

HENRYK CZECZOTT

PROFESOR AKADEMJI GÓRNICZEJ W KRAKOWIE, B. PROFESOR INSTYTUTU
GÓRNICZEGO W PETERSBURGU

REGULACJA ZAPOMOCAŁ DEPRESJI DODATKOWEJ W SYSTEMACH NORMALNYCH PROSTYCH

(PRZYSZYNEK DO TEORJI WENTYLACJI KOPALŃ)

RÉGULATION
PAR DÉPRESSION SECONDAIRE
DANS LES SYSTÈMES NORMAUX

(NOTES SUR LA THÉORIE DE LA VENTILATION DES MINES)

KRAKÓW 1931

NAKLADEM KOMITETU WYDAWNICZEGO
DZIEŁ Ś. P. PROFESORA HENRYKA CZECZOTTA

HENRYK CZECZOTT

PROFESOR AKADEMII GÓRNICZEJ W KRAKOWIE, B. PROFESOR INSTYTUTU
GÓRNICZEGO W PETERSBURGU

REGULACJA ZAPOMOCĄ DEPRESJI DODATKOWEJ W SYSTEMACH NORMALNYCH PROSTYCH

(PRZYSZYNEK DO TEORJI WENTYLACJI KOPALNÍ)

RÉGULATION PAR DÉPRESSION SECONDAIRE DANS LES SYSTÈMES NORMAUX

(NOTES SUR LA THÉORIE DE LA VENTILATION DES MINES)

2007

KRAKÓW 1931

NAKŁADEM KOMITETU WYDAWNICZEGO
DZIEŁ Ś. P. PROFESORA HENRYKA CZECZOTTA

Ogromny postęp nauki o przewietrzaniu kopalń, która jeszcze przed niewielu laty była zaledwie w kolebce swego rozwoju, zawdzięczamy w pierwszym rzędzie dwudziestoletniej twórczej pracy ś. p. prof. H. Czezcotta.

Dla uświadomienia jego doniosłych zasług na polu górnictwa musimy przynajmniej pokrótce zrobić przegląd rozwoju teorii przewietrzania kopalń.

Teoria wentylacji przed Czezcottem, zawdzięczając pracom wybitnych teoretyków w tej dziedzinie, jak Guibal, Devillez, Murgue, Althans, Petit, Skoczyński, umożliwiała wprowadzić obliczenie przewietrzania w systemach najprostszych («normalnych»), to jednak — jeżeli chodziło o wybór wentylatora — nie wierzono w pomyślne wyniki obliczeń, pomijano je w zupełności, zamawiano wentylatory na zasadzie wyłącznie tylko danych praktycznych, oszacowując ich moc na podstawie innych mniej lub więcej udatnych instalacji. Takie szacowanie mocy wentylatora z konieczności pociągnać musiało za sobą mnóstwo niespodzianek: obserwacja wykazała, że wiele z nich pracuje przy współczynniku pracy użytecznej nie większym od 0,1.

Prof. Czezcott — wówczas jeszcze młody inżynier górniczy — po raz pierwszy próbuje zastosować zasady teoretyczne do obliczenia mocy wentylatora i otrzymuje doskonałe wyniki: współczynnik pracy użytecznej ustawionego wentylatora wynosi 0,69, jest większym nawet od współczynnika gwarantowanego przez firmę — 0,66.

Zachęcony pomyślnymi wynikami i widząc jednocześnie, że dotychczasowa teoria obejmuje zaledwie tylko najprostsze i najrzadziej spotykane w praktyce systemy wentylacyjne, stara się rozszerzyć teorię przewietrzania na wypadki bardziej złożone, na tak zwane «systemy przekątne». Teoria prądów przekątnych poraz pierwszy zostaje ogłoszona drukiem w języku rosyjskim w r. 1908, oraz w «Przeglądzie Górniczo-Hutniczym» w r. 1910.

Dalszym krokiem, a jednocześnie wielkiem odkryciem było udowodnienie możliwości odwrócenia się prądu przekątnego wskutek zmiany warunków przewietrzania, udowodnienie niebezpieczeństwa, jakie z tego powodu może mieć miejsce na kopalniach gazowych lub ulegających częstym pożarom. Szereg przykładów z praktyki górniczej potwierdził w zupełności wywody teoretyczne prof. Czeczotta. Pierwotna teoria prądów przekątnych ulega dalszej ewolucji w jej zastosowaniu do systemów przekątnych złożonych, do systemów odwróconych oraz do regulacji odjemnej. Uzupełniona w ten sposób teoria ogłoszona zostaje drukiem w r. 1925 w I-ym zeszycie prac Akademii Górniczej.

Podana w tej pracy teoria regulacji odjemnej, uogólniona została do wszystkich sposobów regulacji na mocy założenia, że wprowadzenie dodatkowej depresji jest równoznaczne z wyeliminowaniem pewnego elementu fikcyjnego. W krótkim jednak czasie przekonuje się prof. Czeczott, że uproszczona w ten sposób teoria nie może służyć do wyjaśnienia pewnej kategorii zjawisk, że musi ona ulec zmianie, jeżeli chodzi o regulację stosunkową pośrednią — zapomocą wtórnego źródła depresji i to zarówno w systemach przekątnych, jak i normalnych.

Następuje dalszy rozwój teorii przewietrzania. Nieoczekiwane wnioski, jakie ona nasunęła, wyłoniły się szeregu nowych tematów o ogromnem znaczeniu praktycznem — są to czynniki, które stały się bodźcem do dalszej wyteźonej i owocnej pracy prof. Czeczotta. Zostaje ogłoszony drukiem w języku polskim i niemieckim artykuł p. t. «Niebezpieczeństwo wentylatorów podziemnych», zostaje przygotowana do druku niniejsza praca, która jest dalszym ciągiem i bezpośrednio łączy się z teorią prądów przekątnych. W ostatnich miesiącach swego życia opracowuje teorię — regulacji pośredniej w systemach prostych przekątnych, w bocznicach normalnych II klasy, wreszcie teorię przewietrzania zapomocą trzech szybów wentylacyjnych.

W pracach swych prof. Czeczott udowodnił aż nadto dobitnie, że dla zaprojektowania wentylacji nie wystarczy samo tylko wkreślenie strzałek, wskazujących drogę dla powietrza, które niezawsze zechce podporządkować się narzuconym mu warunkom. Projekt wentylacji w nowoczesnem tego słowa znaczeniu poprzedzić muszą głębokie studja warunków danej kopalni, oparte na obszernej wiedzy teoretycznej.

Podstawowe zadania inżynierskie — względy gospodarcze

i bezpieczeństwo — dominują we wszystkich jego pracach. Posługując się analizą matematyczną w najszerszym tego słowa znaczeniu, nie ograniczał się on do podania tylko suchych wyników teoretycznych, nie był zwolennikiem czysto abstrakcyjnych metod rozumowania: wszystkie jego teorie cechuje w pierwszym rzędzie stosowność w praktyce, w życiu codziennym górnika. W najwyższym stopniu skrupulatny — każde zagadnienie teoretyczne opracowywał prof. Czeczott niezmiernie szczegółowo, każdy jego wzór zanalizowany był bez zarzutu wszechstronnie. Posługując się tak doskonałym językiem, jakim jest matematyka, potrafił głęboko wniknąć w istotę zjawisk, potrafił przewidywać i wyczuwać prawa natury.

Racjonalna metoda przewietrzania, oparta na zasadach ekonomicznych i gwarantujących bezpieczeństwo kopalni i jej załogi, jest tym celem, do którego zdążała wyężona praca najpiękniejszych lat życia wielkiego naszego uczonego górnika, jakim był prof. Czeczott.

Kraków, 29. IX. 1929.

Dr. Inż. W. BUDRYK.

PRZEDMOWA

W rozdziale VI «Teorii prądów przekątnych» autora, wydrukowanej w I-ym zeszycie prac Akademii Górniczej, okazały się, niestety, błędnymi założenia przyjęte dla zawiązania problemu regulacji odjemnej zapomocą depresji dodatkowej. Z tego powodu obliczenia niezbędnych depresyj dodatkowych podług wzorów § 27 mogą mieć zastosowanie jedynie, jak § ten głosi, w celu regulowania absolutnego, gdy chodzi natomiast o regulowanie stosunkowe w systemach normalnych, o czym traktują §§ 28 i 29, to jako sposoby uproszczone i krótsze, dające pod względem praktycznym wyniki dostatecznie zbliżone do rzeczywistych, mogą być wówczas jedynie stosowane, gdy opory zewnętrzne (elementów kolejno złączonych systemem rozgałęzionym) są tak małe, że możemy pominąć je w obliczeniach. Takie właśnie wypadki mogą jednak często spotykać się w praktyce, na przykład jeżeli system rozgałęziony znajduje się pomiędzy dwoma szybami o wielkim przekroju i gładkiej obudowie, których opór właściwy jest zawsze bardzo nieznaczny. Zresztą w każdym poszczególnym wypadku przez stosunkowe oszacowanie oporów elementów zewnętrznych i wewnętrznych zawsze można zdecydować, czy możliwym jest zastosowanie w danym przypadku sposobów uproszczonych, tak pożądaných w praktyce. Toż samo zastrzeżenie błędnego założenia stosuje się również do problemu regulowania zapomocą inżektorów Petit'a (§ 30), w którym ponadto błędem jest zastosowanie wzorów 184—187. Następnie, rozdziały VII i VIII, traktujące o regulacji odjemnej i mieszanej w systemach przekątnych, mogą mieć zastosowanie jedynie wówczas, jeżeli regulacja odjemna osiąga się nie przez depresję dodatkową, lecz środkami, wpływającymi bezpośrednio na zmniejszenie oporów poszczególnych bocznic, np. przez rozszerzenie wyrobisk, włączenie bocznic równoległych i t. p. Lecz zastosowanie w systemach przekątnych wzorów § 27 dla obliczenia

wyćwiczonych drużyn ratowniczych, jest niezmiernie ważnem zabezpieczenie trwałości systemu powietrznego w sensie zachowania stałymi kierunków prądów powietrznych; albo, jeżeli i chodzi czasami w związku z tą akcją o obrócenie pewnego prądu, musi to być wykonane celowo, i po obróceniu trwałość prądów obróconych nadal obowiązuje. Jeżeli tedy pewne prądy mogą zmienić swój kierunek niezależnie od naszej woli, to w tem tkwi bezsprzecznie wielkie niebezpieczeństwo. Praca niniejsza obok dociekań czysto teoretycznych ma to znaczenie, że wskaże praktyce te właśnie niebezpieczeństwa, które w pewnych wypadkach mogą być przewidziane i usunięte; gdyby zaś usunięcie zagrażającego niebezpieczeństwa było niemożliwe, to o jego istnieniu kierownictwo kopalni zostanie przynajmniej uświadomione, a to jedno już będzie zdecydowanym krokiem w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa robót podziemnych.

W związku z rewizją problemu wpływów depresyj dodatkowych musieliśmy najprzód zmienić definicję regulacji odjemnej, którą czytelnik znajdzie we wstępie, i podać właściwe rozwiązanie zadań z rozdziałów VII i VIII regulacji odjemnej bezpośredniej w systemach przekątnych. Następnie zostały naprzód rozpatrzone wpływy depresyj dodatkowych w systemach normalnych prostych, i wyniki tej analizy stanowią treść niniejszego zeszytu, odnoszą się one nie tylko do przypadków ustawiania głównych wentylatorów podziemnych, lecz również do przypadków stosowania tak zwanych wentylatorów wtórnych, często używanych do przewietrzania osobnych pól roboczych, lub też dla głuchych przodków, przewietrzanych zapomocą lutni. Pokrewnym jest również problem przewietrzania dwoma wentylatorami ustawionemi na dwu szybach, gdzie stwarzają one różne depresje, co też znalazło wyświeślenie w pracy niniejszej.

W następnych pracach autora będą podane zawile stosunki, istniejące w systemach normalnych złożonych i systemach przekątnych w zależności od depresji dodatkowej, powstałej w którejkolwiek bądź bocznicie tychże. Zjawiska, jakie zachodzą w tych przy-

padkach, są o tyle złożone, że zniechęcają badacza do ich całkowitego zanalizowania, oraz czynią beznadziejną analizę systemów bardziej złożonych niż proste przekątne. Stąd powstaje prosty wniosek dla kierownictwa kopalni: planować roboty możliwie nieskomplikowanie, tak, iżby cały system przewietrzania mógł być sprowadzony najwyżej do ugrupowań prostych przekątnych, a lepiej tylko do normalnych. W tem miejscu biorę śmiałość wypowiedzieć twierdzenie, że przy pewnej uwadze ze strony technicznej administracji kopalni w planowaniu i prowadzeniu robót górniczych istnieje zawsze możliwość uniknięcia systemów przekątnych, zwłaszcza gdy zwraca się na to już uwagę przy zakładaniu i eksploatacji nowych kopalń, nowych pokładów i pól. W kopalniach starych, w których nie zwracano na to uwagi, sieć prądów tworzy zazwyczaj system bardzo złożony i zawity. W takich przypadkach reorganizacja systemu przewietrzania w kierunku usunięcia prądów przekątnych może czasami nastręczyć poważne trudności, lecz w żadnym razie nie jest niemożliwą, jakkolwiek czasami może to być połączone z nakładem pewnych kosztów przebudowania nowych wyrobisk. Jeżeli więc zawilgość systemu przewietrzania kryje w sobie źródła niebezpieczeństwa, bezsprzecznie kwestji tej praktyka powinna udzielić więcej uwagi, niż czyni to dotąd.

Zarówno w traktowaniu systemów normalnych, jak też przekątnych, problem został ujęty w przypuszczeniu powstawania depresji dodatkowej drogą mechaniczną, t. j. zapomocą wentylatorów i inżektorów przy stałej objętości powietrza, przepływającego przez system. Niemniej jednakże ważnym dla praktyki jest również problem wpływu na system przewietrzania zachodzących w atmosferze kopalnianej zmian termicznych, powstających skutkiem różnorodnych źródeł ciepłoty, jakie mogą istnieć w kopalni: maszyn parowych, kompresorów podziemnych, pieców, wreszcie zjawisk żywiołowych: lokalnego ogrzewania się terenu skutkiem ciśnienia, gorących źródeł i zwłaszcza pożarów podziemnych. Te zmiany termiczne również stwarzają depresje dodatkowe, które powodują zmiany w ustosunkowaniu ilości powietrza w bocznicach i obracania się prądów, przytem zjawiska im towarzyszące zachodzą przy zmiennych objętościach ilości przepływającego powietrza. Wobec szczególnej doniosłości wpływów termicznych na system wentylacyjny, trudności teoretyczne, jakie się mogą napotkać przy analizie zjawiska, nie mogą być powodem zaniechania rozwiązania

problemu i tam, gdzie teoria zawiedzie, powinien zamienić ją empiryzm naukowy. W tym względzie wskazanem jest przedsięwziąć szereg precyzyjnych doświadczeń, na naukowych podstawach opartych, np. w doświadczalnej kopalni, istniejącej przy stacji centralnej ratowniczej na Górnym Śląsku w Mikołowie. Jeżeli zważymy, że nieszczęśliwe wypadki uduszenia się gazami, gdy dla ratowania uległych wypadkowi śpieszą drużyny ratunkowe, mogą powstać również na skutek nieoczekiwanej zmiany kierunku prądów, przyjdziemy do przekonania, że problem trwałości prądów i systemów wentylacyjnych, zwłaszcza w czasie klęsk żywiołowych, powinien wchodzić w ogólny zakres zadań ratownictwa. Zagadnienie zabezpieczenia stabilizacji prądów lub określenia warunków ich nie trwałości jest zatem zagadnieniem uprzedzenia pewnej kategorii wypadków, tak samo, jak zagadnienia warunków eksplozji gazów i pyłu, bezpieczeństwa materiałów wybuchowych, warunków samozapalania się węgla, i na równi z temi zasługuje na studia eksperymentalne na stacjach doświadczalnych.

H. CZECZOTT

*prof. Akademii Górniczej w Krakowie,
b. prof. Inst. Górn. w Petersburgu.*

WSTĘP

Należyte ustosunkowanie ilości powietrza w poszczególnych bocznicach systemów rozgałęzionych stanowi zadanie r e g u l a c j i wentylacji. Powietrze dzieli się na poszczególne bocznicę w pewnej proporcji zależnie od oporów tych bocznic; nowe zatem ustosunkowanie ilości powietrza, czyli regulacja, osiąga się przez zmianę oporów. Taka zmiana oporów w kopalni może być wykonana celowo, lub też zachodzi ona niezależnie od naszej woli skutkiem ustawicznie zachodzących zmian w ugrupowaniach wyrobisk podczas odbudowy, lub wskutek odkształcenia i przebudowy wyrobisk uległych ciśnieniu i t. d. Niektóre z tych przyczyn niezależnych od naszej woli mogą być przewidziane i wpływy ich liczbowo ujęte, np. zmiany powstające przez bieg odbudowy; inne, jak zawalenie się stropu, nagłe ciśnienie, odtamowanie skutkiem pożaru i t. p. są zupełnie przypadkowe. Przyczyny te mogą działać albo powoli i stopniowo, np. zmiany wywołane stopniową odbudową, stopniowym ciśnieniem; lub też — raptownie, np. utworzenie nowego połączenia wyrobisk, raptowny zawał, raptowne odtamowanie pola etc. Wszystkie takie wypadki w odróżnieniu od regulacji celowej mogą być nazwane regulacją żywiołową. W regulacji celowej zadaniami są określone stosunki podziału powietrza i chodzi o stworzenie oporów dodatkowych o określonych wielkościach w określonych bocznicach. W zjawiskach regulacji żywiołowej powstają stopniowo lub raptownie określonej wielkości opory dodatkowe, nieznanymi zaś są powstające nowe ustosunkowania powietrza, które w przypadkach przewidzianych (przebiegiem odbudowy) wypada określić, aby w razie rozbieżności z wymaganiami można było w odpowiednim czasie poprawić je zapomocą regulacji celowej.

Stąd we wszystkich przypadkach regulacji mogą powstawać dwa zadania proste: p o d ł u g z a d a n e g o r o z d z i a ł u p o

więtrza określić opory dodatkowe, i odwrotnie: podług zadanych oporów znaleźć rozdział powietrza.

Oczywiście, że zmienić opór pewnej boczniccy możemy w sposób dwojaki: albo przez zwiększenie jej oporu, i w takim przypadku wprowadzamy pewien nowy opór dodatni, albo przez zmniejszenie, odejmując pewien opór, czyli, co na jedno wychodzi, dodając pewien opór odjemny. Stąd powstaje pojęcie regulacji dodatniej i regulacji odjemnej. Regulacja mieszana używa obydwu sposobów (jeżeli zmiany oporów muszą być wykonane więcej niż w jednej boczniccy).

Wszelka zmiana oporu może być wykonana bezpośrednio, t. j. przez rzeczową zmianę elementów, od których zależy opór całej boczniccy, pojętej jako kompleks wyrobisk i oporów elementarnych, lub też pośrednio, t. j. nie czyniąc rzeczowych zmian w elementach bocznic, ale zmieniając w pewnych bocznicach spadek ciśnienia, a czasami i temperaturę powietrza, co wywołuje taki efekt, jak gdyby zaszły rzeczowe zmiany w elementach bocznic. Możemy zatem mówić w tych przypadkach o wprowadzeniu fikcyjnych oporów dodatkowych dodatnich lub odjemnych, czyli o regulacji dodatniej lub odjemnej pośredniej.

Przy **regulacji bezpośredniej** opór dodatkowy dodatni stwarza się w wypadkach regulacji celowej:

- 1) przez zbudowanie tamy regulacyjnej z okienkiem,
- 2) przez wyłączenie niektórych prądów w systemach złożonych, pojętych jako jedna bocznicca.

W wypadkach regulacji żywiołowej:

- 3) przez wydłużanie się chodników w miarę rozwoju robót przygotowawczych,
- 4) przez zwięzanie się przekroju wyrobisk i ich ściślejszą przebudowę drzewną, wywołane ciśnieniem,
- 5) przez kompletne zawalenie się wyrobiska etc.

Opór dodatkowy odjemny przy regulacji celowej stwarza się:

- 1) przez przebicie chodników równoległych i wogóle przez stworzenie bardziej rozgałęzionych systemów w charakterze bocznic poszczególnych, utworzenie nowych połączeń etc.,
- 2) przez rozszerzanie chodników,
- 3) przez zamianę obudowy drzewnej murowaną, i wogóle

przez wzniesienie w wyrobiskach omurowania o gładkich ścianach (torkretowanie), łagodnych skrętach i t. d.

Przy regulacji żywiołowej:

4) przez skracanie się dróg w miarę zbliżania się robót odbudowy od granic nadania do szybów,

5) przez rozcięcie pól chodnikami odbudowy na filary i różne odcinki,

6) przez pozostawianie niezarabowanymi olbrzymich komór odbudowy,

7) przez nagłe połączenia wyrobisk między sobą i z powierzchnią na skutek rabunku i t. p.

Przy **regulacji pośredniej**, zapomocą depresji dodatkowej wentylatorem, zawsze celowej, opór dodatni stwarza się przez niezgodny kierunek depresji dodatkowej z pierwotną, opór odjemny — przez uzgodnienie kierunków obu depresyj. Przy regulacji pośredniej termicznej celowej zapomocą pieców podziemnych (ogniska) — opór dodatni bardzo rzadko stwarza się przez niezgodny kierunek powstającej depresji z pierwotną, pod warunkiem obrócenia się całego prądu, zwykle zaś odjemny — przez zgodny kierunek powstającej depresji; przy żywiołowej regulacji termicznej — najczęściej przez powstawanie pożarów — powstaje opór dodatni lub odjemny, zależnie od ustosunkowania się kierunków depresji.

Oczywiście, że wszelka regulacja oprócz zmiany stosunków ilości powietrza w poszczególnych bocznicach zmienia też ilość ogólną powietrza. Tak więc, regulacja dodatnia, stwarzając wogóle opory dodatkowe dodatnie, rzeczowe lub fikcyjne, zwiększa opór całego systemu, tem samem zmniejsza ogólną ilość powietrza. Przeciwnie, regulacja odjemna, zmniejszając opór ogólny, odpowiednio zwiększa ogólną ilość powietrza. Regulacja mieszana zajmuje stanowisko pośrednie.

Oczywiście, że w celowej regulacji pośredniej, mechanicznej bądź termicznej, wymagających stałego nakładu energii lub paliwa już tylko ze względów ekonomicznych powinna być stosowana regulacja odjemna, — a w przypadku termicznego regulowania — również ze względów bezpieczeństwa. Stąd też najczęściej regulację zapomocą depresji dodatkowej określamy jako regulację «odjemną», w przeciwstawieniu do bezpośredniej, najczęściej «dodatniej», nader prosto wykonywanej zapomocą tamy regulacyjnej,

bezpośrednia bowiem odjemna regulacja wymaga kosztów przebijania nowych wyrobisk, rozszerzania i przebudowy istniejących, i wogóle nie może służyć za wyjątkiem rzadkich wypadków dla zarządzeń natychmiastowych. Niemniej, wypadki regulacji dodatniej pośredniej, mechanicznej i termicznej, jakkolwiek rzadko, zdarzają się na praktyce, jak również i regulacja odjemna bezpośrednia może oddawać dobre usługi w przewietrzaniu kopalni, a w charakterze zjawiska żywiołowego jest nader częstą.

Pomimo, że regulacja pośrednia jest kosztowniejsza od bezpośredniej, bywa ona nieuniknioną, jeżeli przybiera charakter wentylacji zasadniczej w kopalni w tych przypadkach, gdy z różnych powodów wentylator musi być umieszczony pod ziemią w jednej z bocznic systemu rozgałęzionego. Nazwa «regulacja» dla tego zjawiska jest w takim przypadku czysto teoretyczną, i wskazuje na to, że krążenie powietrza w kopalni, wobec istnienia depresji naturalnej, ulega tym samym prawom, jak w przypadkach stosowania wtórnych wentylatorów do właściwych celów regulacyjnych. W tych ostatnich przypadkach, naturalnie, regulacja mogłaby być wykonaną bezpośrednio. Jednakże bezpośrednia dodatnia regulacja czasami zbyt znacznie powiększa opór ogólny, bezpośrednia odjemna — niezawsze może być szybko i wygodnie przeprowadzona; więc regulacja pośrednia i właśnie odjemna jest w tym przypadku najbardziej wskazaną. Najbardziej krańcowym przykładem zastosowania nieuniknionej regulacji pośredniej jest przewietrzanie głuchych przodków zapomocą lutni, które praktycznie nie nosi nawet charakteru regulacji, teoretycznie jednak należy do jednego szeregu zjawisk.

Pomimo że efekty osiągnięte przez regulację pośrednią i bezpośrednią mogą być także same, istnieje jednak zasadnicza różnica w zachodzących zjawiskach. Przy regulacji bezpośredniej bowiem wszelkie wprowadzenie zmiany w danej bocznicie zmienia opór tylko jedynie tej właśnie bocznicie, cały zaś opór systemu zmienia się o tyle, o ile jest funkcjonalnie zależny od oporu danej bocznicie. Przy regulacji pośredniej natomiast fikcyjne zmiany oporów pewnych bocznic zależne są od zmian spadków ciśnienia, jakie występują w tych bocznicach; ponieważ zaś wszelkie źródło depresji, powstałe w jakiegokolwiek bądź bocznicie wewnątrz kopalni, wpływa na rozkład ciśnienia w całym systemie kopalnianym albo w jego znacznej części, przeto zmiany w różnicach ciśnień zachodzą niemal we wszystkich elementach. Jeżeli zatem zamiast różnicy ciśnień (depresji) będziemy mieli na myśli fikcyjne opory im równoznaczne,

to zostają one wprowadzone niemal we wszystkich elementach systemu. Stąd też powstaje niemożliwość stosowania do poszczególnych bocznic systemów rozgałęzionych (§ 28) sposobów określenia oporów fikcyjnych całego systemu (podług § 27), za wyjątkiem wypadków, gdy opory zewnętrzne są tak małe, że praktycznie można je opuścić.

Na tej zasadzie wszystkie prawidła regulacji odjemnej i mieszanej systemów złożonych normalnych (§ 28 rozdz. VI) i zwłaszcza przekątnych (rozdz. VII i VIII) ważne są tylko dla wypadków regulacji bezpośredniej.

Zobaczmy, w jaki sposób zapomocą regulacji odjemnej bezpośredniej można rozwiązać zadanie § 36 rozdz. VII (str. 141, rys. hiperbol 30, str. 57, oraz sytuacji — rys. 23, str. 63).

Gdy chodziło o otrzymanie stosunków $X' = 8$, $Y' = 1,570$, określiliśmy, że w danym układzie jedynie możliwym jest sposób $(-a, -a')$, przyczem podług wzorów I i IV znaleźliśmy opory odjemne

$$\mu_a = -469; \quad \mu_{a'} = -49,7$$

Zatem opór a należy zmniejszyć z 481 do 12, t. j. 40 razy i opór a' — z 51 do 1,3, czyli również prawie 40 razy.

Zapewne, tak wielkie zmniejszenie oporów drogą bezpośrednią jest bardzo trudne do wykonania niewielkim kosztem, nie jest wszakże niemożliwe.

Gdybyśmy, np. zamienili obudowę drzewną przecznicy Nr. 23 (rys. 23, str. 63) na betonową, moglibyśmy przy zachowaniu tych samych wymiarów wewnętrznych w obudowie zmniejszyć opór tejże w stosunku współczynników oporów wyrobisk w obudowie drzewnej i betonowej, np. $0,0018 : 0,0002$, t. j. 9, a być może nawet 10 razy. Przebijając następnie obok przecznicy 23-ej drugą równoległą do niej i przeznaczając jedną dla prądu wchodzącego, a drugą dla prądu powracającego z szybiku XI (zamiast przedzielenia istniejącej przecznicy przepierzeniem), zwiększylibyśmy na znacznej części bocznic a poprzeczne wymiary tejże z $2 \times 1 = 2m^2$ do np. $2 \times 2 = 4m^2$, t. j. dwa razy, razem z tem zwiększyły się obwód z 6 m do 8, t. j. 1,33 razy. Opór wskutek tego zmniejszyłby się $\frac{2^3}{1,33} = 6$ razy, a wespół z zamianą obudowy drzewnej na betonową — 50—60 razy. Nietrudno tak dobrać we-

wewnętrzne wymiary nowej przecznicy równoległej, ażeby zmniejszenie oporu wypadło dokładnie 40-krotne.

Żądane zmniejszenie wielkości oporu bocznic a moglibyśmy łatwo osiągnąć najprzód przez przebicie od wschodniej strony drugiego chodnika równoległego do pochylni XXII i wykorzystanie dwóch chodników jednakowych wymiarów dla prądu a' , przez co opór bocznic zostałby zmniejszony 4 razy; następnie zamieniając obudowę drzewną na betonową potrafimy zmniejszyć opór tej bocznic jeszcze 10-krotnie, czyli ogółem możemy osiągnąć pożądane 40-krotne zmniejszenie oporu.

Gdy chodziło o ustalenie stosunków $X' = 2,95$ i $Y' = 3,05$ (str. 144) znaleźliśmy, że jedynie możliwym jest sposób ($-a$, $-b'$), przytem podług wzorów I i II określiliśmy opory odjemne:

$$\mu_a = -376 \quad \text{ i } \quad \mu_{b'} = -164.$$

Zatem nowe wielkości oporów powinny wynosić

$$a = 481 - 376 = 105; \quad b' = 337 - 164 = 173.$$

Czyli zmniejszenie a powinno być $481 : 105 = \sim 4$ -krotne, b' zaś $337 : 173 = \sim 2$ -krotne.

Czterokrotne zmniejszenie oporu a jest łatwo osiągalne tylko przez wybetonowanie przecznicy 23 na połowie jej długości (bez przebijania przecznicy równoległej, ale z zachowaniem przepierzenia betonowego).

Trudniej jest zmniejszyć opór bocznic b' , która, jak widać z rys. 23, składa się ze znacznej ilości chodników na pochylni XXV, XVII i chodnika głównego z równoległym na poziomie +180. Niepodobna wszystkie te chodniki rozszerzać lub obmurowywać, mało też miejsca zostało do przebicia nowych chodników. Być może wytorkretowanie znacznej części chodników, usuwając budynek, mogłoby w tym względzie dopomóc. Można też przebić następujące chodniki: 1) Poniżej chodnika głównego 0—0 między pochylnią XXII i następną na zachód od niej leżącą, przeznaczając ten chodnik razem z istniejącym poniżej chodnikiem dla prądu powrotnego, przyczem pochylnię XXII należy zapomocą pochyłej przebitki połączyć z podszybiem szybu IV, tłoczący zaś szymb «Aleksander» od strony południowej szczelnie odtamować. 2) Z chodnika równoległego do podstawowego w pokładzie «Szczęsny», w pobliżu punktu K , przebić szybik do pokładu «Fanny» (około 6 m wysokości), który należy połączyć następnie w pokładzie «Fanny»

trzema chodnikami z pochylnią XXV. Wobec stosunkowo nieznacz-
nego, bo tylko dwukrotnego zadanego zmniejszenia oporu bocz-
nicy b' , należy przypuszczać, że wyliczone zarządzenia mogą oka-
zać się wystarczającymi, co zresztą można sprawdzić przez obli-
czenie.

W § 38 (str. 147) podany jest przykład w tymże systemie
regulacji mieszanej celem osiągnięcia tych samych stosunków. Dla
ustalenia stosunków $X' = 8$ i $Y' = 1,57$ możliwych jest dwa sposoby
($+b, -a'$) oraz ($-a, +b'$). W pierwszym sposobie podług wzor-
ów III i IV obliczono $\mu_b = +4530$ i $\mu_{a'} = -49,7$.

Opór bocznic a' musi być zmniejszony do 1,3, a więc 40 razy,
co, jak wyjaśniliśmy wyżej, może być osiągnięte przez przebicie od
wschodu chodnika równoległego do poch. XXII i obmurowanie
obydwu chodników. Dodatnia regulacja w b zostanie wykonana
tą samą regulacyjną.

W drugim sposobie podług wzorów I i II ustalono

$$\mu_a = -469 \quad \text{i} \quad \mu_{b'} = +143.$$

Opór $\mu_a = -469$ zostanie osiągnięty, jak wykazaliśmy, przez prze-
bicie przecznicy równoległej do 23-ej, oraz obetonowanie każdej.

Gdy chodziło o ustalenie stosunków $X' = 2,95$ i $Y = 3,05$
(str. 148), okazało się możliwym zastosowanie trzech sposobów mie-
szanych: ($-a, +a'$), ($+b, -b'$) i ($+c, -a$).

W pierwszym sposobie ze wzorów I i IV znaleziono:

$$\mu_a = -376; \quad \mu_{a'} = +104$$

W drugim — podług wzorów III i II

$$\mu_b = +199 \quad \text{i} \quad \mu_{b'} = -164$$

W trzecim — podług VI i I

$$\mu_c = +1618 \\ \mu_a = -189$$

W pierwszym przypadku $\mu_a = -376$ osiągamy przez wybeto-
nowanie do połowy przecznicy 23 z zachowaniem przepiężenia;
w drugim przypadku $\mu_{b'} = -164$ osiągamy przez przebicie wska-
zanych wyżej wyrobisk w okolicy pochylni XXV i XXII, oraz wy-
torkretowanie większości chodników tamże; w trzecim wypadku
 $\mu_a = -189$ może być łatwo osiągnięte, jak w pierwszym przypadku,
przez częściowe obetonowanie przecznicy 23-ej. Ponieważ, jak

wskazuje podane w § 38 obliczenie oporów ogólnych, 1-y i 3-ci przypadek dają najmniejsze odchylenia jego wielkości (str. 150), przeto pod względem ekonomicznym są one najwygodniejsze, nadto są też najłatwiejsze do przeprowadzenia drogą odjemnej regulacji w bocznicy *a* jedynie przez częściowe jej wybetonowanie, przyczem w 3-cim sposobie na mniejszej odległości, niż w pierwszym.

Z przytoczonych przykładów widać, że regulacja odjemna bezpośrednia stwarza warunki mniej więcej stałe, które nie mogą być później łatwo zmieniane, i tem się niewygodnie odróżnia od regulacji dodatniej, która przy zastosowaniu tam regulacyjnych może być wykonywana bez przerwy. Na praktyce zatem pomocą regulacji odjemnej należy dążyć do utworzenia warunków zasadniczych na dłuższy okres czasu, dodatnią zaś — do bardziej precyzyjnego regulowania, stosownie do ustawicznych zmian, jakie mogą zachodzić w czasie odbudowy lub wskutek przyczyn żywiołowych.

O ile jednak precyzyjna regulacja w praktyce nie jest wymagana, regulacja odjemna może wykluczyć konieczność posługiwania się tamami regulacyjnymi, stwarzając mniej więcej prawidłowy podział powietrza. Odpowiada to lepiej warunkom praktycznym, gdyż tamy regulacyjne tylko wtedy przynoszą korzyść rzeczywistą, jeżeli są stale obserwowane, w przeciwnym razie stanowią tylko niepotrzebne przeszkody na drogach komunikacyjnych (nadto stwarzają niebezpieczeństwo t. zw. «krótkich spięć»).

