čep“ iz zone akumulacije bio polisnut prema ogranku XI-A-XII, tj. u smeru normalnog kretanja vazduha do vrha uskopa 207, potrebno vreme računa se za svaku pojedinačnu deonicu kretanja vazduha.

$$\text{Ogranač XI-4 } V_1 = \frac{Q_1}{F_s} = \frac{4,2}{6,5} = 0,65 \text{ m/sek}$$

$$t_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{230}{0,65} = 360 \text{ sek}$$

$$\text{Ogranač I-2 } V_2 = \frac{Q_2}{F_s} = \frac{2,7}{6,5} = 0,42 \text{ m/sek}$$

$$t_2 = \frac{L_2}{V_2} = \frac{470}{0,42} = 1120 \text{ sek}$$

$$\text{Ogranač 2-XII } V_3 = \frac{Q_1}{F_s} = \frac{4,2}{6,5} = 0,65 \text{ m/sek}$$

$$t_3 = \frac{L_3}{V_3} = \frac{70}{0,65} = 110 \text{ sek}$$

Ogranač XII — radilišta 207 — 206

$$V_4 = \frac{Q_4}{F_s} = \frac{2,7}{0,5} = 0,42 \text{ m/sek}$$

$$t_4 = \frac{L_4}{V_4} = \frac{200}{0,42} = 470 \text{ sek}$$

Ukupno vreme transportovanja „metanskog čepa“, prema tome, iznosi:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 360 + 1120 + 110 + 470$$

$$T = 2060 \text{ sek}$$

ili

$$T = 34 \text{ minute.}$$

Ovo vreme moglo je da bude i nešto veće, što zavisi od tačne raspodele vazduha i brzine njegovog kretanja kroz pojedine deonice područja eksplozije, gde profili variraju od 5—9 m². Sem toga, na vreme transportovanja mogao je da utiče i stepen hermetizacije postavljenih ventilacionih vrata V₂, koeficijent turbulentnog kretanja vazduha u zoni akumulacije i području eksplozije. Svi navedeni elementi mogu delovati samo na povećanje vremena transportovanja „metanskog čepa“, ali u ovom proračunu nisu uzeti u obzir, pošto nedostaju elementi za izvođenje tačnjeg proračuna. Vreme zatvaranja vrata V₂ i početak eksplozije, uglavnom, su saglasni i pokazuju da je ovaj način transportovanja „metanskog čepa“ iz zone akumulacije u području eksplozije bio jedino moguć.

U okviru ovog rada nisu analizirani mogući izvori iniciranja eksplozije, pošto to nema suštinskog značaja na problematiku koju on obrađuje.

Iz date analize može se izvršiti rekonstruisanje pripremne faze eksplozije, same eksplozije i nastale ventilacione situacije posle eksplozije.

Razvoj događaja odvijao se sledećim redom:

I. Regularna ventilaciona faza

Provetravanje revira „Čifići“ izdvojeno je paralelnim razvođenjem vazduha i separatnim provetravanjem pripremnih radilišta u ovom reviru. Mogućnost za veću akumulaciju metana nije mogla biti dokazana.

II. Radovi koji su omogućili stvaranje akumulacije metana

Obustavljanjem rada separatnih ventilatora došlo je do smanjenja protočne količine vazduha kroz granu IX-X na iznos od 15—49 m³/min, što pri absolutnom dotoku od 1,2 m³/min može da stvari za 8—10 časova akumu-

laciјu sposobnu da izazove eksploziju nastalih razmara.

III. Radovi koji su omogućili potiskivanje „metanskog čepa“ prema ogranku XI-A-XII — radilište 207

Postavljanjem i zatvaranjem vrata V₂ uz zatvorena postojeća vrata V₁, ventilacioni režim se menja: celokupna ulazna količina vazduha kreće se prema akumulaciji metana i potiskuje je prema tački XII. „Metanski čep“ dolazi u područje eksplozije za vreme veće od 35 minuta i sa koncentracijom CH₄ iznad 9,5%.

IV. Eksplozija

Iniciranje eksplozije se vrši u području „metanskog čepa“ sa nedefinisanim lokalitetom i izvorom paljenja eksplozivne smeše. Pod dejstvom pritiska eksplozije zaustavljaju se ventilatori na niskopu „Lozančići“ i niskopu „Stupe“.

