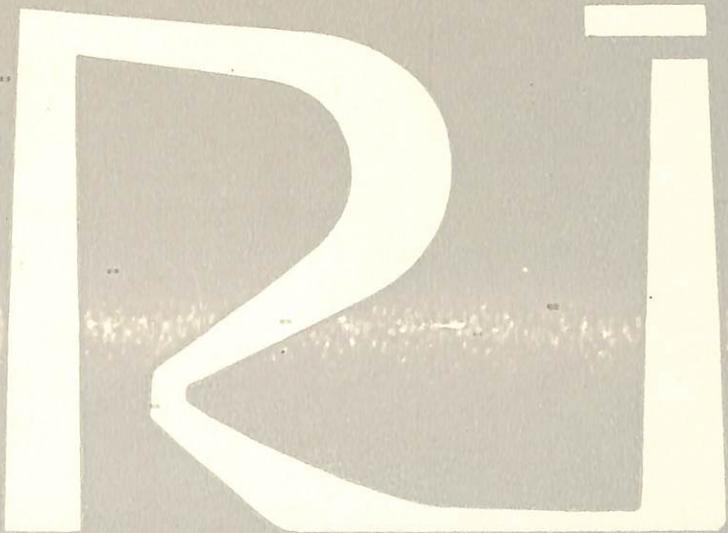


**INFORMACIJE B**

**Broj 41**



Dipl- ing. RADOSLAV MIHAJOVIĆ — dipl. ing. ŽIVOTA KOTARAC

**SUŠENJE LIGNITA PO POSTUPKU FLEISSNER U GRUPI SA  
4 AUTOKLAVA U RUDARSKOM BASENU „KOLUBARA“ - VREOCI**

**Izдавац  
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, Čepejković 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, Mašić 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, Slokar  
prof. dr ing. Karel, Spasojević ing. Borislav.

Broj 41

Dipl- ing. RADOSLAV MIHAILOVIĆ — dipl. ing. ŽIVOTA KOTARAC

**SUŠENJE LIGNITA PO POSTUPKU FLEISSNER U GRUPI SA  
4 AUTOKLAVA U RUDARSKOM BASENU „KOLUBARA“ - VREOCI**

Beograd, 1966

## Sadržaj

Uvod . . . . .	3
Pestojeća tehnologija sušenja lignita . . . . .	4
Predložena tehnologija sušenja lignita sa 4 automatske klave u grupi . . . . .	9
Dijagram protoka pare za rad kompletног postrojenja po predloženoj tehnologiji . . . . .	22
Zaključci . . . . .	24
Literatura . . . . .	24

## SUŠENJE LIGNITA PO POSTUPKU FLEISSNER U GRUPI SA 4 AUTOKLAVA U RUDARSKOM BASENU „KOLUBARA” — VREOCI

### Uvod

Prvo postrojenje za opremanjivanje lignita sušenjem pomoću vodene pare u našoj zemlji izgrađeno je posle oslobođenja u RB „Kolubara” — Vrcoci. U toku rada ovog postrojenja pojavili su se mnogi problemi od kojih je svakako najvažniji, na koji način smanjiti potrošnju sveže pare po toni istisnute vode iz lignita u procesu sušenja. Kako je potrošnja sveže pare jedna od bitnih karakteristika za ekonomičnost postrojenja, to smo prateći rad instalacije konstatovali da postoji mogućnost sniženja ove potrošnje, te smo kao cilj postavili zadatak da pronađemo takvo rešenje, koje ne uslovjava velike konstrukтивne izmene instalacije odnosno veća investiciona ulaganja.

Jedno od mogućih rešenja, koje zadovoljava postavljeni zadatak, je grupni rad sa 4 autoklava do koga smo došli čistim proračunima uz pretpostavku nekih elemenata za koje nismo raspolagali podacima. Zbog toga je odlučeno, da se izvrše probe sušenja u industrijskom obimu uz tačna merenja. Da bi se vrednosti potrošnje sveže pare u grupnom radu sa po 4 autoklava mogle uporediti sa potrošnjom sveže pare pri postojećoj tehnologiji, za istu su vršena merenja pod jednakim uslovima.

Ispitivanja sa merenjima za obe tehnologije izvršena su u postrojenju za sušenje lignita u Vreocima od 3. XII do 9. XII 1964. godine. U sprovođenju ispitivanja učestvovali su: Ranković Bogomir, maš. tehnik Božić Milorad, maš. ing. Stevanović Miodrag, maš. tehnik, Proneg August i osoblje hcmijske laboratorije na pogonu za preradu uglja.

Merjenja za postojeću tehnologiju.  
— Pri normalnom procesu sušenja preko ugrađenih instrumenata merena je količina sveže pare koja se

pušta u autoklav. Za ovu svrhu ugrađeni su prototipni pare ispred autoklava br. III i IV (vidi sl. 6).

— Pored toga određena je vlaga parnog i vlaga suvog uglja, a preko termoelementa registrovane su sledeće temperature:

— temperatura sveže pare koja se pušta u autoklav IV

— temperatura vode koja se ispušta iz autoklava IV

— temperatura sredine u autoklavu III.

Postupak sušenj sproveden je dosledno postojećoj tehnologiji, a izvršena merenja imaju za cilj, prvenstveno određivanje tačne količine pare koja se troši po toni istisnute vode, tj. specifične potrošnje.

S takom postavljenim zadatkom daćemo vrednosti specifične potrošnje bez tretiranja toplotnog bilansa koji, po našem mišljenju, nije nužan za ocenu ekonomičnosti procesa na bazi upoređenja sa predloženom tehnologijom, koja je takođe ispitana u industrijskom obimu i sa istim parametrima pare.

Merjenja za predloženu tehnologiju. — Probe po ovoj tehnologiji bazirane su na ranije obrađenom predlogu koji će i ovde biti objašnjen, radi mogućnosti boljeg praćenja podataka i lakšeg upoređenja u cilju sagledavanja prednosti u odnosu na postojeću tehnologiju.

Kao i u prethodnom slučaju i ovde su vršena merenja količina sveže pare, određivana vlaga parnog i sušenog uglja, kao i naznačenih temperatura, s napomenom da je još merena i temperatura tople vode, koja se prebacuje iz autoklava u autoklav u cilju korišćenja topline za prethodna zagrevanja uglja.

Normalno je bilo da se pri svakoj probi izmeri tačna količina pranog i suvog uglja, što ipak nije

rađeno zbog suviše kratkog vremena koje je bilo određeno za sprovođenje i jednih i drugih proba.

Zbog toga, a i zbog želje da broj proba bude što veći, iz razumljivih razloga, za tožine pranog i suvog uglja usvojene su vrednosti na bazi ispitivanja koja su vršena avgusta ove godine i ranijih merenja sprovedenih od strane Pogona za preradu uglja — Vreoci.

S obzirom da je temperatura svače pare merena samo na ulazu autoklava IV, za obračun potrošnje pare u autoklavu III, uzeti su temperaturski dijagrami autoklava IV, jer je temperaturska razlika pare koja se upušta u oba autoklava minimalna s obzirom da su autoklavi susedni (rastojanje priključaka za upust pare cca 6 m).

#### Postojeća tehnologija sušenja lignita

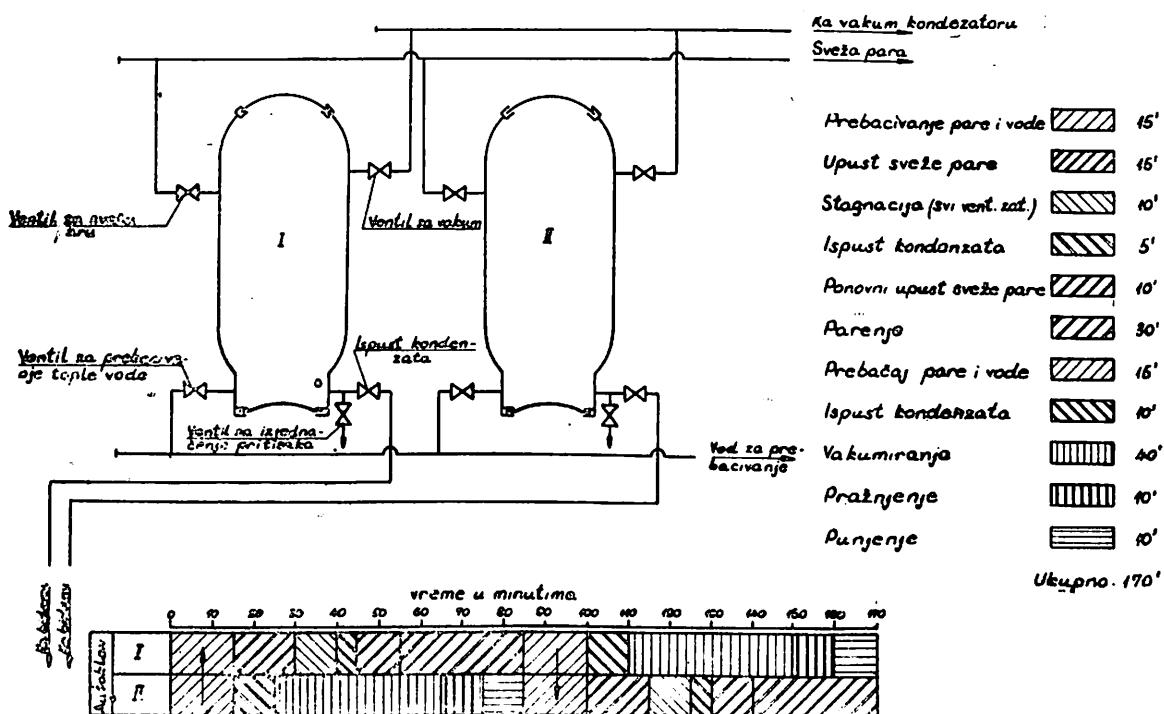
Prema mogućnostima koje daje izvedena insta-

tom, vrši se predgrevanje mase uglja toploim vodom koja se prebacuje iz susednog autoklava, koji upravo u tom trenutku završava fazu parenja svežom parom od 18 odnosno 20 atū.

Ovo prebacivanje tople vode se ostvaruje prcko cevovoda koji omogućava uvođenje odozdo, što ima za posledicu da faza prebacivanja traje nešto duže, ne može da se koristi veća količina tople vode a efekat predaje toplote je nedovoljan. Ova faza traje cca 15 minuta, tj. do izjednačenja pritiska u oba autoklava koji se ponašaju kao spojeni sudovi.

Sledeća faza je predgrevanje svežom parom sa dizanjem pritiska do 15 atū za vreme od 15 minuta i stagnacijom, tj. održavanjem pritiska u trajanju od 10 minuta. Potom sledi ispust kondenzata pare i istisnute vode iz uglja preko bidona napolje, sve dok pritisak u autoklavu ne spadne na cca 3—4 atū.

Posle ove faze počinje ponovni upust sveže pare



Sl. 1 — Šema dva autoklava u grupi sa pripadajućim cevovodima.

lacija u objektu sušare, Fleissnerov proces sušenja lignita se obavlja na sledeći način:

Po završenom punjenju autoklava pranim ligni-

i podizanje pritiska na 18 odnosno 20 atū, koja ujedno čini i glavnu fazu parenja.

Kada se završi, glavna faza parenja u trajanju

Id 40 minuta sledi faza smanjenja pritiska, tj. jedina aza prebacivanja tople vode u susedni autoklav, a to izjednačenju pritiska i spust preostale količine vode i pare u atmosferu. Kao sledeća faza sledi faza akumiranja i na kraju faza pražnjenja i ponovnog punjenja pranim ugljem.

Vreme trajanja pojedinih operacija i šema cevova oda dati su na sl. 1.

Način obračuna količine sveže pare na osnovu registrovanih podataka o tem mernih instrumenata. — U cilju mogućavanja uvida u način obračuna potrošnje pare, kao i eventualne kontrole izračunatih vrednosti, dajemo postupak za obračun na bazi karakteristika instrumenata.

Karakteristike instrumenata za registrovanje količine upuštene sveže pare parametra  $p = 20$  atū,  $t = 280^\circ C$  i  $\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$  su:

- opseg merenja do 23,9 t/h
- faktor instrumenata

$$f = 1,98 \sqrt{\frac{\gamma_{rp}}{\gamma_{20}}}$$

Koefficijent 1,98 u formuli faktora označava količinu pare po  $\text{mm}^2$  dijagrama, a izračunava se na sledeći način:

- pomeraj dijagrama iznosi 120 mm/h
- maksimalna količina pare koju instrument može da registruje u našem slučaju iznosi 23 900 kg/h i predstavljena je u dijagramu visinom od 100 mm.