Tak pojmowana regulacja odjemna wkracza w zakres planowania robót górniczych, które, jako prawo ogólne, powinny być tak prowadzone, żeby przy zachowaniu zasadniczych zadań prawidłowej eksploatacji oraz wytrzymałości wyrobisk stwarzały system wentylacyjny o jak najmniejszym oporze. Atoli warunek ten stałby w sprzeczności z zasadą prowadzenia niezbędnego minimum wyrobisk w celu możliwego zmniejszenia kosztów ich utrzymania. I w tym względzie konieczność przebicia niektórych wyrobisk, zbędnych z punktu widzenia potrzeb ogólnych lub szerszych, niżby to wynikało z zadań odstawy i komunikacji, wreszcie staranniej zabudowanych, aniżeli to byłoby usprawiedliwione przez wzgląd na ciśnienie, stanowiłoby zadanie regulacji odjemnej w ogólnem planowaniu przewietrzania. Naogół więc można określić regulację odjemną bezpośrednią jako — regulację bez tam regulacyjnych.

ROZDZIAŁ IX¹⁾

REGULACJA ZAPOMOCĄ WENTYLATORÓW W SYSTEMACH NORMALNYCH PROSTYCH

§ 47. Regulacja zapomocą wentylatorów odjemna.

Wyjaśnienia zjawiska. Rozpatrzmy najprzód przypadek regulacji odjemnej, t. j. przy zgodnych depresjach dodatkowej z pierwotną, jako częściej spotykanej w praktyce.

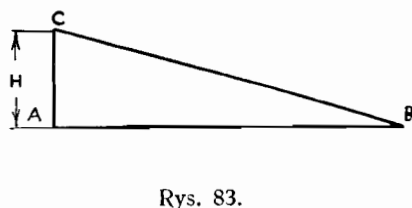
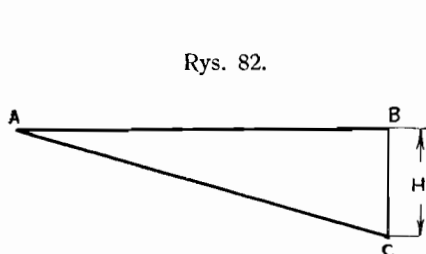
W § 27 rozdz. VI podany jest sposób regulowania absolutnego zapomocą depresji dodatkowej h_2 oraz wyprowadzone są wzory (161—166), określające bądź wielkość odpowiednich fikcyjnych oporów dodatkowych, jeżeli znany jest stosunek $h_2 : h_1$ depresji dodatkowej do pierwotnej, bądź wielkość depresji dodatkowej (ewent. stosunek jej do pierwotnej), jeżeli zadana jest, z warunków ogólnych wypływająca, wielkość oporu odjemnego. Jak wyjaśniliśmy we wstępie, wzory te mają wartość jedynie dla regulowania absolutnego, w zastosowaniu zaś do systemów normalnych przy regulacji stosunkowej jedynie wówczas, jeżeli nie stoją systemy te w żadnym złączeniu kolejnym, ewent. gdy elementy zewnętrzne są stosunkowo nieznaczne.

Wobec tego, gdy chodzi o regulację stosunkową zapomocą depresji dodatkowej, będziemy nadal zawsze przypuszczali, że system normalny znajduje się w kolejnym złączeniu z pewnym elementem zewnętrznym, gdyż wypadek przeciwny wyczerpuje się zasadami wyłożonemi w §§ 27 i 28.

Wszelki wentylator mechaniczny (zwykle wirujący) może działać ssąco lub tłocząco, zależnie od tego, czy zostanie on połączony z przewodnikiem przez otwór środkowy (naprzeciw koła wiadrakowego), czy też dyszą. Zależnie od ssącego czy tłoczącego dział-

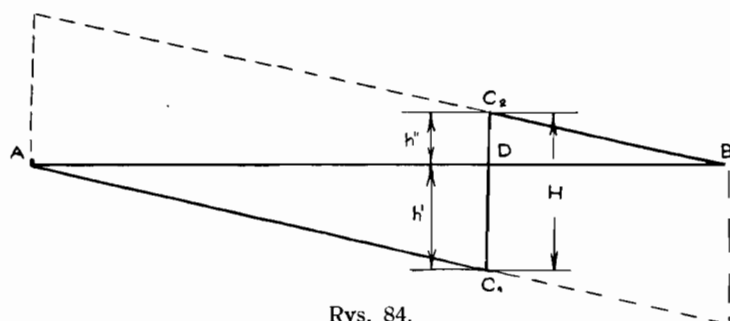
¹⁾ Niniejszą pracę uważamy jako ciąg dalszy szeregu artykułów z teorii wentylacji i dlatego nomenklaturę rozdziałów i §§ zachowujemy kolejną z rozdziałami i §§ pierwszego zeszytu, zatytułowanego «Teoria prądów przekątnych», co ułatwi późniejsze odsyłanie do poprzednich zeszytów.

lania wytwarza on w przewodniku bądź depresję, bądź kompresję. Jeżeli chodzi o zachowanie stałego kierunku prądu w przewodniku, wówczas dla osiągnięcia wentylacji ssącej umieścimy wentylator przy końcu przewodnika, dla tłoczącej zaś — na początku. Spadek ciśnienia w przewodniku AB (rys. 82) możemy w pierwszym przypadku przedstawić zapomocą linii pochyłej AC od A w kierunku do B , mieszczącej się całkowicie poniżej poziomej linii AB . W dru-



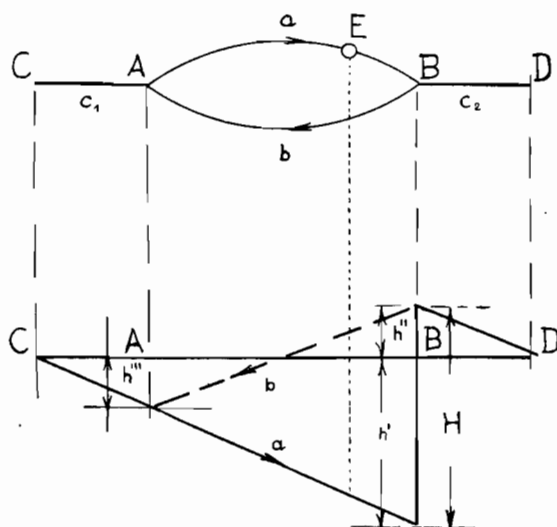
gim przypadku ta linia pochyła CB (rys. 83) mieści się nad linią poziomą AB . Odcinki rzędnych tych linii pochyłych przedstawiają różnice między ciśnieniem, jakie powstaje w danym punkcie przewodnika skutkiem działania wentylatora, a ciśnieniem atmosferycznym (t. j. ciśnieniem, które panowałoby w danym punkcie przewodnika, gdybyśmy wentylator zatrzymali). W przypadku więc wentylacji ssącej (rys. 82) mamy zawsze ujemne wielkości tych odcinków, czyli w każdym punkcie przewodnika panuje *de p r e s j a*, zaczynając od O na początku i osiągając w końcu przewodnika maximum BC równe całkowitej depresji H , wywołanej wentylatorem, umieszczonym w punkcie B , przy kierunku prądu od A ku B . W drugim przypadku wszystkie rzędne mają dodatnie wielkości; więc w każdym punkcie przewodnika panuje *nadciśnienie* (kompresja), które ma swoje maximum na początku przewodnika, równe całkowitej kompresji H , stworzonej wentylatorem, umieszczonym w punkcie A , i spada stopniowo do O na końcu przewodnika w punkcie B przy tym samym kierunku prądu od A ku B .

Jeżeli teraz umieścimy wentylator gdziekolwiekbyś pośrodku przewodnika w punkcie D (rys. 84), wówczas przy zachowaniu tegoż samego kierunku prądu od A ku B wentylator w tylnej części przewodnika AD , t. j. w tej części, skąd powietrze podąża do wentylatora, będzie działać ssąco, wytwarzając depresję $h' = DC_1$, w przedniej zaś — DB , t. j. w tej części, z której powietrze wychodzi z przewodnika, będzie działać tłoczaco, wytwarzając nadciśnienie.



Rys. 84.

nie $h'' = DC_2$. Suma depresji h' i kompresji h'' jest całkowitą różnicą ciśnień (będziemy ją nazywali depresją całkowitą), którą wytwarza dany wentylator ($h' + h'' = C_1C_2 = H$). Jeżeli linie AD i DB są proporcjonalne oporom przewodnika w tych częściach, to linie spadków ciśnień AC_1 i C_2B są proste i równoległe do siebie, oraz $h' : h'' = AD : DB$. Im więcej będziemy przesuwali wentylator w kierunku od B ku A , tem więcej jego działanie ssące przekształcać się będzie w tłoczące, przy tem jednak stale $h' + h'' = H$ i ogólna ilość powietrza, przepływająca przez przewodnik, będzie przeto zawsze ta sama, niezależnie od tego, w którym miejscu przewodnika umieszczony zostanie wentylator, o ile (co zakładamy) opór przewodnika nie zmienia się.



Rys. 85.

Jeżeli jednak wentylator znajduje się w jednej z bocznic systemu rozgałęzionego, wówczas nie możemy go nawet w myśli przesunąć poza końcowe punkty danej bocznicy, wskutek czego, jeżeli istnieją elementy zewnętrzne, to w końcowym z nich będziemy mieli zawsze kompresję h'' (rys. 85), której stosunek do depresji całkowitej H będzie się równał mniej więcej stosunkowi oporu elementu zewnętrznego c_2 do oporu całego przewodnika przez bocznicę a , w której stoi wentylator; w początkowym zaś elemencie c_1 będziemy mieli zawsze depresję h''' , której stosunek do całkowitej równa się mniej więcej stosunkowi oporu elementu początkowego do tegoż samego oporu całkowitego.

Jeżeli więc na rys. 85 w górnej części przedstawiony jest plan systemu normalnego prostego, składającego się z 2 bocznic — AaB i AbB w połączeniu z elementami zewnętrznymi — początkowym $CA (= c_1)$ i końcowym $BD (= c_2)$, a w dolnej — rozkład ciśnień, wówczas gdziekolwiekbyś umieszczony w bocznicy AaB wentylator będzie tak działał, jak gdyby był on ustawiony w punkcie końcowym tejże — B , wytwarzając poza nim depresję h' , t. j. w bocznicy a i elemencie początkowym c_1 , w końcowym zaś elemencie c_2 — kompresję h'' , największa wartość której jest w punkcie B . Ta wartość największa kompresji w B pozostanie stałą niezależnie od tego, czy będzie wentylator w bocznicy a odsunięty na dowolną odległość od B , np. w E , i czy panuje też w pewnej części tej bocznicy kompresja. Tak samo w elemencie początkowym c_1 mamy zawsze depresję h''' , której wartość największa h''' w punkcie A pozostaje stałą niezależnie od miejsca zajmowanego przez wentylator w bocznicy a .

Naturalnie, że w każdym miejscu, zajmowanym przez wentylator w bocznicy a , suma depresji h' , istniejącej poza nim, i kompresji h'' — przed nim, jest wielkością stałą i równa się depresji całkowitej wentylatora $h' + h'' = H$.

Widzimy zatem z rozkładu ciśnień, że o ile oprócz depresji H , wytworzonej przez wentylator, umieszczony gdziekolwiekbyś w bocznicy a , niema żadnej innej depresji w systemie, to w punkcie B (końcowym systemu normalnego) będzie zawsze istniało ciśnienie wyższe, niż w punkcie A (początkowym systemu normalnego), gdyż w pierwszym panuje kompresja, a w drugim — depresja. Stąd, w drugiej bocznicy — AbB prąd obowiązkowo będzie płynąć w kierunku odwrotnym, od B ku A , pod ciśnieniem $h'' + h'''$, a zatem w bocznicy AaB będzie płynęło o tę ilość więcej powietrza, ani-

żeli wchodzi do systemu przez punkt C , czyli — otrzymamy we-
wnątrz systemu rozgałęzionego krążenie w kierunku $AaBbA$ pew-
nej ilości tegoż samego powietrza.

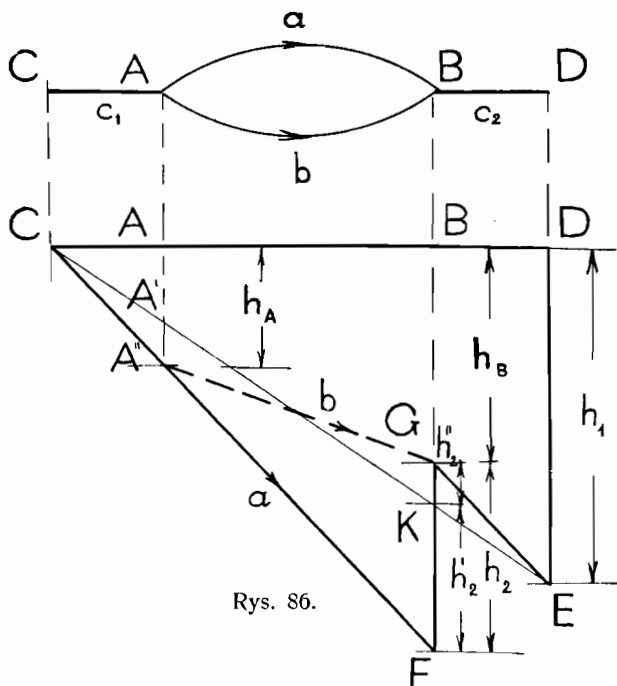
Jeżeli odpowiednie ilości powietrza w bocznicach a i b ozna-
czymy przez q_a i q_b , ogólną zaś ilość przez q , wówczas jasnem
jest, że:

$$\left. \begin{aligned} q &= q_a - q_b \\ q_a &= q + q_b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Oczywiście, że taki system przewietrzania w kopalni jest nie-
dopuszczalny, gdyż jeżeli bocznic a i b stanowią osobne pola ro-
bowe, to pole b nie otrzymywałoby wcale świeżego powietrza, nadto
i pole a otrzymywałoby powietrze zanieczyszczone przez powietrze
powracające z pola b , w razie zaś pożaru powstałego gdziekol-
wiekbądź (oprócz elementu końcowego c_2) cała kopalnia byłaby za-
grożona.

Wobec tego, wentylator w jednej z bocznic systemu rozgałę-
zionego może być umieszczony tylko wówczas, jeżeli istnieje pewna
depresja ogólna h_1 , stworzona przez pewne źródło na początku lub
końcu systemu ogólnego, t. j. w C lub D (co nie gra roli, i wobec
czego będziemy zawsze przypuszczali, że się znajduje w punkcie
końcowym — D), a umieszczenie wentylatora w jednej z bocznic
(będziemy zawsze przypuszczali w a) ma za cel jedynie wzmoże-
nie cyrkulacji powietrza w tejże bocznic, t. j. gdy chodzi o regu-
lację stosunkową odjemną pośrednią zapomocą
depresji dodatkowej h_2 , wytworzonej wtórnym
wentylatorem w jednej z bocznic systemu nor-
malnego.

Wtedy bowiem skutkiem działania jedynie depresji pierwotnej
 h_1 przy nieczynnym wentylatorze wtórnym wytwarza się pewien
spadek ciśnienia w całym systemie podług linii CE (rys. 86), przy-
czem $DE = h_1$. Wpływ zaś wentylatora wtórnego w bocznic a ,
który w myśli możemy zawsze przesunąć do punktu końcowego
bocznic, tj. do punktu B , a który wówczas w tem miejscu wytwa-
rza całkowitą depresję h_2 , zmienia ogólną linję ciśnienia w ten spo-
sób, że w części $CAaB$ wytworzy się w stosunku do linii CE de-
presja h'_2 , w elemencie zaś BD — w stosunku do tejże linii kom-
presja h''_2 podług łamanej linii $CFGE$, tak iż $FG = h'_2 + h''_2 = h_2$.
Oczywiście przy pewnych warunkach depresja w punkcie A
 $h_A = AA''$ nie przekroczy depresji w punkcie B $h_B = BG$



Rys. 86.

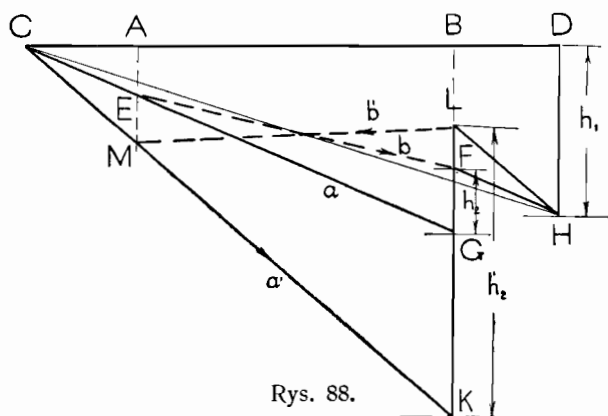
($AA'' < BG$) i wówczas prąd w bocznicy b zostanie zachowany w kierunku pierwotnym od A ku B , jak również zachowają się współzależności normalne:

$$\left. \begin{aligned} q &= q_a + q_b \\ q_a &= q - q_b \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Nietrudno widzieć z rozkładu ciśnień na rys. 86, że w bocznicy a skutkiem stworzenia depresji dodatkowej h_2 prąd płynie pod większym ciśnieniem, gdyż spadek linii ciśnień w tejże $A''F$ jest większy od pierwotnego spadku podług linii $A'K$, natomiast w bocznicy b prąd płynie pod mniejszym ciśnieniem, gdyż pochylenie linii $A''G$, przedstawiającej spadek ciśnienia w tejże po uruchomieniu wentylatora wtórnego w a , jest mniejsze od spadku linii $A'K$. Ponieważ zaś opory tych bocznic pozostają bez zmian, więc pod wpływem depresji dodatkowej ilość powietrza zwiększa się w bocznicy a i zmniejsza się w bocznicy b , czyli stosunek ilości powietrza zmienia się na korzyść a . Oprócz tego widzimy, że w częściach zewnętrznych CA i BD prąd płynie pod wpływem większej różnicy ciśnień, gdyż pochylenie linii CA'' i GE jest większe od

Z drugiej strony, jeżeli (rys. 88) depresja dodatkowa $h_2 = GF$ powoduje pochylenie linii ciśnień EF w bocznicy b na prawo w kierunku D i prąd płynie w niej w kierunku normalnym, to w tym samym systemie większa depresja dodatkowa $h'_2 = KL > GF$ przy tej samej depresji pierwotnej h_1 może spowodować pochylenie linii ciśnień LM w bocznicy b w kierunku przeciwnym, i prąd w tejże zostanie obrócony.

Stąd, im większy jest stosunek depresji dodatkowej h_2 w jednej z bocznic systemu normalnego, do pierwotnej h_1 , tem większe istnieje niebezpieczeństwo obrócenia się prądu w drugiej



bocznic, przy pewnym zaś stosunku tych depresyj prąd w niej ustaje.

Z tych więc względów w zadaniach regulacji odjemnej za pomocą depresji dodatkowej musimy dobrać taki stosunek depresji $h_2 : h_1$, a czasami oporów $CA + BD : AaB$, ażeby prąd w b zachował swój kierunek normalny. Zresztą celem regulacji stosunkowej jest właśnie osiągnięcie określonego rozdziału powietrza przy zachowaniu tych samych kierunków prądów w bocznicach przez dobór odpowiedniej depresji h_2 w stosunku do h_1 i skutkiem tego celowo nie może być spowodowane obrócenie się prądu w jednej z bocznic normalnych, co jest i niedopuszczalne ze względu na stworzenie krążenia zużytego powietrza w całym systemie ¹⁾ (prze-

¹⁾ Należy tu podkreślić drugą możliwość obracania się prądów, mianowicie — pod wpływem depresji dodatkowej w bocznicach systemów normalnych. Pierwszą możliwość mieliśmy w systemach przekątnych obrócenia się prądów przekątnych. Rozdz. IV, § 17.

ciwnie, w systemie przekątnym obrócenie prądu w bocznicę przekątnej może być celem regulacji). W praktyce w wielu przypadkach przekładają regulację odjemną w a nad dodatnią w b ; mianowicie, jeżeli tama regulacyjna w b zawadza ruchowi wozów, lub z jakichkolwiek bądź innych względów nie może być zbudowana, albo jeżeli przez znaczne zwężenie prądu b w okienku tamy regulacyjnej zbyt znacznie zmniejsza się ogólna ilość powietrza w systemie, podczas gdy przez ustawienie wentylatora wtórnego w bocznicę a nie tylko zostaje wolna bocznicza b , ale nadto oprócz należytego ustosunkowania powietrza osiąga się powiększenie jego ogólnej ilości. Niemniej, ponieważ obrócenie się prądu może być spowodowane przez zmianę stosunków oporów, a zatem albo przez bieg robót, albo przez przyczyny działające żywiołowo, wreszcie przez nieodpowiednią akcję ratunkową w czasie klęsk żywiołowych zapomocą budowania tam i t. p., przeto kierownictwo kopalni powinno mieć w takim razie zawsze na uwadze możliwość nieoczekiwanego obrócenia się prądu b .

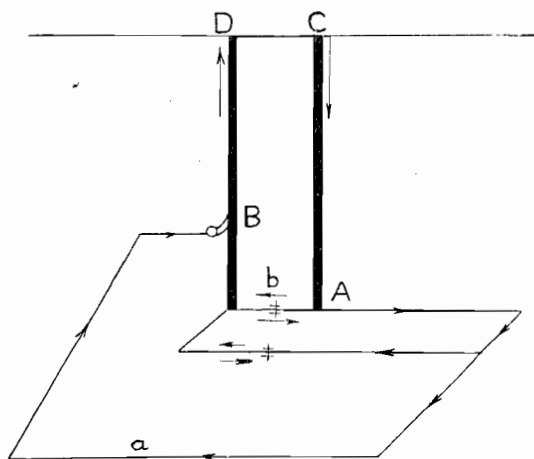
Stąd płynie niebezpieczeństwo wentylatorów wtórnych, używanych do regulacji odjemnej wewnątrz kopalni.

Jeszcze większe niebezpieczeństwo obrócenia się prądu istnieje w przypadku, gdy wtórna depresja w jednej z bocznic systemu normalnego jest wytworzona przez podziemny wentylator główny, przyczem rolę depresji pierwotnej odgrywa depresja naturalna.

Nie można nie podkreślić w tem miejscu niebezpieczeństwa ustawiania głównych wentylatorów pod ziemią nie w całym prądzie, lecz w głównej bocznicę, jak to można spotkać w niektórych naszych wielkich kopalniach węgla. W takich bowiem wypadkach niebezpieczeństwo obrócenia się prądu b zwiększa się dlatego, że oprócz zmian w oporach, które zachodzą czasami żywiołowo i wymykają się z pod naszej kontroli, występuje jeszcze jedna zmienna wielkość, która może spowodować obrócenie się prądu, a która również nie może być łatwo objęta wygodną codzienną kontrolą, — mianowicie — depresja naturalna. Ta ostatnia w porównaniu z depresją sztuczną podziemnego wentylatora posiada zwykle nader małą wielkość i dlatego stosunek do niej depresji wentylatora jest zazwyczaj wysoki. Nadto, ulegając częstym zmianom, powoduje częste i znaczne zmiany stosunku do niej depresji sztucznej, a więc

łatwo stosunek ten może przekroczyć granice bezpieczne. Gdy podziemny wentylator służy jedynie do regulacji, ogólne zaś przewietrzanie kopalni uskutecznia się wentylatorem nadziemnym, wówczas zwykle depresja wentylatora wtórnego h_2 jest mniejsza od depresji wentylatora pierwotnego h_1 i stosunek $h_2 : h_1$ zwykle bywa < 1 . Stąd zmiany depresji naturalnej, mając w tym przypadku nieznaczny wpływ na ogólną depresję pierwotną, nie mają praktycznie żadnego też wpływu na stosunek $h_2 : h_1$ i dlatego też wydaje się wykluczonem obrócenie się prądu skutkiem tej przyczyny przy właściwej regulacji odjemnej.

Ażeby lepiej uświadomić sobie niebezpieczeństwo wentylatorów podziemnych głównych, obejmujących nie cały prąd kopalni,



Rys. 89.

lecz tylko część tegoż w jednej z bocznic, przytoczmy następujący przykład, zaczerpnięty z praktyki jednej z większych kopalń naszego zagłębia węglowego. — Kopalnia posiada jedynie dwa głębokie ($\sim 450\text{ m}$) szyby bliźniacze CA — wydobywczy, wdechowy, i DB — wentylacyjny wydechowy (rys. 89), który przy znacznej wydajności kopalni służy również dla wy-

dobycia urobku, lub tylko jako szyb pomocniczy, np. przy przygotowaniu dolnych poziomów, albo dla spuszczenia materiałów, wyciągania ludzi etc.

Ponieważ z różnych powodów bywa niewygodnem ustawianie w takich wypadkach wentylatora na powierzchni, a z drugiej strony nie można też szybu wentylacyjnego połączyć bezpośrednio z wentylatorem na dole, gdyż i podszybie musi pozostawać wolne dla różnych czynności, wówczas często przychodzi myśl postawienia wentylatora B na pewnym poziomie pośrednim, skierowując dyszę wentylatora do szybu. Oczywiście, na dole obydwie szyby są przedzielone tamami z drzwiami, ustawionymi w chodnikach, łą-

czących podszybia, i zwykle tamy te zostają zamknięte. Niemniej wobec ustawicznej komunikacji między szybami tamy te nie mogą być szczelne i przepuszczają powietrze. Czasami też istnieją umyślnie zostawione prądy pomiędzy szybami, przeznaczone do przewietrzania stajni, komór maszynowych, składów materiałów wybuchowych, i w prądach tych oczywiście znajdują się ludzie. Prądy te zwykle są zwężone przez okienka tam regulacyjnych. Wszystkie te umyślne, jak też uciekające prądy, tworzą razem prąd *b* systemu normalnego, włączonego pomiędzy szybem wydobywczym w punkcie *A*, a poziomem pośrednim w szybie wentylacyjnym pod wentylatorem *B*, którego druga bocznicą *a* stanowi prąd główny, płynący przez pola robocze pod wpływem wentylatora, umieszczonego w końcu tej bocznicy. Wentylator taki oprócz swego celu głównego przewietrzania robót spełnia funkcję regulacji odjemnej, gdyż zmusza główną część powietrza z szybu wydobywczego płynąć przez długą bocznicę robót górniczych zamiast krótkim spięciem od razu do szybu, co miałoby miejsce nieodzownie w razie ustawienia wentylatora głównego nad szybem wentylacyjnym na powierzchni. Przy wentylatorze ustawionym na powierzchni skierowanie głównej masy powietrza na roboty zależy jedynie od regulacji dodatniej w bocznicach *b* i wówczas istnienie w nich dobrze zaopatrzonych tam jest koniecznością nieodzowną. Natomiast wentylator podziemny umieszczony w bocznicy *a*, wypełniając regulację odjemną, zmniejsza rolę tam regulacyjnych w *b* i te ostatnie instynktownie przez załogę kopalnianą przestają być obserwowane, gdyż ludzie wkrótce praktycznie przekonywują się, iż niezamykanie tych tam nie pociąga za sobą zbyt znacznego pogorszenia przewietrzania pól roboczych. Możliwość pozostawienia ich nawet otwartymi w niektórych wypadkach może stworzyć przeświadczenie o zaletach takiego systemu wentylacji.

Pomimo to system taki musi być uznany za niebezpieczny i powinien być unikany. Istotnie, pomiędzy szybami istnieje zawsze depresja naturalna h_1 , zazwyczaj bardzo niska, zwłaszcza w kopalniach nowoczesnych całkowicie zelektryfikowanych, nie posiadających w szybach rur parowych. Ta depresja naturalna powinna być rozpatrywana jako pierwotna, gdyż działa ona zzewnątrz na cały system. W stosunku do niej wentylator *B* w bocznicy *a* wytwarza depresję dodatkową h_2 , której wielkość zazwyczaj jest w stosunku do depresji naturalnej bardzo znaczna. A więc

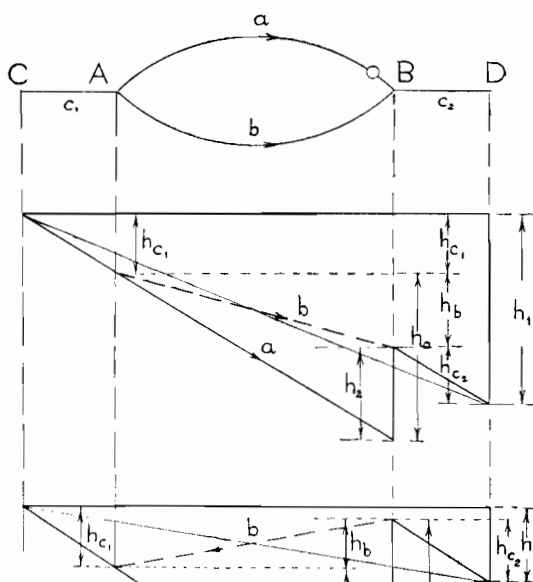
istnieją warunki, w których obrócenie się prądu b może nastąpić bardzo łatwo skutkiem przyczyn żywiołowych.

Przedewszystkiem nikła depresja naturalna, uwarunkowana jedynie nieznaczną różnicą temperatury powietrza wchodzącego i wychodzącego, może łatwo ulegać zmianom w zależności od warunków atmosferycznych i latem np. może ona wielokrotnie spaść w stosunku do depresji zimowej, a zatem stosunek do niej depresji wentylatora h_2 może się podnieść wielokrotnie i tylko od tej jednej przyczyny otrzyma się krążenie powietrza w dolnej części szybu wentylacyjnego ku dołowi, a stąd pod szyb wydobywczy, gdzie się miesza z całą ilością powietrza schodzącego tym szybem, skierowując się na roboty. Opadająca w szybie wentylacyjnym woda może łatwo temu dopomóc. Jeżeli w tym czasie powstanie w bocznicy a pożar, który przez lokalne ogrzanie stworzy nowe źródło depresji h_3 , sumujące się z depresją wentylatora, jako znajdujące się z nim w jednej linii, to tem samem stosunek $(h_2 + h_3)$ w stosunku do h_1 zmienić się może tem łatwiej na korzyść obrócenia się prądu b , przy tem oczywiście przedewszystkiem ludzie zatrudnieni na podszybiu, w stajni, komorach maszynowych ulegną zaczadzeniu; nadto przy większym rozwoju pożaru ludzie znajdujący się w prądzie a zostaną zaskoczeni przez gazy od tyłu i wszelka odzież zostanie uniemożliwiona. Obok tego, pomimo że szyby o szerokim przekroju z obudową betonową posiadają bardzo nieznacznym opór właściwy, wszakże opór sieci wewnętrznej, acz długiej, lecz wielce rozgałęzionej, również może być bardzo mały, tak iż stosunek oporu szybów do oporu sieci wewnętrznej nie jest wielkością nieskończenie małą. Przeciwnie, w wielkich kopalniach stosunek ten, acz niewielki, łatwo może ulec widocznym zmianom; ale przy tem należy pamiętać, że zwykle metody polepszania warunków przewietrzania przez możliwe rozgałęzianie systemu, w danym przypadku w zastosowaniu do bocznicy a , zmieniają w sposób niewygodny stosunek oporów zewnętrznych do wewnętrznych w sensie ułatwienia obrócenia się prądu b . W ten sposób przy opisanym systemie wentylacji istnieje cały szereg okoliczności wielce sprzyjających obróceniu się prądu pomiędzy szybami i wywołaniu katastrofy, która wobec braku przeświadczenia o groźącym niebezpieczeństwie może być niesłusznie uznana za żywiołową. Stąd też powstaje ważność teoretycznej analizy problemu regulacji zapomocą depresji dodatkowej, jak też wa-

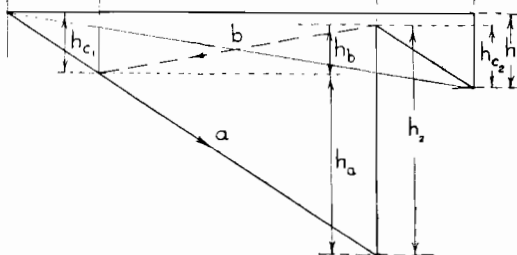
runków, przy których prądy w bocznicach systemów normalnych mogą być obrócone.

§ 48. Analiza regulacji odjemnej zapomocą depresji dodatkowej, stworzonej wentylatorem wtórnym. Przypuśćmy, że mamy system normalny podwójny (rys. 90) AB , złączony szeregowo z elementami zewnętrznymi CA i BD . Oznaczmy $CA = c_1$, $AaB = a$, $AbB = b$, $BD = c_2$. Litera a , b , c_1 , c_2 oznaczają jednocześnie opory odnośnych gałęzi w miurgach. Oznaczmy nadal wartości absolutne spadków ciśnień w odnośnych elementach przez h_{c_1} , h_a , h_b , h_{c_2} , oraz ilości powietrza w bocznicach a i b przez q_a i q_b (bez względu na kierunek prądu), ogólną zaś ilość powietrza płynącą w c_1 i c_2 — przez q . Rys. 90 pokazuje rozkład spadków ciśnienia w przypadku, gdy prąd w bocznicach a i b posiada kierunek normalny, rys. zaś 91 — w przypadku obrócenia się prądu w b ; h_1 jest depresją pierwotną; h_2 — depresją dodatkową w bocznicach a .

Rys. 90.



Rys. 91.



W pierwszym przypadku mamy oczywiście:

$$q = q_a + q_b \quad (1)$$

w drugim:

$$q = q_a - q_b \quad (2)$$

Wychodząc z rys. 90 i 91, możemy napisać w pierwszym przypadku:

$$\left. \begin{aligned} h_{c_1} + h_b + h_{c_2} &= h_1 \\ h_a - h_b &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

a w drugim:

$$\left. \begin{aligned} h_{c_1} - h_b + h_{c_2} &= h_1 \\ h_a + h_b &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

lub też zamieniając

$$h_{c_1} + h_{c_2} = h_c$$

$$\left. \begin{aligned} h_c + h_b &= h_1 \\ h_a - h_b &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)'$$

$$\left. \begin{aligned} h_c - h_b &= h_1 \\ h_a + h_b &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)'$$

Następnie, wychodząc ze wzoru

$$\mu = \frac{h}{q^2} \cdot 1000$$

możemy dla obydwu przypadków łącznie ułożyć równania:

$$\left. \begin{aligned} c \cdot q^2 \pm b \cdot q^2_b &= M_1 \cdot q^2 \\ a q^2_a \mp b q^2_b &= M_2 \cdot q^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

gdzie górne znaki stosują się do przypadku normalnego kierunku prądu b , dolne zaś — do obróconego. Oprócz tego:

$c = c_1 + c_2$ — oznacza wspólny opór elementów zewnętrznych w miurkach,

$M_1 = \frac{h_1}{q^2} \cdot 1000$ — opór całego systemu względem depresji pierwotnej h_1 ,

$M_2 = \frac{h_2}{q^2} \cdot 1000$ — opór całego systemu względem depresji dodatkowej h_2 .