V. Ventilaciona situacija nakon eksplozije

Neposredno nakon eksplozije uključuje se u ponovni rad ventilator „Stupe“, a ogrank XII-I postaje ulazna vazdušna struja novog ventilacionog sistema. Jama dobija samo jedan izlazni krak pod dejstvom ventilatora na oknu „Stupe“ i 4 ulaza za svežu vazdušnu struju.

Produkti eksplozije sa ulaznim strujama prekopa „Karaula“ i niskopa „Lozančići“ kreću se prema produktivnom reviru normalnim vretenim putevima. Posledice razornog dejstva eksplozije na ventilacione objekte u jami nemaju bitan uticaj na novostvorenu ventilacionu situaciju i katastrofalne razmere eksplozije.

Promene u pravcima kretanja vazduha u ventilacionim odeljenjima, a samim tim i zagađenog vazduha produktima eksplozije, u odnosu na regularan režim, izaziva nepravovremenno puštanje u rad ventilatora „Lozančići“, kao i neiskoriščavanje drugih, u prethodnim izlaganjima opisanih, mogućnosti za regulisanje pravca kretanja vazduha.

I S P R A V K A

štamparskih grešaka u "Informaciji B" br. 36

"Rezultati izučavanja povoda za formiranje eksplozivne smeše metana i vazduha u jami "Orasi" RMU Kakanj i tehnička rešenja sanacionih mera za otklanjanje posledica eksplozije"

str. 3 - 6.red odczdo (I stubac) stoji "stvarima", treba: "stvarnim"

- 5.red odozdo (II stubac) stoji "Stupe"..., treba: "Stupe" (U_3). Ulazi vazduha U_1 i U_2 , služili su kao osnovni objekti za snabdevanje jame svežim vazduhom",

- 4.red odozdo (II stubac) stoji "uvodi"..., treba: "uvodio"

str. 4 - 23.red odozdo (I stubac) stoji "i na sl.l", treba: "na sl.l"

- 19.red odozdo (I stubac) stoji "pretvarani", treba: "provetravani"

- 14.red odozdo (II stubac) stoji "brzina", treba: "brzine"

str. 7 - 6.red odozgo (II stubac) stoji "do promene i smera", treba: "do promene smera"

- 12.red odozdo (II stubac) stoji "radilištu", treba: "radilišta"

str. 12 - 25.red odozdo (II stubac) stoji "povlači i gasove", treba: "povlači gasove"

str. 13 - 16.red odozdo (I stubac) stoji "revira" treba: "revir"

str. 15 - 3.red odozdo (II stubac) stoji "QCo", treba: QC'o"

str. 16 - 5.red odozgo (I stubac) stoji "VdC=QC'o dt+qdt=QK'Cdt", treba: "VdC=QC'o dt+qdt-QK'Cdt"

- 10.red odczgo (I stubac) stoji " $K' = K + (1-K)C'c$ " treba: " $K' = K + (1-K) \frac{C'c}{C}$ "

str. 19 - 1.red odozdo (I stubac) stoji " $q \frac{C.Q.K}{100} = ..$ ", treba:
" $q = \frac{C.Q.K}{100} = ..$ "

str. 20 - 17.red odozdo (II stubac) stoji "predstavljen", treba: "pretpostavljen"

- 6.red odozdo (II stubac) stoji "granici", treba: "grani"

str. 21 - 12.red odozgo (I stubac) stoji "količine koncentracije", treba: "koncentracije"

- 23.red odozdc (II stubac) stoji "redovnim", treba: "nedovoljnim"

- str. 22 - 1.red odozgo (II stubac) stoji "ventilator", treba:
"ventilatori"
- 5.red odozgo (II stubac) stoji "Ventilator Katowice",
treba: "Ventilator Katowice (1)"
- 9.red odozgo (II stubac) stoji "Ventilator Korfmann",
treba: "Ventilator Korfmann (2)"
- 12.red odozgo (II stubac) stoji "Ventilacione cevi Ø 600 mm"
treba: "Ventilacione cevi Ø 300 mm"
"Ventilacione cevi Ø 600 mm
(3)"
"Ventilacione cevi Ø 300 mm
(4 i 5)"
- str. 23 - 12.red odozgo (I stubac) stoji "prosečnom", treba:
"presečnom"
- 4.red odozgo (II stubac) stoji "pregrade", treba:
"podgrade"
- str. 26 - 6.red odozgo (I stubac) stoji "minute", treba:
"minuta"
- 12.red odozdo (I stubac) stoji "izdvojeno", treba:
"izvodjeno".