Pod pretpostavkom da smo za vreme od jednog časa imali maksimalni protok od 23 900 kg/h dijagram bi nam predstavljala površina

$$120 \times 100 = 12.000 \text{ mm}^2/\text{h}$$

$23.900$  daje nam koefficijent  $1,98 \text{ kg}$   
Odosno —  $12.000 \text{ pare/mm}^2$ .

S obzirom da dijagram potrošnje pare predstavlja površina ograničena nepravilnom krivom linijom koja se planimetrisanjem dobija u  $\text{mm}^2$ , izračunati koefficijent  $1,98 \text{ kg/mm}^2$  pomnožen dobivenom površinom daje količinu utrošene pare, ali za parametre:

$$p = 20 \text{ atū}, t = 280^\circ C \text{ i } \gamma = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

Kako su se parametri radne pare u toku ispitivanja razlikovali to se pri sračunavanju stvarno utrošene količine pare moraju uzeti u obzir odstupanja koja bi se dobila usled različitih specifičnih težina pare jednog i drugog stanja. Uticaj ove razlike na registrovanu količinu upuštene pare dat je izrazom

$$\sqrt{\frac{\gamma_{rp}}{\gamma_{20}}}$$

gde je:

$\gamma_{rp}$  = specifična težina za karakteristike radne pare

$\gamma_{20}$  = specifična težina pare za parametre 20 atū i

$$t = 280^\circ C.$$

Na osnovu izloženog zaključuje se da planimetrisanu površinu treba pomnožiti koeficijentom 1,98 i

$$\sqrt{\frac{\gamma_{rp}}{\gamma_{20}}} \quad \text{i time dobiti stvarno utrošenu količinu pare u kg tj.}$$

$$Q = F_{pl} \times 1,98 \times \sqrt{\frac{\gamma_{rp}}{\gamma_{20}}} (\text{kg})$$

Instrument za registrovanje pare koja je puštena u autoklav III ima različit opseg merenja koji iznosi 23.300 kg/h, a pomeraj dijagrama isti kao u prethodnom slučaju, tj. 120 mm/h.

Na osnovu ovoga izlazi da je koeficijent za ovaj protočnik

$$\frac{23.300}{12.000} = 1,94 \text{ kg/mm}^2$$

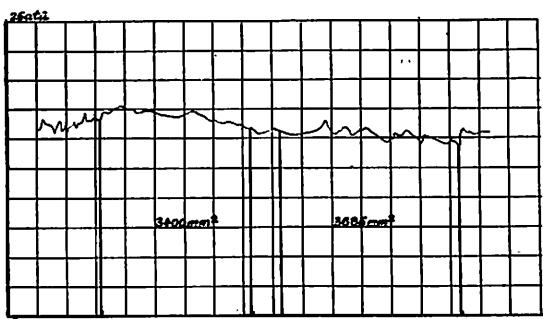
što se pri obračunu potrošnje pare kod autoklava III mora uzeti u obzir.

Kako su pritisak i temperatura pare koja se pušta u autoklav u toku procesa promenljivi za određivanje vrednosti specifične težine  $\gamma_{rp}$  (radne pare) potrebno je radi što tačnjeg računa operisati sa srednjim vrednostima pritiska odnosno temperature. Instrument koji registruje količinu utrošene pare istovremeno crta i dijagram pritiska pare koja se pušta u autoklav. Da bi se izračunala srednja vrednost pritiska planimetriše se površina u dijagramu pritiska koja je ograničena nultom linijom, linijom pritiska i ordinatama iz tačke koje označavaju početak i završetak upuštanja pare. Ovako izračunata površina deli se rastojanjem između ucrtanih ordinata, pri čemu se dobija srednja vrednost visine ove površine u mm.

Kako maksimalni prilisak koji ovaj instrument može da registruje iznosi 25 atū, a na dijagramu je predstavljen ordinatom od 100 mm, što znači da srednju vrednost visine hm treba pomnožiti sa

$$\frac{25}{100} \quad \text{da bi se dobio srednji radni pritisak pare.}$$

Određivanje srednje vrednosti temperature vrši se na isti način kao i kod određivanja srednje vrednosti pritiska s tom razlikom što se mora uzeti u obzir da pomeraj dijagramskog "papira" iznosi 52 mm/h.



Sl. 2 — Dijagram pritiska i protoka.

### Obračun potrošnje pare

#### Proba 1

#### Autoklav IV

Određivanje srednje vrednosti pritiska (vidi sl. 2)

$$p_s = h_{m1} \cdot \frac{25}{100} \text{ kg/cm}^2$$

$$h_{m1} = \frac{Fp_1}{a}$$

$h_{m1}$  = srednja visina planimetrisane površine u mm  
 $a$  = vreme trajanja procesa parenja predstavljeno u min

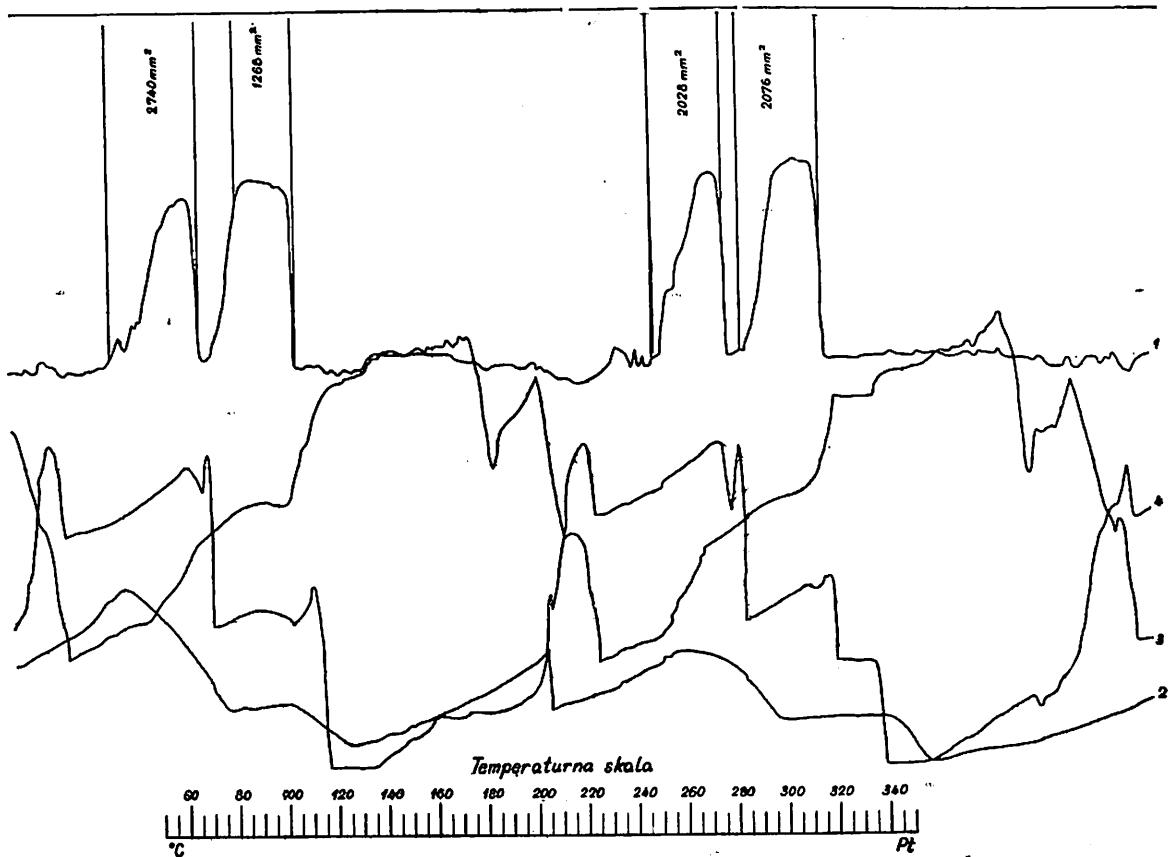
$Fp_1$  = planimetrisana površina dijagrama u  $\text{mm}^2$

25 = razmera za pritisak u  $\frac{\text{atü}}{\text{mm}}$

$Fp_1 = 3.685 \text{ mm}^2$  radna površina dijagrama pritiska za vreme predgrevanja

$Fp_2 = 3.400 \text{ mm}^2$  radna površina dijagrama za vreme parenja

$h_{m1} = 60,4 \text{ mm}$  srednja visina dijagrama pritiska kod predgrevanja



Sl. 2a — Dijagram temperatura  
 1 — temperatura sveže pare; 2 — temperatura vođe koja se prebacuje;  
 3 — temperatura u autoklavu III; 4 — temperatura izlazne vode iz autoklava IV.

$$h_{m2} = \frac{3400}{50} = 68,0 \text{ mm srednja visina dijagrama pri-tiska kod parenja}$$

$$p_{s1} = \frac{F_{t1}}{4} = 15,1 \text{ atü = srednji pritisak za vreme predgrevanja}$$

$$p_{s2} = \frac{68}{4} = 17,0 \text{ atü = srednji pritisak za vreme parenja}$$

Određivanje srednje vrednosti temperaturе (vidi sl. 2a).

$$T_s = \frac{F_t}{g} = \text{ht srednja visina planimetrisane površine}$$

$F_t$  = planimetrisana površina dijagrama temperaturе

$g$  = vreme trajanja procesa izraženo u mm

$F_{t1} = 2076 \text{ mm}^2$  površina dijagrama kod predgrevanja

$F_{t2} = 2028 \text{ mm}^2$  površina dijagrama kod parenja

$g_1 = 28 \text{ mm}$  vreme trajanja procesa na dijagramu u mm kod predgrevanja

$g_2 = 22 \text{ mm}$  vreme trajanja procesa na dijagramu kod parenja

$$T_{s1} = \frac{F_{t1}}{g_1} = \frac{2076}{28} = 74 \text{ mm odgovara na skali temperature od } 250^\circ\text{C.}$$

$T_{s1} = 250^\circ\text{C}$

$$T_{s2} = \frac{F_{t2}}{g_2} = \frac{2028}{22} = 92 \text{ mm odgovara na skali temperature od } 230^\circ\text{C.}$$

$T_{s2} = 230^\circ\text{C}$

Obračun potrošnje pare (vidi sl. 2).

$$Q = F \cdot 1,98 \sqrt{\frac{\gamma_{rp}}{\gamma_{20}}}$$

$F$  = planimetrisana površina dijagrama u  $\text{mm}^2$

1,98 = koeficijent

$$\sqrt{\frac{\gamma_{rp1}}{\gamma_{20}}} = \text{faktor korekcije}$$

$$f = 1,98 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{rp1}}{\gamma_{20}}} = \text{faktor instrumenta}$$

$\gamma_{rp}$  = specifična težina radne pare

$\gamma_{20}$  = specifična težina pare 20 atü i  $300^\circ\text{C}$

P o d a c i

Predgrev

$F_1 = 2.214 \text{ mm}^2$

$P_{s1} = 15,1 \text{ kg/cm}^2$

$T_{s1} = 250^\circ\text{C}$

Parenje

$F_2 = 935 \text{ mm}^2$

$P_{s2} = 17 \text{ kg/cm}^2$

$T_{s2} = 230^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \gamma_{rp1} &= 6,9 \text{ kg/m}^3 \\ \gamma_{20} &= 8,59 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$Q_1 = 2.214 \cdot 1,98$$

$$Q_1 = 3.950 \text{ kg}$$

$$Q_2 = F_2 \cdot 1,98$$

$$= 9,35 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,05}{8,59}} = 2850 \cdot 0,90 = 1.670 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 1.670$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3.950 + 1.670 = 5.620 \text{ kg}$$

$$Q = 5.620 \text{ kg}$$

### Proba 2

### Autoklav IV

Ukupno utrošena količina pare  $Q$  (sl. 3)