Dzieląc wzory (5) przez q^2 , otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c \pm b \left(\frac{q_b}{q} \right)^2 \\ M_2 &= a \left(\frac{q_a}{q} \right)^2 \mp b \left(\frac{q_b}{q} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Oznaczmy teraz stosunki:

$$\left. \begin{aligned} \frac{q_a}{q} &= X \\ \frac{q_b}{q} &= Y \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

przyczem oczywiście według (1) i (2):

$$X \pm Y = 1 \quad (8)$$

Wstawmy (7) do (6), wówczas otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c \pm bY^2 \\ M_2 &= aX^2 \mp bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

albo, uwzględniając (8):

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c \pm b(1 - X)^2 \\ M_2 &= aX^2 \mp b(1 - X)^2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

lub:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c \pm bY^2 \\ M_2 &= a(1 \mp Y)^2 \mp bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Dzieląc równania drugie przez pierwsze w grupach (10) i (11) oraz uwzględniając, że przy tej samej ogólnej ilości powietrza opory są proporcjonalne do depresji, otrzymamy:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX^2 \mp b(1 - X)^2}{c \pm b(1 - X)^2} = n \quad (12)$$

oraz:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{a(1 \mp Y)^2 \mp bY^2}{c \pm bY^2} = n \quad (13)$$

gdzie n oznacza stosunek depresji wtórnej do pierwotnej.

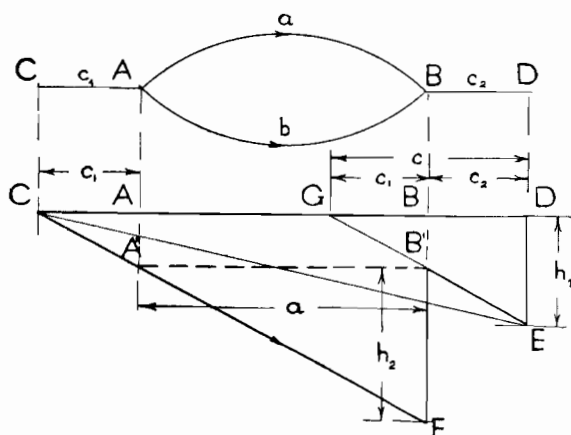
Równania (12) i (13) dają możliwość określić stosunek X albo Y (przy tem drugi stosunek określi się z 8) zależnie od zadanego

stosunku depresyj n (przyjmujemy, że wielkości a, b, c są dane), lub odwrotnie, wychodząc z zadanych stosunków X i Y przy zachowaniu warunku (8), znaleźć niezbędny dla osiągnięciażądanego podziału powietrza stosunek depresyj.

Oczywiście w zadaniach regulacji odjemnej celowej danymi są zawsze X i Y ; przyczem rozwiązywać będziemy równanie (12). Gdy zadane jest n , będziemy zawsze określali najprzód X podług równania (12), a Y określi się z (8), gdyż przy odjemnej regulacji w a chodzi przede wszystkim o wzmoczenie cyrkulacji powietrza w tej bocznicy, t. j. ciekawym jest stosunek X .

Jednakże gdy zadane jest n nie wiemy naprzód, jaki kierunek będzie miał prąd w b . Rozwiązujemy więc najprzód dla kierunku normalnego, przyjmując w (12) górne znaki, i jeżeli rezultat otrzyma się urojony, wypadnie zrobić przypuszczenie, że prąd w b płynie w kierunku odwrotnym i przyjmując znaki dolne.

Nietrudno jednak ustalić dokładnie graniczną wielkość stosunku n , przy którym następuje zatrzymanie się prądu w b , a po przekroczeniu którego prąd w b obraca się. Jeżeli założymy, że w bocznicy b nie zachodzi żaden ruch powietrza, wówczas musimy przyjąć, że na obydwóch punktach końcowych tej bocznicy panuje ta sama depresja. Wobec tego na wykresie rozkładu ciśnień (rys. 92) linia spadku ciśnienia w b powinna być prostą $A'B'$, równoległą do AB . W danym przypadku odcinek $AB = A'B'$ równa się dokładnie oporowi całego systemu wewnętrznego, gdyż jeśli w b niema żadnego prądu wogóle, cały system wewnętrzny składa się jedynie z bocznicy a . Ponieważ $CF \parallel B'E$, przeto przedłużając $B'E$



Rys. 92.

do przecięcia się z CD w punkcie G , otrzymamy $GB = CA = c_1$; skąd $GD = c_1 + c_2 = c$. Następnie z podobnych trójkątów GDE i $A'B'F$ wyprowadzamy:

$$B'F : DE = A'B' : GD$$

czyli:

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{a}{c}$$

oczywiście warunkiem zachowania prądu b o normalnym kierunku ruchu (od A do B) jest:

$$n < \frac{a}{c}$$

podczas gdy warunek:

$$n > \frac{a}{c}$$

określa obrócenie się prądu w b .

Stosunek $n = \frac{a}{c}$ podług propozycji inżyniera Koguta nazywamy krytycznym.

W ten sposób na podstawie stosunku krytycznego możemy odrazu wybrać w równaniu (12) właściwe znaki, aby uniknąć urojonych.

Gdy w ten sposób zostaną znalezione stosunki X i Y , o p ó r o g ó l n y określi się podług jednego ze wzorów (9), (10), (11) dla M_1 względem depresji pierwotnej, albo dla M_2 względem depresji dodatkowej, ilości zaś powietrza ogólne, wyliczone podług wzorów:

$$q = \sqrt{\frac{h_1 \cdot 1000}{M_1}}$$

albo:

$$q = \sqrt{\frac{h_2 \cdot 1000}{M_2}}$$

będą oczywiście identyczne.

W ten sposób cały problem regulacji odjemnej zapomocą depresji dodatkowej zostaje rozwiązany.

Rozwiązując równanie (12) względem X , otrzymamy równanie drugiego stopnia w postaci ogólnej:

$$X^2 + PX + Q = 0 \quad (14)$$

gdzie:

$$P = \pm \frac{2b(1+n)}{(a \mp b) \mp bn} \quad (15)$$

$$Q = - \frac{nc \pm b(1+n)}{(a \mp b) \mp bn} \quad (16)$$

poczem

$$X = - \frac{P}{2} \pm \sqrt{\frac{P^2}{4} - Q} \quad (17)$$

Z (14) możemy wyprowadzić analitycznie ten sam warunek obrócenia prądu b , któryśmy wyprowadzili wyżej drogą graficzną. Jeżeli cały prąd płynie przez bocznice a , wówczas stosunek $X = I$. Zatem równanie (14) przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} 1 + P + Q &= 0 \\ P + Q &= -1 \end{aligned}$$

Wstawiając wartości P i Q z (15) i (16), otrzymamy:

$$2b(1+n) - [nc + b(1+n)] = -[(a-b) - bn]$$

skąd:

$$n = \frac{a}{c} \quad (18)$$

Zamiast rozwiązywania równania (14) i wykonywania dosyć skomplikowanych obliczeń podług wzorów (15), (16) i (17) lepiej jest posilkować się metodą graficzną.

W tym celu podzielmy jedno przez drugie równania (9):

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX^2 \mp bY^2}{c \pm bY^2}$$

skąd:

$$\begin{aligned} n(c \pm bY^2) &= aX^2 \mp bY^2 \\ aX^2 \mp (n+1)bY^2 &= nc \end{aligned}$$

albo:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{nc}{a}\right) \mp \left(\frac{n}{n+1}\right) \cdot \frac{c}{b}} = 1 \dots C_1, C_2 \quad (19)$$

Dodając współzależność (8)

$$X \pm Y = 1 \quad (20)$$

możemy znaleźć X i Y jako współrzędne punktu przecięcia się krzywej stożkowej (19) z prostą (20). Krzywa stożkowa jest hiper-

boleą w przypadku normalnego prądu b , oraz elipsą — w przypadku odwróconego prądu.

Jaką postać krzywej (19) należy brać dla zadanego stosunku n , zależy od warunku ustania prądu w b . Warunek ten w tej postaci (18) może być prościej wyprowadzony z równania (19).

Istotnie, gdy prądu w b niema, wówczas

$$X=1; \quad Y=0$$

oraz bezpośrednio z (19) otrzymujemy warunek (18):

$$\frac{nc}{a} = 1$$

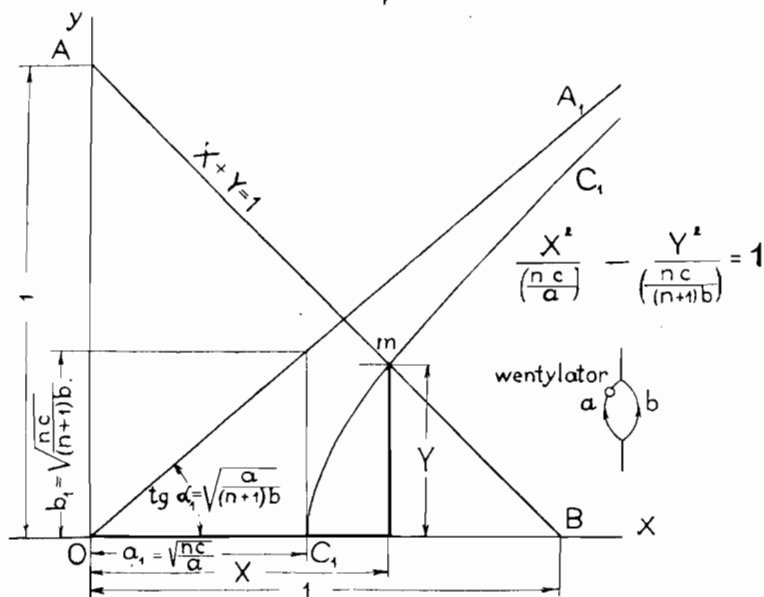
skąd:

$$n = \frac{a}{c}$$

Oczywiście będziemy wykreślać krzywą tylko w prawej górnej ćwiertni, jedynie bowiem dodatnie wartości X i Y mogą mieć sens (jeżeli w tych stosunkach nie uwzględniamy kierunków prądu).

Więc, dla wyrysowania hiperboli C_1 (rys. 93) wyliczamy najprzód pół osi rzeczywistą, zawsze na osi odciętych:

$$a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}} \quad (21)$$



Rys. 93.

półoś urojoną, zawsze na osi rzędnych:

$$b_1 = \sqrt{\frac{nc}{(n+1) \cdot b}} \quad (22)$$

tangens kąta nachylenia asymptoty OA_1 :

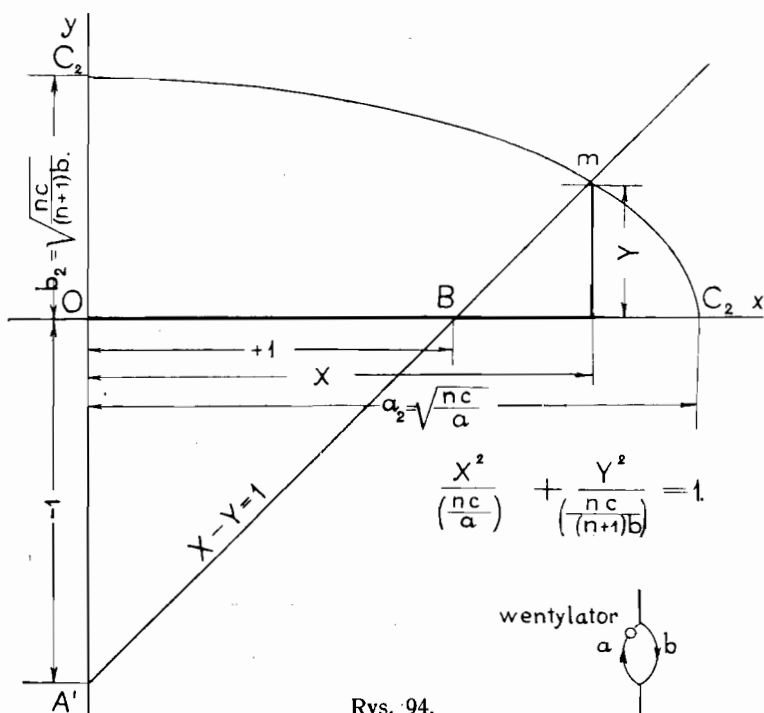
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{b_1}{a_1} = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}} \quad (23)$$

Dla wyrysowania elipsy C_2 (rys. 94) mamy te same wartości półosi wzdłuż osi odciętych (21) i wzdłuż osi rzędnych (22).

Punkty pośrednie krzywych mogą być wyrysowane dowolnym sposobem z dowolną dokładnością. (Zapewne, wyrysowanie krzywych od ręki na papierze milimetrowym przy pewnej wprawie, jak przy wyrysowaniu hiperbol zasadniczych w systemach przekątnych, może dać rozwiązanie zupełnie wystarczającej dokładności dla celów praktycznych).

W przypadku hiperboli prosta (20) ma postać

$$X + Y = 1$$



Rys. 94.

$$\text{albo} \quad Y = 1 - X \quad (24)$$

Jest to prosta przecinająca oś rzędnych w odległości $+1$ od początku układu, a pochylona do osi odciętych pod kątem $\text{tg} \alpha = -1$, czyli pod kątem 135° (rys. 93 — AB). Prosta ta oczywiście wówczas tylko przetnie hiperbolę w prawej górnej ćwierci, gdy pólś rzeczywista jest mniejsza od 1:

$$a_1 < 1$$

$$\sqrt{\frac{nc}{a}} < 1$$

skąd

$$n < \frac{a}{c},$$

otrzymujemy znowu ten sam warunek (18) zachowania normalnego kierunku prądu w b .

W przypadku elipsy prosta (20) ma postać

$$X - Y = 1$$

$$\text{albo} \quad Y = -1 + X \quad (25)$$

Jest to prosta, przecinająca oś rzędnych w odległości -1 od początku układu (rys. 94 — $A'B$), a pochylona do osi odciętych pod kątem $\text{tg} \alpha = +1$, t. j. wznosi się do góry pod kątem 45° . Prosta ta przecina oś odciętych w tym samym punkcie B , co i poprzednia, t. j. w odległości $+1$ od początku. Oczywiście dlatego, żeby ona mogła przeciąć elipsę w prawej górnej ćwierci, niezbędnem jest ażeby pólś elipsy wzdłuż osi odciętych była większa od jedności:

$$a_2 = \sqrt{\frac{nc}{a}} > 1$$

stąd

$$n > \frac{a}{c}$$

jest warunkiem obrócenia się prądu w b .

Zróbmy analizę zespołu równań:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{nc}{a}\right)} \mp \frac{Y^2}{\left(\frac{n}{n+1}\right) \cdot \frac{c}{b}} = 1 \quad (19)$$

$$X \pm Y = 1 \quad (20)$$

w zależności od zmian, jakim może ulegać $n = \frac{h_2}{h_1}$ w granicach wszystkich dodatnich wartości od 0 do $+\infty$. Warunek $n = 0$ od-

się z nią w punkcie, którego rzędne Y_0 i X_0 stosują się do siebie jak tg kąta nachylenia asymptoty:

$$\frac{Y_0}{X_0} = \sqrt{\frac{a}{b}} \quad (26)$$

Jest to zupełnie zrozumiałe, gdyż w braku depresji dodatkowej powietrze dzieli się na bocznicę w systemie normalnym pod wpływem depresji pierwotnej w stosunku odwrotnym do pierwiastków z ich oporów.

Jeżeli n zaczyna powiększać się od O , wówczas półoś rzeczywista $a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}}$ — powiększa się zaczynając od O , lecz $\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$ — zmniejsza się i hiperbola, oddalając się swym wierzchołkiem od początku układu, stale się zwęża, asymptota bowiem obraca się około środka krzywej w kierunku na prawo, przy tem stosunki X i Y , jako współrzędne punktów przecięcia się hiperboli z prostą (AB), zmieniają się w ten sposób, że X wzrasta, Y zaś zmniejsza się podług równania prostej AB (24), sięgając swoich granicznych wartości $X=1$ i $Y=0$, gdy półoś rzeczywista, wzrastając, staje się równą 1, t. j. gdy $n = \frac{a}{c}$. W tej chwili

asymptota OA''_1 jest pochylona pod kątem $\operatorname{tg} \alpha''_1 = \sqrt{\frac{a}{\left(\frac{a}{c}+1\right)b}} = \sqrt{\frac{c}{a+c} \cdot \frac{a}{b}} < \sqrt{\frac{a}{b}}$ i hiperbola zajmuje swoją krańcową pozycję BC''_1 ; poczem ona przestaje przecinać się z prostą AB w prawej górnej ćwierci i prąd w bocznicę b zostaje obrócony.

Hiperbola więc zamienia się w elipsę C'_2B , wpisaną pomiędzy wierzchołki dwu gałęzi hiperboli i posiadającą w chwili, gdy $n = \frac{a}{c}$, jednostajne z hiperbolą półosie.

Przy dalszem wzrastaniu n do ∞ obydwie półosie elipsy rosną, przy tem półoś wzdłuż osi odciętych

$$a_2 = \sqrt{\frac{nc}{a}} \text{ od } 1 \text{ do } +\infty$$

półoś zaś wzdłuż osi rzędnych

$$b_2 = \sqrt{\frac{nc}{(n+1)b}} = \sqrt{\frac{c}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)b}} \text{ od } \sqrt{\frac{a}{a+c} \cdot \frac{c}{b}} \text{ do } \sqrt{\frac{c}{b}}$$

i w pozycji granicznej, przy $n = +\infty$, elipsa w prawej górnej ćwierci zamienia się w prostą C''_2T równoległą do osi odciętych, przeprowadzoną od niej w odległości $= \sqrt{\frac{c}{b}}$.

Stosunki X i Y zmieniają się podług prostej BD (25) $Y = -1 + X$ jako współrzędne punktów przecięcia się z nią kolejnych elips, przytem obydwa stosunki rosną, sięgając granicznych wielkości przy $n = +\infty$, równych współrzędnym punktu m przecięcia się prostej BD z prostą C''_2T ; stąd graniczne wielkości X i Y są:

$$X_\infty = 1 + \sqrt{\frac{c}{b}}; \quad Y_\infty = \sqrt{\frac{c}{b}}$$

Stosunki te odpowiadają warunkom, gdy depresja pierwotna nie istnieje i powietrze krąży jedynie pod wpływem depresji dodatkowej h_2 , przyczem oczywiście w b prąd płynie w kierunku odwrotnym.

Wstawiając te wartości do wyrazu oporu ogólnego (9) dla M_2 otrzymamy:

$$\begin{aligned} M_2 &= aX^2 + bY^2 = a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + b\left(\sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 \\ M_2 &= a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + c \end{aligned} \quad (27)$$

Jest to wyraz oporu ogólnego systemu normalnego podwójnego (a, b) w połączeniu z oporem zewnętrznym c w przypadku umieszczenia wentylatora w bocznicy a sieci wewnętrznej, jeżeli $h_1 = 0$. Jeżeli $c = 0$, to $M_2 = a$, co jest zupełnie zrozumiałe, gdyż w takim przypadku wentylator umieszczony w bocznicy a wywoła przepływ powietrza jedynie w tej bocznicy.

Wstawiając wartości X_0 i Y_0 otrzymane z rysunku do wyrazu oporu ogólnego (9) i (10) dla M_1 , otrzymamy

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + bY_0^2 \\ M_1 &= c + b(1 - X_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

lub, zamieniając Y_0 przez X_0 i odwrotnie na zasadzie (26),

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + aX_0^2 \\ M_1 &= c + a(1 - X_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Są to nowe wzory oporów systemów normalnych (łącznie z oporem zewnętrznym) w przypadku zwykłym istnienia tylko jednej depresji zewnętrznej h_1 . Jeżeli $c = 0$, to

$$M_1 = bY_0^2 = b(1 - X_0)^2 = aX_0^2 = a(1 - Y_0)^2 \quad (30)$$

Wzory te łatwo przekształcić w ogólnie znane dla systemów normalnych, jeżeli X i Y wyznaczyć z zespołu równań:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Y_0}{X_0} &= \sqrt{\frac{a}{b}} \\ X_0 + Y_0 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad \text{skąd} \quad \begin{aligned} Y &= \frac{1}{\sqrt{\frac{b}{a}} + 1} \\ X &= \frac{1}{\sqrt{\frac{a}{b}} + 1} \end{aligned}$$

i wstawiając w (30)

$$M_1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}}\right)^2}$$

Porównanie tego wzoru z (27) wskazuje różnicę, jaka zachodzi w zależności od miejsca ustawienia wentylatora (jeżeli depresja naturalna $= 0$).

Nietrudno przekonać się, że

$$M_1 < M_2$$

jeżeli bowiem założymy, że

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}}\right)^2} = \frac{ab}{(\sqrt{a} + \sqrt{b})^2} < a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2$$

wówczas:

$$\frac{\sqrt{b}}{\sqrt{a} + \sqrt{b}} < \frac{\sqrt{b} + \sqrt{c}}{\sqrt{b}}$$

co jest bezwzględnie słuszne, gdyż lewa część nierówności jest < 1 , prawa zaś > 1 .

Umieszczenie zatem wentylatora w jednej z bocznic sieci wewnętrznej jest mniej ekonomiczne, aniżeli umieszczenie go w elementach zewnętrznych (pomijając odwrócenie prądu).

Porównyując jednak (9) z (28):

$$M_1 = c \pm b \cdot Y^2 \quad (9)$$

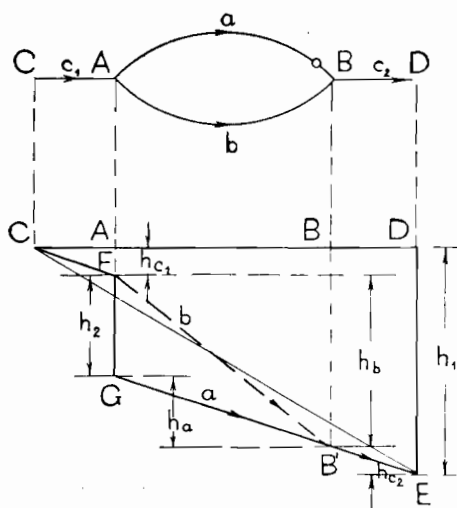
$$M_{1_0} = c + b \cdot Y_0^2 \quad (28)$$

spostrzegamy, że $M_1 < M_{1_0}$, bowiem jak widać z rys. 95 wprowadzenie depresji dodatkowej w a zmniejsza Y i mamy zawsze

$$Y < Y_0$$

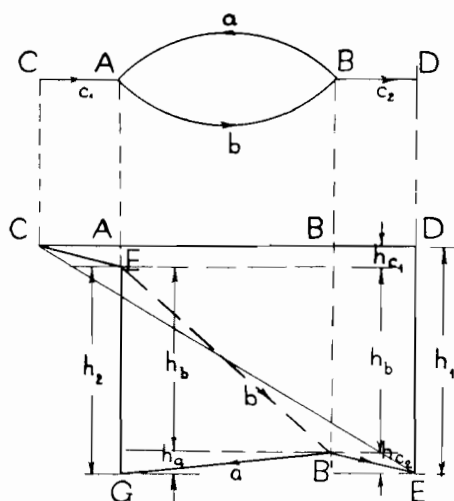
tj. wszelka depresja dodatkowa w jednej z bocznic normalnych przy pozostawianiu depresji pierwotnej stałą zmniejsza opór ogólny bez względu na kierunek prądu w b , a zatem zwiększa ogólną ilość powietrza.

§ 49. Regulacja dodatnia zapomocą wentylatorów i jej analiza. Rysunki 96, 97 i 98 wyjaśniają rozkład ciśnienia w przypadku regulacji dodatniej zapomocą depresji dodatkowej h_2 , umieszczonej w początkowym punkcie A bocznic a i działającej w kierunku przeciwnym do depresji pierwotnej h_1 . Kolejne rysunki wyjaśniają zjawiska, zachodzące przy kolejno wzrastającym stosunku



Rys. 96.

stosunku $h_2 : h_1$. Jak widać z rysunków, wpływ depresji niezgodnej z pierwotną jest pod każdym względem przeciwny wpływowi depresji zgodnych. W przedniej części przewodnika AD wywołuje ona w stosunku do pierwotnej linii spadków CE jej obniżenie się, czyli depresję, w tylnej zaś CA — podniesienie się, czyli kompresję, i zamienia pierwotną linię prostą CE , przez łamaną $CFGE$. Jeżeli wielkość depresji dodatkowej w stosunku do pierwotnej jest nie-



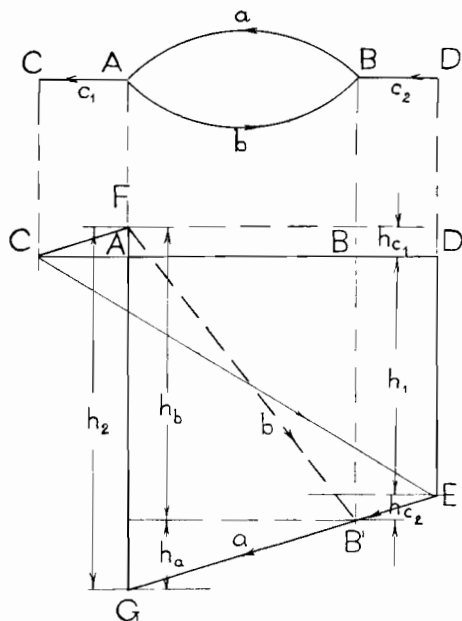
Rys. 97.

śnienia CF i $B'E$ staje się mniejsze, czyli ogólna ilość powietrza zmniejsza się.

Oczywiście, że przy powiększaniu depresji h_2 w dalszym ciągu następujących zmian prąd a może najpierw za-
trzymać się, a następnie
obrócić się (rys. 97) przy
zachowaniu w b oraz w ca-
łym systemie pierwotnego
kierunku prądu. Stan taki
jest oczywiście niebezpiecz-
ny, gdyż pewna ilość po-
wietrza zostanie w ustawicz-
nym krążeniu w kierunku
 $AbBaA$.

Zupełnie naturalnie, że
obrócenie się prądu
w a następuje tem
prędzej, im większy
jest stosunek depre-
sji dodatkowej h_2 do
represji pierwotnej
 h_1 , oraz im większy

znaczna, jak na rys. 96,
wówczas linja spadku ci-
śnień w bocznicy a — GB'
zachowuje swoje pochylenie
w kierunku normalnym, lecz
otrzymuje mniejszy spadek,
natomiast w bocznicy b —
linja FB' otrzymuje większe
pochylenie. Zatem pod wpły-
wem przeciwnej depresji do-
datkowej h_2 w bocznicy a
ilość powietrza zmniejsza
się w tejże, natomiast
w bocznicy b — powiększa
się. Jednocześnie w obydwu
elementach zewnętrznych
pochylenie linji spadków ci-



Rys. 98.

jest stosunek oporu elementów zewnętrznych do oporów elementów wewnętrznych.

Przy dalszem powiększaniu się depresji h_2 oczywiście powinno nastąpić zatrzymanie się całego prądu i następnie obrócenie jego w elementach zewnętrznych (rys. 98), przyczem w bocznicach b prąd swego pierwotnego kierunku nigdy nie zmieni. Taki stan będzie nadal pozostawał przy wszelkiej dowolnie wielkiej wartości h_2 .

W ten sposób, przy przeciwnych kierunkach depresji dodatkowej i pierwotnej należy rozróżniać 3 wypadki, następujące po sobie w miarę wzrastania stosunku $n = \frac{h_2}{h_1}$.

W 1-ym wypadku prądy w bocznicach systemu normalnego zachowują swój kierunek pierwotny (rys. 96);

w 2-gim wypadku zostaje obrócony prąd a , w którym znajduje się wentylator (rys. 97), i wreszcie

w 3-cim wypadku oprócz tego obrócony zostaje cały prąd w elementach zewnętrznych przy zachowaniu pierwotnego kierunku w bocznicach b (rys. 98).

Dla wszystkich wypadków, opierając się na rysunkach rozkładu ciśnień, możemy ułożyć bezpośrednio następujące współzależności spadków ciśnienia w poszczególnych bocznicach, oraz ilości powietrza.

W wypadku 1-ym przy niezmienionych kierunkach prądów (rys. 96) mamy:

$$\left. \begin{aligned} h_c + h_b &= h_1 \\ h_b - h_a &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

$$q = q_a + q_b \quad (32)$$

W wypadku 2-gim przy obróconym prądzie a (rys. 97):

$$\left. \begin{aligned} h_c + h_b &= h_1 \\ h_a + h_b &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

$$q = q_b - q_a \quad (34)$$

W wypadku 3-im przy obróconych prądach a i c (rys. 98):

$$\left. \begin{aligned} -h_c + h_b &= h_1 \\ h_a + h_b &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

$$q = q_a - q_b \quad (36)$$

Dalej, przez przekształcenia analogiczne, jak w przypadku regulacji odjemnej, otrzymamy następujące wzory:

Przypadek 1-y:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + bY^2 \\ M_2 &= -aX^2 + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

$$n' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{-aX^2 + bY^2}{c + bY^2} \quad (38)$$

$$X + Y = 1 \quad (39)$$

Przyp. 2-gi:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + bY^2 \\ M_2 &= aX^2 + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

$$n' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX^2 + bY^2}{c + bY^2} \quad (41)$$

$$Y - X = 1 \quad (42)$$

Przyp. 3-ci:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= -c + bY^2 \\ M_2 &= aX^2 + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

$$n' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX^2 + bY^2}{-c + bY^2} \quad (44)$$

$$X - Y = 1 \quad (45)$$

przez n' oznaczamy stosunek depresji dodatkowej h_2 do pierwotnej h_1 przy ich niezgodnych kierunkach (w odróżnieniu od n — przy zgodnych).

Jeżeli zadane są stosunki X i Y , to podług wzorów n' zawsze potrafimy określić potrzebny stosunek depresyj, przytem naturalnie X i Y powinny odpowiadać jednemu z warunków (39), (42) lub (45). Odwrotnie, podług zadanego stosunku depresyj n' potrafimy zawsze określić jakikolwiek stosunek X lub Y ze wzorów (38), (41) i (44), wyznaczając Y lub X z równań (39), (42) i (45) i wstawiając w poprzednie. Otrzymamy wówczas równania drugiego stopnia typu (14), z których potrafimy też określić warunki, którym winno odpowiadać n' celem zastosowania określonego równania z podanych trzech.

Prościej jest jednak wykonać rozwiązanie, jak też przeprowadzić analizę, drogą graficzną.

W przypadku 1-ym ze wzoru (38) wyprowadzamy

$$(1 - n') b Y^2 - a X^2 = n' c$$

skąd:

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{1-n'}\right) \frac{c}{b}} - \frac{X^2}{n' \cdot \frac{c}{a}} = 1 \dots C_3 \quad (46)$$

uwzględniając (39): $X + Y = 1$

otrzymamy stosunki X i Y jako współrzędne punktów przecięcia się krzywej stożkowej (46) i prostej (39).

Krzywa (46) jest hiperbolą ze środkiem w początku układu, przecinającą oś współrzędnych Y (rys. 99, C_3).

Półoś rzeczywista wzdłuż osi Y jest:

$$b_3 = \sqrt{\frac{n'}{1-n'} \cdot \frac{c}{b}} \quad (47)$$

Półoś urojona wzdłuż osi X jest:

$$a_3 = \sqrt{\frac{n'c}{a}}$$

Tangens kąta nachylenia asymptoty OA_3 jest:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{b_3}{a_3} = \sqrt{\frac{a}{(1-n')b}} \quad (48)$$

Prosta $X + Y = 1$ albo $Y = 1 - X$ przecina oś rzędnych w odległości $+1$ od początku i pochylona jest względem osi X pod kątem $\operatorname{tg} \alpha = -1$, czyli 135° , przecinając oś odciętych w odległości $+1$ od początku. Jest to ta sama prosta AB , którą już mieliśmy na rys. 93 i 95.

Gdy $n' = 0$, półoś $b_3 = 0$

$$\operatorname{tg} \alpha'_3 = \sqrt{\frac{a}{(1-n')b}} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

Hiperbola zatem zlewa się ze swoją asymptotą OA'_3 , pochyloną do osi X pod kątem $\operatorname{tg} \alpha'_3 = \sqrt{\frac{a}{b}}$. Współrzędne X_0 i Y_0 punktu przecięcia się jej z prostą AB stosują się do siebie jak $\operatorname{tg} \alpha'_3$:

$$\frac{Y_0}{X_0} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

Oczywiście jest to ta sama asymptota OA'_1 i te same stosunki $Y_0 X_0$, jakie mieliśmy na rys. 95 dla regulacji odjemnej przy $n = 0$.

W miarę wzrastania n' rzeczywista półoś $b_3 = \sqrt{\frac{n'}{1-n'} \cdot \frac{c}{b}}$ wzrasta, sięgając nieskończoności przy $n' = 1$. Również do ∞ wzrasta $tg x_3 = \sqrt{\frac{a}{(1-n')b}}$ i hiperbola, odchodząc swym wierzchołkiem w nieskończoność, zwęża się stopniowo i zlewa się z osią Y . Lecz zanim to nastąpi hiperbola przestaje przecinać się z prostą AB , i staje się to mianowicie w chwili, gdy $b_3 = \sqrt{\frac{n'}{1-n'} \cdot \frac{c}{b}} = 1$.

W tym momencie oczywiście $X = 0$, $Y = 1$, tj. prąd a ustaje, i w dalszym ciągu obraca się, czyli następuje drugi wypadek, dla którego wzór (38) nie odpowiada. Stąd warunek, przy którym prąd a zachowuje swój kierunek pierwotny jest:

$$\frac{n'c}{(1-n')b} < 1$$

$$\text{albo:} \quad n' < \frac{b}{c+b} < 1 \quad (49)$$

Porównyując ten warunek z (18), spostrzegamy, że podczas gdy dla obrócenia prądu b przez zgodną depresję w a stosunek $n = \frac{a}{c}$ może być $<$ lub > 1 , przy kierunku przeciwnym tejże stosunek $n' = \frac{b}{c+b}$ jest zawsze < 1 . Ponieważ regulacja odjemna w a stosuje się raczej gdy a posiada znaczną wielkość, przeto w praktyce najczęściej mamy $n = \frac{a}{c} > 1$. Stąd wynika, że zapomocą dodatniej regulacji bez porównania łatwiej następuje obrócenie się prądu a , aniżeli zapomocą odjemnej — obrócenie się prądu b , i dlatego też w praktyce powinna być ona unikana.

W chwili, gdy $n' = \frac{b}{c+b}$, tangens kąta pochylenia asymptoty OA''_3 przejmuje wartość

$$tg \alpha'' = \sqrt{\frac{c+b}{c} \cdot \frac{a}{b}} > \sqrt{\frac{a}{b}}$$

pozycja asymptoty OA''_3 , którą ona zajmuje w tej chwili, jak i graniczna pozycja hiperboli AC''_3 , są analogiczne granicznym pozycjom asymptoty OA''_1 i hiperboli BC''_1 na rys. 95 przy regulacji odjemnej.

Uwzględniając równanie (42) w postaci:

$$Y = 1 + X, \quad (42)$$

otrzymamy stosunki X i Y jako współrzędne punktu przecięcia się elipsy (50) z prostą (42).

Półosie elipsy (50) są (rys. 99 — C_4C_4):

$$\text{wzdłuż osi } X \quad a_4 = \sqrt{\frac{n' \cdot c}{a}} \quad (51)$$

$$\text{wzdłuż osi } Y \quad b_4 = \sqrt{\frac{n' \cdot c}{1 - n' \cdot b}} \quad (52)$$

Prosta (42) przecina oś rzędnych w tym samym punkcie, co i prosta (39), t. j. w odległości $+1$ od początku układu, lecz jest nachylona względem osi X pod kątem $\text{tg} \alpha = +1$, czyli 45° (AF , rys. 99).

Oczywiście w początkowej chwili ważności równań (50) i (42), t. j. gdy $n' = \frac{b}{c+b}$, mamy $X = 0$, $Y = 1$, oraz elipsa (50) AC'_4 , spotyka się z prostą AF w swoim wierzchołku na osi rzędnych, przytem półosie jej mają oczywiście te same wielkości, jakie posiadają półosie hiperboli (46) w swojej pozycji granicznej AC''_3 :

$$b'_4 = 1; \quad a'_4 = \sqrt{\frac{n'c}{a}} = \sqrt{\frac{b}{c+b} \cdot \frac{c}{a}}$$

Elipsa więc w tej chwili dotyka swemi wierzchołkami na osi rzędnych wierzchołków hiperboli.

Przy dalszem wzrastaniu n' obydwie półosie elipsy zwiększają się, przyczem gdy n' , zwiększając się od $\frac{b}{c+b} < 1$, sięga wartości $n' = 1$

$$\text{półoś } b_4 = \sqrt{\frac{n' \cdot c}{1 - n' \cdot b}} \text{ dosięga } \infty$$

$$\text{półoś zaś } a_4 = \sqrt{\frac{n'c}{a}} = \sqrt{\frac{c}{a}}$$

Elipsa zatem w prawej górnej ćwierci przekształca się w prostą C''_4T' , równoległą do osi rzędnych, w odległości $= \sqrt{\frac{c}{a}}$ od niej. Prosta ta jest analogiczna do prostej C''_2T na rys. 95 w wypadku regulacji ujemnej (równoległej do osi odciętych w odległości $\sqrt{\frac{c}{b}}$),

z tą różnicą, że podczas gdy przy odjemnej regulacji elipsa (19) zamienia się w prostą przy $n = \infty$, t. j. gdy depresja pierwotna znika, w wypadku regulacji dodatniej staje się to przy $n' = 1$, t. j. przy zrównaniu depresji dodatkowej z pierwotną.

X i Y więc w granicach $\frac{b}{c+b} < n' < 1$ wzrastają razem podług prostej (42):

$$X \text{ — od } 0 \text{ do } \sqrt{\frac{c}{a}}$$

$$Y \text{ — od } 1 \text{ do } 1 + \sqrt{\frac{c}{a}}$$

obydwa wyrazy oporu ogólnego (40) otrzymują wówczas postać jednostajną:

$$\begin{aligned} M_1 &= c + bY^2 = c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2 = M_2 = aX^2 + bY^2 = \\ &= a \left(\sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2 + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2 = c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2 \end{aligned} \quad (53)$$

która jest analogiczna do postaci (27) przy regulacji odjemnej z tą różnicą, że w tym ostatnim wypadku postać tę posiada tylko wyraz M_2 , podczas gdy $M_1 = 0$.

Przy dalszem wzrastaniu $n' > 1$ półś wzdłuż osi Y elipsy (50) przyjmuje wartości urojone przy zachowaniu rzeczywistej wartości półosi wzdłuż osi X, innemi słowy elipsa (50) przemienia się w hiperbolę:

$$\frac{X^2}{n' \frac{c}{a}} - \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{n'-1}\right) \frac{c}{b}} = 1 \dots C_5 \quad (54)$$

której półosie są (rys. 100):

$$\text{rzeczywista, wzdłuż osi odciętych: } a_5 = \sqrt{\frac{n'c}{a}} > \sqrt{\frac{c}{a}} \quad (55)$$

$$\text{urojona, wzdłuż osi rzędnych: } b_5 = \sqrt{\frac{n'}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}}$$

tangens pochylenia asymptoty OA_5 :

$$tg \alpha_5 = \frac{b_5}{a_5} = \sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}} \quad (56)$$

W miarę wzrastania $n' > 1$ półś rzeczywista a_5 wzrasta nadal do ∞ , tangens zaś kąta nachylenia asymptoty zmniejsza się do 0.

Innemi słowy, zlewając się z prostą C'_5T' w chwili gdy $n' = 1$, hiperbola odsuwa się swym wierzchołkiem wzdłuż osi odciętych do nieskończoności przy jednoczesnym pochylaniu się asymptoty ku osi X , t. j. zwężając się i zlewając się z osią X w nieskończoności.

Stosunki X i Y , zaczynając od wartości $\sqrt{\frac{c}{a}}$ i $1 + \sqrt{\frac{c}{a}}$, zwiększają się podług prostej (42) na odcinku mF jako współrzędne punktu przecięcia się z nią hiperboli (54) i osiągają jednocześnie wielkości nieskończenie wielkie w chwili, gdy asymptota hiperboli, pochylając się ku osi X , zajmuje pozycję OA''_5 , równoległą do prostej AF , t. j. gdy zostanie ona pochylona pod kątem 45° i hiperbola zajmie pozycję $C''_5C''_5$.

W tej chwili oczywiście

$$tg\alpha_5 = \sqrt{\frac{a}{(n' - 1)b}} = 1$$

skąd

$$n' = \frac{a+b}{b} > 1$$

i półoś rzeczywista w granicznej pozycji hiperboli

$$a''_5 = \sqrt{\frac{a+b}{b} \cdot \frac{c}{a}} > \sqrt{\frac{c}{a}}$$

wartości $X = \infty$ i $Y = \infty$ odpowiadają oczywiście zatrzymaniu się prądu głównego ($q = 0$), a więc przy dalszem wzrastaniu

$$n' > \frac{a+b}{b}$$

następuje obrócenie się prądu głównego w elementach zewnętrznych. Zatem warunkiem zachowania pierwotnego kierunku prądu głównego jest:

$$n' < \frac{a+b}{b} \quad (57)$$

Gdy n' przekracza tę wielkość, hiperbola C_5 przestaje przecinać się z prostą AF w prawej górnej ćwiertci i następuje trzeci wypadek, w którym są ważne równania (44) i (45).

Z równania (44):

$$n' = \frac{aX^2 + bY^2}{-c + bY^2} \quad (44)$$

otrzymujemy:

$$(n' - 1)bY^2 - aX^2 = n'c$$

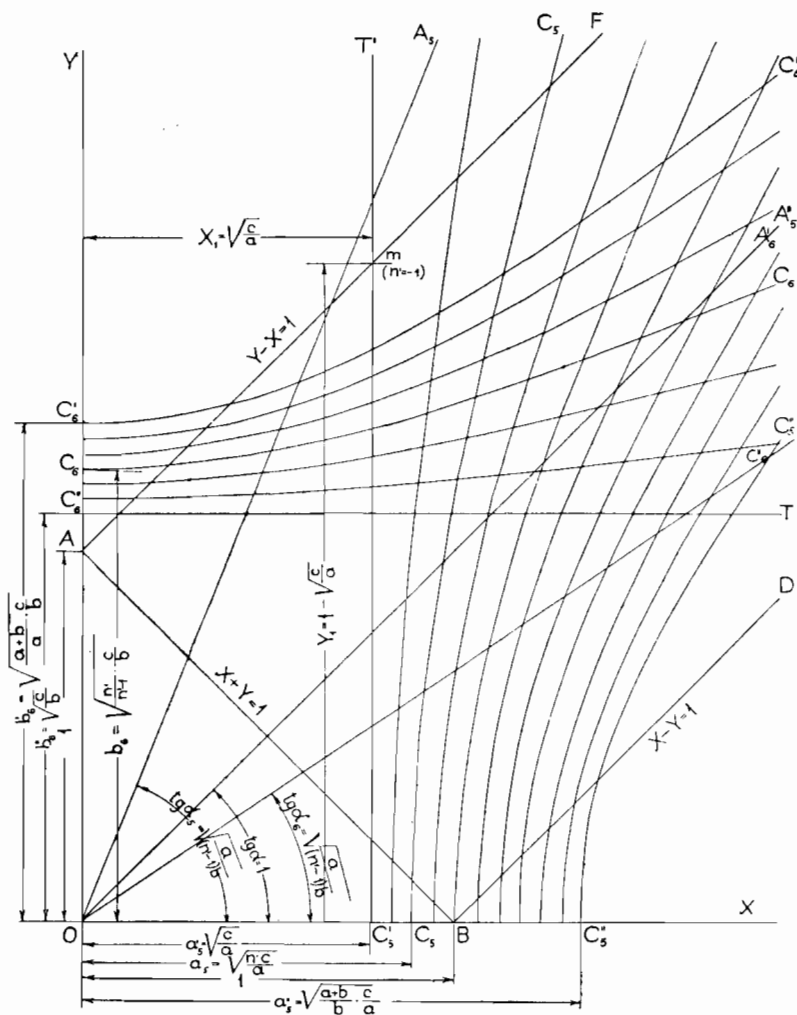
skąd:

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{n'-1}\right) \cdot \frac{c}{b}} - \frac{X^2}{n' \cdot \frac{c}{a}} = 1 \dots C_6 \quad (58)$$

Uwzględniając równanie (45) w postaci:

$$Y = -1 + X \quad (45)$$

otrzymamy stosunki X i Y jako współrzędne punktów przecięcia się hiperboli (58) z prostą (45).



Rys. 100.

Półosie hiperboli C_6 są (rys. 100):

rzeczywista, wzdłuż osi Y : $b_6 = \sqrt{\frac{n'}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}}$ (59)

urojona, wzdłuż osi X : $a_6 = \sqrt{n' \cdot \frac{c}{a}}$

tangens kąta nachylenia asymptoty:

$$tg\alpha_6 = \frac{b_6}{a_6} = \sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}} \quad (60)$$

Prosta (45) przecina oś rzędnych w odległości -1 od początku układu i wznosi się do góry pod kątem $tg\alpha = +1$, czyli 45° , przecinając oś odciętych w odległości $+1$ od początku (BD — rys. 100). Jest to oczywiście ta sama prosta (25), którą mieliśmy na rysunku 95 (BD) w wypadku regulacji odjemnej przy obróconym prądzie w b . Widzieliśmy, że równania (58) i (45) są ważne od chwili gdy $n' = \frac{a+b}{b}$. W tej początkowej chwili asymptota

OA'_6 hiperboli pochylona jest pod kątem

$$tg\alpha_6 = \sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}} = \sqrt{\frac{a}{\left(\frac{a+b}{b}-1\right)b}} = 1$$

jest zatem równoległa do prostej BD i zlewa się z asymptotą OA''_5 w granicznej pozycji hiperboli C''_5 . Rzeczywista półoś na osi rzędnych jest:

$$\begin{aligned} b'_6 &= \sqrt{\frac{n'}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}} = \sqrt{\frac{1}{1-\frac{1}{n'}} \cdot \frac{c}{b}} = \sqrt{\left(\frac{1}{1-\frac{1}{\frac{a+b}{b}}}\right) \cdot \frac{c}{b}} = \\ &= \sqrt{\frac{(a+b) \cdot c}{a \cdot b}} > \sqrt{\frac{c}{b}} \end{aligned}$$

i równa się rzeczywistej półosi na osi odciętych hiperboli (54) w jej pozycji granicznej C''_5 . Obydwa stosunki X i Y jako współrzędne punktu przecięcia się hiperboli początkowej (58) z prostą (45) równoległą do jej asymptoty są $= \infty$.

Przy dalszem wzrastaniu n' od $\frac{a+b}{b}$ do nieskończoności — półoś rzeczywista hiperboli C_6 :

$$b''_6 = \sqrt{\frac{n'}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}} = \sqrt{\frac{1}{1-\frac{1}{n'}} \cdot \frac{c}{b}} \text{ zmniejsza się do } \sqrt{\frac{c}{b}}$$

$tg \alpha$ kąta pochylenia asymptoty

$$tg \alpha = \sqrt{\frac{a}{(n' - 1)b}}$$

zmniejsza się do O .

Hiperbola zatem zbliża się swym wierzchołkiem na osi rzędnych do początku układu na odległość $\sqrt{\frac{c}{b}}$; asymptota zaś pochyła się ku osi odciętych, zlewając się z nią w chwili gdy $n = \infty$. Hiperbola więc stale rozszerzając się, przemienia się w pozycji granicznej w prostą C''_6T , równoległą do osi odciętych, przeprowadzoną od niej w odległości $\sqrt{\frac{c}{b}}$. Jest to ta sama prosta C''_2T , z którą na rys. 95 zlewa się elipsa C_2 w wypadku regulacji odjemnej przy obroconym prądzie b w chwili gdy $n = \infty$.

Jasne jest, że hiperbola C_6 przy swoim przesuwaniu się stale przecina się z prostą BD ; stosunki X i Y zatem zmieniają się podług współrzędnych tej prostej, zmieniając się od ∞ do wartości granicznych $X_\infty = 1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$ oraz $Y_\infty = \sqrt{\frac{c}{b}}$, odpowiadających współrzędnym punktu przecięcia się prostych BD i C''_6T .

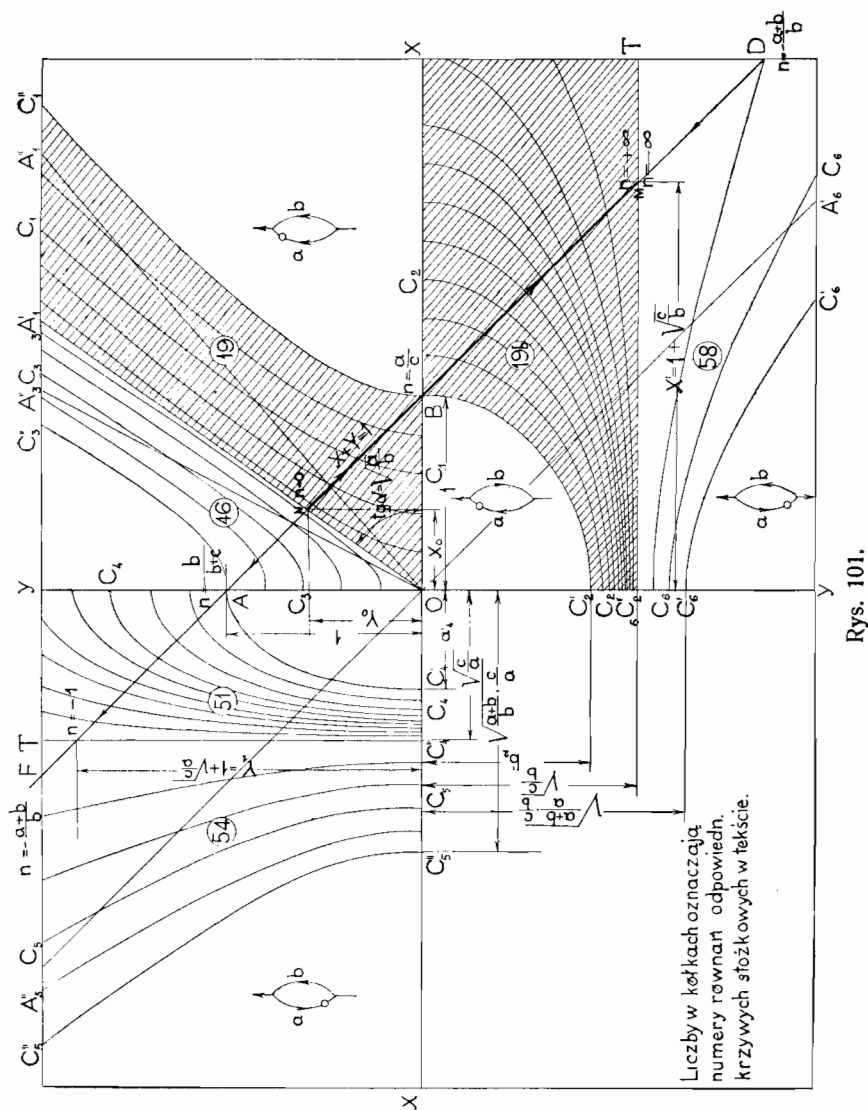
Jest to punkt wspólny z tym, który osiąga się w przypadku regulacji odjemnej przy $n = \infty$.

Gdy $n' = \infty$ wyrazy oporu ogólnego (43) otrzymują postać identyczną z wyrazami oporów regulacji odjemnej przy $n = \infty$:

$$\begin{aligned} M_1 &= -c + bY^2 = -c + b\left(\sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 = 0 \\ M_2 &= aX^2 + bY^2 = a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + b\left(\sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 = \\ &= a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + c \quad (\text{odpowiada 27}) \end{aligned}$$

Nietrudno zrozumieć, że przy dalszem wzrastaniu n' bezpośrednio przechodzi ono z $+\infty$ w $-\infty$ czyli w $n = +\infty$ i dalej n będzie się zmniejszać, przytem zjawisko będzie zachodziło znowu podług rys. 95, regulacja dodatnia bowiem zamieni się w odjemną.

Na rys. 101 zestawione są wszystkie kolejne pozycje krzywych przy wszelkich wartościach n od $-\infty$ przez O do $+\infty$ w ten sposób, iż krzywe nie nakrywają jedne drugich. W tym celu naj-



przód na rys. 95 zostały obrócone wszystkie elipsy wraz z prostą BD o 180° dokoła osi odciętych tak, żeby znalazły się one w prawej dolnej ćwierci. Następnie na rys. 99 wszystkie elipsy wraz z prostą AF zostały obrócone o 180° dokoła osi rzędnych tak, żeby się zwały one z obszarem lewej górnej ćwierci; wreszcie na rys. 100 górna serja hiperbol nad prostą C''_6T wraz z prostą BD została obrócona o 180° dokoła osi odciętych do prawej dolnej ćwierci,

serja zaś hiperbol leżących z prawej strony prostej C_5T' — wraz z prostą AF — o 180° dokoła osi rzędnych do lewej górnej ćwierci. Na wspólnym rysunku 101, w ten sposób sporządzonym, odcinki prostych AB , AF i BD — zlewają się w jedną prostą, której równanie ogólne jest $X + Y = 1$. Punkt przecięcia się tej prostej z krzywą stożkową, którego współrzędne przedstawiają stosunki X i Y , przy nieprzerwanych zmianach n — nieprzerwanie przesuwają się przy regulacji odjemnej od punktu N przy $n = 0$ w prawej górnej ćwierci na dół do punktu M w prawej dolnej ćwierci przy $n = +\infty$. Przy przejściu tego punktu przez oś odciętych w B zachodzi zmiana kierunku prądu w bocznicy b . Przy regulacji dodatniej punkt ów przesuwają się nieprzerwanie do góry od N w prawej górnej ćwierci przy $n = 0$ do nieskończoności w lewej górnej ćwierci, gdy $n = -\frac{a+b}{b}$; następnie przechodzi w prawą dolną ćwierć, gdzie powraca z nieskończoności do punktu M przy $n = -\infty$. Przy przejściu tego punktu przez oś rzędnych w A zachodzi zmiana kierunku prądu w a , przy przejściu zaś przez nieskończoność — zmiana prócz tego kierunku prądu ogólnego. Odjemne wartości współrzędnych odpowiadają odwróconym kierunkom prądów. W ten sposób obszar prawej górnej ćwierci, mieszcząc dodatnie wartości X i Y , odpowiada normalnym kierunkom obydwu prądów. Linja OA'_1 dzieli go na dwa obszary, z których prawy odpowiada regulacji odjemnej, a lewy regulacji dodatniej. Dolna prawa ćwierć ma dodatnie wartości X i odjemne Y , odpowiada więc wogóle obróconemu prądowi w b i normalnemu w a . Prosta C''_2T przedziela obszar tej ćwierci na dwie części: górną i dolną, z tych pierwsza odpowiada regulacji odjemnej, druga dodatniej, przy której w wypadku Y odjemnych jest obrócony prąd główny i prąd a , czyli w stosunku do kierunku prądu ogólnego — obrócony jest b . Wreszcie lewa górna ćwierć mieści odjemne wartości X i dodatnie Y , odpowiada więc obróconemu prądowi a przy normalnym kierunku w b , zawsze w przypadku regulacji dodatniej.

W załączonej na końcu pracy tablicy V są zestawione wszystkie wyprowadzone wzory, celem łatwiejszej orjentacji, które z nich należy w jakich wypadkach używać.

§ 50. Regulacja mieszana — pośrednia odjemna z bezpośrednią — w systemach normalnych. Krzywą stożkową w pozycji, odpowiadającej danemu stosunkowi $n = \frac{h_2}{h_1}$, będziemy

nazywali zasadniczą dla danego układu. Wszystkie inne pozycje krzywa stożkowa przyjmuje przy zmianach odpowiednich elementów, od których jej wygląd i pozycja zależy. W ten sposób na rys. 101 są pokazywane wszystkie zmiany, jakim ulega krzywa zasadnicza w zależności od zmian n , zachodzących w najszerszych granicach od $-\infty$ do $+\infty$, czyli zależnie od regulacji pośredniej. Zakreskowane obszary odpowiadają wszystkim dodatnim wartościom $n = \frac{+h_2}{+h_1}$ od O do $+\infty$ (regulacji odjemnej pośredniej), jasne zaś — odjemnym wartościom — $n = \frac{-h_2}{+h_1} = n'$ (regulacji dodatniej pośredniej).

Zobaczmy teraz, jaki wpływ wywierają na pozycję krzywej zasadniczej zmiany oporów poszczególnych elementów systemu: c , a i b , czyli jaki jest wpływ regulacji bezpośredniej w połączeniu z pośrednią. Rozpatrzmy najprzód przypadek regulacji pośredniej odjemnej.

Jeżeli zmianom ulega opór elementów c w granicach od O do ∞ , wówczas obydwie półosie krzywej stożkowej (rys. 102 a i b), $a_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{a}}$ i $b_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{(n+1)b}}$ zmieniają się w granicach od O do nieskończoności proporcjonalnie do $\sqrt{c}$, przyczem

$tg\alpha = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$ pozostaje bez zmiany. Krzywa zatem, zachowując pozycje podobne, zmienia się w ten sposób, że gdy $c = O$, zlewa się z asymptotą OA_1 , pochyloną do osi odciętych pod kątem

$tg\alpha = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$, następnie, mając postać hiperboli z tą samą asymptotą, odsuwa się swym wierzchołkiem od początku układu na

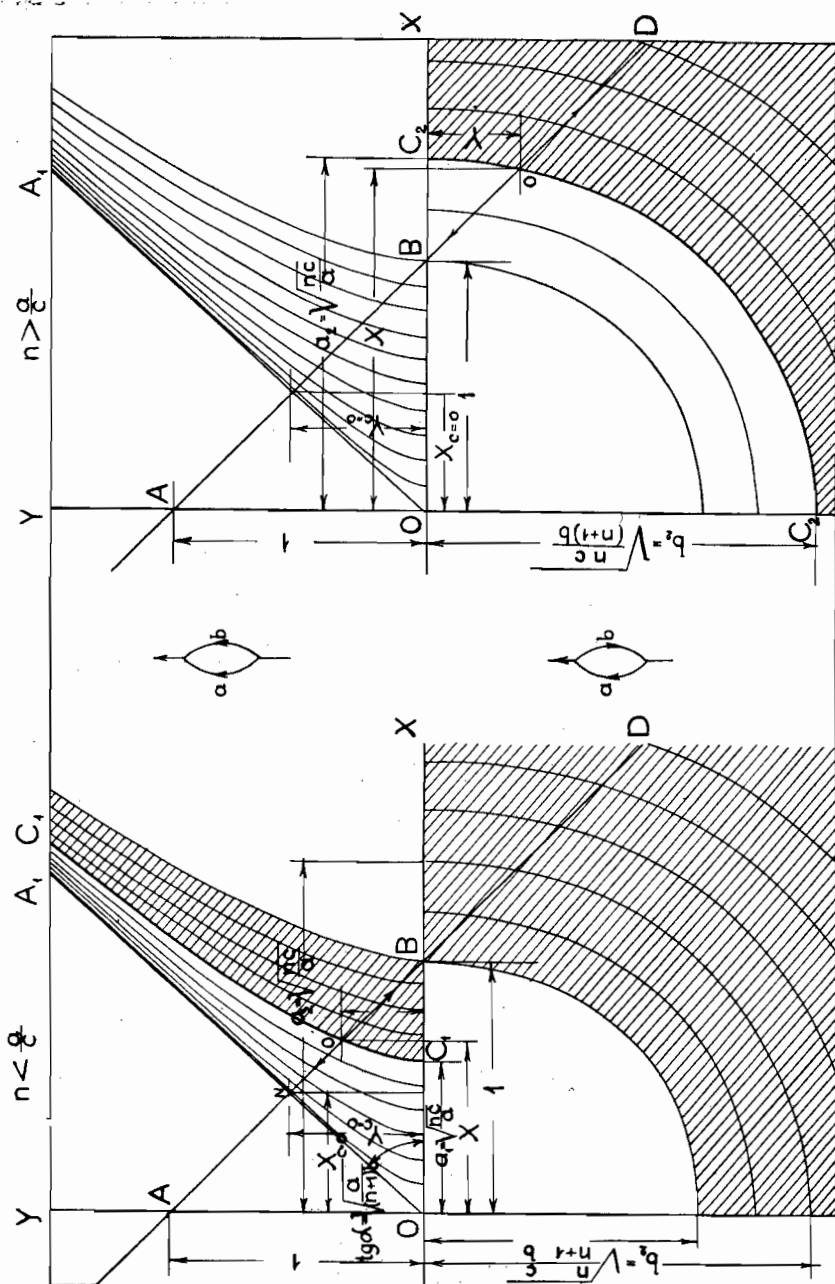
odległość graniczną półosi rzeczywistej $a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}} = 1$, co następuje

z chwilą gdy $c = \frac{a}{n}$, i zamieniając się wówczas w elipsę, czemu odpowiada obrócenie się prądu w b , odsuwa się nadal do nieskończoności. Stosunki X i Y , które przy $c = O$ określa się z równań

$$\begin{cases} \frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}} \\ X + Y = 1 \end{cases}$$

zmieniają się podług współrzędnych prostej AB w odcinku NB do

Zmiany c przy regulacji pośredniej odjemnej.



Rys. 102 a.

Rys. 102 b.

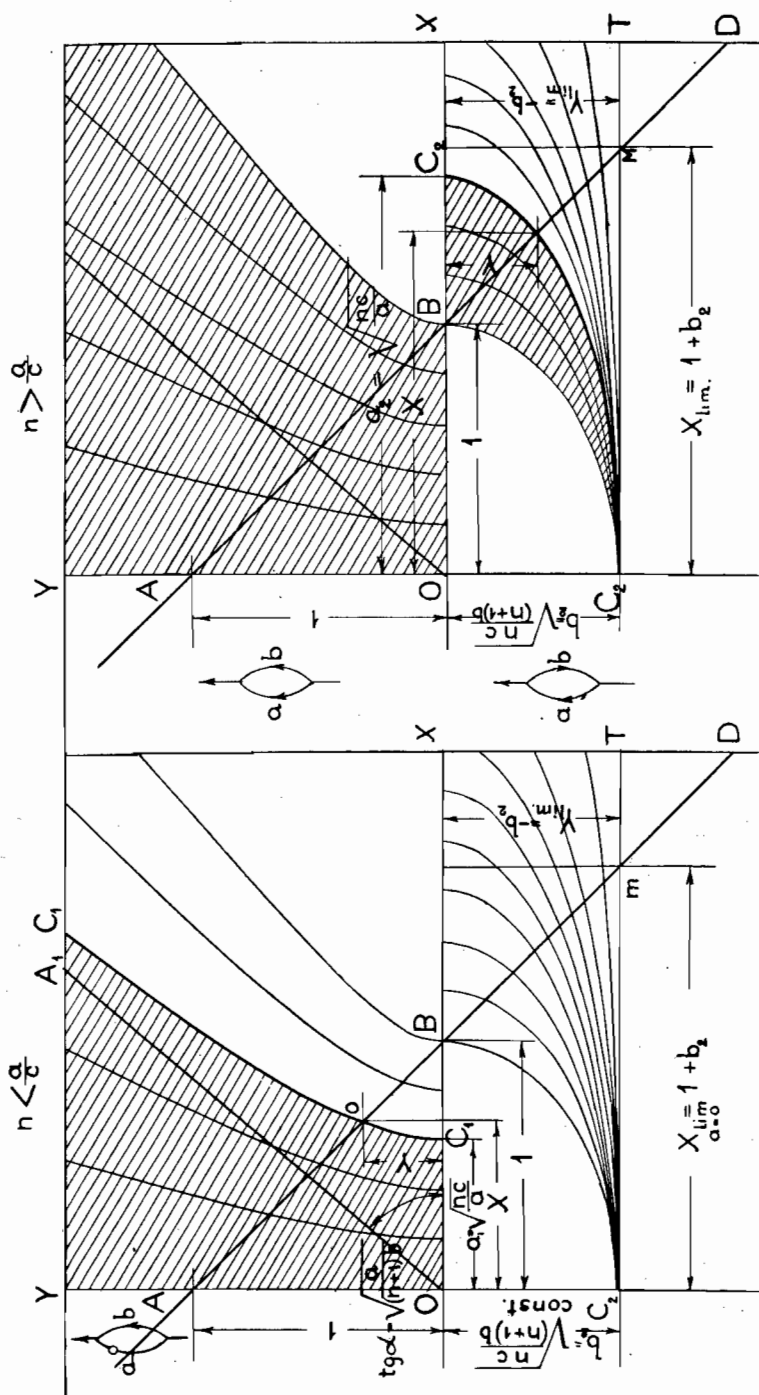
wartości $X=1$ i $Y=0$ przy $c=\frac{a}{n}$, a potem po obróceniu się się prądu rosną podług współrzędnych prostej BD do $X=\infty$ i $Y=-\infty$. Ostatni moment odpowiada oczywiście zupełnemu zamknięciu elementów zewnętrznych, tak iż przez system wcale nie przepływa prąd zewnętrzny, natomiast, ponieważ wówczas $q_a=q_b$, pod wpływem depresji dodatkowej zamknięte wewnątrz systemu powietrze wciąż w tej samej ilości krąży w kole zamkniętym w kierunku $AaBbA$ bez odnawiania się.

Jeżeli na rysunku 102 *a* grubsza linia C_1C_1 przedstawia krzywą zasadniczą w danym systemie, która przy danym $n < \frac{a}{c}$ ma postać hiperboli, to wszystkie pozycje krzywych w obszarach zakreskowanych otrzymują się przez dodatnią regulację w c , w obszarze zaś jasnym — przez ujemną. W ten sposób obrócenie się prądu może nastąpić przez powiększenie oporu c , oczywiście, tem łatwiej, im mniej się różni od jedności stosunek $\frac{nc}{a}$.

Na rysunku 102 *b* krzywa zasadnicza C_2C_2 ma postać elipsy. Tak samo obszar zakreskowany odpowiada regulacji dodatkowej w c , niezakreskowany — odjemnej. Widzimy więc, że jeżeli chodzi o odwrócenie prądu w b , który przy danym stosunku $n > \frac{d}{c}$ płynie w kierunku przeciwnym do normalnego, to można zastosować regulację odjemną bezpośrednią w elementach zewnętrznych.

Jeżeli zmianom ulega opór bocznic a , w której znajduje się wentylator (rys. 103 *a* i *b*), wówczas półos krzywych stożkowych w kierunku osi rzędnych $b_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{(n+1)b}}$ pozostaje stałą, półos zaś w kierunku osi odciętych $a_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{a}}$ zmienia się wraz ze zmianą a w sensie odwrotnym, t. j. równa się zeru, gdy $a=\infty$, i następnie wzrasta do nieskończoności, gdy a maleje do zera. Jednocześnie $tg\alpha = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$ zmienia się w granicach od ∞ do 0. W ten sposób przy $a=\infty$ krzywa ma postać hiperboli, która zlewa się z osią rzędnych. Następnie, gdy a zmniejsza się, hiperbola, odsuwając się swym wierzchołkiem wzdłuż osi odciętych w prawo od początku układu, zwęża się jednocześnie, asymptota

Zmiany a przy regulacji pośredniej odjemnej.



Rys. 103 a.

Rys. 103 b.

jej bowiem pochyla się w prawo dopóty, zanim $\sqrt{\frac{nc}{a}} \ll 1$, czyli $a \gg nc$, poczem następuje zatrzymanie się prądu b i następnie obrócenie się, hiperbola przemienia się w elipsę, której wierzchołek na osi rzędnych zostaje w stałym punkcie C_2 , na osi zaś odciętych odsuwa się w nieskończoność. Kolejne elipsy zatem wydłużają się w kierunku osi odciętych i w pozycji granicznej przy $a = 0$ elipsa zamienia się w prostą C_2T , równoległą do osi XX , przeprowadzoną w odległości $\sqrt{\frac{nc}{(n+1)b}}$ od niej.

Stosunki X i Y zmieniają się podług współrzędnych prostej AD , zaczynając od $X = 0$ i $Y = +1$ przy $a = \infty$, co jest zupełnie naturalnem, gdyż wówczas prąd a jest całkowicie wykluczony i cały prąd jedynie pod wpływem depresji pierwotnej płynie wyłącznie przez b . Gdy $a = nc$, to $X = 1$ i $Y = 0$, czemu odpowiada zatrzymanie się prądu w b . Następnie, przy obróconym prądzie b , obydwa stosunki rosną do wartości granicznych przy $a = 0$, odpowiadających współrzędnym punktu M przecięcia się prostej BD z graniczną pozycją elipsy — czyli z prostą C_2T :

$$X = 1 + b_2; Y = -b_2$$

praktycznie taki wypadek nie może mieć miejsca.

Na rysunkach 103a i 103b grube linie odpowiadają krzywym zasadniczym przy danem n w postaci hiperboli C_1C_1 — na rys. 103a, gdy $a > nc$, przy normalnym kierunku prądu w b , oraz w postaci elipsy — C_2C_2 na rys. 103b, gdy $a < nc$, tj. przy kierunku obróconym w b . Obszary zakreskowane w obydwu przypadkach odpowiadają pozycjom, które zajmuje krzywa na skutek regulacji dodatniej w bocznicy a , jasne zaś — regulacji odjemnej. Z rysunku 103a widzimy bezpośrednio, że normalny kierunek prądu b może się odwrócić na skutek regulacji odjemnej wykonanej w bocznicy, w której znajduje się wentylator, tem łatwiej oczywiście, im mniej się różni $\frac{nc}{a}$ od jedności; jeżeli zaś w bocznicy b pod wpływem depresji dodatkowej prąd jest obrócony, wówczas (jak wynika z rys. 103b) kierunek normalny może być ponownie przywrócony przez regulację bezpośrednią dodatnią w bocznicy a , w której znajduje się wentylator.

Jeżeli zmianom ulega opór bocznicy b (rys. 104

i 105) wówczas półoś w kierunku odciętych $a_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{a}}$ pozostaje stałą, natomiast zmienia się półoś w kierunku osi rzędnych $b_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{(1+n)b}}$ w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do $\sqrt{b}$, tj. gdy $b = 0$, półoś $b_{1,2}$ jest nieskończenie wielką, gdy b , zwiększając się, dosięga ∞ , półoś $b_{1,2} = 0$. W wypadku hiperboli również w ten sam sposób zmienia się $tg\alpha = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$ t. j. równa się ∞ , gdy b jest 0, oraz zmniejsza się do 0 — gdy b rośnie do ∞ . Ponieważ przy wszystkich tych zmianach półoś wzdłuż osi odciętych $a_{1,2} = \sqrt{\frac{nc}{a}}$ pozostaje stałą, przeto krzywe nie mogą zmienić swych postaci: hiperbole pozostają hiperbolami, elipsy — elipsami. Zatem żadna regulacja bezpośrednia w b nie jest w stanie obrócić prądu, jak również w razie, jeżeli w b prąd jest obrócony, nie może przywrócić kierunku normalnego. Istotnie z rys. 104 widzimy, że gdy $a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}} < 1$, wówczas przy $b = 0$ hiperbola zlewa się ze stycznią do swego wierzchołka C_1T , w miarę zaś wzrastania b zachowuje wierzchołek w tym samym punkcie C_1 na osi odciętych, zwęża się i pochyla się ku osi odciętych, z którą zlewa się przy $b = \infty$. Zatem stosunki X i Y , jako współrzędne punktu przecięcia się hiperboli z prostą AP na odcinku mB , zmieniają się w granicach

$$X = \text{od } \sqrt{\frac{nc}{a}} \text{ do } +1$$

$$Y = \text{od } \left(1 - \sqrt{\frac{nc}{a}}\right) \text{ do } 0$$

t. j. prąd w b nie obróci się w żadnym wypadku.