P o d a c i

Predgrev

$F_1 = 1.991 \text{ mm}^2$

Parenje

$F_2 = 756 \text{ mm}^2$

$P_{s1} = 15 \text{ kg}$

$P_{s2} = 16 \text{ kg/cm}^2$

$T_{s1} = 270^\circ\text{C}$

$T_{s2} = 240^\circ\text{C}$

$\gamma_{rp1} = 6,6 \text{ kg/m}^3$

$\gamma_{rp2} = 7,55 \text{ kg/m}^3$

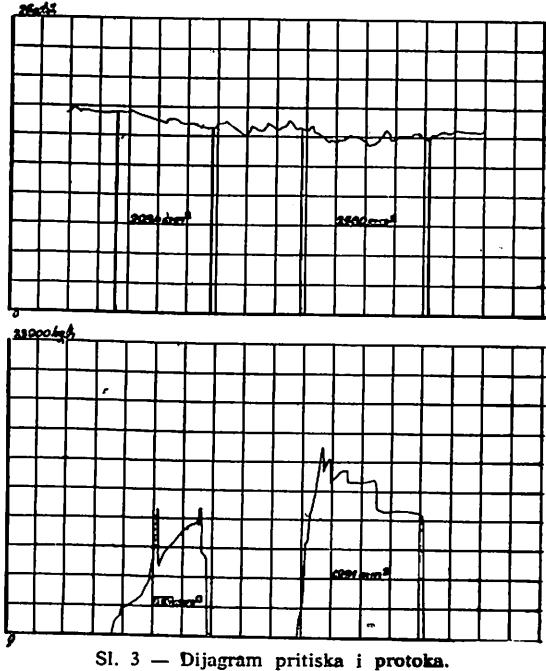
$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$

$$Q_1 = 1991 \cdot 1,98 \sqrt{\frac{66}{8,59}} = 3.980 \cdot 0,873 = 3.500$$

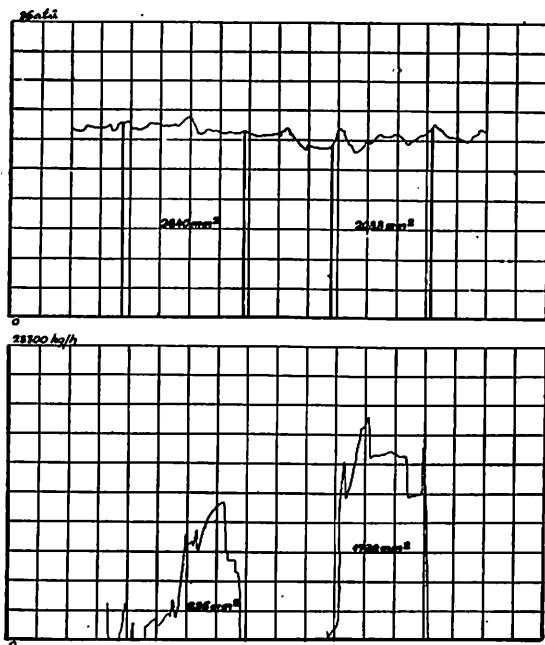
$$Q_2 = 756 \cdot 1,98 \sqrt{\frac{7,55}{8,59}} = 1500 \cdot 0,94 = 1.405$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3.500 + 1.405 = 4.905$$

$$Q = 4.905 \text{ kg.}$$



Sl. 3 — Dijagram pritiska i protoka.



Sl. 4 — Dijagram pritiska i protoka.

### Proba 1

### Autoklav III

Ukupno utrošena količina pare Q (sl. 4)

#### P o d a c i

##### Predgrev

##### Parenje

$$F_1 = 1.798 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 835 \text{ mm}^2$$

$$P_{s1} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{s2} = 16 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{s1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 240 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{rp1} = 6,9 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{p2} = 7,55 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_1 = 1.798 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{6,9}{8,59}} = 3.500 \cdot 0,9 = 3.140 \text{ kg}$$

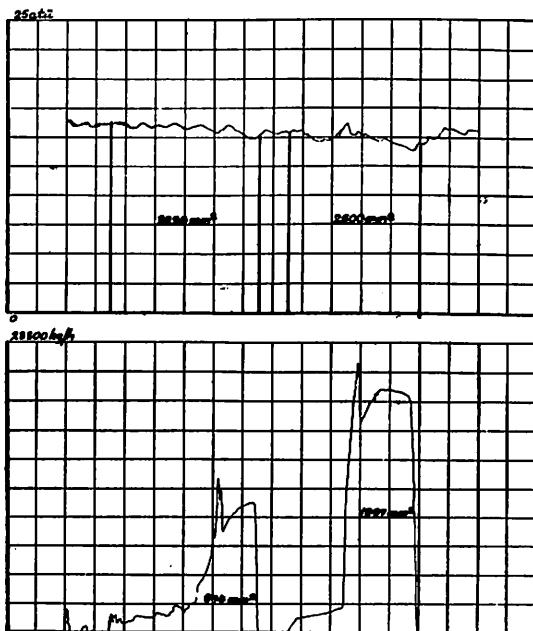
$$Q_1 = 3.140 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 835 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,55}{8,59}} = 1.640 \cdot 0,94 = 1.540 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 1.540 \text{ kg}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3.140 + 1.540 = 4.680 \text{ kg}$$

$$Q = 4.680 \text{ kg}$$



Sl. 5 — Dijagram pritiska i protoka.

### Proba 2

### Autoklav III

Ukupno utrošena količina pare Q (sl. 5)

#### P o d a c i

##### Predgrev

##### Parenje

$$F_1 = 1.997 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 904 \text{ mm}^2$$

$$P_{s1} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{s2} = 16 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{s1} = 270 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{rp1} = 6,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{p2} = 7,65 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_1 = 1.997 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{6,6}{8,59}} \quad Q_2 = 904 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,65}{8,59}} \\ = 3.880 \cdot 0,878 = 3.400 \quad = 1.760 \cdot 0,944 = 1.660 \text{ kg}$$

$$Q_1 = 3.400 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 1.660 \text{ kg}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3400 + 1660 = 5.060 \text{ kg}$$

$$Q = 5.060$$

### Predložena tehnologija sušenja lignita sa 4 autoklava u grupi

U želji da se postigne ekonomičniji rad kod postupka sušenja uglja, tj. tačnije rečeno, da se smanji specifična potrošnja pare, vršene su analize i ispitivanja u samom postrojenju u pogledu primenjene tehnologije sušenja.

U periodu od mesec dana rađeno je na dvema metodama, kod kojih je kao osnovni uslov postavljeno da se preostala para u autoklavu kao i topla voda koriste što racionalnije, kako bi se smanjila specifična potrošnja sveže pare.

nim korišćenjem toplote koju nosi topla voda (kondenzat i istisnuta voda iz uglja).

Cinjenica je da se topla voda koristila i do sada, ali ne sva i ne na efikasan način, i to samo iz konstruktivnih razloga.

Druga metoda se sastoji u tome da su po dva autoklava u spregnutom radu i da rade nezavisno od ostalih. Pri ovome su vremena ciklusa podešena tako da se direktno prebacivanje tople vode u spregnuti autoklav vrši potpunije, težći pri tome da pritisak izjednačenja, koji je u funkciji vremena, bude što niži. Ovim su postignuti dosta dobri rezultati, ali još uvek ispod stvarnih mogućnosti. Razlog

Tablica 1

#### Pregled podataka dobijenih merenjima pri postojećoj tehnologiji sušenja mereni na autoklavima III i IV

Broj autoklava	Broj probc	Težina pranog uglja u t	Težina suvog uglja u t	Wp %	Ws %	Utrošena para t/ak.	Voda iz uglja u t	Utrošeno t parc/t H <sub>2</sub> O	Primedba
III	I	17,6	10,3	59,5	30,1	4,680	7,400	0,633	
III	II	17,6	10,3	59,3	29,8	5,060	7,330	0,691	
Srednja vrednost		17,6	10,3	59,4	29,95	4,870	7,365	0,662	
IV	I	20,3	11,5	59,4	34,4	5,620	8,050	0,700	
IV	II	20,3	11,5	59,2	32,4	4,905	8,280	0,592	parni ventil neispravan
Srednja vrednost		20,3	11,5	59,3	33,4	5,265	8,165	0,646	

Prva metoda bila je zasnovana na principu grupnog rada autoklava, tj. uvek bi 4 autoklava radila u jednoj grupi, pri čemu bi postojala tačno određena međusobna zavisnost. Ovim se je želelo postići stupnjivo prebacivanje pare iz autoklava u autoklav, dok bi se topla voda ispuštala direktno napolje.

Rezultati dobiveni pri ovakovom sistemu sušenja su dosta loši. Naime, registrovano je izvesno smanjenje potrošnje pare, ali krajnja vлага je porasla na 36–37%. Znači, da je smanjenje potrošnje pare išlo na račun efekta sušenja, te o nekoj uštedi ne može biti govora.

Iz tih razloga napušten je ovaj sistem, a dalja ispitivanja su usmerena na traženje mogućnosti za korišćenje i topline koju nosi istisnuta voda iz uglja i kondenzat pare, jer je tokom ispitivanja dokazano, a što će se kasnije videti i u proračunu, da se specifična potrošnja pare može smanjiti jedino racional-

za ovo je nepostojanje mogućnosti korišćenja celokupne količine tople vode, jer se u periodu parenja kondenzat i topla voda ispuštaju sa pritiska od 15 atū direktno napolje sve dok se sva voda akumulirana u ovoj fazi potpuno ne odstrani. Potom se pritisak ponovo diže na 18 atū, čime praktično počinje glavna faza parenja.

Voda koja se u ovom periodu akumulira stoji nam na raspolaganju za dalje korišćenje. Jasno je da je toplotu koju je odnela prva količina tople vode potpuno neiskorišćena i da bi i njeno korišćenje sva-kako doprinelo smanjenju specifične potrošnje pare.

Ovo prethodno ispuštanje tople vode je nužno zbog toga što se voda stalno akumulira u autoklavu, pa bi za slučaj potpune akumulacije, bez prethodnog ispuštanja, autoklav bio skoro do vrha ispunjen vodom i ugljem, jer ugalj ispunjava oko 16 m<sup>3</sup> prostora, a voda i kondenzat cca 11 m<sup>3</sup>, dok ukupna za-

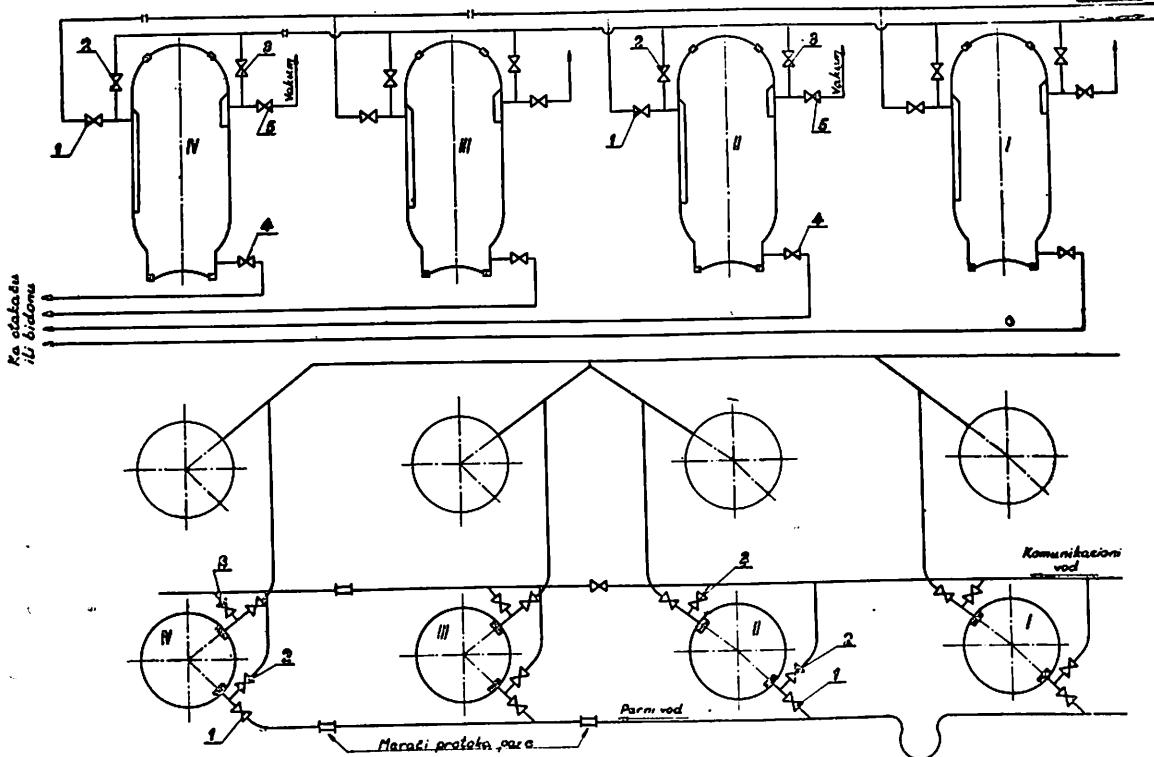
premina autoklava iznosi svega  $30,6 \text{ m}^3$ . Pri takvom stanju usledilo bi više neželjenih posledica kao npr. smanjenje efekta parenja, vibracije autoklava, mogućnost povlačenja vode u linijske parovode i sl. te se zbog tih razloga ne sme i ne može izbeći prethodno ispuštanje kondenzata i istisnute vode.