Również, jak widać z rys. 105, jeżeli $a_2 = \sqrt{\frac{nc}{a}} > 1$ i krzywa ma postać elipsy, czemu odpowiada obrócony prąd b , nie może ona zmienić swojej postaci, bowiem przy wszelkich zmianach b wierzchołek elipsy C_2 na osi odciętych pozostaje w punkcie stałym, natomiast wierzchołek C_2 na osi rzędnych, gdy b równa się 0, znajduje się w nieskończoności — i elipsa ma postać prostej C_2T , stycznej do wierzchołków C_2 , w miarę zaś wzrastania b wierzchołek elipsy C_2 zbliża się z nieskończoności do początku układu i elipsa zlewa

się z osią odciętych. X i Y zmieniają się w tym czasie w granicach

$$X = \text{od } \sqrt{\frac{nc}{a}} > 1 \text{ do } 1$$

$$Y = \text{od } \left(1 - \sqrt{\frac{nc}{a}}\right) \text{ do } 0$$

t. j. w bocznic b normalny kierunek prądu nie może być przywrócony.

Na rys. 104 i 105 grubą linią oznaczone są pozycje krzywych zasadniczych przy danem n ; obszary zakreskowane stanowią miejsca, w których krzywe posuwają się przy dodatniej regulacji w b , obszary zaś jasne — przy regulacji odjemnej.

Reasumując powyższe wywody możemy więc stwierdzić, że przy istnieniu depresji dodatkowej h_2 w jednej z bocznic systemu normalnego (a), zgodnej z depresją pierwotną h_1 w elementach zewnętrznych (c), prąd w drugiej bocznic normalnej może się obrócić przez:

1) powiększenie stosunku depresji dodatkowej do pierwotnej powyżej wartości $n > \frac{a}{c}$,

2) powiększenie oporu elementów zewnętrznych c zapomocą regulacji bezpośredniej dodatniej do wartości $c > \frac{a}{n}$,

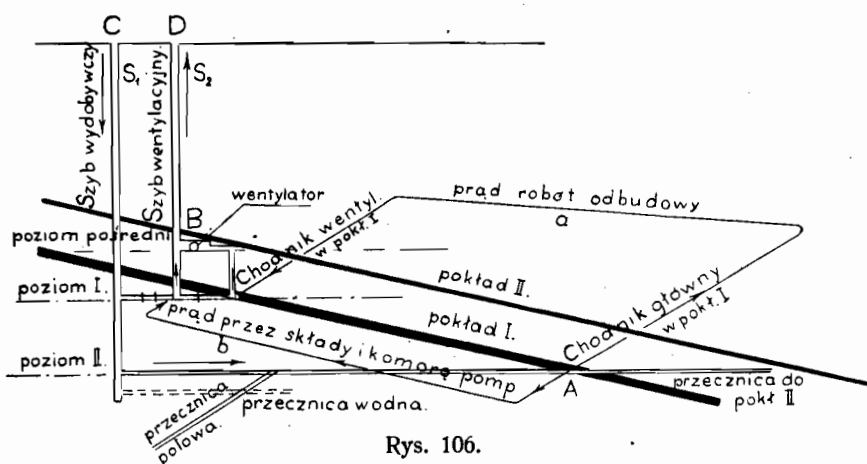
3) zmniejszenie oporu tej bocznic, w której stworzona jest depresja dodatkowa zapomocą regulacji bezpośredniej odjemnej, do wartości $a < cn$,

ale żadne zmiany oporu drugiej bocznic normalnej (b) nie mogą mieć żadnego wpływu na obrócenie się prądu.

Cały kompleks powyższych warunków zostaje ujęty w nierównościach: $\frac{nc}{a} < 1$ dla zachowania normalnych kierunków prądów i $\frac{nc}{a} > 1$ dla obrócenia prądu w b .

Jeżeli więc depresję dodatkową stwarza główny wentylator podziemny, jak na rys. 89, przy istnieniu naturalnej różnicy ciśnień między szybami w charakterze depresji pierwotnej, wówczas obró-

cenie się prądu w dolnej części szybu wentylacyjnego w kierunku do szybu wydobywczego przez łączące je wyrobiska b może powstać: 1) na skutek spadku depresji naturalnej w gorące dni letnie, albo na skutek powstania pożaru w głównym prądzie idącym przez roboty górnicze, co powoduje zwiększenie stosunku n sumy depresyj wewnętrznych do depresji zewnętrznej; 2) przez wydłużenie elementów zewnętrznych, jeżeli np. po zlikwidowaniu górnego poziomu przystępują do odbudowy dolnego poziomu przez pogłębienie szybu i przebicie długiej przecznicy (rys. 106); 3) przez stworzenie gęstej sieci prądów rozgałęzionych w głównej bocznic a , zwiększenie wymiarów wyrobisk, obmurowanie lub wy-



Rys. 106.

torkretowanie chodników, t. j. przez cały szereg czynności, które zwykle mają na celu polepszenie warunków przewietrzania w kopalni, a które w danym wypadku mogą mieć nieoczekiwany skutek fatalny.

Przywrócenie kierunku normalnego prądu w bocznic b , t. j. usunięcie stanu niebezpiecznego w kopalni, jeżeli prąd b jest obrócony, na podstawie rozumowań poprzedzających może być dokonane wogóle przez zarządzenia przeciwnie, a więc przez:

1) zmniejszenie stosunku n depresji dodatkowej h_2 do depresji pierwotnej h_1 do wartości $n < \frac{a}{c}$.

2) zmniejszenie oporów elementów ze-

wewnętrznych do wartości $c < \frac{a}{n}$ zapomocą regulacji bezpośredniej odjemnej.

3) Zwiększenie oporu głównej bocznic a , w której znajduje się wentylator, zapomocą regulacji bezpośredniej dodatniej.

Przytem żadne zarządzenia w bocznic b prócz jej hermetycznego izolowania, nie mogą mieć żadnego wpływu.

W przytoczonym powyżej przykładzie (rys. 89), gdyby nastąpiło obrócenie się prądu w bocznic b , przywrócenie kierunku normalnego może być osiągnięte zatem np. przez następujące zarządzenia:

1) Ogrzanie sztuczne szybu wentylacyjnego w jego części górnej, np. przez celowe wpuszczanie pary do szybu lub zamianę elektrycznego motoru wentylatora parowym, co może kilkakrotnie zwiększyć zazwyczaj nikłą depresję naturalną, a zatem kilkakrotnie zmniejszyć stosunek depresji wentylatora do naturalnej.

2) Wybetonowanie wyrobisk tworzących elementy zewnętrzne, ewentualnie przebicie równoległych wyrobisk podwójnej przecznicy na dolnym poziomie (rys. 106), z których jedna może być wodna (regulacja odjemna w c).

3) Regulację bezpośrednią dodatnią w głównej bocznic a , najprościej zapomocą tamy regulacyjnej przed wentylatorem, przy czem wskazanem jest, ażeby tama była zbudowana zawczasu i była na pogotowiu jako środek zapobiegawczy na wypadek możliwego obrócenia się prądu. Taka tama wszakże okazałaby się bezużyteczną, gdyby obrócenie się nastąpiło na skutek pożaru, byłaby bowiem niedostępną. Zbudowana zaś na początku prądu mogłaby stać się zawadą dla prawidłowego ruchu wózków. W takim razie musiałyby być przedsięwzięte inne środki regulacji dodatniej (w bocznic a), z których najprostszym jest wykluczenie niektórych prądów równoległych.

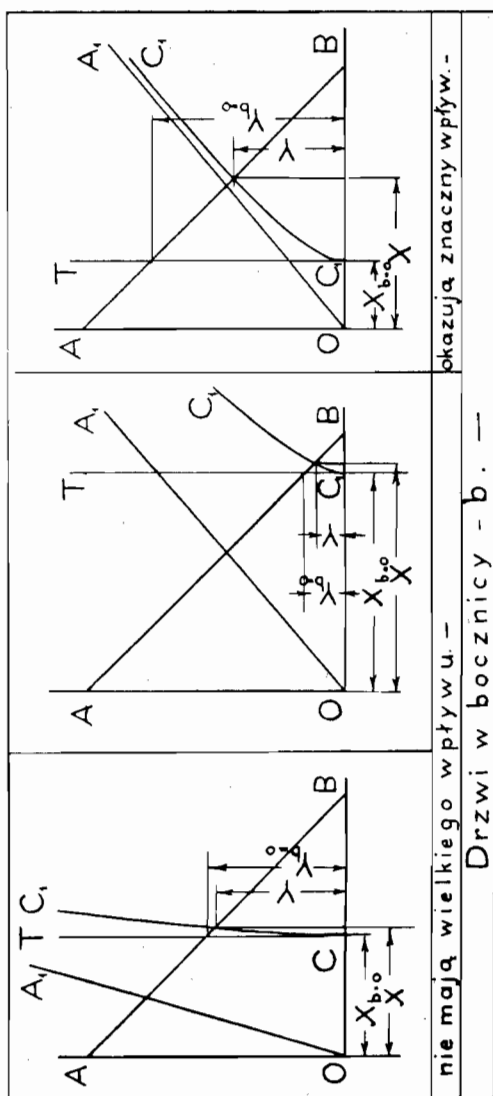
W danym konkretnym wypadku niebezpieczeństwo obrócenia się prądu b , zachodzące istotnie pod wpływem zmian depresji naturalnej, projektowano usunąć przez wykorzystanie istniejącego w szybie S_2 wolnego przedziału nad dyszą wentylatora dla zbudowania przepierzenia i stworzenia specjalnego przedziału wentylacyjnego. Przedział wydobywczy zostałby przy tem wykorzystany jako drugi wchodowy dla świeżego powietrza, przez wen-

tylator zaś przechodziłby teraz cały strumień powietrza kopalni. W takim jednak razie znikają wszelkie motywy zostawienia wentylatora pod ziemią, tembardziej, że ścianka oddzielająca w szybie przedział wentylacyjny powinna być zupełnie hermetyczna, obserwacja zaś i utrzymanie jej w dobrym stanie w szybie jest wielce utrudniona. Jeżeli możliwość urządzenia przedziału wentylacyjnego w szybie mogła być przewidziana przed instalacją wentylatora, to niemniej wentylator należało odrazu umieścić na powierzchni, nieszczelności bowiem przegródki w tym wypadku mogą wprawdzie powodować bądź zmniejszenie się ogólnej ilości powietrza w kopalni, bądź raczej nieekonomiczną pracę wentylatora skutkiem stale zachodzących w przegrodzie krótkich spięć, atoli przy wentylatorze nadziemnym zupełnie jest wykluczone przenikanie zużytego powietrza z przedziału wentylacyjnego do przedziału świeżego powietrza, co przy ustawieniu wentylatora podziemnego skutkiem nieszczelności przegrody jest zawsze możliwe.

Całkowite zamknięcie hermetyczne prądu b jest naturalnie środkiem radykalnym w celu przynajmniej zatrzymania go, lecz możliwym i koniecznym do zastosowania jedynie w czasie zaszłego już nieszczęśliwego wypadku, gdy prądem tym dymy pożarowe kierują się do głównej arterji robót. Jeżeli zaś obrócenie prądu nastąpiło na skutek innych przyczyn i stwarza jedynie niebezpieczne warunki przewietrzania, wówczas hermetyczne odtamowanie nie może być dokonane, gdyż między szybami zwykle powinno istnieć połączenie. Najwyżej drzwi mogą być możliwie szczelnie zamknięte. Atoli szczelne, lecz niehermetyczne zamknięcie nie chroni bocznicy od istnienia w niej prądu. Widzieliśmy też, że żadne zmiany oporów, które w razie zamknięcia drzwi tylko wielce wzrastają, nie sięgając wszakże nieskończoności, nie mogą przywrócić prądu normalnego w b , a zatem są tylko o tyle wskazane, że ilość powietrza, a więc i dymów przenikających tędy będzie znacznie zmniejszona. Gdy jednak pożaru nie ma, szczelne zamykanie drzwi może być bezcelowe, czasami zaś, zależnie od pozycji hiperboli zasadniczej, pozostawianie drzwi w bocznicy b zupełnie otwartych praktycznie nie będzie miało żadnego wpływu na rozdział powietrza i skuteczność przewietrzania robót w głównym prądzie a .

Istotnie, jeżeli, jak na rys. 107a, $tg\alpha = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$ jest bardzo wielkie (a wielkie przy n i b małych), hiperbola zasadnicza C_1

niewiele odchyła się od kierunku stycznej CT do jej wierzchołka, wówczas, gdyby przez otwarcie tamy w bocznicy b opór jej stałby się praktycznie $= 0$, stosunki $X_{b=0}$ i $Y_{b=0}$, bardzo niewiele różniłyby się od stosunków X i Y przy tamie zamkniętej. Również takie same zjawisko miałyby miejsce, gdyby przy mniejszych wartościach $\operatorname{tg} \alpha$ (a — małym, n i b — wielkich) półoś rzeczywista $a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}}$ byłaby bliską do jedności, jak to widać z rys. 107 b. Natomiast, gdy $\frac{nc}{a}$ jest o wiele mniejsze od 1, oraz asymptota posiada znaczne pochylenie, wówczas, jak widać



Rys. 107 a.

Rys. 107 b.

Rys. 107 c.

z rys. 107c, zachodzi znaczna różnica w stosunkach X i Y przy tamie w b zamkniętej i otwartej. Stąd w warunkach rysunków 107a lub 107b zamykanie drzwi w bocznicy b nie gra wielkiej roli; natomiast w warunkach rys. 107c — zamykanie drzwi w bocznicy b jest nieodzownie konieczne.

Jeżeli w ten sposób podziemne wentylatory muszą być uznane za niebezpieczne i winny być w praktyce unikane, to jednak zakaz

ustawiania wentylatorów pod ziemią przez zarządzenia prawno-policyjne nie jest wskazany, często bowiem bywa to jedynym racjonalnym rozwiązaniem problemu przewietrzania w danym konkretnym wypadku. Wszakże techniczna administracja kopalni musi być świadoma istniejącego niebezpieczeństwa i powinna określić wielkość stosunku krytycznego depresji $n_k = \frac{a}{c}$, aby oszacować stopień bezpieczeństwa danej instalacji.

Pod stopniem bezpieczeństwa należy rozumieć stosunek istniejącego stosunku depresji n do stosunku krytycznego:

$$K = \frac{n}{n_k} < 1$$

$$K = \frac{nc}{a} < 1$$

Bezpieczeństwo jest tem większe, im mniejszy jest wskazany stosunek. Od praktyki i nauki zależy ustalenie wielkości współczynnika K dla różnych wypadków.

Stopień bezpieczeństwa z jednej strony zależy od możliwych zmian depresji naturalnej, a z drugiej zaś — od możliwego rozwoju robót górniczych, zwłaszcza od możliwych zmian oporu a . Np. w nowoczesnych kopalniach, zupełnie zelektryfikowanych, nie posiadających w szybach rur parowych, depresja naturalna może łatwo ulegać znacznym wahaniom, przeto współczynnik bezpieczeństwa K powinien być mniejszy, aniżeli w kopalniach z ogrzanym szybem wentylacyjnym. W kopalniach, które osiągnęły swój największy rozwój, i posiadają nieznaczny opór właściwy wielce rozgałęzionej sieci wewnętrznej a , współczynnik bezpieczeństwa K może być większy, gdyż dalsze rozgałęzienie prądów jest mało prawdopodobne. Natomiast w kopalniach, które przez dalszy swój rozwój, a co za tem idzie — rozgałęzianie systemu wentylacyjnego, spodziewają się osiągnąć zmniejszenie oporu a , współczynnik bezpieczeństwa K winien być mniejszy. Lecz jeśli rozkład pól nie pozwala na rozgałęzienie systemu powietrznego, wówczas, przeciwnie, na początku swego rozwoju kopalnie posiadają mniejszy opór właściwy, niż przy pełnym rozwoju, gdyż chodniki podstawowe w poszczególnych pokładach (np. stromo upadających przy ścianowej odbudowie) nie posiadają jeszcze swojej największej długości. W takich wypadkach współczynnik K musi być

mniejszy na początku, w końcowych zaś okresach rozwoju kopalni — może być większy.

W kopalniach, które posiadają wielki opór zewnętrzny c , np. odkrytych zapomocą dwu głębokich szybów i długich nieobmurowanych przecznic, współczynnik K winien być mniejszy, aniżeli w kopalniach, posiadających wiele wychodów na powierzchnię.

W zależności od wszystkich tych okoliczności wystarczający stopień bezpieczeństwa dla różnych kopalń może być różny. Przyпускаjąc, że współczynnik bezpieczeństwa może się wahać w różnych przypadkach w granicach 0,1—0,5. Jeżeli współczynnik bezpieczeństwa przekroczy ustaloną dla danej kopalni normę, będzie to wskazywało na powstałe niebezpieczne warunki przewietrzania.

W ten sposób mniejszy współczynnik bezpieczeństwa należy stosować, jeżeli:

1) Kopalnia jest zelektryfikowana i nie posiada w szybie wentylacyjnym rur parowych.

2) Kopalnia znajduje się w początkowym stadium swojego rozwoju i z biegiem czasu można się spodziewać zmniejszenia oporu sieci wewnętrznej przez rozgałęzianie systemu wentylacyjnego (wypadek najprawdopodobniejszy w naszych warunkach).

3) Kopalnia jest głęboka, posiada tylko dwa szyby i złożę odkryte jest długą pojedynczą nieobmurowaną przecznicą.

W warunkach przeciwnych współczynnik bezpieczeństwa może być większy, wszakże nie powinien przekraczać 0,5.

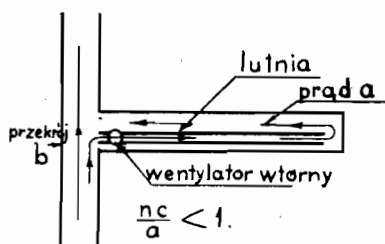
Na wyróżnienie zasługuje przypadek $b = 0$ przy regulacji pośredniej odjemnej. Odpowiada to przewietrzaniu zapomocą wentylatora z lutnią głuchego przodka, pędzonego z wyrobiska, przez które przepływa cały strumień powietrza, np. (rys. 106) przecznicy połowej, pędzonej od przecznicy głównej drugiego poziomu, przecznicy do pokładu drugiego, lub szybu wydobywczego, pogłębianego do poziomu trzeciego.

Jak widać z rys. 104 i 105 mogą tu zachodzić dwa przypadki: $\sqrt{\frac{nc}{a}} < 1$ oraz $\sqrt{\frac{nc}{a}} > 1$. Pierwszy przypadek może mieć raczej miejsce, jeżeli depresja pierwotna jest stworzona wentylatorem, wówczas bowiem zwykle jest $h_2 < h_1$ oraz stosunek n jest

bardzo mały, tak iż prawdopodobnie istnieje nierówność $\sqrt{\frac{nc}{a}} < 1$ (przypadek przecznicy do pokładu II na rys. 106); w takim przypadku przez otwarty przekrój wyrobiska głównego, naprzeciw ślepego, który właśnie stanowi bocznice b o oporze równym 0, płynie świeże powietrze w ilości $\left(1 - \sqrt{\frac{nc}{a}}\right)$ i przewietrzanie głuchego przodka jest normalne, gdyż otrzymuje on zawsze świeży prąd powietrza w ilości $\sqrt{\frac{nc}{a}}$ (rys. 108).

Drugi przypadek może mieć raczej miejsce gdy pierwotna depresja jest naturalna, gdyż wówczas można się spodziewać, że jest $h_2 > h_1$ oraz bardzo prawdopodobna jest nierówność $\sqrt{\frac{nc}{a}} > 1$ (przypadek przecznicy połowej i pogłębianie szybu na rys. 106, gdyż poprzez prąd b między szybami panuje depresja naturalna).

W takim przypadku, jak widać z rys. 105 przez otwarty przekrój wyrobiska naprzeciwko chodnika bocznego płynie prąd wsteczny, czyli część powietrza z chodnika głuchego będzie wracała przez lutnię z powrotem do przodka, czyniąc wątpliwą skuteczność przewietrzania, a czasami niebezpieczną (jeżeli w przodku wydzielają się gazy), pomimo że przez lutnię i chodnik pozornie płynie dość dużo powietrza (rys. 109). W krążeniu tem udział tegoż samego powietrza zużytego będzie tem znaczniejszy, im większy jest stosunek $\frac{c}{a}$ czyli im większy jest opór całego przewodnika głównego,

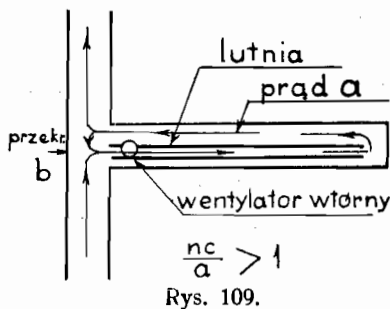


Rys. 108.

oraz im mniejszy jest opór wyrobiska ślepego wraz z lutnią. Teoretycznie, gdy $c = \infty$ lub $a = 0$, otrzymamy krążenie w wyrobisku a przez lutnię tej samej ilości powietrza, bez żadnego odnawiania się, gdyż w takim przypadku, jak widać z rysunku 105, $X = +\infty$, $Y = -\infty$, co jest możliwe jedynie jeżeli $q_a = -q_b$.

Z powyższego wynika, że jeżeli przy danym stosunku n krążenie powietrza w wyrobisku a zachodzi podług szkicu rys. 105, to jedynym środkiem przywrócenia normalnego przewietrzania przy niemożliwości wykonania jakichkolwiek bądź zmian w oporze całej

kopalni — c jest zwiększenie oporu a (zgodnie z rys. 103b). Możemy zatem wnosić, że niebezpieczeństwo powracania zużytego powietrza do lutni zmniejsza się w miarę wydłużania się wyrobiska a , największym zaś jest na początku jego przebijania. Wobec tego, wentylatora wtórnego nie należy używać od samego początku przebijania wyrobiska, nadto na początku należy brać lutnię węższą, zamieniając na szerszą w miarę wydłużania się wyrobiska, lub też — wydłużać na początku lutnię do chodnika głównego c na znaczną odległość



Rys. 109.

w kierunku przeciwnym do prądu (rys. 110) tak, iżby odrazu już wielkość oporu a nie była zbyt mała, w miarę zaś posuwania się przodka przenosić całą lutnię razem z wentylatorem zanim początek lutni nie znajdzie się przy ujściu wyrobiska a . Przez taką instalację jednocześnie tworzy się bocznicą b o określonym oporze > 0 , lecz ta okoliczność w przywróceniu normalnego kierunku prądów w niej nie odgrywa żadnej roli.

Zwróćmy jeszcze uwagę na przypadek $X=1$; $Y=0$. Widzieliśmy, że taki rozdział powietrza może nastąpić w 4 wypadkach: gdy $n = \frac{a}{c}$ (rys. 101),

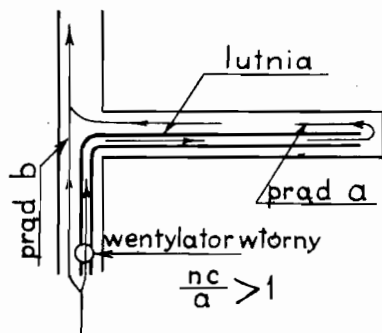
albo gdy $c = \frac{a}{n}$ (rys. 102), albo

gdy $a = nc$ (rys. 103) i wreszcie,

gdy $b = \infty$ (rys. 104 i 105). Te 4 wypadki sprowadzają się właściwie do dwóch: pierwsze trzy stanowią jeden przypadek $\frac{nc}{a} = 1$,

ostatni — stanowi odrębny przypadek, gdy $b = \infty$, przytem $\frac{nc}{a} \geq 1$.

Wszystkie zaś odpowiadają wykluczeniu prądu b , z tą jednak róż-



Rys. 110.

nicą, że w pierwszych trzech przy otwartej bocznicy b prąd prze-
staje płynąć w niej skutkiem odpowiedniego ustosunkowania opo-
rów innych elementów ze stosunkiem n , w ostatnim zaś prąd prze-
staje płynąć w b przez zamknięcie tej bocznicy głuchą tamą. Za-
tem we wszystkich wypadkach otrzymujemy system składający się
z dwóch elementów c i a złączonych szeregowo, czyli jedno
wspólne wyrobisko o oporze $c + a$, w którym znajdują się dwa źró-
dła depresji działające w tym samym kierunku. Muszą zatem w tych
przypadkach ze wzorów ogólnych wypłynąć warunki regulacji od-
jemnej absolutnej zapomocą depresji dodatkowej, ustalone w § 27
rozdziału VI.

Istotnie, w przypadku, gdy $\frac{nc}{a} = 1$, wzory oporu ogólnego (9)
przyjmują postać:

$$\begin{aligned} M_1 &= c + bY^2 = c + b \cdot O = c \\ M_2 &= aX^2 - bY^2 = a \cdot 1 - b \cdot O = a \end{aligned}$$

stąd wynika, że $M_2 = a$ jest wielkością fikcyjnego oporu odjem-
nego μ_x , w porównaniu bowiem z oporem ogólnym pierwotnym
 $M = a + c$ przy jednej depresji h_1 opór $M_1 = c$, który uwzględnia
wpływ depresji dodatkowej h_2 , zmniejszył się właśnie o tę wiel-
kość a . Mamy więc:

$$\frac{\mu_x}{M_1} = n$$

albo:

$$\frac{\mu_x}{M - \mu_x} = n$$

skąd:

$$\mu_x = M \cdot \frac{n}{n + 1} = M \cdot \frac{h_2}{h_2 + h_1} \quad (61)$$

i naturalnie:

$$h_2 = \frac{\mu_x}{M - \mu_x} \cdot h_1 \quad (62)$$

Wzory (61) i (62) są identyczne z wzorami (162) i (166) § 27,
rozdz. VI.

W przypadku $b = \infty$ wzory (9) nie dają wyrazów oporu
ogólnego, gdyż przyjmują postać nieokreśloną:

$$\begin{aligned} M_1 &= c + \infty \cdot O \\ M_2 &= a - \infty \cdot O \end{aligned}$$

jeżeli jednak wzory dla M_1 i M_2 wyprowadzimy w zależności od n , wyznaczając (bY^2) z równania:

$$n = \frac{aX^2 - bY^2}{c + bY^2}$$

otrzymamy:

$$bY^2 = \frac{aX^2 - cn}{n + 1}$$

oraz, wstawiając w (9):

$$M_1 = c + \frac{aX^2 - cn}{n + 1}$$

$$M_2 = aX^2 - \frac{aX^2 - cn}{n + 1}$$

albo:

$$M_1 = \frac{c + aX^2}{n + 1} \quad (63)$$

$$M_2 = \frac{(c + aX^2)n}{n + 1} \quad (64)$$

Z tych równań dla przypadku $X = 1$, otrzymamy:

$$M_1 = \frac{c + a}{n + 1} \quad (65)$$

$$M_2 = \frac{(c + a)n}{n + 1} \quad (66)$$

Z (65), zamieniając $(c + a)$ przez M , oraz M_1 przez $M - \mu_x$ otrzymamy

$$M - \mu_x = \frac{M}{n + 1}$$

skąd:

$$\mu_x = M \frac{n}{n + 1} = M \frac{h_2}{h_2 + h_1} \quad (61)$$

oraz:

$$h_2 = \frac{\mu_x}{M - \mu_x} h_1 \quad (62)$$

też same wzory.

§ 51. Regulacja mieszana bezpośrednia z pośrednią dodatnią w systemach normalnych. Nietrudno zbadać przez rozumowania analogiczne poprzednim zmiany, jakim ulegają krzywe zasadnicze w zależności od zmian oporów c , b , a w przypadku regulacji pośredniej dodatniej, t. j. przy niezgodnych kierunkach depresji dodatkowej z pierwotną.

Na rys. 111a, b, 112 i 113 pokazane są zmiany w pozycjach krzywych zasadniczych, zachodzące pod wpływem zmian oporów zewnętrznych c . Na wszystkich rysunkach obszary zakreskowane odpowiadają pozycjom krzywej zasadniczej przy regulacji bezpośredniej dodatniej, jasne — przy regulacji odjemnej.

Jeżeli $n' < 1$ (rys. 111a, b), wówczas przy zmianach c w granicach od 0 do $b \left(\frac{1-n'}{n'} \right)$ prądy w a i b mają kierunek normalny, stosunki zaś X i Y zmieniają się w granicach od określonych zespołem równań:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Y_0}{X_0} &= \sqrt{\frac{a}{(1-n')b}} \\ X_0 + Y_0 &= 1 \end{aligned} \right\}$$

do $X = 0$; $Y = 1$, przy których następuje zmiana kierunku prądu w a . Poczem przy wzrastaniu c do nieskończoności X i Y rosną podług współrzędnych prostej AF , również do nieskończoności, co odpowiada krążeniu w systemie wewnętrznym przy zamkniętych elementach zewnętrznych tej samej ilości powietrza ($-q_a = q_b$), obrócenie się całego prądu nastąpić wszakże nie może.

Jeżeli $n' < \frac{b}{c+b}$ (rys. 111a), to obrócenie się prądu w a może nastąpić przez wzrost oporu c . Jeżeli zaś $n' > \frac{b}{c+b}$ (rys. 111b) oraz prąd w a płynie w kierunku odwróconym, to przywrócenie kierunku normalnego może być osiągnięte przez regulację odjemną w c , więc zupełnie analogicznie do przypadku regulacji pośredniej odjemnej (rys. 102a i b).

Jeżeli $n' > 1$, lecz $< \frac{a+b}{b}$ (rys. 112), wówczas prąd w a płynie w kierunku odwrotnym, lecz żadną regulacją bezpośrednią w c nie może być przywrócony do normalnego, jak również nie może być obrócony i główny prąd w elementach zewnętrznych. Jeżeli w tych warunkach zmienia się c w granicach od 0 do ∞ , to X i Y zmieniają się od wartości określonych zespołem równań:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Y_0}{X_0} &= \sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}} \\ Y_0 - X_0 &= 1 \end{aligned} \right\}$$

do $X = -\infty$, $Y = +\infty$, podług współrzędnych prostej AF na odcinku $m\infty$.

Jeżeli $n' > \frac{a+b}{b}$ (rys. 113), wówczas obróconemi są prąd a oraz główny prąd w c i stan ten nie może być zmieniony żadną regulacją w c . Jeżeli w tych warunkach c zmienia się w granicach $0 - \infty$, wówczas X i Y zmieniają się od wartości, określonych zespołem równań:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Y_0}{X_0} &= \sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}} \\ X_0 - Y_0 &= 1 \end{aligned} \right\}$$

do $X = +\infty$; $Y = -\infty$, podług współrzędnych prostej AB na odcinku $m - \infty$.

Na rys. 114a, b, 115a, b pokazany jest wpływ zmian oporu bocznicy b . Zakresowane obszary mają to samo znaczenie.

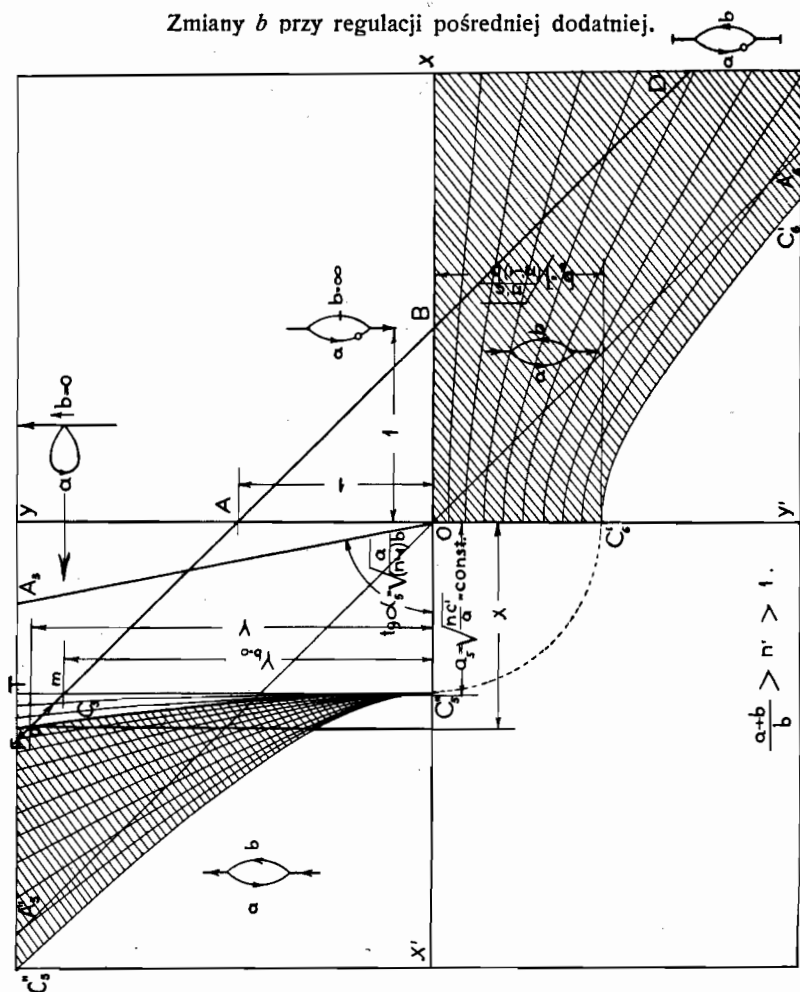
Jeżeli $n' < 1$ (rys. 114a, b), wówczas przy zmianach b w granicach $\infty - \frac{n'c}{1-n'}$ prąd w a posiada kierunek normalny, stosunki zaś X, Y zmieniają się podług współrzędnych prostej AB od $X=1, Y=0$ przy $b=\infty$, czemu odpowiada kompletne zamknięcie prądu b , do $X=0, Y=1$, czemu odpowiada zatrzymanie się prądu w a . Przy zmianach b w granicach $\frac{n'c}{1-n'} - 0$, prąd a ma kierunek obrócony, oraz X i Y zmieniają się podług współrzędnych prostej AF w odcinku Am , do wartości granicznych przy $b=0$:

$$\begin{aligned} X &= -\sqrt{\frac{n'c}{a}} \\ Y &= +\left(1 + \sqrt{\frac{n'c}{a}}\right) \end{aligned}$$

co odpowiada przewietrzaniu głuchych przodków. Oczywiście obrócenie się całego prądu przez regulację bezpośrednią w b osiągnięte być nie może.