Da bi se koristila i topla voda koja se odstranjuje prethodnim ispuštanjem, razrađena je i treća metoda koja nam ovo omogućuje. Za ovaj slučaj moraju u grupi biti 4 autoklava pri čemu, kao i u prvom slučaju, postoji određena međusobna zavisnost rada. s tim što se sada koristi i topla voda. Pošto se ovakav proces sušenja nije mogao sprovesti, jer zahteva

tata proračuna izvršene su industrijske probe na jednoj grupi od 4 autoklava, sa izmenjenim cevovodima i armaturom za predloženu tehnologiju (sl. 6).

Radi potpunijeg uvida u način rada sa grupisanim autoklavama posmatraćemo proces u jednom autoklavu npr. autoklav I.

Posle punjenja pranim ugljem vrši se prvo predgrevanje topom vodom iz autoklava IV, koji je u tom trenutku završio predgrevanje svežom parom. Za celo vreme trajanja ove faze voda se upušta odozgo, pri čemu se rasprskava i u mlazevima teče ka priključku za ispušt, odakle kroz otvoren ventil



Sl. 6 — Šema 4 autoklava u grupi sa pripadajućim cevovodima  
1 — ventil za svežu paru; 2 — ventil za prebacivanje vode; 3 — ventil za prebacivanje vode i pare; 4 — ventil za ispušt; 5 — ventil za vakuum.

izvesne konstruktivne izmene cevovoda u postrojenju sušare — pokušano je da se prvo sagleda efekat kroz termodinamički proračun.

Sprovedeni proračun je potvrdio da su prethodna ispitivanja ukazala na pravi put, jer se ovakvim grupnim radom može postići znatna ušteda sveže pare. S obzirom na nemogućnost obuhvatanja svih pojava koje se odigravaju u procesu sušenja, a koje su uzimane na osnovu procene, radi potvrde rezul-

tolazi u atmosferu.

Završetkom ove faze počinje faza II-og predgrevanja topom vodom iz autoklava II, u kojem je tog trenutka završena faza parenja.

I u ovoj fazi voda struji od gore na dole i kroz otvoren ventil za ispušt, koji se tek pri kraju ove faze zatvara, otiče u atmosferu. Zatvaranje ventila pri kraju faze II-og prebacivanja vrši se zbog toga da bi se sprečio izlazak u atmosferu preostale pare

u autoklavu II, i postiglo njeno akumuliranje i kondenzacija u autoklavu I.

Kao sledeća faza sledi predgrevanje svežom parom do pritiska 15 atü, što predstavlja III predgrevanje. Posle ove faze počinje faza sniženja pritiska prebacivanjem kondenzata pare i istisnute vode u autoklav III, do sniženja pritiska na cca 3–4 atü, čime se ova faza završava i počinje faza parenja u trajanju od 40 minuta.

Po završetku faze parenja sledi sniženje pritiska prebacivanjem kondenzata pare i istisnute vode u autoklav II, a pritom izjednačenje pritiska sa atmosferskim preko ventila za ispuštanje.

Postizanjem atmosferskog pritiska počinje faza vakumiranja, a potom pražnjenje i ponovno punjenje pranim ugljem.

Vreme trajanja ciklusa sušenja u predloženoj tehnologiji traje 170 min. tj. isto koliko i kod postojeće tehnologije, čime je kapacitet autoklava ostao nepromenjen.

(laboratorijski podatak)  $\gamma = 1,100 \text{ t/m}^3$

radni pritisak  $P_0 = 20 \text{ atü}$

veličina vakuuma  $H_0 = 670 \text{ mm Hg}$

D. karakteristike pare:

radni pritisak  $P_0 = 20 \text{ atü}$

temperatura  $t_0 = 300^\circ\text{C}$

entalpija  $i_0 = 722,4 \text{ kcal/kg}$

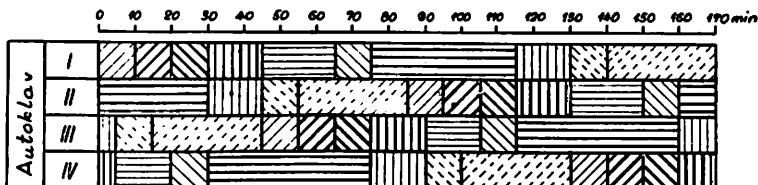
### Proračun

— ukupna zapremina autoklava  $V_u = 30,6 \text{ m}^3$

— homogeno ispunj. zaprem.  $\frac{17.700}{1,1} = 16,1 \text{ m}^3$

→ slobodna zaprem. autoklava koja se može ispuniti parom  $30,6 - 16,1 = 14,5 \text{ m}^3$

— za vreme predgrevanja i parenja može se računati da će zapremina uglja smanji



### Legenda:

Punjenje i pražnjenje

Prvo prebacivanje (I predgrevanje)

Drugo prebacivanje (II predgrevanje)

Predgrevanje svežom parom (III predgrevanje)

Parenje

Vakum

Isput napojce

Sl. 7 — Radni ciklus probnih autoklava.

### Termodinamički proračun sušenja

#### Tehnički podaci

A. rovni ugalj: sadržaj vlage  $W_1 = 54,0 \%$   
sadržaj pepela  $A_1 = 14,0 \%$

B. prani ugalj: sadržaj vlage  $W_2 = 59,0 \%$   
sadržaj pepela  $A_2 = 7,20 \%$

C. autoklav: kapacitet  $G = 17.700 \text{ kg pr. ug.}$   
zapr. tež. uglja  $V_0 = 0,67 \text{ t/m}^3$   
spec. tež. uglja

za oko 30% pa je krajnja

zapremina uglja  $16,1 \cdot 0,7 = 11,3 \text{ m}^3$

— podatak uzet iz rezultata  
ispitivanja kolubarskog lignita u Donawitz-u Austria

— slobodna zapremina  $30,6 - 11,3 = 19,3 \text{ m}^3$

Na kraju faze parenja ovu zapreminu ispunjava zasićena para (20 atü,  $211,4^\circ\text{C}$ , 668,5 kcal/kg) čija je specifična zapremina  $0,10 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Prema tome, slo-

bodna zapremina može da primi  $\frac{19,3}{0,101} \approx 193$  kg pare.

Sva ostala para se kondenzuje za vreme dizanja pritiska u autoklavu.

Ugalj, veći deo odstranjene vode iz uglja i preostala voda u uglju, za vreme predgrevanja i parenja se zagreju na prosečnu temperaturu od  $200^{\circ}\text{C}$ .

Za zagrevanje ovih masa potrebna količina toploste iznosi:

$$Q_0 = G \cdot C_s \cdot t \text{ kcal}$$

gde je:

$$G = 17.700 \text{ kg uglja}$$

$$C_s = \text{srednja specifična toplota uglja}$$

$$t = t_2 - t_1 = 200 - 10 = 190^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = \text{temperatura sa kojom ugalj ulazi u autoklav}$$

$$C_s = 0,59 \cdot 1,00 + 0,41 \cdot 0,25 = 0,35 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

pa je:

$$Q_0 = 17.700 \cdot 0,7 \cdot 190 = 2,360.000 \text{ kcal}$$

za ovu toplotu potrebno je pare:

$$G_p = \frac{Q_0}{i'' - i'} = \frac{2,360.000}{722,4 - 10} = 3.200 \text{ kg}$$

Poliindustrijskim ispitivanjima Kolubarskog lignita u Donawitzu, ustanovljeno je da se u fazi predgrevanja i parenja smanji količina vode u uglju za oko 51%.

Usvajajući gornji podatak, dobiven ispitivanjem, odstranjena voda u ovim fazama iznosi:

$$\frac{10.450 \cdot 51}{100} = 5.300 \text{ kg}$$

Vлага na kraju faze parenja a pre otpuštanja pritiska biće:

$$\frac{5.150}{12.400} = 41,5\%$$

U fazi otpuštanja pritiska dolazi do isparavanja vode iz uglja. Količina odstranjene vode u ovoj fazi može se izračunati na sledeći način.

Ako sa x označimo količinu udaljene vode otparavanjem u fazi izjednačenja, a sa y količinu preostale vode u uglju na kraju ove faze, „x” i „y” se mogu izračunati iz sledećih relacija:

$$x \cdot r_x + y \cdot i_1 + G_s \cdot i_2 = Q_a$$

$$x + y = 10.450 - 5.300$$

Temperatura masa u fazi izjednačenja opada sa  $200^{\circ}\text{C}$  na  $120^{\circ}\text{C}$ . Toplota isparavanja vode naraste od 463,2 na 526 kcal/kg.

Za dalji račun se uzima srednja vrednost pa je

$$r_x = 494,6 \text{ kcal/kg}$$

Entalpija preostale vode u uglju:

$$i_1 = 120 \text{ kcal/kg}$$

$$G_s = 7.250 \text{ kg (težina ugljene mase)}$$

Entalpija ugljene mase:

$$i_2 = 0,25 \cdot 120 = 30 \text{ kcal/kg}$$

Na kraju faze parenja u uglju se nalazi akumulisana toplota u iznosu od:

$$Q_a = G_l \cdot C_p \cdot t$$

$$G_l = 17.700 - 5.300 = 12.400 \text{ kg}$$

$$C_p = \frac{41,5 \cdot 1,0}{100} + \frac{58,5 \cdot 0,25}{100} = 0,560 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_a = 12.400 \cdot 0,56.200 = 1,390.000 \text{ kcal}$$

sada je:

$$x \cdot 494,6 + y \cdot 120 + 7.250 \cdot 30 = 1,390.000$$

$$x + y = 5.150$$

$$x = 1480 \text{ kg} : y = 3.670 \text{ kg}$$

Prema tome, sadržaj vlage na kraju faza izjednačenja iznosi:

$$\frac{3.670}{10.920} = 33,5\%$$

U procesu vakumiranja može se vлага skinuti od 3–5% u zavisnosti od veličine vakuma.

Prema sadašnjem stanju vakuum instalacije može se sniziti vлага maksimalno 3,5% (podatak dobiven merenjem u sušari).

Vлага na kraju faze vakumiranja iznosi:

$$33,6 - 3,5 = 30,1\%$$

Praktičnim merenjem sadržaja vlage u suvom uglju nakon faze vakumiranja dobivene su prosečne vrednosti od:

$$30,52 \% \text{ H}_2\text{O (16 merenja).}$$

Posle faze vakumiranja proces sušenja se praktično nastavlja dalje sve do skladišta potrošača.

Praktičnim merenjima utvrđeno je da se u ovom periodu procenat vlage smanji za oko 3%, što znači, da se kao krajnji procenat vlage može uzeti 27,5%.

Prema evidenciji pogona potrošnja pare po toni istisnute vode iz uglja iznosi 700 kg.

#### Ulaz toplote

$$Do = (5.300 + 1.480 + 320) \cdot 0,7 = 4.970 \text{ kg}$$

Do = potrebna para

Prema tome, ukupna količina kondenzata će iznositi:  $5.300 + (4.970 - 193) = 10.077 \text{ kg}$  kondenzata i istisnute vode u autoklavi.

Vrela voda u autoklavi pri otpuštanju sa 20 na 2 atü oslobođice paru:

$$10.077 \cdot 130 = 1.310 \text{ kg}$$

Stanje pare: 2 atü, 120 °C, 646,0 kcal/kg.

Ova para unosi u autoklav sa pranim ugljem sledeću količinu toplote:

$$1.310 \cdot 646,0 = 845.000 \text{ kcal}$$

Isparena voda u fazi izjednačenja (2 atü, 120°C, 646,0 kcal/kg)

$$1480 \cdot 646 = 955.000 \text{ kcal}$$

Ukupna toplota iznosi 1.800.000 kcal.

#### Izlaz toplote

— 10.600 kg suvog uglja 30,1% vlage sa 50°C nosi sa sobom toplote:

$$7.250.0.25.50 + 3.350.1.0.50 = 258.100 \text{ kcal.}$$

— 193 kg pare napušta autoklav i nosi toplote:

$$193.668,5 = 128.000 \text{ kcal.}$$

— 193 + 1.480 + 1.310 = 2.983 kg hladnog kondenzata odnosi sa sobom toplote:

$$2.983.100 = 298.300 \text{ kcal.}$$

$$— 10.077 \cdot 203,9 = 2.050.000 \text{ kcal.}$$

— 1.480 kg ispareno vode iz uglja u fazi izjednačenja nosi toplote  $1.480 \cdot 646 = 955.000 \text{ kcal.}$

— 320 kg isparene vode u fazi vakumiranja nosi:

$$320 \cdot \frac{646 + 619}{2} = 202.300 \text{ kcal}$$

Ukupno: 3.891.700 kcal.

Toplotni gubici na zračenje uzima se da iznose 10% tj. 389.170 kcal.