Jeżeli $n' < \frac{b}{c+b}$ wówczas prąd a posiada kierunek normalny i może być obrócony, jak widać z rys. 114a, przez regulację odjemną w b (analogicznie do tego, jak przy regulacji pośredniej odjemnej prąd b może być obrócony przez regulację bezpośrednią odjemną w a). Jeżeli zaś $n' > \frac{b}{c+b}$ (rys. 114b) oraz prąd a płynie w kierunku przeciwnym, wówczas jego normalny kierunek może być przywrócony przez regulację dodatnią w b .

Zmiany b przy regulacji pośredniej dodatniej.



Rys. 115 a.

Jeżeli $n' > 1$ (rys. 115a i b), wówczas przy zmianach b w granicach $0 - \frac{a}{n'-1}$ stosunki X i Y zmieniają się podług współrzędnych prostej AF w odcinku $m - \infty$, od wartości granicznych $X_0 = -a_5$; $Y_0 = 1 + a_5$ przy $b = 0$ (czemu, jak i przedtem, odpowiada przypadek przewietrzania głuchych przodków) do $X = -\infty$, $Y = +\infty$. To znaczy przy stałe obróconym prądzie a , w chwili gdy b , zwiększając się osiąga wartości $\frac{a}{n'-1}$, ustaje prąd główny przy otwartych elementach zewnętrznych. Przy dalszem powiększaniu się b następuje obrócenie się prądu głównego, oraz

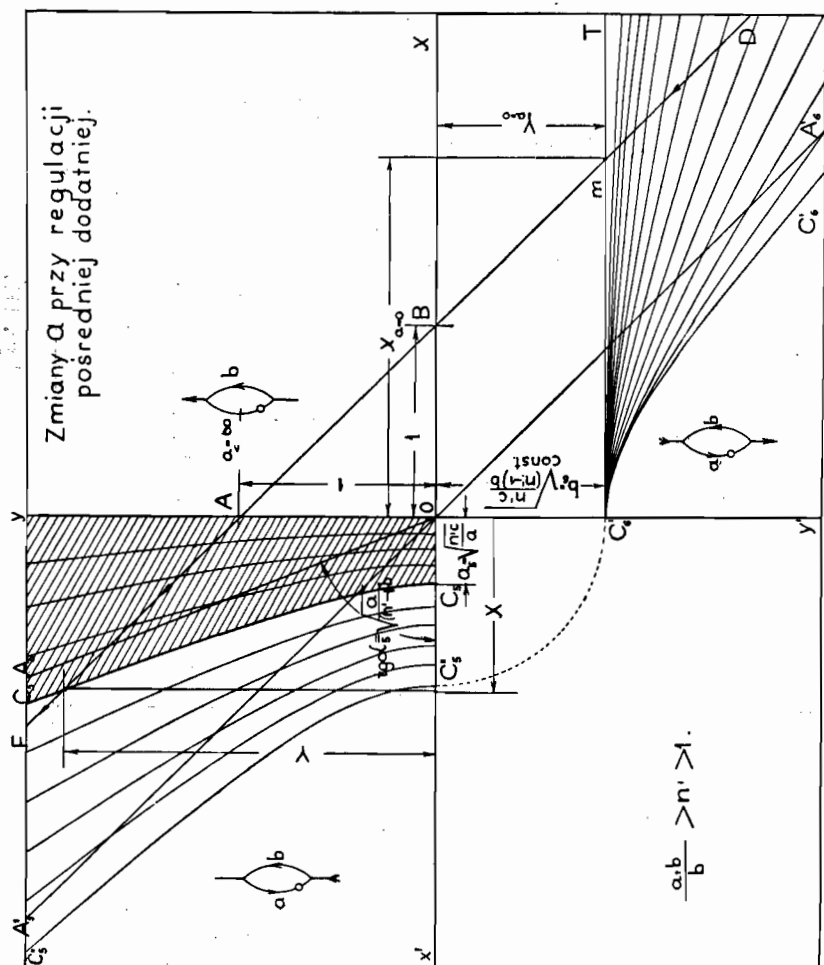
w przypadku $n' > 1$ żadną regulacją bezpośrednią w b nie może być przywrócony kierunek normalny prądu a .

Wreszcie na rys. 116, 117 i 118a, pokazany jest wpływ zmian oporu bocznicy a , w której umieszczony jest wentylator.

Jeżeli $n' < \frac{b}{c+b}$ i prąd a ma kierunek normalny (rys. 116), wówczas przy zmianach a w granicach $0 - \infty$, stosunki X i Y zmieniają się podług współrzędnych prostej BA w odcinku mA od wartości $X = 1 - b_3$, $Y = b_3$ przy $a = 0$ (przypadek w praktyce nie mający sensu) do $X = 0$, $Y = 1$ przy $a = \infty$, czemu odpowiada zamknięcie prądu a i przepływanie całej ilości powietrza przez b jedynie pod wpływem h_1 ; wszakże obrócenie prądu a , a tembardziej głównego, zapomocą żadnej regulacji pośredniej w nim, osiągnięte być nie może (analogicznie do tego jak przy regulacji pośredniej odjemnej żadną regulacją pośrednią w b nie może być prąd ten obrócony).

Jeżeli $n' > \frac{b}{c+b}$ lecz < 1 (rys. 117) i prąd a płynie w kierunku obróconym przy zachowaniu normalnego kierunku prądu głównego, wówczas przy zmianach a w granicach $0 - \infty$ stosunki X i Y zmieniają się podług współrzędnych prostej FA w odcinku mA od wartości $X = -(b_4 - 1)$, $Y_1 = b_4$ przy $a = 0$ (co również niema praktycznego sensu) do wartości $X = 0$, $Y = 1$ przy $a = \infty$, czemu odpowiada zamknięcie prądu a . Wszakże przywrócenie kierunku normalnego prądu, ani też z drugiej strony obrócenie prądu głównego, żadną regulacją bezpośrednią w a jest nieosiągalne.

Jeżeli $n' > 1$ (rys. 118a, b), wówczas przy zachowaniu stale obróconego kierunku prądu a , gdy opór tej bocznicy zmienia się w granicach od $+\infty$ do $b \cdot (n' - 1)$, stosunki X i Y zmieniają się w granicach od $X = 0$, $Y = 1$ (przy $a = \infty$, czemu odpowiada zamknięcie bocznicy a) do $X = -\infty$, $Y = +\infty$ (przy $a = b \cdot (n' - 1)$, czemu odpowiada zatrzymanie się prądu głównego przy otwartych elementach zewnętrznych). Przy dalszych zmianach a w granicach $b \cdot (n' - 1) - 0$ stosunki X i Y zmieniają się podług współrzędnych prostej BD w odcinku $\infty - m$, od nieskończoności do wartości granicznych $X = b_6 + 1$, $Y = -b_6$ (przy $a = 0$), przyczem oczywiście prąd główny zostaje obrócony.



pomocą regulacji odjemnej w b , gdyż wówczas przynajmniej zwiększa się i ilość ogólna powietrza.

Niemniej charakter zjawiska regulacji pośredniej dodatniej może przyjąć wentylacja zasadnicza za pomocą wentylatora podziemnego. Przeciwwstawienie depresji sztucznej do depresji naturalnej dawniej, gdy na kopalniach nie była tak rozpowszechniona energia elektryczna, było bardzo częstym zjawiskiem, a dziś jeszcze można je spotkać na wielu małych kopalniach korzystających z siły pary. W takich wypadkach szyb wydobywczy jest zwykle jednocześnie odwadniającym i mieści w sobie rury parowe podziemnych maszyn parowych odwadniających. W tych warunkach naturalnie szyb wydobywczy jest również i wentylacyjnym wydechowym, co na ogół stwarza bardzo niebezpieczne warunki przewietrzania, cała bowiem odstawa urobku odbywa się w prądzie powietrza zużytego. Jeżeli w tych warunkach wypada przejść do wentylacji sztucznej, wówczas należy kierować prąd powietrza w kierunku przeciwnym naturalnemu, przez co zostaną stworzone nietylko pomyślniejsze, ale i bezpieczniejsze warunki przewietrzania. Jeżeli jednak szyb przeznaczony do wyciągania powietrza z kopalni powinien służyć oprócz tego do innych celów i nie może być zamknięty przez umieszczenie na nim wentylatora, wówczas oczywiście musi być on umieszczony na dole, nadto w pewnej bocznicy (a), przez co stworzy się kombinacja dwu depresji: w prądzie głównym pierwotnej — naturalnej i przeciwnej do niej dodatkowej — sztucznej w prądzie bocznym. Zupełnie naturalnie, że w takim wypadku stosunek n' zawsze obiera się taki, żeby prąd główny został obrócony, t. j. przewietrzanie zachodzi w warunkach dolnej prawej ćwierci na rys. 101 w obszarze poniżej prostej C_2T i powinna być zachowana nierówność $n' > \frac{a+b}{b}$. Widzieliśmy jednak, że w takim przy-

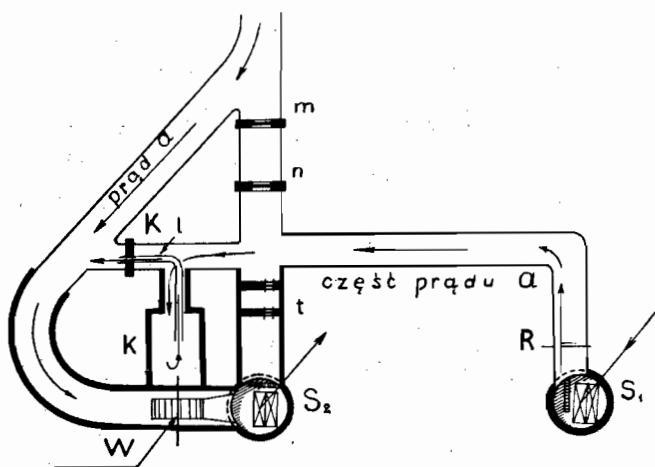
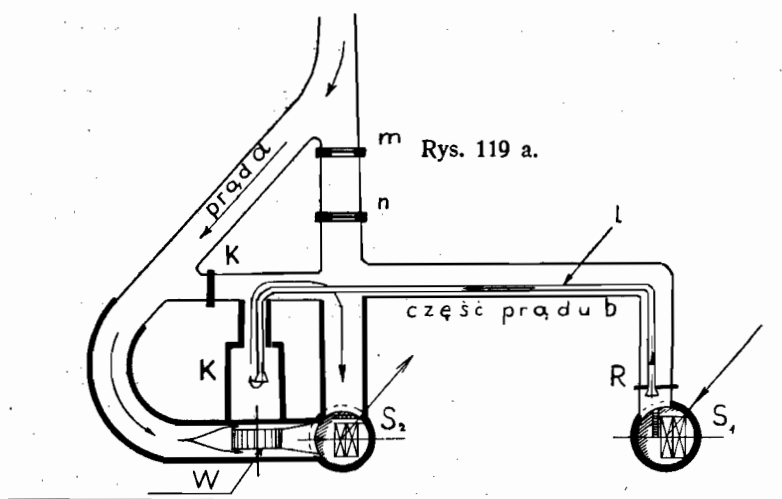
paddu w bocznicy b prąd zachowuje swój kierunek pierwotny, czyli zostaje obrócony w stosunku do prądu głównego i prądu a , których kierunek teraz zostaje normalny. Nadto widzieliśmy, że żadną regulacją bezpośrednią w którymkolwiek bądź elemencie systemu uzgodnienie prądów a i b nie może być osiągnięte i stan niebezpieczny nie może być usunięty żadną miarą.

Stąd wypływa wniosek, że w przypadku niezgodnej depresji wentylatora podziemnego z naturalną połączenie między szybami (prąd b)

należy utrzymać zawsze w bardzo szczelnem zamknięciu.

Ponieważ jednak szczelne zamknięcie nie może być hermetyczne (i nie powinno być, inaczej bowiem nie byłoby powodów umieszczenia wentylatora pod ziemią), przeto wobec całkowitego uniknięcia stanu niebezpiecznego w kopalni, należy przyjąć za prawidło, że w przypadku konieczności przeciwstawienia prądu sztucznego naturalnemu w żadnym razie nie umieszczać wentylatora pod ziemią i szyb wydechowy wentylacyjny mieć wyłącznie do tego celu przeznaczony, jeżeli zaś niepodobna odłączyć od szybu wentylacyjnego jego innych funkcji, stosować na powierzchni służę zamykającą szyb, godząc się raczej na straty w powietrzu lub energii mechanicznej wentylatora, jakie z tego powodu powstają.

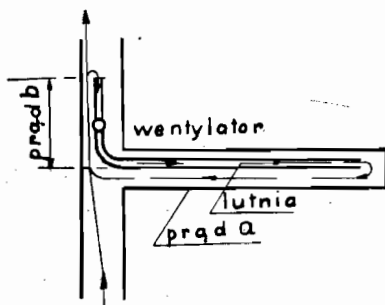
W stosunku do wentylatorów (głównych) podziemnych ważną jest jeszcze jedna uwaga, która jednakowo stosuje się do przypadków niezgodnej i zgodnej depresji jego z naturalną. Celem obserwacji ruchu wentylatora, zwłaszcza w czasie pożaru, eksplozji etc., powinno być utrzymane połączenie z komorą jego motoru, gdzie się mieszczą różne przyrządy kontrolujące, stale w prądzie świeżego powietrza niezależnie od istnienia prądu *b*. W tym celu należy uważać, ażeby ten specjalny prąd komory wentylatora wchodził w kompleks systemu prądu *a*, t. j. żeby się łączył on po wyjściu z komory z prądem ogólnym przed wentylatorem, nie zaś poza nim w szybie wentylacyjnym, albo z bocznicą *b*; inaczej bowiem przy niezgodnych depresjach mielibyśmy w nim zawsze prąd wsteczny, przy zgodnych zaś mógłby ulegać obróceniu się i dozór nad ruchem wentylatora właśnie w chwilach krytycznych mógłby być uniemożliwiony. Rys. 119a przedstawia przykład wadliwej (niebezpiecznej) dyspozycji wyrobisk i przewietrzania komory maszynowej wentylatora *K*, obserwowanej na jednej z kopalń zagłębia Dąbrowskiego, przy zgodnych depresjach sztucznej i naturalnej. Jak widać z rysunku, komora *K* wentyluje się lutnią *l*, wstawioną do tamy *R* na podszybiu wydobywczego szybu *S*₁, którym powietrze schodzi do kopalni, przyczem prąd użyty z komory powraca wprost do szybu wentylacyjnego *S*₂, a więc poza wentylatorem, i wchodzi w skład



Rys. 119 b.

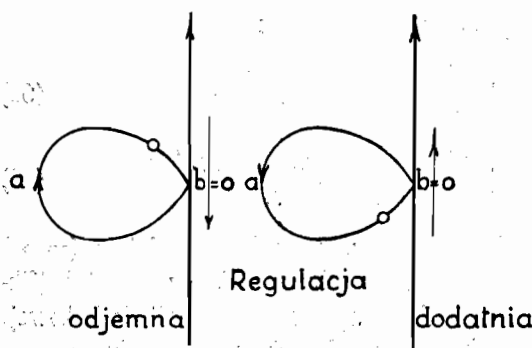
bocznicy b . Dyspozycja poprawna powinna być taką, jak na rys. 119b. Tutaj szyb wentylacyjny S_2 na podszyciu jest odtamowany na głucho podwójną tamą t ; komora K łączy się lutnią l przez tamę K z prądem idącym do wentylatora, świeży zaś prąd przychodzi przez okienko w tamie regulacyjnej R na podszyciu szybu wydobywczego. W tamie tej mogą być zrobione drzwi, zwykle zamknięte, dla komunikacji z przedziału drabinowego lub klatek z komorą wentylatora przez chodnik łączący podszycia. Jasnym jest, że przy tej dyspozycji prąd komory wentylatora wchodzi w kompleks systemu prądu a , i nigdy obrócić się nie może.

Co się tyczy używania depresji niezgodnej dla przewietrzania głuchych przodków, to w formie jawnej (np. podług szkicu rys. 120) chyba tylko przez nieuwagę może mieć miejsce w praktyce, gdyż zupełnie zrozumiałe, że w takim przypadku w części *b* chodnika głównego płynie więcej powietrza niż w całym prądzie o ilość, krążącą w chodniku *a*, i w tym ostatnim wentylator będzie powodował krążenie w części już zużytego powietrza. Ażeby tego uniknąć należy zawsze część lutni wychodzącej na chodnik główny zawracać w kierunku przeciwnym do prądu głównego.



Rys. 120.

Jeżeli jednak bocznica *b* zamienia się w przekrój chodnika *c*, t. j. lutnia jest ułożona jedynie w chodniku *a* oraz $b = 0$, wówczas, jak widać z porównania rys. 114a (lub 115a) z rysunkiem 105, oraz schematów przewietrzania, jakie w obydwu przypadkach mają miejsce (rys. 121), stają się te przypadki co do swojej istoty identyczne i nie może być rozpoznane, czy mamy do czynienia



Rys. 121.

z depresją zgodną lub niezgodną. Istotnie, jeżeli bocznica *a* ma swoje punkty końcowe na linii prądu głównego we wspólnym miejscu, wówczas niemożliwym jest określić, w którym kierunku właściwie płynie w niej prąd, skonstatowanie zaś większej ilości powietrza płynącej przez

lutnię, niż w chodniku głównym, świadczy o tem, że w prądzie *a* nie mamy świeżego powietrza oraz, że w przekroju *b* — posiadamy kierunek prądu niezgodny z kierunkiem w lutni. Ażeby uniknąć tego wypadku, należy jedynie dbać o to, aby n było $< \frac{a}{c}$.

Z przypadku $b = \infty$ możemy wyprowadzić wpływ regu-

lacji pośredniej dodatniej absolutnej; z równania (38) dla przypadku $n' < 1$ (rys. 114a i b):

$$n' = \frac{-aX^2 + bY^2}{c + bY^2}$$

określamy

$$bY^2 = \frac{n'c + aX^2}{1 - n'}$$

i wstawiając w (37) wyprowadzamy nowe wzory oporu ogólnego:

$$M_1 = c + \frac{n'c + aX^2}{1 - n'} = \frac{c + aX^2}{1 - n'} \quad (67)$$

$$M_2 = aX^2 + \frac{n'c + aX^2}{1 - n'} = \left(\frac{c + aX^2}{1 - n'} \right) \cdot n' \quad (68)$$

z równania zaś (44) dla przypadku $n' > 1$ (na rys. 115a i b)

$$n' = \frac{aX^2 + bY^2}{-c + bY^2}$$

określamy

$$bY^2 = \frac{aX^2 + n'c}{n' - 1}$$

wstawiając do (43), otrzymamy nowe wzory:

$$M_1 = -c + \frac{n'c + aX^2}{n' - 1} = \frac{c + aX^2}{n' - 1} \quad (69)$$

$$M_2 = aX^2 + \frac{n'c + aX^2}{n' - 1} = \frac{(c + aX^2)n'}{n' - 1} \quad (70)$$

Oznaczając przez M opór pierwotny, przy b zamkniętem ($= \infty$) równy oczywiście $(c + a)$, przez μ_x opór dodatkowy dodatni (fikcyjny) możemy opór M_1 , zmieniony wpływem depresji dodatkowej, zamienić przez $M + \mu_x$. Wówczas, ponieważ w przypadku $b = \infty$, $X = 1$, z (67) — gdy $n' < 1$, $h_2 < h_1$ wyprowadzamy

$$M + \mu_x = \frac{M}{1 - n'}$$

skąd

$$\mu_x = M \cdot \frac{n'}{1 - n'} = M \cdot \frac{h_2}{h_1 - h_2} \quad (71)$$

Z (69) zaś gdy $n' > 1$; $h_2 > h_1$ dla prądu obróconego:

$$\mu_x = M \cdot \frac{n'}{n' - 1} = M \cdot \frac{h_2}{h_2 - h_1} \quad (72)$$

Wzory te mogą być połączone w jeden, jeżeli przyjąć dla kierunku odwróconego odjemną wartość oporu dodatkowego ogólnego. Również mogą one być połączone ze wzorami (61), jeżeli poza tem depresje przeciwnie będziemy liczyli odjemnymi. W ten sposób wzory (61) i (62)

$$\mu_x = M \cdot \frac{h_2}{h_1 + h_2}; \quad h_2 = \frac{\mu_x}{M - \mu_x} \cdot h_1$$

będą ważne dla regulacji absolutnej przy wszelkich wartościach h_2 od $+\infty$ do $-\infty$.

§ 52. Przykłady liczbowe. Widzieliśmy, że w przypadku regulacji pośredniej odjemnej mogą być przywrócone normalne warunki przewietrzania zapomocą regulacji bezpośredniej w elementach a i c . Dla określenia wielkości odpowiednich oporów dodatkowych przy zadanych stosunkach X i Y musimy tylko rozwiązać równania (9) odnośnie niewiadomych a i c . Dla celów praktycznych podajemy rozwiązania w postaci gotowych wzorów. Przy zgodnym kierunku prądu b ($n < \frac{a}{c}$):

$$1. \quad n = \frac{aX^2 - bY^2}{c + bY^2} \quad (73)$$

$$2. \quad c = \frac{1}{n} [aX^2 - (n + 1)bY^2] \quad (74)$$

$$3. \quad a = \left[nc + (n + 1)bY^2 \right] \frac{1}{X^2} \quad (75)$$

$$4. \quad b = \frac{aX^2 - nc}{(n + 1)Y^2} \quad (76)$$

przy niezgodnym kierunku b ($n > \frac{a}{c}$):

$$5. \quad n = \frac{aX^2 + bY^2}{c - bY^2} \quad (77)$$

$$6. \quad c = \frac{1}{n} [aX^2 + (n + 1)bY^2] \quad (78)$$

$$7. \quad a = \left[nc - (n + 1)bY^2 \right] \frac{1}{X^2} \quad (79)$$

$$8. \quad b = \frac{nc - aX^2}{(n + 1)Y^2} \quad (80)$$

Odpowiednie wzory dla przypadku regulacji pośredniej dodatniej mogą być bez trudu wyprowadzone w razie potrzeby.

1. Rozwiążmy dla przykładu zadanie przytoczone w § 28, rozdz. VI, str. 111.

Dany jest system:

$$\begin{aligned} a &= 230 \rightarrow a_0 = 0,79^1) \\ b &= 312 \rightarrow \underline{b_0 = 0,67} \\ (a, b) &= 68 \leftarrow (a, b)_0 = 1,46 \\ c &= \underline{45} \\ M &= 113 \rightarrow A = 1,13 \\ h_1 &= 42 \text{ m/m} \\ q &= \frac{A \sqrt{h_1}}{0,38} = \frac{1,13 \sqrt{42}}{0,38} = 19,8 \\ q_a &= q \frac{a_0}{(a, b)_0} = \frac{19,8 \cdot 0,79}{1,46} = 10,60 \\ q_b &= q \frac{b_0}{(a, b)_0} = \frac{19,8 \cdot 0,67}{1,46} = 9,20 \\ q_a + q_b &= 10,60 + 9,20 = 19,8 = q \end{aligned}$$

Dane stosunki są:

$$\begin{aligned} X &= \frac{q_a}{q} = \frac{10,60}{19,80} = 0,535 \\ Y &= \frac{q_b}{q} = \frac{9,20}{19,80} = 0,465 \\ X + Y &= 0,535 + 0,465 = 1 \end{aligned}$$

Należy ustalić za pomocą depresji dodatkowej w a stosunki:

$$X' = 0,60; \quad Y' = 0,40$$

Ponieważ warunek $X' + Y' = 1$ jest zachowany, przeto obliczamy podług (73):

$$n = \frac{a(X')^2 - b(Y')^2}{c + b(Y')^2} = \frac{230 \cdot 0,60^2 - 312 \cdot 0,40^2}{45 + 312 \cdot 0,40^2} = \sim 0,35$$

¹⁾ Oznaczenia a_0 — odpowiadają otworom równoznacznym. Strzałki oznaczają wynik otrzymany z obliczenia podług wzorów $a_0 = \frac{12}{\sqrt{a}}$; $a = \frac{144}{a_0^2}$.

Skąd $h_2 = h_1 \cdot 0,35 = 42 \cdot 0,35 = \sim 14,6$ mm.

Sprawdzenie:

$$n = 0,35 < \frac{a}{c} = \frac{230}{45} = \sim 5.$$

(W § 28 otrzymaliśmy $h_2 = 14,2$. Jak widzimy, sposób uproszczony, jeżeli c nie przekracza 20% wartości a , nie daje wyników praktycznie fałszywych).

Opór ogólny systemu przy uwzględnieniu depresji dodatkowej będzie podług (9)

$$M_1 = c + b (Y')^2 = 45 + 312 \cdot 0,40^2 = 95$$

(zamiast obliczonego w § 28 — 97).

Otwór równoznaczny:

$$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} = \frac{12}{\sqrt{95}} = 1,23$$

Ogólna ilość powietrza:

$$q_1 = \frac{A_1 \sqrt{h_1}}{0,38} = \frac{1,23 \sqrt{42}}{0,38} = 21$$

(zamiast obliczonego w § 28 — 21,4).

Ten sam wynik otrzymamy, wychodząc z oporu M_2 i depresji dodatkowej h_2 , podług (9):

$$M_2 = a (X')^2 - b (Y')^2 = 230 (0,60)^2 - 312 (0,40)^2 = 32,5$$

$$\text{Skąd: } q_2 = \sqrt{\frac{h_2 \cdot 1000}{M_2}} = \sqrt{\frac{14,6 \cdot 1000}{32,5}} = \sim 21$$

Ta ilość powietrza dzieli się na obydwie bocznice oczywiście w stosunku zadanym:

$$q'_a = 21 \cdot 0,60 = 12,6$$

$$q'_b = 21 \cdot 0,40 = 8,4$$

(Zamiast 12,8 i 8,6 otrzymanych w § 28. Bliskość rozwiązania podług wzorów ścisłych oraz uproszczonych nie może być zachętą do używania metody błędnej, proponowanej w § 28, gdyż mogą być oczywiście wypadki, w których wyniki będą wielce rozbieżne, tembardziej, że nie uważamy, ażeby rozwiązanie zadania podług wzorów dokładnych było bardziej trudne i kłopotliwe).

Rozwiążmy zadanie odwrotne przy tych samych danych; przypuśćmy, że dane jest $h_2 = 14,6$ oraz stosunek

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{14,6}{42} = 0,35$$

W jakim stosunku podzieli się powietrze na bocznicę a i b ?

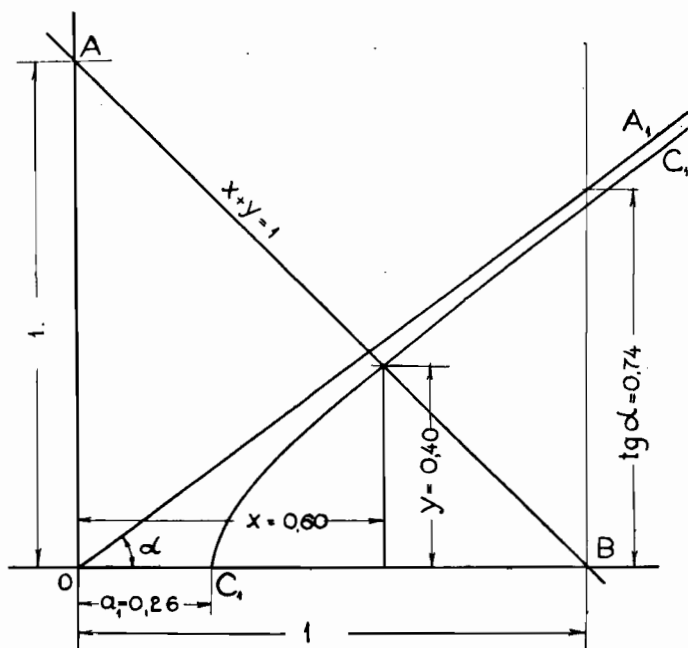
Ponieważ warunek $n < \frac{a}{c}$ jest zachowany, przeto krzywa zasadnicza ma postać hiperboli. Dla jej wyrysowania obliczamy: podług (21) półos rzeczywistą:

$$a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}} = \sqrt{\frac{0,35 \cdot 45}{230}} = 0,26 < 1$$

i podług (23) nachylenie asymptoty:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}} = \sqrt{\frac{230}{1,35 \cdot 312}} = 0,74.$$

Wykreślając podług tych danych hiperbolę zasadniczą (rys. 122)



Rys. 122.

oraz prostą $X + Y = 1$, znajdujemy bezpośrednio z rysunku jako współrzędne ich punktu przecięcia się stosunki:

$$X' = 0,60, \text{ oraz } Y' = 0,40.$$

Następnie podług (9) określamy opór ogólny, oraz ogólną ilość powietrza przy zadanych wielkościach depresyj.

Postawmy pytanie, przy jak wielkiej depresji h_2 prąd w bocznic b ustanie?

Z warunku (18) znajdujemy:

$$n = \frac{a}{c} = \frac{230}{45} = 5,10$$

stąd:

$$h_2 = h_1 \cdot n = 42 \cdot 5,1 = 214 \text{ mm (depresja krytyczna).}$$

Przy jak wielkiej depresji pierwotnej h_1 depresja dodatkowa $h_2 = 14,6$ m/m byłaby krytyczna, t. j. byłaby w stanie obrócić prąd w b ?

$$n > \frac{a}{c} = 5,1$$

$$h_1 < \frac{h_2}{n} = \frac{14,6}{5,1} = 2,9 \text{ mm.}$$

Taką wielkość bardzo łatwo mogłaby posiadać depresja naturalna.

Przy jakiej wartości a depresja $h_2 = 14,6$ byłaby w stanie obrócić prąd w b , spowodowany depresją pierwotną $h_1 = 42$?

Z (18):

$$a = n \cdot c = 0,35 \cdot 45 = 15$$

Taką wartość mogłaby przyjąć bocznic a , gdyby się składała ona z 4 jednakowych bocznic. Wspólny ich opór byłby wówczas

$$\frac{230}{4^2} = 14,375$$

Przy jakiej wartości c nastąpiłoby obrócenie się prądu w tych samych warunkach?

Z (18):

$$c = \frac{a}{n} = \frac{230}{0,35} = 810.$$

Przypuśćmy, że depresja pierwotna nie istnieje, t. j. $h_1 = 0$ i prąd w b pod wpływem depresji $h_2 = 14,6$ jest obrócony. Jakie są stosunki podziału powietrza?

Ze wzorów na str. 38

$$X' = 1 + \sqrt{\frac{c}{b}} = 1 + \sqrt{\frac{45}{312}} = 1,38$$

$$Y' = \sqrt{\frac{c}{b}} = \sqrt{\frac{45}{312}} = 0,38$$

Z (27) określamy opór ogólny:

$$M_2 = a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c = 230 \left(1 + \sqrt{\frac{45}{312}} \right)^2 + 45 = 483$$

$$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} = \frac{12}{\sqrt{483}} = 0,57$$

$$q_2 = \frac{A_2 \sqrt{h_2}}{0,38} = \frac{0,57 \cdot \sqrt{14,6}}{0,38} = 5,7$$

$$q_a = 1,38 \cdot 5,7 = 7,85$$

$$q_b = 0,38 \cdot 5,7 = 2,15$$

$$q_a - q_b = 7,85 - 2,15 = 5,7 = q_2.$$

Jaka ilość powietrza płynęłaby przez system, gdyby depresja $h_1 = 42$ była umieszczona w bocznicy a ?

$$q_1 = \frac{A_2 \sqrt{h_1}}{0,38} = \frac{0,57 \cdot \sqrt{42}}{0,38} = 9,75$$

przyczem:

$$q_a = 9,75 \cdot 1,38 = 13,40$$

$$q_b = 9,75 \cdot 0,38 = 3,65$$

$$q_a - q_b = 13,40 - 3,65 = 9,75$$

zamiast 19,8 przy umieszczeniu tej samej depresji w elemencie zewnętrznym. Widzimy więc, o ile jest nieekonomiczne umieszczanie wentylatora w sieci wewnętrznej, nie mówiąc już o obróceniu się prądu w b .

Przypuśćmy teraz, że w tym samym systemie mamy depresję zewnętrzną $h_1 = 5$ m/m (depresja naturalna),

oraz depresję wewnętrzną $h_2 = 40$ m/m. W takim przypadku mamy:

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{40}{5} = 8 > \frac{a}{c} = \frac{230}{45} = 5,1$$

przeto prąd w bocznicy b jest obrócony. Znajdziemy w tym przypadku stosunki X i Y .

Ponieważ $n > \frac{a}{c}$, przeto krzywa zasadnicza ma postać elipsy. Jej półosie są:

Wzdłuż osi odciętych, podł. (21):

$$a_2 = \sqrt{\frac{nc}{a}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 45}{230}} = 1,25 > 1$$

Wzdłuż osi rzędnych, podług (22):

$$b_2 = \sqrt{\frac{n \cdot c}{(n+1)b}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 45}{9 \cdot 312}} = 0,358$$

Podług tych danych wykreślamy elipsę (rys. 123), oraz prostą $X - Y = 1$ i znajdujemy bezpośrednio z rysunku jako współrzędne ich punktu przecięcia się stosunki:

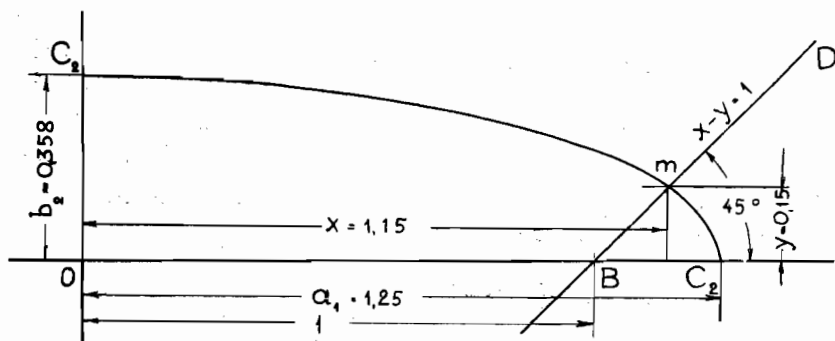
$$X = 1,15$$

$$Y = 0,15$$

Poczem podług wzorów (9 bis) określamy opór ogólny:

$$M_2 = aX^2 + bY^2 = 230 \cdot 1,15^2 + 312 \cdot 0,15^2 = 311$$

$$M_1 = c - bY^2 = 45 - 312 \cdot 0,15^2 = 38$$



Rys. 123.

oraz:

$$q_2 = \sqrt{\frac{h_2 \cdot 1000}{M_2}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 1000}{311}} = 11,4$$

lub:

$$q_1 = \sqrt{\frac{h_1 \cdot 1000}{M_1}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 1000}{38}} = 11,4$$

$$q_a = q_2 \cdot X = 11,4 \cdot 1,15 = 13,1$$

$$q_b = q_2 \cdot Y = 11,4 \cdot 0,15 = 1,7$$

$$q_a - q_b = 13,1 - 1,7 = 11,4 = q_2$$

Przypuśćmy, że w tym samym systemie chodzi o przywrócenie prądu normalnego w b przy zachowaniu stosunków $X=0,9$ oraz $Y=0,1$.

O ile należałoby zmniejszyć depresję $h_2 = 40$?

Zakładamy, że $h_1 = 5$ jest depresją naturalną, która nie może być zmieniona. Z (73) znajdujemy:

$$n = \frac{aX^2 - bY^2}{c + bY^2} = \frac{230 \cdot 0,9^2 - 312 \cdot 0,1^2}{45 + 312 \cdot 0,1^2} = 3,85$$

$$h_2 = h_1 \cdot n = 5 \cdot 3,85 = 19 \text{ m/m}$$

Jeżeli jest to niemożliwe, można ten sam cel osiągnąć przez regulację bezpośrednią odjemną c :

Z (74) znajdujemy:

$$\begin{aligned} c &= \frac{1}{n} [aX^2 - (n+1)bY^2] = \\ &= 0,125 [230 \cdot 0,9^2 - 9 \cdot 312 \cdot 0,1^2] = 19,8 \end{aligned}$$

zamiast 45. Takie zmniejszenie oporu elementów zewnętrznych może być łatwo osiągnięte przez nieznaczne rozszerzenie wyrobisk, staranną obudowę, etc. Gdyby to było niemożliwe, zamierzone ustosunkowanie powietrza może być jeszcze osiągnięte przez regulację dodatnią w prądzie a zapomocą tamy regulacyjnej.

Z (75) znajdujemy:

$$\begin{aligned} a &= [nc + (n+1)bY^2] \frac{1}{X^2} = \\ &= [8 \cdot 45 + 9 \cdot 312 \cdot 0,1^2] \frac{1}{0,9^2} = 475 \end{aligned}$$

Zatem opór tamy regulacyjnej powinien wynosić

$$\mu_a = 475 - 230 = 245$$

2. Następujący przykład jest wzięty z praktyki.

Na pewnej kopalni zagłębia Dąbrowskiego istnieje podziemny wentylator. Opór strumienia głównego przez roboty górnicze został oszacowany na 158,32 miurgów, czyli otwór równoznaczny 0,95. Opór prądu, idącego z szybu wydobywczego przez komorę kompresora oraz stajnię do szybu wentylacyjnego, wynosi 224 miurgów, czyli otwór równoznaczny 0,80. Otwory zatem dwu głównych bocznic systemu normalnego stosują się do siebie jak 0,95 : 0,80; pomimo to pomiary powietrza wobec istnienia wentylatora w pierwszej bocznic (a) umożliwiają oszacowanie podziału powietrza w stosunku: 77 : 23.

Mamy zatem: $a = 158$

$$b = 224$$

oprócz tego opór szybów: $c = 2,3$;

stosunki $X = 0,77$, $Y = 0,23$.

Stąd

$$n = \frac{aX^2 - bY^2}{c + bY^2} = \frac{158 \cdot 0,77^2 - 224 \cdot 0,23^2}{2,3 + 224 \cdot 0,23^2} = 5,75$$

Ponieważ depresja wentylatora wynosi ~ 32 m/m, przeto w szybie istnieje depresja $h_1 = \frac{32}{5,75} = \sim 5,5$ m/m.

Opór ogólny systemu kopalni, obliczony sposobem zwykłym, wynosi 49,3, a otwór równoznaczny 1,7. Atoli, wobec umieszczenia wentylatora pod ziemią w jednej z bocznic, opór jest faktycznie inny, a mianowicie podług (9):

$$M_2 = aX^2 - bY^2 = 158 \cdot 0,77^2 - 224 \cdot 0,23^2 = 82$$

Odpowiednio otwór równoznaczny $A_2 = \frac{12}{\sqrt{82}} = 1,3$

W ten sposób ten sam wentylator umieszczony na górze dałby więcej powietrza w stosunku $1,7 : 1,3 = 1,3$.

Postawmy sobie pytanie. O ile istnieje niebezpieczeństwo obrócenia się prądu b w danej kopalni?

Warunek $n < \frac{a}{c}$ jest zachowany, ponieważ $n = 5,75 < \frac{a}{c} =$

$$= \frac{158}{2,3} = 69 \text{ i współczynnik bezpieczeństwa wynosi}$$

$$K = \frac{n}{n_k} = \frac{5,75}{69} = 0,083$$

Można więc przypuszczać, że niebezpieczeństwo obrócenia się prądu jest małe.¹⁾ Do jakiej jednak wielkości powinna się zmniejszyć depresja naturalna, ażeby obrócenie się stało możliwe? Z (18) wynika, że n powinno być bliskim 69; czyli $h_1 = \frac{h_2}{69} = \frac{32,5}{69} = \sim 0,45 \text{ m/m}$.

Pozostaje otwartem pytanie, czy wobec braku jakiegokolwiek źródła ciepła w szybie wentylacyjnym na danej kopalni, nie posiadającej podziemnych maszyn parowych, przy depresji naturalnej, uzależnionej jedynie od różnicy temperatury powietrza wchodzącego i wychodzącego, i prawie stałej temperaturze powietrza w szybie wentylacyjnym, nie może spaść blisko do tej wielkości krytycznej depresja naturalna w upalne dni letnie?

Wiemy też, że obrócenie się może nastąpić na skutek zmniejszenia się oporu a , t. j. skutkiem rozwoju robót, zwiększenia ilości bocznic, z których składa się kompleks prądu a . Przy jakiej więc wielkości a może to nastąpić w danym przypadku?

$$a < nc$$

$$a < 5,75 \cdot 2,3 = 13,2$$

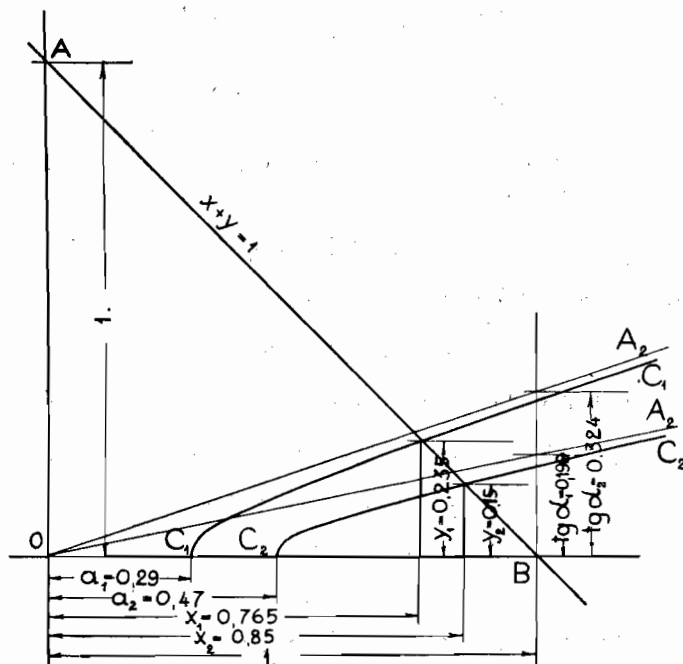
Opór 13,2 w porównaniu z istniejącym 158 stanowi naturalnie bardzo wielką rezerwę. Czy jednak nie jest niemożliwe wspólne działanie dwu przyczyn: zmniejszenia się depresji naturalnej i powiększenia otworu równoznacznego głównego prądu robót, i czy wobec tego może kopalnia gwarantować, że obrócenie się prądu w b nigdy nie nastąpi? Niemniej należy przyznać, że rezerwa możliwych zmian n lub a jest dosyć wielka, dlatego też przy danym rozwoju robót stopień bezpieczeństwa jest znaczny. Na kopalni jednak w celu ogólnego powiększenia ilości powietrza, którego się odczuwa pewien brak dla zamierzonej produkcji, istnieje projekt zmniejszyć opór bocznic a do 60 miurgów przez wybetonowanie wszystkich chodników wenty-

¹⁾ W rzeczywistości na danej kopalni podziemny wentylator znajduje się w jednej z bocznic systemu przekątnego, co stwarza znacznie mniej pomyślne warunki. Upraszczamy jednakże zadanie dla celów niniejszego artykułu.

lacyjnych, oraz odpowiednie rozgałęzienie systemu. Wówczas oczywiście stopień bezpieczeństwa zmniejszy się bardzo znacznie,

gdyż $n_k = \frac{60}{2,3} = 26$ i $K = \frac{n}{n_k} = \frac{5,75}{26} = 0,22$.

Rezerwa wszakże zostanie jeszcze więcej niż 4-krotna, lecz spadek depresji naturalnej z 5 m/m do 1,25 m/m zamiast do 0,45 spowoduje już obrócenie się prądu. Wątpliwym jednakże pozostanie czy wobec bardzo nieznacznej depresji naturalnej można byłoby



Rys. 124.

dopuszczyć w tej kopalni bardziej znaczne obniżenie oporu właściwego ważnej bocznicy a .

Rys. 124 przedstawia hiperbolę zasadniczą C_1 kopalni dla istniejącego stanu rzeczy przy $a = 158$, oraz C_2 dla projektowanego zmniejszenia oporu a do 60. Dla wykreślenia tych hiperbol obliczamy rzeczywiste półosie podług (21):

$$a = \sqrt{\frac{nc}{a}}$$

$$a_1 = \sqrt{\frac{5,75 \cdot 2,3}{158}} = 0,29$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{5,75 \cdot 2,3}{60}} = 0,47$$

oraz asymptoty podł. (23)

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{158}{6,75 \cdot 224}} = 0,324$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{60}{6,75 \cdot 224}} = 0,199$$

Z rysunku sprawdzamy dla stanu istniejącego znane z pomiarów bezpośrednich stosunki

$$X_1 = 0,77; Y_1 = 0,23,$$

oraz dla stanu projektowanego określamy:

$$X_2 = 0,85; Y_2 = 0,15.$$

W ten sposób projektowany opór ogólny spadnie z 82 do

$$M_2 = aX_2^2 - bY_2^2 = 60 \cdot 0,85^2 - 224 \cdot 0,15^2 = 38.$$

Otwór zaś równoznaczny podniesie się z 1,3 do

$$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} = \frac{1}{\sqrt{38}} = 1,95$$

Zatem ogólna ilość powietrza podniesie się w stosunku

$$A_2 : A_1 = 1,95 \cdot 1,3 = 1,62$$

t. j. o 62%.

Na prąd a przypada obecnie $0,77 \cdot 1,3 = 1,00$ — po wprowadzeniu zmian — $0,85 \cdot 1,95 = 1,66$, t. j. na robotach ogólna ilość powietrza wzrośnie w stosunku $1,66 : 1,00 = 1,66$, t. zn. o 66%.

ROZDZIAŁ X.

KRZYWE CHARAKTERYSTYCZNE PRZEWIETRZANIA ZAPOMOCĄ DWÓCH ŹRÓDEŁ DEPRESJI W SYSTE- MACH NORMALNYCH PROSTYCH

§ 53. Opór właściwy i otwór równoznaczny ko-
palni przy dwóch źródłach depresji, zewnętrznej i we-
wnętrznej w jednej z bocznic systemu normalnego.
Widzieliśmy, że opór właściwy w danym systemie (a , b , c) nie
pozostaje wielkością stałą, lecz ulega zmianom w najszerszych
granicach, zależnie od stosunku depresyj n . Istotnie, wielkości opo-
rów właściwych M_1 i M_2 są złożonemi funkcjami n , od którego za-
leżą bezpośrednio, jak również pośrednio przez funkcję X i Y .
Z równań (9) mamy bowiem:

$$\frac{M_2}{M_1} = n = \frac{aX^2 \mp bY^2}{c \pm bY^2}$$

skąd:

$$M_1 = \frac{M_2}{n} = \frac{aX^2 \mp bY^2}{n}$$

$$M_2 = M_1 n = (c \pm bY^2) n$$

lecz X i Y związane są z n w równaniach (12) i (13):

$$n = \frac{aX^2 \mp b(1-X)^2}{c \pm b(1-X)^2}$$

$$n = \frac{a(1 \mp Y)^2 \mp bY^2}{c \pm bY^2}$$

Z tego wynika, że praktyczne znaczenie wzorów
oporu właściwego (a więc również i otworu równo-
znacznego $A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}}$, $A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}}$) dla przypadku dwóch
źródeł depresji: zewnętrznej h_1 i wewnętrznej
 h_2 (w jednej z bocznic systemu normalnego) po-

lega na tem, że służą jedynie dla określenia ogólnej ilości powietrza q w kopalni przy danych depresjach h_1 i h_2 , ale nie będąc wielkościami stałymi, nie mogą służyć wyrazem dla charakterystyki przewietrzania kopalni, jak to ma miejsce w wypadkach obecności jedynie zewnętrznych źródeł depresji.

Istotnie, znany podział kopalń pod względem przewietrzania na wąskie, średnie i szerokie (w granicach $A < 1$, $A = 1 - 2$, $A > 2 \text{ m}^2$) wychodzi z założenia istnienia jedynie zewnętrznych źródeł depresji, wówczas bowiem pojęcie otworu równoznacznego jest wykładnikiem prawa stałości stosunku pomiędzy ilością powietrza a pierwiastkiem drugiego stopnia depresji:

$$A = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h}} \quad \left(= \frac{12}{\sqrt{M}} \right)$$

oraz przy stałej depresji ilości powietrza są wprost proporcjonalne do wielkości otworów równoznacznych. Dlatego też w tych wypadkach wielkości otworów równoznacznych mogą służyć miarą dla oszacowania mniejszej lub większej łatwości przewietrzania (podobnie, jak wielkości oporów właściwych są miarą mniejszej lub większej trudności przewietrzania).

Dla podwójnych źródeł depresji przytoczone wyrazy oporów właściwych (a więc i otworów równoznacznych) podobny charakter mogą posiadać jedynie wówczas, jeżeli przy wszelkich zmianach depresji h_2 i h_1 zachowują one między sobą ten sam stały stosunek n , przy którym i stosunki podziału powietrza X i Y są również stałymi. Atoli takie zastrzeżenie praktycznie pozbawia pojęcie otworu równoznacznego jego charakteru porównawczego, gdyż w praktyce zwykle obydwie depresje ulegają zmianom niezależnie jedna od drugiej, nawet gdy obydwie są sztucznie wytworzone przez wentylatory, i zwykle jest bardzo trudno zachować między nimi stały stosunek, w przypadku zaś gdy jedna z nich jest naturalną — wcale niemożliwym. Z tego wynika, że otwór równoznaczny (aktualnie określony) przy wentylatorze podziemnym głównym (zwykle obejmującym boczną gałąź) nie może służyć za kryterjum porównawcze dla zaliczenia kopalni do szeregu wąskich, średnich lub szerokich.

Istotnie, przy wentylatorze podziemnym, wytwarzającym stałą depresję h_2 , stosunek n może ulegać bardzo znacznym wahaniom

na skutek zmian depresji naturalnej h_1 , zależnej od czynników atmosferycznych. Jeżeli np. $h_2 = 50$, naturalna zaś depresja ulega wahaniom w granicach $5-0$, wówczas $n = \frac{h_2}{h_1}$ zmienia się w granicach $10 - \infty$; odpowiednio wielkim zmianom ulegają M_1 i M_2 , jak również ogólna ilość powietrza w kopalni. Tymczasem przy wentylatorze nadziemnym zmiany depresji naturalnej w tych samych granicach powodują zmiany depresji motorycznej w bardzo wąskich granicach: $h_2 + h_1 = 50 - 55$, co praktycznie nie ma żadnego wpływu na ilość ogólną powietrza w kopalni. Razem z tem, jeżeli przy wentylatorze nadziemnym zmierzmy bezpośrednio całkowitą depresję $h = (h_1 + h_2)$ oraz ogólną ilość powietrza q , wówczas wiemy, że otwór równoznaczny kopalni wynosi $A = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h}}$, oraz możemy napisać proporcję:

$$\frac{q'^2}{q^2} = \frac{h'}{h}$$

t. zn. jeżeli depresję zwiększymy np. 4 razy, ilość powietrza zwiększy się 2 razy. Natomiast przy wentylatorze podziemnym, aczkolwiek otwór równoznaczny aktualny również zostanie określony, wszakże powyższej proporcji napisać nie mamy prawa. Z powyższego wynika, że charakterystyka przewietrzania dwoma źródłami depresji wogóle, a wentylatorem podziemnym, ustawionym w jednej z bocznic systemu normalnego, w szczególności, nie może być ograniczona jedną aktualną liczbą, lecz powinna być podana w postaci funkcji stosunku n :

$$\begin{aligned} M_1 &= f_1(n); \text{ albo: } A_1 = f_{11}(n) \\ M_2 &= f_2(n); \quad A_2 = f_{12}(n) \end{aligned}$$

związanych ze sobą zależnością:

$$A = \frac{12}{\sqrt{M}}; \quad M = \frac{144}{A^2}$$

Ponieważ, jak zauważyliśmy wyżej, funkcje te mają bardzo złożoną postać, przeto dla ich analizy najlepiej jest posilkować się metodą graficzną, przyczem wykreślenie funkcji M_1 i M_2 najwygodniej jest wykonać podług punktów przez obliczenie ich rzędnych dla różnych wartości n , wychodząc z wielkości X i Y , określonych podanym w poprzednim rozdziale sposobem graficznym dla tychże wartości n .

Pomimo że funkcje M_1 i M_2 są wyższych stopni i postać ich nie daje możliwości sądzić bezpośrednio o wyglądzie odnośnych krzywych, to jednak, opierając się na tablicy V i rys. 101, ogólny ich wygląd nietrudno uzmysłowić.

Określmy najprzód wygląd funkcji $X=f(n)$ (12), która jest krzywą 2-go stopnia.

Z rys. 101 spostrzegamy:

$$\begin{array}{llll} \text{gdy } n \text{ rośnie} & \text{od } 0 & \text{przez } \frac{a}{c} & \text{do } \infty \\ \text{wówczas } X & \text{ » } +X_0 & \text{ » } +1 & \text{ » } X_{lim}=1+\sqrt{\frac{c}{b}} \\ \text{gdy zaś } n \text{ zmniejsza się} & \text{ » } 0 & \text{ » } -\frac{b}{b+c}, -1, -\frac{a+b}{b} & \text{ » } \infty; \\ X \text{ zmienia się} & \text{ » } +X_0 & \text{ » } 0, -\sqrt{\frac{c}{a}}, \mp \infty & \text{ » } X_{lim}=1+\sqrt{\frac{c}{b}} \end{array}$$

Z tego wynika, że krzywa $X=f(n)$ (rys. 125) ma postać hiperboliczną o dwóch gałęziach z równoległymi do głównych osi współrzędnych asymptotami, których równania są:

$$y(=X)=1+\sqrt{\frac{c}{b}}$$

$$x(=n)=-\frac{a+b}{b}$$

Krzywa przecina oś odciętych w punkcie $x=-\frac{b}{b+c}$

$$\text{ » rzędnych » » } y=+X_0$$

$$\text{ rzędną } n=-1 \text{ » } y=-\sqrt{\frac{c}{a}}$$

$$\text{ » } n=+\frac{a}{c} \text{ » } y=+1$$

Jeżeli przeprowadzimy prostą $ab \parallel$ do osi odciętych w odległości $+1$, wówczas dopełnienia rzędnych krzywej $X=f(n)$ do tej prostej będą stosunkami Y . Widzimy przeto z rys. 125, zgodnie z tablicą V, że w obszarze zgodnych kierunków prądów (przy odjemnej i dodatniej regulacji) pomiędzy rzędnymi $n=-\frac{b}{b+c}$ i $n=+\frac{a}{c}$ mamy zawsze $X+Y=1$; w obszarze

obróconego prądu b przy regulacji odjemnej na prawo od rzędnej: $n = + \frac{a}{c}$ jest $X - Y = 1$; w obszarze obróconego jedynie prądu a przy regulacji dodatniej między rzędnymi $n = - \frac{b}{b+c}$ i $n = - \frac{a+b}{b}$ mamy $Y - X = 1$; wreszcie w obszarze obróconego prądu głównego, na lewo od rzędnej $n = - \frac{a+b}{b}$, mamy znowu $X - Y = 1$, jak w obszarze obróconego prądu b przy regulacji odjemnej.

Określmy teraz wygląd krzywej $M_1 = f_1(n)$.

Jak widać z przebiegu krzywej $X = f(n)$ (rys. 125) oraz z rys. 101,

gdy n zwiększa się od 0 przez $+\frac{a}{c}$ do $+\infty$

wówczas Y zmniejsza się » » $+Y_0$ » 0 » $-\sqrt{\frac{c}{b}}$

Wobec tego:

podług (9) $M_1 = (c \pm bY^2)$ zmniejsza się od $+M_0$ przez $+c$ do 0.

Gdy zaś n zmniejsza się od 0 przez $-\frac{b}{b+c}$, -1 do $-\frac{a+b}{b}$

Y zwiększa się » » Y_0 » $+1$, $+(1 + \sqrt{\frac{c}{a}})$ do $+\infty$

odpowiednio, podług (37) i (40)

$M_1 = c + bY^2$ zwiększa się od M_0 przez $(c+b)$, $c + b(1 + \sqrt{\frac{c}{a}})^2$ do $+\infty$

Wreszcie, przy dalszym zmniejszaniu się

n od $-\frac{a+b}{b}$ do $-\infty$

Y zwiększa się » $-\infty$ » $-\sqrt{\frac{c}{b}}$

i podług (43) $M_1 = -c + bY^2$ zmniejsza się od $+\infty$ do 0.

Ponieważ w granicach n : $+\infty$, $-\frac{a+b}{b}$, $-\infty$, Y jest funkcją ciągłą n , przeto i funkcja M_1 jest również funkcją ciągłą.

W ten sposób krzywa $M_1 = f_1(n)$ składa się z dwóch części, znajdujących się ponad osią odciętych, a przedzielonych rzędną $n = -\frac{a+b}{b}$ (rys. 125). Część prawa ma postać pojedynczej odnogi hiperbolicznej (wyższego stopnia), której asymptotami są: oś odciętych ($y = 0$) i $x = -\frac{a+b}{b}$, druga, lewa część, — takiej samej krzywej hiperbolicznej o tych samych asymptotach. Prawa część krzywej przecina rzędną $n = +\frac{a}{c}$ w punkcie $y = c$

$$\begin{aligned} n = 0 & \quad \gg \quad y = M_0 \\ \text{oraz } n = -\frac{b}{b+c} & \quad \gg \quad y = c + b. \end{aligned}$$

Określmy teraz wygląd krzywej $M_2 = f_2(n)$.

Podług (9):

$$M_2 = aX^2 - bY^2$$

Gdy $n = 0$, mamy:

$$X_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{a}{b} + 1}}; \quad Y_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{b}{a} + 1}}$$

więc
$$aX^2 = \frac{ab}{(\sqrt{a} + \sqrt{b})^2} = bY^2 = \frac{ab}{(\sqrt{b} + \sqrt{a})^2}$$

stąd:
$$M_2 = 0$$

Jeżeli n powiększa się od 0 do $\frac{a}{c}$, wówczas X powiększa się od X_0 do 1, Y zaś zmniejsza się od Y_0 do 0, przeto aX^2 powiększa się od $aX_0^2 < a$ do a ; bY^2 zaś zmniejsza się od bY_0^2 do 0. Zatem M_2 rośnie od 0 do a .

Przy dalszem powiększaniu się n od $\frac{a}{c}$ do $+\infty$, X powiększa się od 1 do $X_{lim} = 1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$, $|Y|$ zaś od 0 do $|Y|_{lim} = \sqrt{\frac{c}{b}}$. Przeto $M_2 = aX^2 + bY^2$ (9 bis) powiększa się od a do $M_{2lim} = a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + c$.

Gdy n , przyjmując wartości ujemne, powiększa się w swych wartościach absolutnych od 0 do $\frac{b}{b+c}$, X zmniejsza się od X_0

do 0, Y zaś powiększa się od Y_0 do 1, więc

$$M_2 = -aX^2 + bY^2 = bY^2 - aX^2 \quad (\text{podl. 37})$$

powiększa się od 0 do b .

Przy dalszem wzrastaniu $|n|$ od $\frac{b}{b+c}$ do $\frac{a+b}{b}$, X , przyjmując wartości ujemne, powiększa się do $+\infty$, Y powiększa się stale w wartościach dodatnich do $+\infty$, przeto

$$M_2 = aX^2 + bY^2 \quad (\text{podl. 40})$$

zwiększa się do $+\infty$.

Jeżeli $|n|$ zwiększa się dalej od $\frac{a+b}{b}$ do ∞ , wówczas X , przyjmując wartości dodatnie, zmniejsza się od $+\infty$ do $X_{lim} = 1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$, Y zaś, przyjmując wartości ujemne, zmniejsza się w swych wartościach absolutnych od ∞ do $|Y|_{lim} = \sqrt{\frac{c}{b}}$; przeto

$$M^2 = aX + bY^2 \quad (\text{podług 43})$$

zmniejsza się od $+\infty$ do

$$M_2 = a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c$$

W ten sposób krzywa M_2 , posiadając wszystkie rzędne dodatnie, mieści się całkowicie nad osią odciętych i składa się z trzech części, odgraniczonych główną osią rzędnych oraz rzędną $n = -\frac{a+b}{b}$.

W obszarze na prawo od głównej osi rzędnych krzywa $M_2 = f(n)$, zaczynając się w początku układu, wznosi się do góry i po przecięciu rzędnej $n = +\frac{a}{c}$ w punkcie a zbliża się do asymptoty $M_{2lim} = a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c$; jest przeto swoją wypukłością zwrócona do góry. Na tej drodze krzywa M_2 oczywiście przecina się z krzywą M_1 . Ponieważ wówczas

$$M_2 = M_1$$

przeto

$$n = \frac{M_2}{M_1} = 1$$

stąd, jeżeli $n < 1$, to $M_2 < M_1$

» $n > 1$ » $M_2 > M_1$.

Stać się to może jak z lewej (na rys. 125), tak też z prawej strony rzędnej $\frac{a}{c}$.

W obszarze pomiędzy główną osią rzędnych, a rzędną $-\frac{a+b}{b}$ krzywa M_2 , wychodząc z początku układu, zbliża się do asymptoty $n = -\frac{a+b}{b}$ jest przeto swoją wypukłością zwrócona w lewo. Na tej drodze krzywa M_2 spotyka się z M_1 , gdy $n = -1$, t. j. między rzędnymi $-\frac{b}{b+c}$, a $-\frac{a+b}{b}$, wówczas bowiem przy $X = -\sqrt{\frac{c}{a}}$, oraz $Y = 1 + \sqrt{\frac{c}{a}}$ obydwie funkcje przyjmują tę samą postać (podł. 40)

$$M_1 = c + bY^2 = c + b\left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2$$

$$M_2 = aX^2 + bY^2 = a\left(\sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2 + b\left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2 = c + b\left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2$$

Ponieważ, dążąc razem do ∞ przy $n = -\frac{a+b}{b} < -1$, krzywa M_1 wychodzi z punktu M_0 na głównej osi rzędnych, M_2 zaś z początku układu, przeto krzywa M_2 wznosi się bardziej stromo niż krzywa M_1 , oraz

gdy $|n| < 1$, wówczas $M_2 < M_1$.

» $|n| > 1$, » $M_2 > M_1$.

W obszarze po lewej stronie rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$ krzywa ma postać pojedynczej gałęzi hiperbolicznej o asymptotach $x = -\frac{a+b}{b}$ i $y = +a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + c$.

Ponieważ w obszarze tym krzywa M_1 , posiadając taki sam

wygląd, ma wspólną asymptotę $x = -\frac{a+b}{b}$ z krzywą M_2 , lecz w charakterze drugiej asymptoty — główną oś odciętych, przeto krzywa M_2 znajduje się ponad krzywą M_1 oraz stale jest $M_2 > M_1$.

Zamiast krzywych M_1 i M_2 dla naszych celów wygodniej jest kreślić krzywe otworów równoznacznych A_1 i A_2 , których rzędne wyliczają się ze wzoru $A = \frac{12}{\sqrt{M}}$.

Krzywe te mają wogóle wygląd odwrotny.

	Ponieważ przy zmianach n w granicach:	krzywa M_1 przyjmuje wartości rzędnych:	przeto krzywa A_1 będzie miała rzędne:
z prawej strony rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$	od $-\frac{a+b}{b}$	$+\infty$	0
	przez -1	$c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2$	$\frac{12}{\sqrt{c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2}}$
	» $-\frac{b}{b+c}$	$b + c$	$\frac{12}{\sqrt{b+c}} = (b+c)_0$
	» 0	M_0	A_0
	» $+\frac{a}{c}$	c	$\frac{12}{\sqrt{c}} = c_0$
	do $+\infty$	0	$+\infty$
z lewej strony $n = -\frac{a+b}{b}$	oraz —		
	od $-\frac{a+b}{b}$	$+\infty$	0
	do $-\infty$	0	$+\infty$

W ten sposób po obu stronach rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$ funkcja $A_1 = f_1(n)$ ma wygląd krzywej parabolicznej (rys. 126), zaczynającej się na oś odciętych w punkcie $x = -\frac{a+b}{b}$ i wznoszącej się w przeciwne strony do nieskończoności, przy średnicach równoległych do osi odciętych. Krzywa A_1 przecina

rzędną $n = -\frac{b}{b+c}$ w punkcie $y = (b+c)_0$

główną oś rzędnych » $y = A_0$

oraz rzędną $n = +\frac{a}{c}$ » $y = c_0$

	Tak samo, jeżeli przy zmianach n w granicach:	rzędne krzywej M_2 przyjmują wartości:	wówczas rzędne krzywej A_2 będą:
z prawej strony głównej osi rzędnych	$\left\{ \begin{array}{l} \text{od } n = 0 \\ \text{przez } = + \frac{a}{c} \\ \text{do } = + \infty \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} 0 \\ a \\ M_{2lim} = a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c \end{array}$	$\begin{array}{l} + \infty \\ \frac{12}{\sqrt{a}} = a_0 \\ A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c}} \end{array}$
między główną osią rzęd- nych a rzędną $n = -\frac{a+b}{b}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{od } n = 0 \\ \text{przez } = -\frac{b}{b+c} \\ \text{» } = -1 \\ \text{» } = -\frac{a+b}{b} \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} 0 \\ b \\ c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}} \right)^2 \\ + \infty \end{array}$	$\begin{array}{l} + \infty \\ \frac{12}{\sqrt{b}} = b_0 \\ \frac{12}{\sqrt{c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}} \right)^2}} \\ 0 \end{array}$
z lewej strony rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{od } n = -\frac{a+b}{b} \\ \text{do } = -\infty \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} + \infty \\ M_{2lim} = a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c \end{array}$	$\begin{array}{l} 0 \\ A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c}} \end{array}$

W ten sposób, z prawej strony głównej osi rzędnych (rys. 126) krzywa A_2 ma postać gałęzi hiperbolicznej o asymptotach:

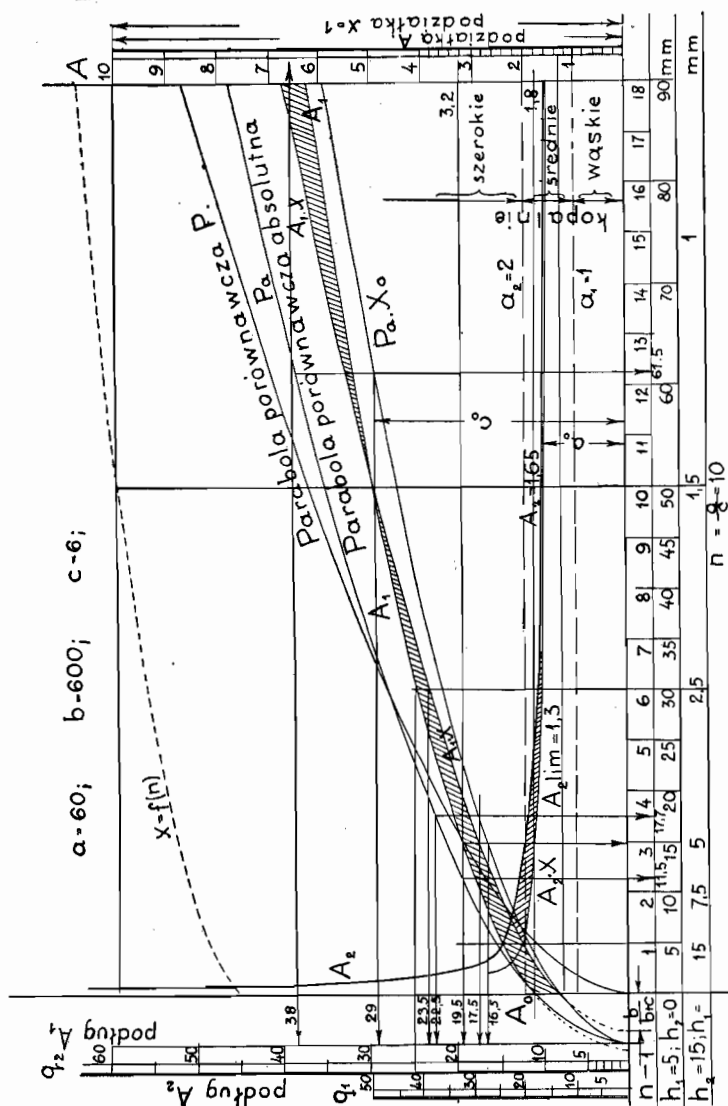
$$x = 0; y = A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c}}$$

Krzywa ta przecina rzędną $n = +\frac{a}{c}$ w punkcie $y = a_0$, oraz przecina się z krzywą A_1 na rzędnej $n = +1$ (co może być z prawej lub z lewej, jak na rys. 126, strony rzędnej $n = \frac{a}{c}$).

Jeżeli $0 < n < 1$, to $A_2 > A_1$

» $n > 1$, » $A_2 < A_1$

Pomiędzy główną osią rzędnych, oraz rzędną $n = -\frac{a+b}{b}$, krzywa A_2 ma postać gałęzi hiperbolicznej, przecinającej oś od-



Rys. 127.

ciętych w punkcie $x = -\frac{a+b}{b}$, oraz asymptotycznie zbliżającej się do głównej osi rzędnych w górze. Na tym przebiegu krzywa przecina rzędną $n = -\frac{b}{b+c}$ w punkcie $y = b_0$, oraz między tą

rzędną a rzędną $n = -\frac{a+b}{b}$ spotyka się na rzędnej $n = -1$ z krzywą A_2 w punkcie $y = \frac{12}{\sqrt{c+b\left(1+\sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2}}$

Z lewej strony rzędnej $-\frac{a+b}{b}$ krzywa A_2 , zaczynając się w punkcie $x = -\frac{a+b}{b}$ na osi ociętych, zbliża się do asymptoty $y = A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a\left(1+\sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2+c}}$ z dołu.

Nietrudno się domyślić, że krzywa A_2 w obszarze między główną osią rzędnych a rzędną $n = -\frac{a+b}{b}$ jest odzwierciedleniem dalszego ciągu krzywej A_2 z lewej strony rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$ poniżej osi odciętych i wówczas całokształt krzywej A_2 ma charakter krzywej hiperbolicznej o dwóch gałęziach z asymptotami:

$$x = 0; y = A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a\left(1+\sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2+c}}$$

Rozpatrzmy teraz wyrysowany diagram (rys. 126) w granicach regulacji odjemnej przy $n = 0 - +\infty$ (rys. 127).

Zmiany n oczywiście mogą zachodzić wskutek dowolnych zmian każdej depresji z osobna. Lecz z pomiędzy nieskończonej ilości różnych sposobów zmian stosunku n nas mogą interesować tylko 2 szczególne przypadki:

- 1) zmianom ulega h_2 , natomiast h_1 pozostaje stałą,
- 2) h_2 pozostaje stałą, natomiast zmienną jest h_1 .