Ostali gubici (prigušivanje pare, hlađenje autoklava, cevovoda i armature za vreme pražnjenja) — uzeti prema termičkom dijagramu PIC — iznose 650.000 kcal.

Ukupno: 4.930.870 kcal.

Prema tome, višak rashoda toplote iznosi:

$$4.930.870 - 1.800.000 = 3.130.870 \text{ kcal.}$$

Za pokriće ove razlike potrebno je u autoklav uvesti sveže pregrevane pare:

$$\frac{3.130.870}{722,4} = 4.350 \text{ kg}$$

Kao sigurnost dodaje se još 15% tj. 650 kg pare pa je

$$Do = 5.000 \text{ kg.}$$

#### Specifični utrošak toplote

$$\frac{5000 \cdot 722,5}{7.100} = 520 \text{ kcal/kg vode}$$

— Specifična potrošnja pare po kg udaljene vode

$$\frac{5000}{7100} = 0,70 \text{ kg/kg vode}$$

— Specifična potrošnja pare po t suvog uglja

$$\frac{5000}{10.600} = 0,472 \text{ kg/kg uglja}$$

Upoređujući potrošnju pare od 0,595 kg/kg uglja koja se danas ostvaruje, sa računski dobivenom potrošnjom od 0,472, može se zaključiti da je u štetu pare moguće ostvariti jedino racionalnijim i potpunijim korišćenjem toplote sadržine u istisnutoj vodi iz uglja i kondenzatoru pare.

Priložena verifikacija toplotnog bilansa sušenja jasno govori da je vrela voda osnovni nosilac toplote koja se mora efikasno koristiti.

Iz ovoga se može konstatovati, da primena kontinualnih otakača kondenzata ili bidona, koji topaju vodu ispušta direktno u atmosferu znači čist gubitak toplote.

Odvođenje kondenzata kontinualno ili diskontinualno ima smisla direktno u susedni autoklav ili prihvatu posudu, a nikako direktno u atmosferu.

Računom je obuhvaćen veći broj podataka koji su mereni u sadašnjim uslovima, a jednim delom korišćeni su iz postojećih studija za ovaj problem, dok se manji broj morao prepostaviti, tako da se kroz ovu konstataciju mora posmatrati sprovedeni račun.

**Kapacitet.** — Pod pretpostavkom da će se ostvariti vrednosti dobivene računom mogući kapacitet postrojenja sušare bi iznosio:

— rad u tri smene — 300 radnih dana godišnje.

Raspoloživa para za sušenje iznosi 55 tona na sat na ulazu u sušaru. Sa računskom potrošnjom od 5 tona pare po autoklavu izlazi da bi mogli maksimizirati kapacitet.

malno ostvariti jedanaest pražnjenja na sat što daje  
 $11 \cdot 24 \cdot 10,5 = 2.780$  t/dan suvog uglja što bi godišnje iznosilo:

$$2.780 \cdot 300 = 834.000 \text{ t/god. s obzirom na raspoloživu paru.}$$

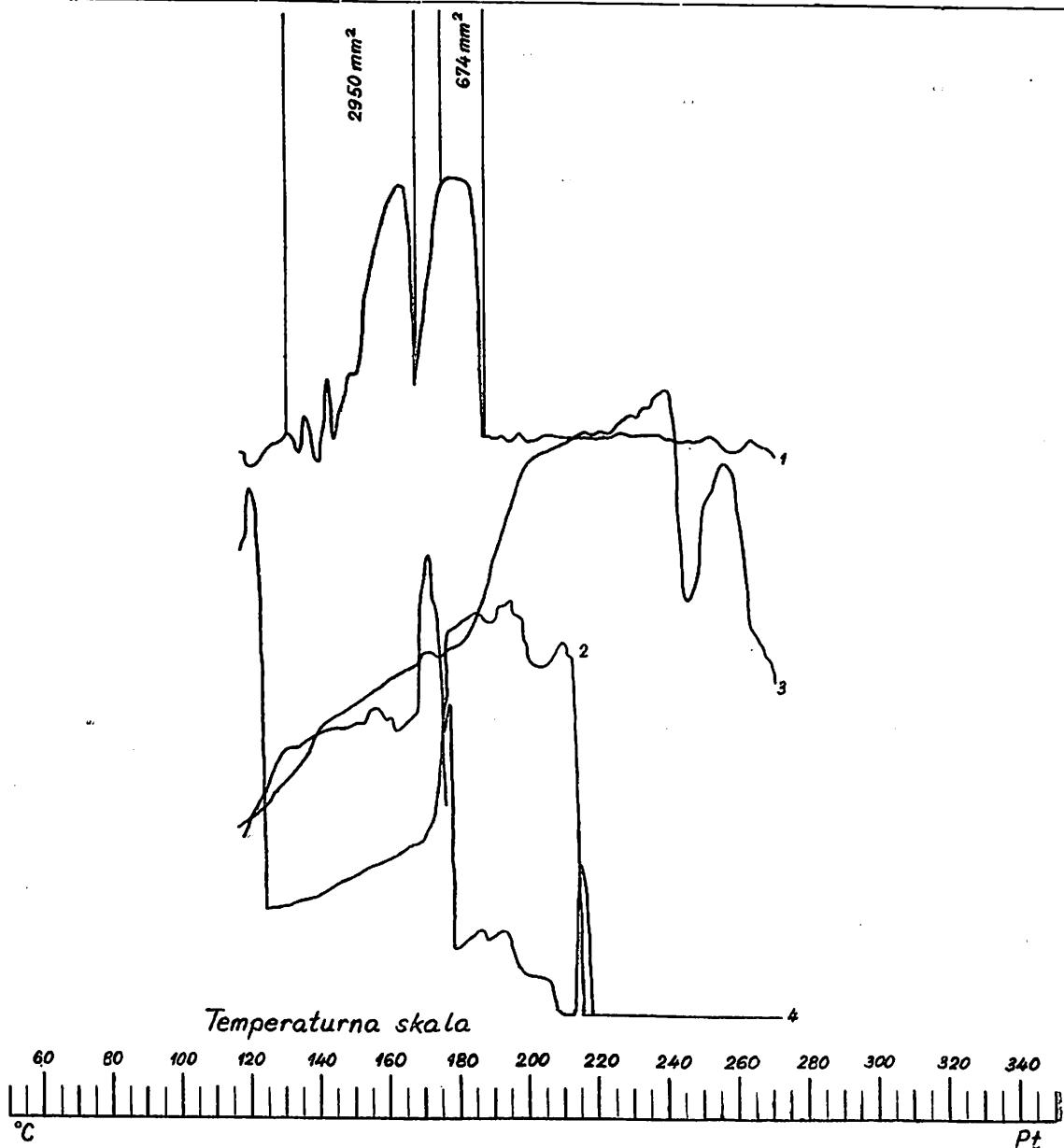
Ovo bi bio teoretski kapacitet, jer zbog dužine ciklusa od 170 min. mogu se ostvariti 8,5 pražnjenja na dan po autoklavu.

Sa ovom vrednošću dobija se stvarni kapacitet:  
 $8,5 \cdot 30 \cdot 10,5 = 2.680$  t/dan pod uslovom da su u proseku 30 autoklava u radu.

$$\text{Godišnje: } 2.680 \cdot 300 = 800.000 \text{ t}$$

U slučaju da se radi 325 dana godišnje imali bi smo  $2.680 \cdot 325 = 870.000 \text{ t}$

Iz ovog izlazi da je proizvodnja od 800.000 t/g moguća.



Sl. 8 — Dijagram temperatura  
 1 — temperatura sveže pare; 2 — temperatura vode koja se prebacuje;  
 3 — temperatura u autoklavu III; 4 — temperatura izlazne vode iz autoklava IV.

### Obracun potrošnje pare

#### Proba 1

#### Autoklav IV

Ukupna količina pare Q (sl. 8 i 8a)

Predgrev                   Podaci                   Parenje

$$\begin{aligned} T_1 &= 1.372 \text{ mm}^2 & F_2 &= 710 \text{ mm}^2 \\ P_{s1} &= 15.5 \text{ kg/cm}^2 & P_{s2} &= 16.7 \text{ kg/cm}^2 \\ T_{s1} &= 273 \text{ }^\circ\text{C} & T_{s2} &= 230 \text{ }^\circ\text{C} \\ \gamma_{rp1} &= 6,81 \text{ kg/m}^3 & \gamma_{rp2} &= 7,75 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg m}^3$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1.372 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{6,81}{8,59}} \\ &= 1.372 \cdot 1,98 \cdot 0,89 = 2.420 \\ Q_1 &= 2.420 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= 710 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,75}{8,59}} \\ &= 710 \cdot 1,98 \cdot 0,95 = 1.334 \\ Q_2 &= 1.334 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2.420 + 1.334 = 3.754 \text{ kg}$$

$$Q = 3.754 \text{ kg}$$

#### Proba 2

#### Autoklav IV

Ukupno utrošena količina parc Q (sl. 9 i 9a)

Podaci

$$\begin{aligned} \text{Predgrev} && \text{Parenje} \\ F_1 &= 1.300 \text{ mm}^2 & F_2 &= 810 \text{ mm}^2 \\ P_{s1} &= 16,5 \text{ kg/cm}^2 & P_{s2} &= 16 \text{ kg/cm}^2 \\ T_{s1} &= 260 \text{ }^\circ\text{C} & T_{s2} &= 240 \text{ }^\circ\text{C} \\ \gamma_{rp1} &= 7,42 \text{ kg/m}^3 & \gamma_{rp2} &= 7,55 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

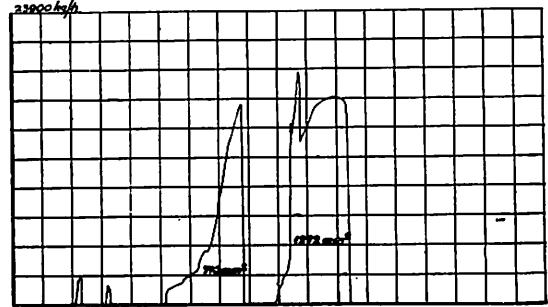
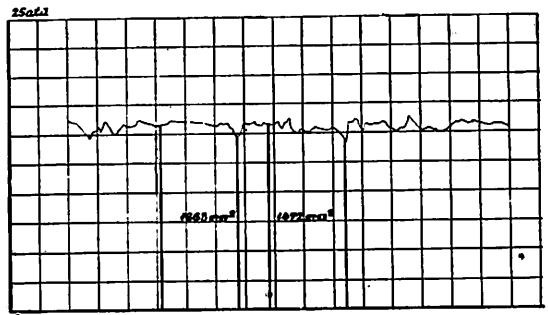
$$[\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3]$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1.300 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,42}{8,59}} \\ &= 2.580 \cdot 0,93 = 2.400 \text{ kg} \\ Q_1 &= 2.400 \text{ kg} \end{aligned}$$

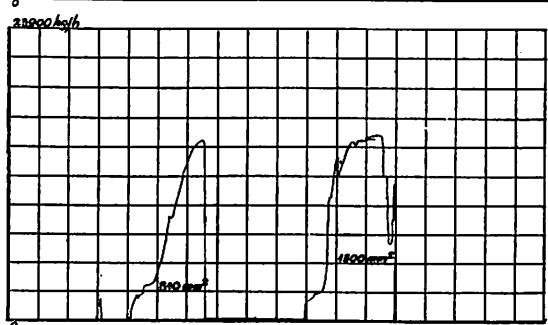
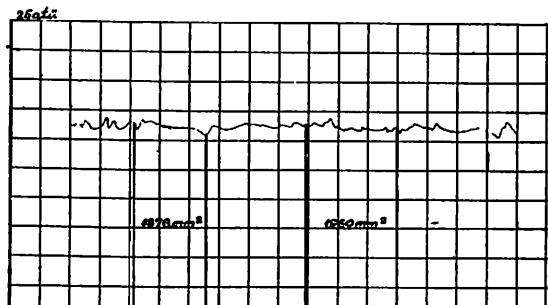
$$\begin{aligned} Q_2 &= 810 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,55}{8,59}} \\ &= 1.604 \cdot 0,94 = 1.507 \\ Q_2 &= 1.507 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2.400 + 1.507 = 3.907 \text{ kg}$$

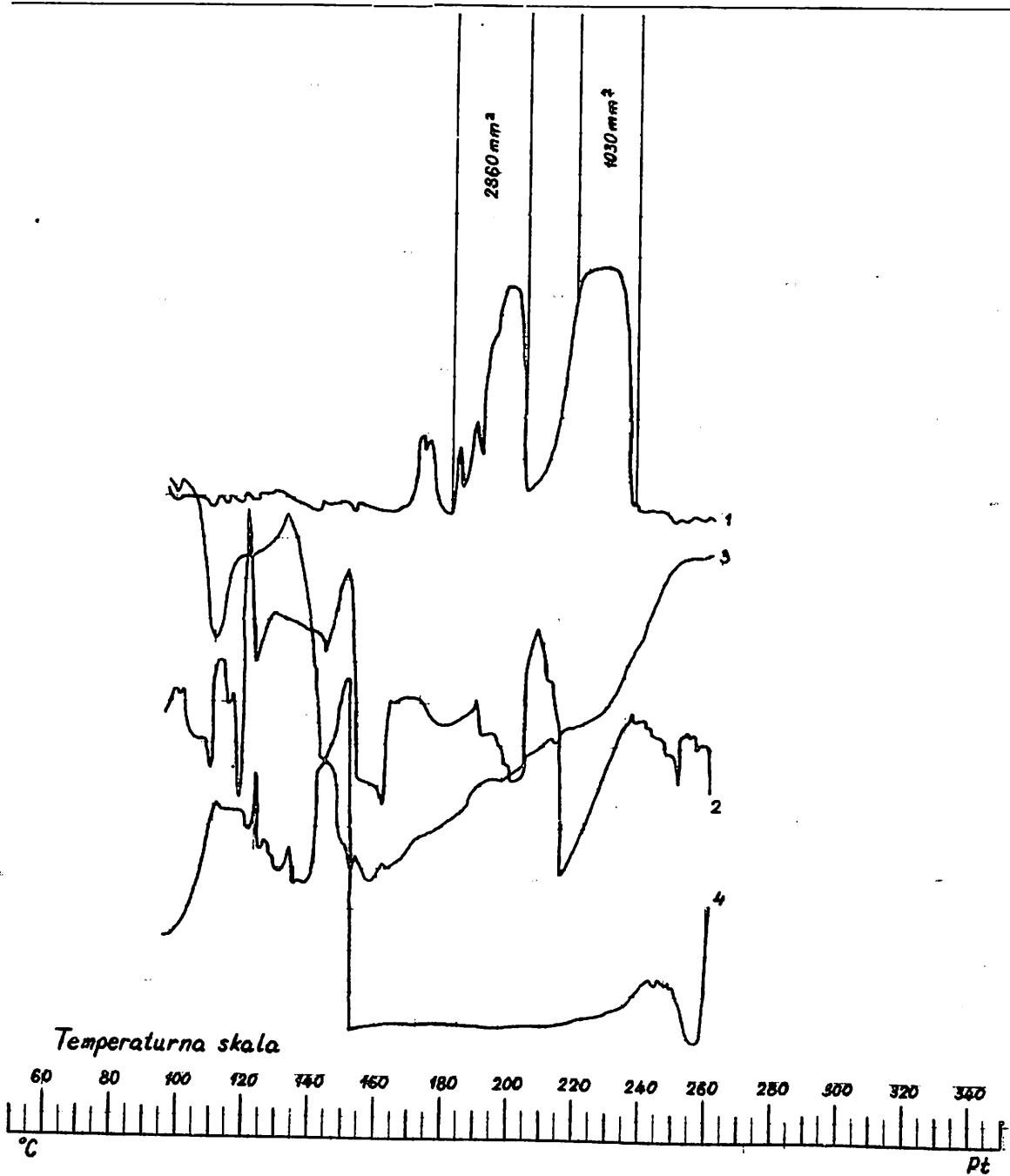
Sl. 8 — Dijagram pritiska i protoka.



Sl. 8a — Dijagram pritiska i protoka.

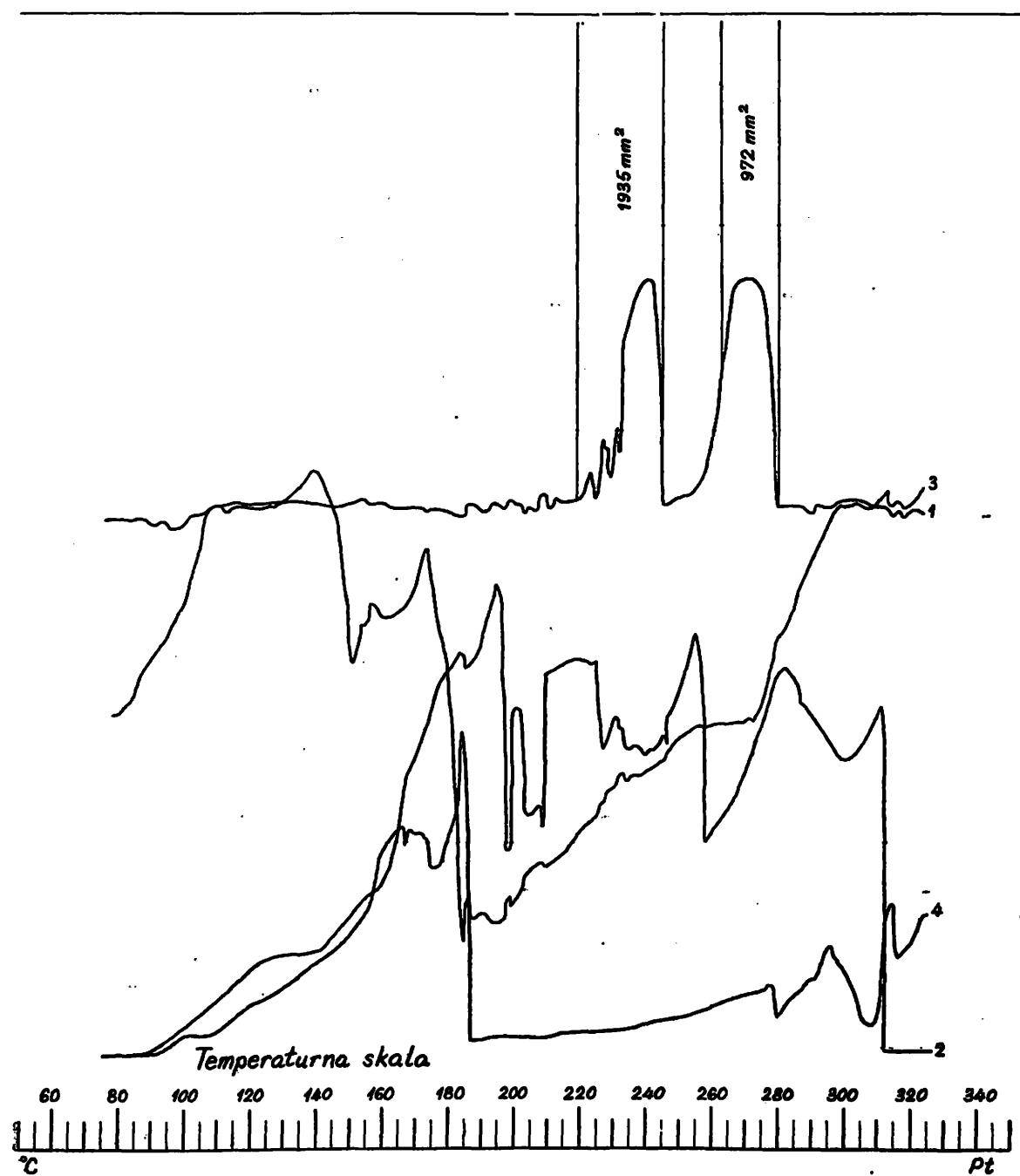


Sl. 9 — Dijagram pritiska i protoka.



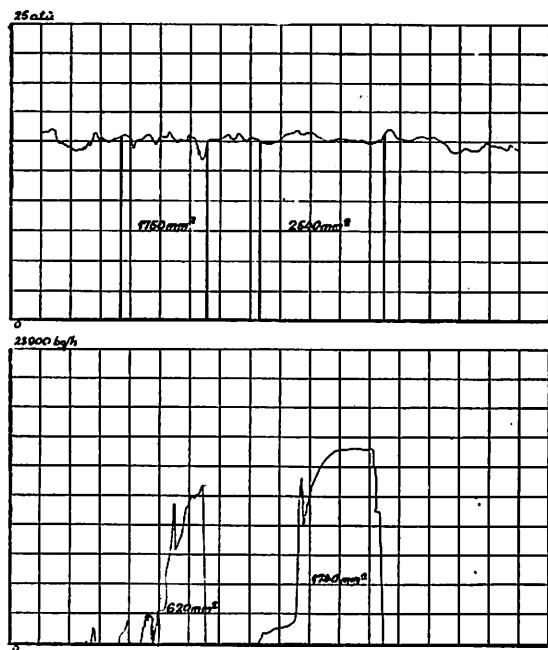
Sl. 9a — Dijagram temperatura

- 1 — temperatura sveže pare; 2 — temperatura vode koja se prebacuje;  
 3 — temperatura u autoklavu III; 4 — temperatura izlazne vode iz autoklava IV.

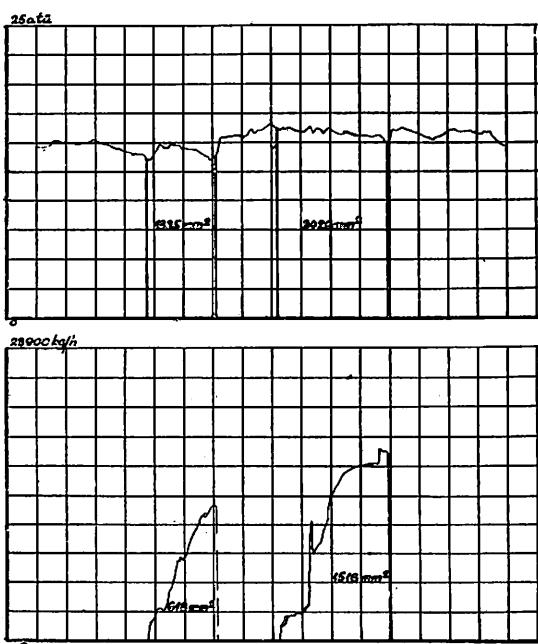


Sl. 10 — Dijagram temperatura

1 — temperatura sveže pare; 2 — temperatura vode koja se prebacuje;  
3 — temperatura u autoklavu III; 4 — temperatura izlazne vode iz autoklava IV.



Sl. 10a — Dijagram pritiska i protoka.



Sl. 11 — Dijagram pritiska i protoka.

### Proba 3

### Autoklav IV

Ukupna količina pare  $Q$  (sl. 10 i 10a)

Predgrev

P o d a c i

Parenje

$$F_1 = 1.740 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 620 \text{ mm}^2$$

$$P_{s1} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{s2} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{s1} = 260 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 230 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{rp1} = 6,76 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{rp2} = 7,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_20 = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_1 = 1.740 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{6,76}{8,59}} = \\ = 3.450 \cdot 0,884 = 3.050 \\ Q_1 = 3.050 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 620 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,2}{8,59}} = \\ = 1.230 \cdot 0,92 = 1.130 \\ Q_2 = 1.130 \text{ kg}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3.050 + 1.130 = 4.180 \text{ kg}$$

$$Q = 4.180 \text{ kg}$$

**P r i m e d b a:** Ventil  $\varnothing 100$  (crni) nije funkcionišao, tj. u fazi parenja i nadalje delimično otvoren zbog iskakanja diskova iz svog ležišta.

### Proba 4

### Autoklav IV

Ukupna količina pare  $Q$  (sl. 11 i 11a)

P o d a c i

Fredgrev

Parenje

$$F_1 = 1.516 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 618 \text{ mm}^2$$

$$P_{s1} = 16 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{s2} = 14,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{s1} = 245 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 234 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{rp1} = 7,46 \text{ kg/m}^3$$

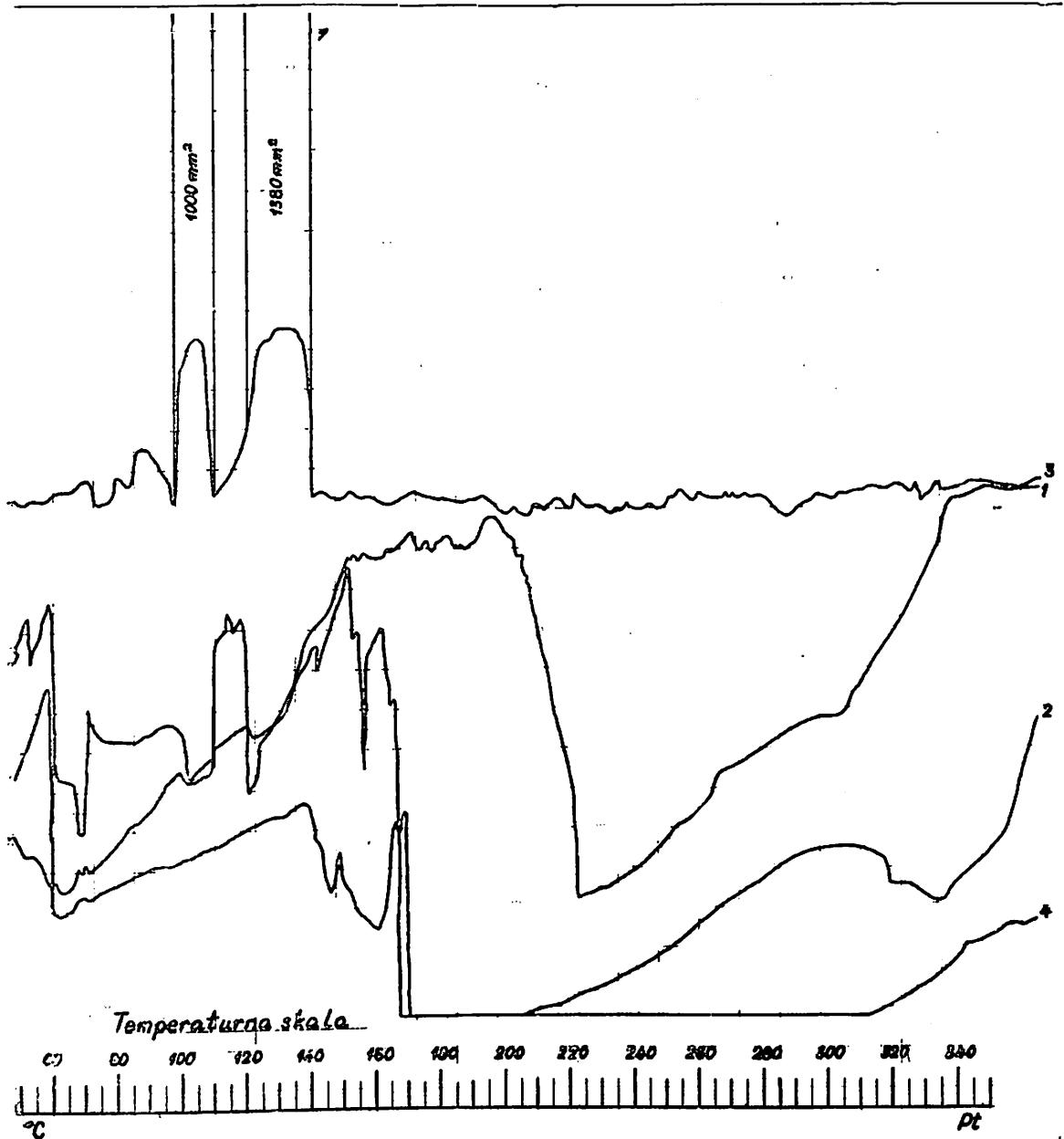
$$\gamma_{rp2} = 6,95 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_20 = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_1 = 1.516 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{7,46}{8,59}} \quad Q_2 = 613 \cdot 1,98 \cdot \sqrt{\frac{6,95}{8,59}} = \\ = 3.000 \cdot 0,934 = 2.800 \text{ kg} \quad = 1.230 \cdot 0,9 = 1.115 \text{ kg} \\ Q_1 = 2.800 \text{ kg} \quad Q_2 = 1.115 \text{ kg}$$

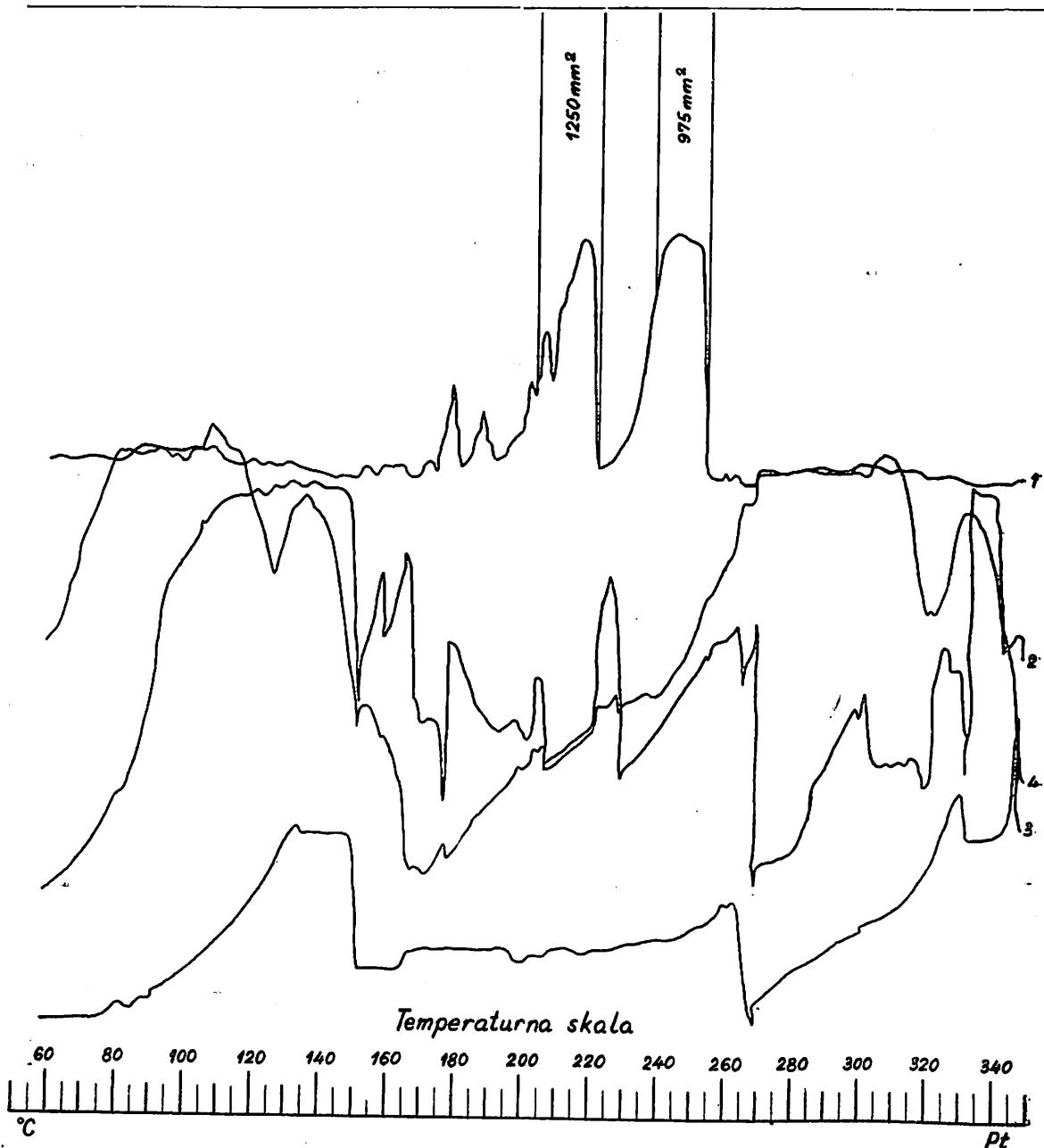
$$Q = Q_1 + Q_2 = 2.800 + 1.115 = 3.915 \text{ kg}$$

$$Q = 3.915 \text{ kg}$$



Sl. 11a — Dijagram temperatura

1 — dijagram sveže pare; 2 — temperatuta vode koja se prebacuje;  
3 — temperatuta u autoklavu III; 4 — temperatuta izlazne vode iz autoklava IV.



Sl. 12 — Dijagram temperaturna

1 — dijagram sveže pare; 2 — temperatura vode koja se prebacuje;  
3 — temperatura u autoklavu III; 4 — temperatura izlazne vode iz autoklava IV.

**Proba 5****Autoklav IV**

Ukupna količina pare Q (sl. 12 i 12a)

**Predgrev****P o d a c i****Parenje**

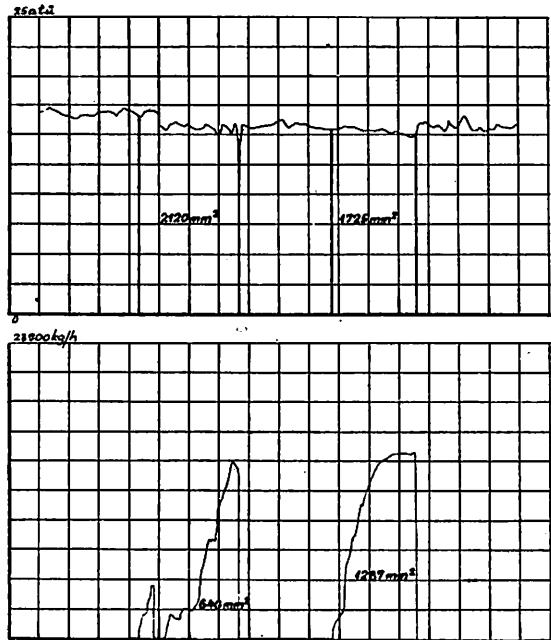
$$\begin{aligned} F_1 &= 1.287 \text{ mm}^2 & F_2 &= 646 \text{ mm}^2 \\ P_{s1} &= 15,5 \text{ kg/cm}^2 & P_{s2} &= 16 \text{ kg/cm}^2 \\ T_{s1} &= 255 ^\circ\text{C} & T_{s2} &= 245 ^\circ\text{C} \\ Y_{rp1} &= 7,05 \text{ kg/m}^3 & Y_{rp2} &= 7,46 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1.287 \cdot 1.93 \cdot \sqrt{\frac{7,05}{8,59}} & Q_2 &= 646 \cdot 1.93 \cdot \sqrt{\frac{7,46}{8,59}} \\ &= 2.580 \cdot 0.905 = 2.340 \text{ kg} & & = 1.230 \cdot 0.934 = 1.192 \text{ kg} \\ Q_1 &= 2.340 \text{ kg} & Q_2 &= 1.192 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2.340 + 1.192 = 3.532 \text{ kg}$$

$$Q = 3.532 \text{ kg}$$



Sl. 12a — Dijagram pritiska i protoka.

**Proba 3****Autoklav III**

Ukupna količina utrošene pare Q (sl. 13 i 10)

**P o d a c i**

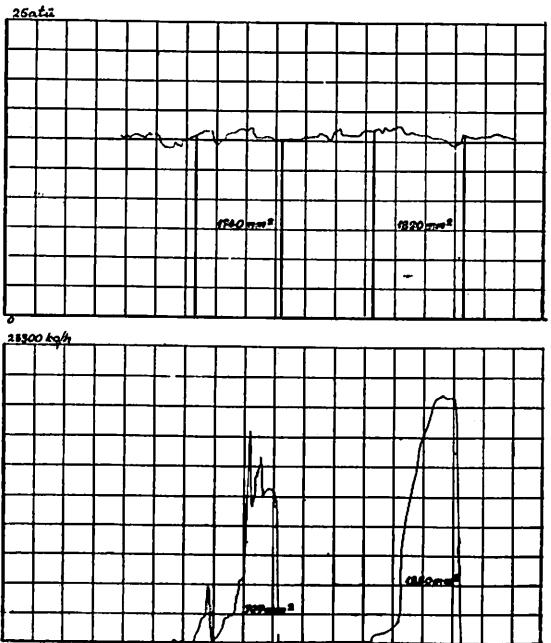
$$\begin{aligned} \text{Predgrev} && \text{Parenje} \\ F_1 &= 1.350 \text{ mm}^2 & F_2 &= 707 \text{ mm}^2 \\ P_{s1} &= 16 \text{ kg/cm}^2 & P_{s2} &= 15,5 \text{ kg/cm}^2 \\ T_{s1} &= 260 ^\circ\text{C} & T_{s2} &= 230 ^\circ\text{C} \\ Y_{rp1} &= 7,15 \text{ kg/m}^3 & Y_{rp2} &= 7,5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1.350 \cdot 1.94 \cdot \sqrt{\frac{7,15}{8,59}} & Q_2 &= 707 \cdot 1.94 \cdot \sqrt{\frac{7,5}{8,59}} \\ &= 2620 \cdot 0.92 = 2.410 \text{ kg} & & = 1310 \cdot 0.935 = 1.290 \text{ kg} \\ Q_1 &= 2.410 \text{ kg} & Q_2 &= 1.290 \text{ kg} \end{aligned}$$

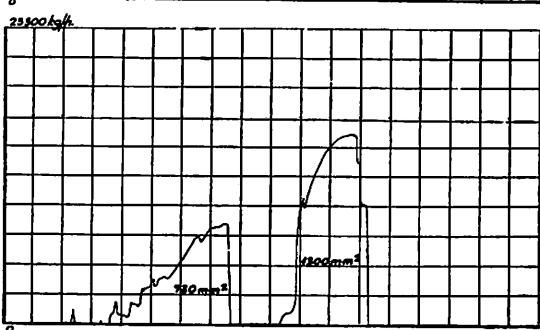
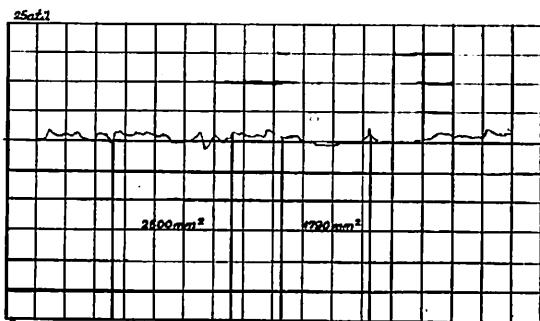
$$Q = Q_1 + Q_2 = 2.410 + 1.290 = 3.700 \text{ kg}$$

$$Q = 3.700 \text{ kg}$$

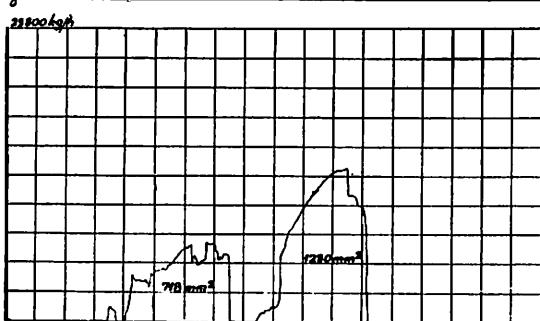
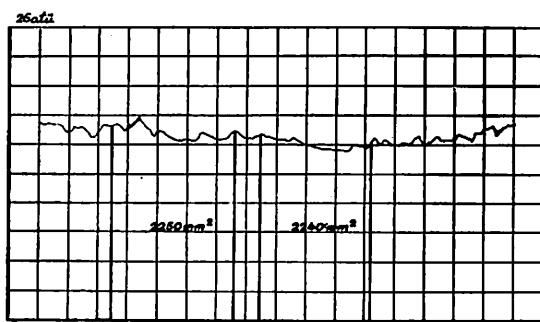


Sl. 13 — Dijagram pritiska i protoka.

**N a p o m e n a:** Na autoklavu III nedostaju probe 1 i 2 zbog toga što su kod probe br. 1 iskočili diskovi na ventilu za prebacivanje, a kod probe br. 2 nestalo dijagramskog papira na instrumentu za registrovanje protoka u fazi parenja.



Sl. 14 — Dijagram pritiska i protoka.



Sl. 15 — Dijagram pritiska i protoka.

#### Proba 4

#### Autoklav III

Ukupna količina utrošene pare  $Q$  (sl. 14 i 11a)

Predgrev

P o d a c i

$$F_1 = 1300 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 730 \text{ mm}^2$$

$$P_{s1} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{s2} = 15,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{s1} = 245 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 234 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{rp1} = 6,95 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{rp2} = 7,79 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{20} = -3,59 \text{ kg}$$

$$Q_1 = 1.300 \cdot 1,94 \cdot \sqrt{\frac{6,95}{8,59}} \quad Q_2 = 730 \cdot 1,94 \cdot \sqrt{\frac{7,79}{8,59}}$$

$$= 2520 \cdot 0,895 = 2260 \text{ kg} \quad = 1420 \cdot 0,95 = 1.340 \text{ kg}$$

$$Q_1 = 2260 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 1340 \text{ kg}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2260 + 1340 = 3600 \text{ kg}$$

$$Q = 3600 \text{ kg}$$

#### Proba 5

#### Autoklav III

Ukupna količina utrošene pare  $Q$  (sl. 15 i 12)

P o d a c i

Predgrev

Parenje

$$F_1 = 1230 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 718 \text{ mm}^2$$

$$P_{s1} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{s2} = 16 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{s1} = 245 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{rp1} = 6,95 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{rp2} = 7,66 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{20} = 8,59 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_1 = 1230 \cdot 1,94 \cdot \sqrt{\frac{6,95}{8,59}} \quad Q_2 = 718 \cdot 1,94 \cdot \sqrt{\frac{7,66}{8,59}}$$

$$= 2400 \cdot 0,895 = 2142 \text{ kg} \quad = 1392 \cdot 0,945 = 1320 \text{ kg}$$

$$Q_1 = 2142 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 1320 \text{ kg}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2142 + 1320 \text{ kg} = 3462 \text{ kg}$$

$$Q = 3.462 \text{ kg}$$

Dijagram protoka pare za rad kompletнog pестrojenja po predloženoj tehnologiji

Na osnovu predložene tehnologije sušenja uglja, kao i na osnovu potrebne količine pare po jednom autoklavu koja je dobijena putem merenja na ulasku u autoklav, saчинjen je dijagram protoka pare za 32 autoklava.

Tablica 2

Pregled podataka dobijenih merenjima kod primene predložene tehnologije

Broj atuklava	Broj probe	Težina pranog uglja u t	Težina suvog uglja u t	Ws %	Wp %	Količina sveže pare u t	Količina vode iz uglja u t	Utrošeno pare po toni vode u t	Primedba
III	III	17,6	10,3	60,5	29,9	3,700	7,56	0,489	
III	IV	17,6	10,3	59,5	29,4	3,600	7,47	0,482	
III	V	17,6	10,6	59,5	28,7	3,462	7,53	0,462	
Sr.	vrednost:	17,6	10,3	59,75	29,3	3,587	7,52	0,478	
IV	I	20,3	11,5	60,5	30,8	3,754	8,75	0,429	
IV	II	20,3	11,5	60,3	30,3	3,907	8,73	0,447	
IV	III	20,3	11,5	60,5	33,8	4,180	8,40	0,500 prop.	crni ventil
IV	IV	20,3	11,5	59,5	31,8	3,915	8,44	0,464	
IV	V	20,3	11,5	60,06	31,44	3,576	8,58	0,450	

Napomena: 1) Probe se nisu mogle vršiti kontinualno zbog otežanog rada pri pražnjenju autoklava IV.

2) Probe su vršene po ciklusu od 170 po šarži sa korišćenjem vode kako od faze parenja tako i od faze predgrevanja.

#### Uporedna tablica srednjih vrednosti prikazanih u tablicama 1 i 2

Tablica 3

Broj autok.	% W pranog uglja		% W suvog uglja		Količina sveže pare		Istisnuta voda iz uglja u t		Utroš pare po t istisnute H <sub>2</sub> O	
	Postojeća	Predlož.	Postojeća	Predlož.	Postojeća	Predlož.	Postojeća	Predlož.	Postojeća	Predlož.
III	59,40	59,75	29,95	29,30	4,870	3,593	7,365	7,520	0,662	0,487
IV	59,30	60,06	33,40	31,40	5,262	8,576	8,165	8,580	0,646	0,450

#### Napomena:

- Težina pranog uglja koju može da primi autoklav IV iznosi u oba slučaja 20,3 t. Podatak usvojen na bazi merenja izvršenih avgusta 1964. godine.
- Težina suvog uglja iz autoklava IV — 11,5 t.

#### Autoklav III

Težina pranog uglja u oba slučaja iznosi 17,6 t, a suvog 10,3 t.

Podaci dobijeni na osnovu merenja.

Prema ovom dijagramu, a na osnovu merenja za predgrev potrebna je količina pare od 2,35 t po jednom autoklavu. S obzirom da je potrebno da se para istovremeno povlači u četiri autoklava za 15 minuta da bi se postigao pritisak od 15 atü, to bi za ovu operaciju protok iznosio:

$$4 \cdot 2,35 \text{ t} = 9,4 \text{ t za } 15 \text{ min.} = 0,626 \text{ t/minut odnosno } 37,5 \text{ t/h.}$$

Rasporedom povlačenja pare predviđeno je da se parenje vrši u jednom slučaju za 10 min. u 4 autoklava, sa prosečnom potrošnjom pare za ovu fazu 1,2785 pare, pa bi protok iznosio:

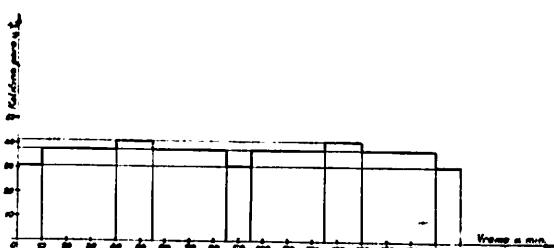
$$4 \cdot 1,2785 = 5,122 \text{ t za } 10 \text{ min.} = 0,5122 \text{ t/minut odnosno } 30,72 \text{ t/h.}$$

a za 15 min. u 8 autoklava:

$$8 \cdot 1,27 = 10,16 \text{ t za } 15 \text{ min.} = 0,677 \text{ t/minut odnosno } 40,62 \text{ t/h.}$$

Kao što se iz dijagrama vidi, protoci bi bili u granicama od 30,72 t/h do 40,62 t/h, s tim što bi promene protoka nastupile u vremenskim razmacima od 10, 15 i 30 min. za oko 10 t/h.

Kako je parovod predviđen za veći protok, koji se u sadašnjim uslovima radi kreće i do 60 t/h. pri tome pada i ispod 50 t/h, to je dobijeni protok povoljniji od dosadašnjeg, s obzirom da se kreće u nižim granicama.



Sl. 16 — Dijagram protoka pare.

Imajući u vidu pogodan raspored oduzimanje pare, postoji mogućnost ugradnje uređaja za automatsko komandovanje — rukovanje ventilima, što bi omogućilo da se predviđeni dijagram protoka u potpunosti i ostvari u praksi. Ovaj dijagram takođe se može ostvariti i ručnim rukovanjem sa ventilima bez posebnih teškoća.

#### Zaključci

Na osnovu dobijenih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

— Povećanje ekonomičnosti postrojenja za sušenje, tj. oplemenjivanje lignita po sistemu Fleissner, može se postići između ostalog i racionalnim korišćenjem topotele sadržane u kondenzatu pare, odnosno odstranjenoj vodi iz uglja. Preostala para u autoklavu po završetku procesa sušenja daljinjom svojom primenom takođe utiče na ekonomičnost, ali zbog male količine u odnosu na vrelu vodu ima sekundarni značaj.

— Vrela voda kao nosilac topotele mora se prebacivati direktno iz autoklava u autoklav čime se topotni gubici svode na najmanju meru. Pored toga, uvođenje tople vode u autoklav treba da se vrši odozgo uz raspršivanje, jer se na taj način postiže veća površina dodira sa ugljenom masom a time i bolji intenzitet u predaji topotele.

— Utrošak pare po toni istisnute vode iz uglja kreće se u granicama od 0,462 — 0,489 t/t, što je u odnosu na postojeću tehnologiju, kod koje je prosečna vrednost specifične potrošnje 0,662 t pare/t vode, daleko povoljnije, jer se postiže ušteda od 0,173 — 0,200 t/t istisnute vode.

Frocenat vlage u sušenom uglju verovatno se može smanjiti ovakvim načinom sušenja u odnosu na postojeću tehnologiju, ali ne u značajnijoj meri.

— S obzirom da je vreme trajanja ciklusa sušenja ostalo nepromenjeno, kapacitet postrojenja računat na bazi broja pražnjenja autoklava je takođe nepromenjen.

— Konstruktivne izmene u instalaciji su neznatne i ne uslovjavaju velika investiciona ulaganja.

— Rad sa 4 autoklava u grupi zahteva veći broj manipulacija sa ventilima, te bi se, s obzirom na veliku uštedu pare, isplatila ugradnja hidrauličnog uređaja za daljinsku komandu.

— Relativno velike razlike u rezultatima, dobijenim proračunom i ispitivanjima, upozoravaju da nije moguće obuhvatiti računom sve ono, što se odigrava za vreme procesa sušenja u autoklavu i da se pri izboru tehnologije moraju bezuslovno vršiti pretvodna ispitivanja u industrijskom obimu.

#### L iteratura

Fleissner, H., 1927: Veredlung und Trocknung der Braunkohle. — Montan Rundschau 10—14.

Kaiser, F., 1936: Ueber die Veredlung der oberpfälzischen lignitschen Rohbraunkohle nach dem Fleissner—Verfahren. — Braunkohle 5—6.

Rosin, P., 1929: Die Fleissner — Trockung der lignitischen Braunkohle. — Braunkohle No. 23.

Österreichisch Alpine Montangessellschaft: Izveštaj Dg. Ronge-a o poluindustrijskom sušenju Kolumbarskog lignita, 1959.

Hütte — inženjerski priručnik.  
Wasser — Dampf Tofeln.