W odniesieniu do przypadku podziemnego wentylatora jako głównego, pierwszy przypadek oznacza zmiany n zachodzące na skutek zmian depresji wentylatora przy stałej depresji naturalnej; drugi zaś przypadek — zmiany n w zależności od zmian depresji naturalnej przy stałej depresji wentylatora.

Pierwszy przypadek interesuje nas przy projektowaniu instalacji i wyborze odpowiedniej depresji wentylatora celem osiągnięcia żądanej ilości powietrza przy pewnej stałej (przeciętnej — po-

wiedźmy) depresji naturalnej. Drugi przypadek może interesować w sensie scharakteryzowania zmian zachodzących pod wpływem możliwych zmian depresji naturalnej przy obranej stałej depresji wentylatora; wiemy już bowiem, że w przypadku podziemnej instalacji wentylatora depresja naturalna może odgrywać bardzo ważną rolę.

Przypadek 1-y. Stałą jest depresja naturalna — h_1 . Niechaj h_2 zwiększa się, zaczynając od 0. Wówczas oczywiście

$n = \frac{h_2}{h_1}$ zwiększa się proporcjonalnie do h_2 , zaczynając od 0. Oś

odciętych na diagramie (rys. 127) przy danym h_1 (np. = 5 mm) możemy podzielić proporcjonalnie do h_2 i odczytywać bezpośrednio dla każdej depresji wentylatora podług krzywej A_2 odpowiednią wielkość otworu równoznacznego. Widzimy więc na diagramie, że gdy h_2 zwiększa się od 0 otwór równoznaczny A_2 zmniejsza się od ∞ , z początku bardzo szybko, a później bardzo powoli, zbli-

żając się do pewnej granicznej wielkości $A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a(1 + \sqrt{\frac{c}{b}})^2 + c}}$,

którą osiąga przy $h_2 = \infty$. Natomiast otwór równoznaczny A_1 zwiększa się od A_0 do ∞ . Ponieważ założyliśmy, że przy wszystkich zmianach h_2 depresja h_1 pozostaje stałą, przeto ogólna ilość powietrza

$$q = \frac{A_1 \sqrt{h_1}}{0,38}$$

powiększa się proporcjonalnie do A_1 od pewnego minimum, odpowiadającego tej ilości, która krąży w kopalni przy otworze A_0 jedynie pod wpływem depresji naturalnej ($h_2 = 0$), do ∞ . (Otrzymuje się, pozornie wniosek paradoksalny, pomimo zmniejszania się otworu równoznacznego A_2 ilość powietrza powiększa się).

W ten sposób, podczas gdy krzywa A_2 pokazuje, jakie są aktualne otwory równoznaczne kopalni przy danej depresji h_2 , i służy do obliczenia absolutnych ilości powietrza, krzywa A_1 wykazuje, w jakim stosunku zachodzi powiększanie się, ew. zmniejszanie się ogólnej ilości powietrza, czyli ilości stosunkowe.

Jeżeli przeprowadzimy na diagramie 2 proste || do osi odciętych w odległości od niej $a_1 = 1$, $a_2 = 2$, odpowiednio do granic,

dzielących kopalnie na wąskie, średnie i szerokie, będziemy mogli zaliczyć daną kopalnię do pewnej kategorii, zależnie od tego, w jakim obszarze znajduje się krzywa A_2 .

Jeżeli $A_2 \lim > 1$ kopalnia nigdy nie bywa wąską

» » » > 2 » jest stale szeroką.

Jeżeli zaś $A_2 \lim < 1$, kopalnia może być wszystkich trzech kategorii zależnie od h_2 , przytem przy małych depresjach kopalnia może być szeroką, podczas gdy przy wielkich depresjach — wąską.

Wykres (rys. 127) jest zbudowany dla danych $a = 60$; $b = 600$, $c = 6$. W tych warunkach przy $h_1 = 5$ widzimy z wykresu, że kopalnia nigdy nie bywa wąską, gdyż $A_2 \lim > 1$, ale szeroką jest jedynie w granicach $h_2 = 0 - 15$. Przy większych depresjach ($h_2 > 15$) kopalnia przechodzi do szeregu średnich, przytem otwór minimalny odpowiada $A_2 \lim = 1,3$.

Jeżeli na tymże wykresie przeprowadzimy rzędną $\frac{a}{c}$, przecinającą krzywe A_1 i A_2 w punktach c_0 i a_0 , to obszar wykresu zawarty pomiędzy nią a główną osią rzędnych obejmuje warunki bezpieczne przewietrzania i kategoria kopalni może być oszacowana podług pozycji krzywej A_2 w stosunku do $a_1 = 1$ i $a_2 = 2$ wewnątrz tego obszaru bezpiecznego; wówczas $A_{2 \min} = 1,65$. Jeżeli w celach bezpieczeństwa nie chcemy dopuszczać aby $n = \frac{a}{c}$, lecz żeby zostawała pewna rezerwa, możemy w pewnym miejscu przeprowadzić praktycznie graniczną rzędną n i wówczas podług odległości tej rzędnej do idealnej granicznej, czyli krytycznej $n_k = \frac{a}{c}$, możemy sądzić o współczynniku bezpieczeństwa $K = \frac{n}{n_k}$ i kategoria kopalni może być określana w stosunku do obszaru praktycznie bezpiecznego.

Dany konkretny diagram (rys. 127) wykazuje, że jeżeli $h_1 = 5$ (stałe), wówczas depresja $h_2 = 15$ wywoła powiększenie pierwotnej ilości powietrza (przy $h_2 = 0$) w stosunku $\frac{A_1}{A_0} = \frac{3,2}{1,8} = 1,77$, t. j. o 77%, przyczem kopalnia jest na granicy pomiędzy średnimi i szerokimi, bowiem $A_2 = 2$. Ogólna ilość powietrza określa się podług A_2 :

$$q = \frac{A_2 \sqrt{h_2}}{0,38} = \frac{2 \cdot \sqrt{15}}{0,38} = 19 \text{ m}^3.$$

Jeżeli chodzi o zdwojenie ilości powietrza, wówczas na krzywej A_1 odzyskamy rzędną 2 razy większą od tej, która odpowiada $h_2 = 15$, na osi odciętych zaś odczytamy $n \approx 18$, czyli $h_2 = 18 \times 5 = 90$. Kopalnia jednak staje się średnią i jej otwór równoznaczny A_2 zbliża się do swojej wielkości granicznej $A_{2\text{lim}}$. Atoli wyniesienie odciętej h_2 poza granicę nie tylko praktycznie, ale i idealnie bezpiecznej od razu wskazuje, że taka ilość powietrza w danym systemie zapomocą wentylatora podziemnego nie może być dopuszczona.

Przy stałej depresji h_1 dla wygody posługiwania się krzywą A_1 możemy podzielić oś rzędnych na działki proporcjonalne do długości dowolnej rzędnej A_1 , przyrównyując jej długość do ilości powietrza, określonej podług odpowiedniej rzędnej krzywej A_2 . Naprzykład, jeżeli $h_1 = 5$, wówczas $n = 3$ odpowiada $h_2 = 15$

i podług $A_2 = 2$ określamy: $q = \frac{A_2 \sqrt{h_2}}{0,38} = 19 \text{ m}^3$. Przyrównywu-

jemy odpowiednią rzędną $A_1 = 19$ i proporcjonalnie do tej długości dzielimy główną oś rzędnych na działki, które oznaczają ilości powietrza. Wówczas krzywa stosunkowych ilości powietrza A_1 zamienia się dla danego przypadku w krzywą absolutnych ilości powietrza q , odczytywanych na osi rzędnych podług depresji h_2 oznaczonych wzdłuż osi odciętych. W tak przyrządzonym diagramie możemy posługiwać się krzywą A_1 zupełnie tak samo, jak w zwykłych warunkach posługujemy się parabolą, której parametr z równania

$$2p = T = \frac{q^2}{h} = \left(\frac{a}{0,38} \right)^2$$

jest temperamentem kopalni.

Jeżeli na tymże diagramie wyrysujemy w dowolnej podziałce rzędnych krzywą $X = f(n)$ na wspólnych odciętych, będziemy mogli wprowadzić korektywę w obliczenie ilości powietrza celem określenia ilości powietrza w ważnej bocznicy a . Dla ułatwienia tych obliczeń można od razu rzędne krzywej A_1 podzielić na odcinki $(A_1 X)$ i $(A_1 Y)$, opierając się na krzywej $X = f(n)$. Wówczas, łącząc wszystkie w ten sposób powstałe punkty na rzędnych A_1 , otrzymamy nową krzywą $A_1 X$, która zastąpi nam krzywą A_1 , jeżeli wszystkie nasze obliczenia będą dotyczyły jedynie ważnego prądu a przez pola robocze. W każdym razie krzywa $A_1 X$ dzielić obszar krzywej A_1 na 2 części, poglądowo wykazuje podział całej ilości powietrza na 2 bocznic a i b : obszar zakreskowany odpo-

wiada bocznicy b , jasny — bocznicy a . Oczywiście, że krzywa A_1X krzyżuje się z krzywą A_1 w punkcie, odpowiadającym rzędnej $\frac{a}{c}$, przyczem w prawo od niej obszary jasne i zakreskowane nakładają się na siebie, co odpowiada ujemnym wartościom odcińków rzędnych pomiędzy krzywą A_1 i A_1X , czyli obróconemu prądowi b , oraz większej ilości powietrza, płynącej w bocznicy a , aniżeli przez całą kopalnię.

Tak więc, podług krzywej A_1 i A_1X na wykresie rys. 127, odrazu na podziałce q_2 odczytujemy, że przy depresji podziemnego wentylatora $h_2 = 15, 30$ i 50 m/m przez cały system przepływa odpowiednio 19,5, 25 i 29 m.³, przyczem w ważnej bocznicy a — 17,5, 23,5 i 29.

Gdybyśmy chcieli oszacować różnicę, jaka zachodzi pomiędzy zwykłym przypadkiem, gdy istnieją jedynie zewnętrzne źródła depresji h przy stałym otworze równoznacznym A_2 , a przypadkiem podziemnego wentylatora, ustawionego w bocznym prądzie, gdy otwór równoznaczny A_2 jest zmienny, musielibyśmy wyrysować odpowiednią parabolę o parametrze:

$$2p = \left(\frac{A_2}{0,38} \right)^2$$

w podziałce rzędnych krzywej A_1 . Parabola (rys. 127—P) oczywiście powinna wychodzić z początku układu, ponieważ gdy $q = 0$, również $h = 0$, oraz — przecinać krzywą A_1 na rzędnej, odpowiadającej danemu A_2 . Wówczas oczywiście z lewej strony punktu przecięcia się rzędne paraboli P będą mniejsze, z prawej zaś strony większe od odpowiednich rzędnych krzywej A_1 . To znaczy, zwiększając depresję h_2 , przy wentylatorze podziemnym otrzymamy mniej powietrza, zmniejszając zaś — więcej niż przy wentylatorze na powierzchni, przytem absolutne różnice ilości powietrza będą odpowiadały różnicom odpowiednich rzędnych krzywych A_1 i P . Oczywiście porównawcze parabole dla różnych n będą tworzyły pęk krzywych, wychodzących z początku układu, tem bardziej pochyłonych ku osi odciętych, im większe jest n . Porównanie takie jednakże dotyczy 2 różnych kopalń o jednakowym otworze równoznacznym, przyczem chodzi w obydwu wypadkach o porównanie stosunkowych zmian, jakim będą ulegały ogólne ilości powietrza zależnie od zmiany depresji wentylatora podziemnego lub sumarycznej depresji przy wentylatorze na powierzchni.

Przy oszacowaniu różnicy, jaka zachodzić będzie w tej samej kopalni przy zastosowaniu wentylatora na powierzchni i pod ziemią, należy parabolę porównawczą prowadzić nie od początku układu, lecz z punktu $n = -1$ na osi odciętych, gdyż odcięte paraboli porównawczej winny oznaczać całkowite depresje ($h_2 + h_1$) w tej samej podziałce, tymczasem odcięte krzywej A_1 , liczone od początku układu, oznaczają wyłącznie depresję wentylatora. Parametr tej paraboli oczywiście jest:

$$2p = A_0^2$$

i parabola przecina się z krzywą A_1 na głównej osi rzędnych w punkcie $y = A_0$, gdyż jasnym jest, że punkt ten na krzywej A_1 odpowiada ilości powietrza, płynącej jedynie pod wpływem depresji naturalnej h_1 , h_2 bowiem wówczas $= 0$. Odcięta zaś paraboli, liczona od jej wierzchołka w punkcie $n = -1$, odpowiada również jedynie wielkości depresji naturalnej.

Jasnym jest, że taka parabola jest jedną dla danej kopalni i dla wszystkich wartości A_2 . Możemy ją nazwać wobec tego absolutną porównawczą (Pa). W obrębie diagramu absolutna porównawcza parabola, wychodząc ze wspólnego punktu A_0 na osi rzędnych z krzywą A_1 , przebiega stale nad nią (gdyż wierzchołek jej na osi odciętych jest bliżej od początku, aniżeli wierzchołek krzywej A_1 , znajdujący się w odległości $\frac{a+b}{b} > 1$). Stąd wynika, że

podziemny wentylator przy tej samej depresji naturalnej h_1 daje stale mniej powietrza i ta sama ilość ogólna powietrza przy wentylatorze na powierzchni zawsze otrzymuje się przy mniejszej depresji; a więc pod względem ogólnej ilości powietrza wentylator na powierzchni jest ekonomiczniejszy. Np. przy $h_2 = 15$ mm podziemny wentylator podług krzywej A_1 daje $19,5 \text{ m}^3$. Ta sama ilość powietrza w tejże kopalni z wentylatorem na powierzchni zostaje osiągnięta podług krzywej Pa — przy depresji $11,5 \text{ m/m}$: stosunkowa różnica pracy zużytej wynosiła $\frac{11}{15} = 0,73$, czyli o 27% mniej.

Jeżeli jednakże przyjmiemy pod uwagę, że ważną jest jedynie bocznicą a , i uwzględnimy podział powietrza, wówczas porównanie wypadnie na korzyść wentylatora podziemnego. W tym celu wykreślmy na tym samym rysunku parabolę $Pa.X_0$, której rzędne otrzymamy przez

pomnożenie rzędnych paraboli Pa przez X_0 — stosunek podziału powietrza na bocznicę przy $n=0$, stały w przypadku ustawienia wentylatora na powierzchni. Parabola ta oczywiście wykaże ilości powietrza, płynące w bocznicę a zależnie od depresji h_2 . Wierzchołek jej jest wspólnym oczywiście z wierzchołkiem paraboli Pa i znajduje się w punkcie $n=-1$ na osi odciętych. Również oczywiście parabola $Pa \cdot X_0$ przecina się z krzywą A_1X na głównej osi rzędnych, gdyż punkty przecięcia się obydwóch krzywych z osią rzędnych odpowiadają temu samemu momentowi $h_2=0$. Z drugiej strony krzywa paraboliczna A_1X przecina oś odciętych z lewej strony początku układu w bliższej odległości, aniżeli parabola $Pa \cdot X_0$, gdyż $X=0$ przy $n=-\frac{b}{b+c} > -1$. Za-

tem z prawej strony osi rzędnych parabola $Pa \cdot X_0$, wychodząc ze wspólnego punktu z krzywą A_1X na tej osi przebiega nadal stale niżej od niej. Stąd w bocznicę ważnej przy tej samej depresji h_2 przy podziemnym wentylatorze płynie zawsze więcej powietrza, aniżeli przy wentylatorze na powierzchni, i ta sama ilość powietrza w ważnej bocznicę wymaga większej depresji wentylatora na powierzchni, aniżeli podziemnego. Jeżeli oprócz tego zważymy, że dla zabezpieczenia tejże ilości powietrza w a , oprócz większej depresji h_2 należy uruchomić znacznie większą ilość powietrza w nieważnej bocznicę b , to ekonomiczne porównanie na korzyść wentylatora podziemnego wypadnie tem większe.

Istotnie, przy depresji $h_2=15$ podziemny wentylator do ważnej bocznicę a dostarcza $17,5 \text{ m}^3$ (podczas gdy wentylator na powierzchni — $16,5$). Dla osiągnięcia tej samej ilości powietrza w a wentylator na powierzchni powinien wytworzyć $17,7 \text{ m/m}$ depresji, przytem ogólna ilość powietrza wynosi przy podziemnym wentylatorze — $19,5 \text{ m}^3$; przy wentylatorze zaś na powierzchni — $22,5$.

W pierwszym przypadku praca użyteczna wynosi $\frac{19,5 \cdot 15}{75} = 3,9$

KM , w drugim zaś — $\frac{22,5 \cdot 17,7}{75} = 5,31$; t. j. $\frac{5,31}{3,9} = 1,38$ razy wię-

cej, czyli o 38%. Różnice na korzyść wentylatora podziemnego wypadną jeszcze większe przy większych depresjach. Np. przy $h_2=50$, mamy w ważnej bocznicę a przy podziemnym wentylatorze — 29 m^3 ; w bocznicę $b=0$. Ta sama ilość powietrza przy wentylatorze na powierzchni wymaga $61,5 \text{ mm}$ depresji, przytem

ogólna ilość powietrza wynosi $\sim 38 \text{ m}^3$. Stąd praca użyteczna w 1-ym przypadku: $\frac{29 \cdot 50}{75} = 19,4 \text{ KM}$

» 2-im » $\frac{38 \cdot 61,5}{75} = 31$

Stosunek prac $\frac{31}{19,4} = 1,60$, — 60% więcej przy wentylatorze na powierzchni.

Te różnice, które w jednym przypadku przemawiają na korzyść wentylatora na powierzchni, w drugim zaś — na korzyść wentylatora podziemnego, pochodzą stąd, że wentylatory w obydwu przypadkach pracują w warunkach, które nie mogą być właściwie porównywane. Istotnie, podziemny wentylator wykonywa jednocześnie dwie funkcje: dostarczenie niezbędnej ilości powietrza, oraz regulację odjemną w bocznicy, w której jest ustawiony, podczas gdy wentylator na powierzchni nie ma żadnego wpływu na podział powietrza, ustosunkowanie zaś ilości powietrza w bocznicach a i b przy nim pozostaje stałe, niezależnie od wielkości jego depresji. Wszelka różnica na korzyść jednego lub drugiego sposobu znika, jeżeli porównanie przeprowadzimy przy warunku jednakowego uregulowania powietrza w bocznicach. Istotnie, w przypadku wentylatora na powierzchni mamy (podł. 28)

$$M = c + b.Y^2_0$$

w przypadku zaś wentylatora podziemnego:

$$M_2 = aX^2_1 - b.Y^2_1 = n(c + bY^2_1)$$

przyczem przy tej samej depresji

$$M < M_2, \text{ oraz } Y_1 < Y_0$$

W 1-ym przypadku możemy otrzymać ten sam opór M_2 , a więc tę samą ogólną ilość powietrza, co i w drugim przypadku, przy tym samym podziale powietrza na bocznicę, jeżeli opór bocznic b przez dodatnią regulację zwiększymy do wielkości b' , która się określi z równania:

$$c + b'.Y^2_1 = M_2$$

skąd:

$$b' = \frac{M_2 - c}{Y^2_1}$$

przytem. oczywiście jest $b' > b$.

Z drugiej strony w 2-gim przypadku, przy tej samej depresji wentylatora h_2 , a więc tym samym stosunku n , możemy osiągnąć ten sam opór M , a więc tę samą ogólną ilość powietrza, przy takim samym podziale powietrza co w 1-ym przypadku, jeżeli przez bezpośrednią odjemną regulację w bocznicy b , zmniejszymy jej opór do wielkości b'' , która się określi z równania:

$$n(c + b'' \cdot Y_0^2) = M$$

skąd:

$$b'' = \left(\frac{M}{n} - c \right) \frac{1}{Y_0^2}$$

przytem oczywiście jest $b'' < b$.

W ten sposób, gdybyśmy przy wentylatorze na powierzchni uwzględniali taką samą regulację stosunkową, zapomocą np. tamy regulacyjnej w b , jaka się osiąga jednocześnie przy zastosowaniu wentylatora podziemnego, mielibyśmy również i dla 1-go przypadku zmienny otwór równoznaczny. Ponieważ jednak czynność regulacji w tym wypadku zachodzi niezależnie od pracy wentylatora, przeto otwór równoznaczny nie zależy od depresji wentylatora. Stąd i przy wentylatorze podziemnym, celem oszacowania charakterystyki kopalni pod względem przewietrzania, najwłaściwiej będzie wyłączyć z tego oszacowania czynnik regulujący i za właściwy otwór równoznaczny traktować ten, który odpowiada depresji naturalnej — h_1 przy zatrzymaniu wentylatora podziemnego (gdy $h_2 = 0$); czyli ten sam otwór A_0 , który przyjmujemy przy wentylatorze na powierzchni i który jest stałym. Wobec tego w celu określenia właściwego otworu równoznacznego przy wentylatorze podziemnym należy zatrzymać jego bieg i zmierzyć ilość powietrza w kopalni jedynie przy depresji naturalnej, przyczem otrzymamy:

$$A_0 = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h_1}}$$

W praktyce zwykle popelnia się błąd, określając otwór równoznaczny kopalni z biegu podziemnego wentylatora, przyczem znajduje się wielkość:

$$A_2 = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h_2}}$$

która jest mniejsza od A_0 . Błąd jednak polega nie w określeniu A_2 zamiast A_0 , lecz w niewłaściwym traktowaniu otrzymanej wiel-

kości A_2 jako stałej charakterystycznej. W rzeczywistości dla celów praktycznych należy właśnie określać wielkości A_2 z dwóch przyczyn: przede wszystkim określenie A_0 wymaga zatrzymania wentylatora i zmierzenia depresji naturalnej, co jest trudne i kłopotliwe; powtórę znajomość wielkości A_0 przy podziemnym wentylatorze niema żadnego praktycznego znaczenia, gdyż określona podług tej wielkości depresja dla niezbędnej ilości powietrza będzie albo za duża, jeżeli chodzi o ilość ogólną, albo za mała, jeżeli chodzi o ilość powietrza w ważnej bocznicy a . Wielkość zaś A_2 daje właściwe pojęcie o stanie przewietrzania w tych warunkach, w jakich została określona. Nie posiadając wszakże charakteru wielkości stałej nie może służyć dla wniosków przy innych warunkach i skutkiem nieświadomości tej jej własności popelnia się zwykle błąd przy projektowaniu nowego stanu przewietrzania. W tym celu należy wielkość A_2 przedstawiać, wykreślić w postaci funkcji h_2 , jedynie wówczas bowiem otrzymamy możność właściwego oszacowania charakteru przewietrzania kopalni wentylatorem podziemnym.

P r z y p a d e k 2-gi. h_2 — jest wielkością stałą (depresja wentylatora); zmianom ulega depresja naturalna.

Ponieważ niebezpieczne jest zmniejszanie się depresji naturalnej, przypuśćmy więc, że depresja naturalna, zaczynając od pewnej stałej lub największej wielkości h_1 , opada do 0. Wówczas oczywiście stosunek $n = \frac{h_2}{h_1}$ powiększa się od pewnej wielkości (idealnie od 0 przy $h_1 = \infty$) do ∞ . Jasnym jest, że wykres wskutek tego nie zmieni się, i zjawiska będą zachodziły tak samo jak przy powiększaniu się h_2 przy stałym h_1 ; t. j. podział powietrza będzie zachodził podług krzywej $X = f(n)$, zaś otwory równoznaczne podług krzywych A_1 i A_2 , przyczem A_1 będzie nieograniczenie wzrastać, A_2 zaś — zmniejszając się — dążyć do pewnej najmniejszej wielkości granicznej A_{2lim} . Różnica będzie polegała na tem, że wobec zachowania tym razem stałej wielkości przez depresję h_2 ilość powietrza będzie z m n i e j s z a ć się proporcjonalnie do A_2 .

$$q = A_2 \frac{\sqrt{h_2}}{0,38}$$

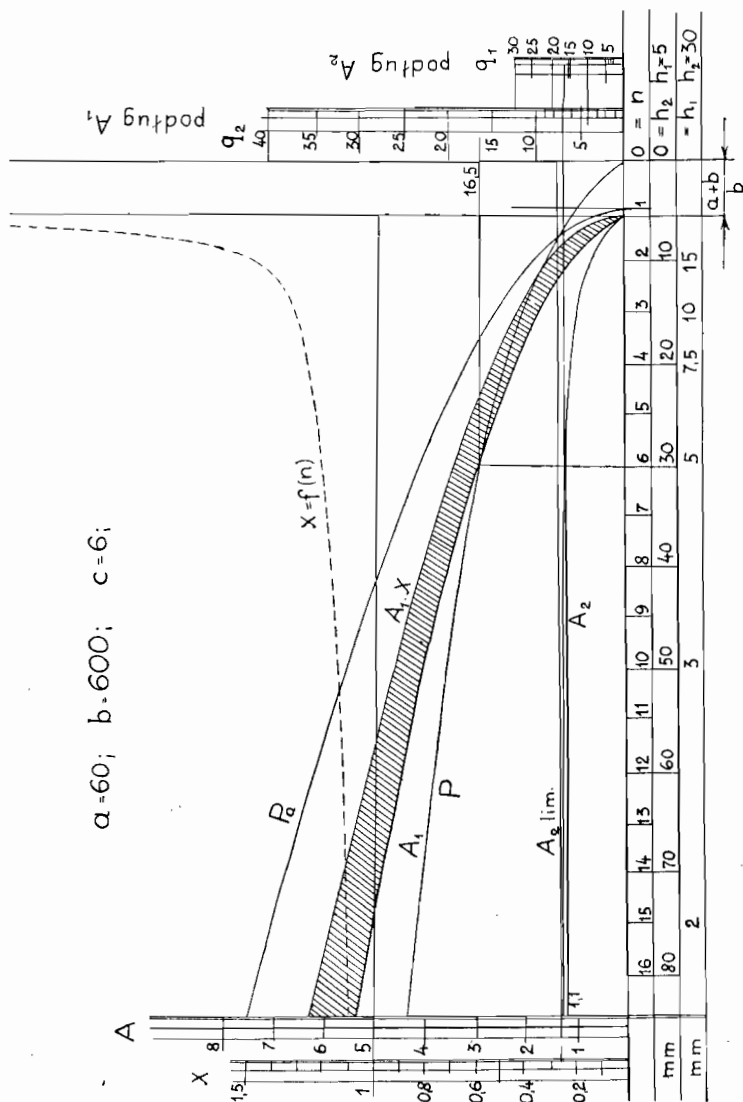
Np. jeżeli n wzrośnie 2 razy, czyli h_1 opadnie 2 razy, to podług rzędnych krzywej A_2 dla $n = 3$ i 6 określamy, że ilość powietrza

zmniejszy się w stosunku $\frac{1,8}{2} = 0,90$, t. j. o 10%. Jeżeli h_1 spadnie do 0, to ilość powietrza spadnie w stosunku $\frac{A_{2lim}}{A_2} = \frac{1,3}{2} = 0,65$, t. j. o 35%; przyczem prąd w b obróci się. Jeżeli h_1 spadając otrzyma wartość ujemną, t. j. przeciwstawi się depresji wentylatora, otrzyma się przypadek regulacji dodatniej, o czym będzie mowa niżej.

Jeżeli rzędne krzywej A_2 podzielimy na odcinki proporcjonalne do X i V podług krzywej $X = f(n)$, otrzymamy drugą krzywą A_2X , która nam zamieni A_2 tak, jak krzywa A_1X zamieniła krzywą A_1 w odniesieniu do jedynie ważnej bocznicy a .

Na wykresie możemy dać na osi odciętych w odwrotnym kierunku podziałkę dla depresji h_1 , na osi zaś rzędnych podziałkę dla q_1 w skali odpowiedniej rzędnej krzywej A_2 . Podziałkę tę możemy umieścić w drugiej kolumnie na wykresie 1-go przypadku i wówczas otrzymamy wspólny diagram, charakteryzujący całą instalację, obejmujący wszelkie możliwości (za wyjątkiem przeciwstawienia się depresji naturalnej do sztucznej). Granice bezpieczeństwa, krytyczna i dopuszczalna, obszary kopalń różnych kategorii oczywiście pozostają bez zmian.

Jasnym jest, że wykres 127 posiada uniwersalny charakter, ważny dla wszelkich przypadków dwu źródeł depresji mechanicznej przy zgodnych kierunkach tychże. Przypuśćmy, że na powierzchni posiadamy wentylator główny, na dole zaś w pewnej bocznicy wentylator wtórny dla regulacji ujemnej. Jakkolwiek w tych wypadkach najczęściej jest $h_2 < h_1$, lecz jeśli depresja wtórnego wentylatora jest dość znaczna, nie może ona nie wpływać na ruch wentylatora głównego. W takim razie dla scharakteryzowania stanu ogólnego niezbędnem jest przytoczyć wykres krzywych A_1 i A_2 , ew. A_1X i A_2X . Jeżeli przyjmiemy za stałą depresję wentylatora na powierzchni h_1 , wówczas absolutne ilości powietrza zostaną określone podług krzywej A_2 , stosunkowe zaś zmiany, zachodzące pod wpływem wentylatora wtórnego pod ziemią — podług A_1 . Jeżeli stałą będzie zostawała depresja wentylatora podziemnego h_2 , wówczas absolutne ilości powietrza, spowodowane przez zmiany depresji wentylatora na powierzchni h_1 zostaną określone podług krzywej A_1 , stosunkowe zaś zmiany — podług krzywej A_2 . Zależnie od tego, który wentylator posiada wpływ przeważający w całości przewietrzania, otwór równoznaczny kopalni bę-



Rys. 128.

dzie przyjęty podług odpowiedniej krzywej. Przy jednostajnych mniej więcej warunkach pracy obydwu wentylatorów obydwie krzywe mogą charakteryzować kopalnię. Ponieważ obydwie depresje posiadają mniej więcej stały charakter, przeto praktyczna bezpieczna granica n może być bliska krytycznej.

Rozpatrzmy teraz diagram rys. 126 w obszarze regulacji dodatniej. Największe zastosowanie wykres znaleźć dla

wentylatorów podziemnych, przeciwdziałających depresji naturalnej, gdyż prosta regulacja pośrednia dodatnia nie jest celowa. Ponieważ wentylator podziemny w takim wypadku obraca cały prąd (za wyjątkiem naturalnie b), więc ważnym jest jedynie obszar po lewej stronie rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$ (rys. 128).

Jeżeli h_1 , depresja naturalna, jest stałą, wówczas faktyczny otwór równoznaczny dla różnych wielkości h_2 (n) przy danym h_1 określa się podług dolnej krzywej A_2 ; natomiast górna krzywa A_1 reprezentuje stosunkowe zmiany powietrza. Widzimy więc, że przy dodatniej regulacji w miarę wzrastania h_2 , przeciwnie jak w przypadku odjemnej regulacji, otwór równoznaczny nie zmniejsza się, lecz wzrasta — do pewnego maksimum $A_2 \lim$. Ta największa wielkość graniczna wszakże równa jest najmniejszej granicznej wielkości w przypadku regulacji odjemnej. Stąd otwór równoznaczny w przypadku regulacji dodatniej przy wszelkich wartościach n jest mniejszy, niż otwór równoznaczny tegoż systemu w przypadku regulacji odjemnej również przy dowolnym n . Co się tyczy zmian stosunkowych, to również, jak i przy odjemnej, ilość powietrza zwiększa się proporcjonalnie do A_1 razem z n . Jeżeli jednak dla pewnej wielkości A_2 wyrysowalibyśmy parabolę porównawczą $(2p = \left(\frac{A_2}{0,38}\right)^2)$ w podziałce rzędnych A_1 , odpowiadającej skali odpowiedniej rzędnej A_1 , musielibyśmy prowadzić ją od początku układu współrzędnych, przyczem oczywiście porównawcza parabola, przecinając się z krzywą A_1 na rzędnej, odpowiadającej danemu n , posiadałaby z prawej strony punktu przecięcia się rzędne większe, z lewej zaś — mniejsze od rzędnych krzywej A_1 . To znaczy, iż w przypadku podziemnego wentylatora, przeciwdziałającego depresji naturalnej, zwiększanie jego depresji przy stałej naturalnej wywołuje, przeciwnie jak w przypadku zgodnych depresyj, stosunkowe powiększenie, zmniejszenie zaś — stosunkowe pomniejszenie ogólnej ilości powietrza w porównaniu z wentylatorem na powierzchni. Parabola absolutnie porównawcza Pa wychodzi z punktu $n = -1$ i jest symetryczna do takiejże paraboli w przypadku regulacji odjemnej (por. rys. 127), przebiega ona stale ponad A_1 .

Granica bezpieczna wogóle w przypadku regulacji dodatniej oczywiście nie istnieje, a i zjawiska zachodzą stale poza nią, gdyż prąd b jest stale obrocony. Znajduje to swój wyraz w pozycji

krzywej $A_1.X$, mieszczącej się w całości ponad krzywą A_1 . Obszar zakreskowany pomiędzy krzywymi A_1 i $A_1.X$ zawiera odcinki rzędnych, reprezentujące ilości powietrza, powracające bocznica b ; całkowite zaś rzędne krzywej $A_1.X$ — ilości powietrza, płynące w bocznicy a przez wentylator.

Jeżeli h_2 jest stałą, wówczas krzywa A_2 wykazuje stosunkowe zmiany w ogólnej ilości powietrza zachodzące pod wpływem zmian depresji naturalnej h_1 ; przyczem im mniejsza jest depresja naturalna, tem więcej płynie powietrza w systemie, wszakże nie więcej od pewnego maximum odpowiednio do A_{2lim} , i odwrotnie. Jeżeli przy h_1 stałym dla pewnego n przyrównamy odpowiednią rzędną A_1 do ilości powietrza określonej podług A_2 i proporcjonalnie do niej podzielimy główną oś rzędnych, a przy h_2 stałym to samo uczynimy z rzędną A_2 , wówczas krzywą A_1 w pierwszym przypadku, krzywą zaś A_2 w drugim, ewentualnie $A_1.X$ i $A_2.X$, będziemy posługiwali się bezpośrednio tak, jak parabolą o parametrze

$$2p = \left(\frac{A}{0,38} \right)^2 \text{ w zwykłych wypadkach.}$$

Jasnym jest, że jeżeli zarówno w przypadku regulacji odjemnej, jak też dodatniej, depresja naturalna zmieni swój znak, to jeden wypadek przechodzi w drugi. Stąd, jeżeli zmiany depresji naturalnej mogą zachodzić w obydwie strony od 0, wykresy krzywych charakterystycznych powinny obejmować obydwa obszary: po prawej stronie osi rzędnych i po lewej stronie rzędnej $n = -\frac{a+b}{b}$. Jeżeli więc w przypadku zgodnych depresyj w zwy-

kłych warunkach (rys. 127) w niektóre upalne dni depresja naturalna odменя swój kierunek, wówczas wpływ jej na ogólne zmniejszenie ilości powietrza zostanie wykazany przez krzywą A_2 lewego obszaru (rys. 128) w kierunku z lewa na prawo. Np. przy zmianach h_1 od $+5$ do -5 podług rysunku wyrazi się zmniejszeniem proporcjonalnie do rzędnych odpowiednich części krzywej A_2 : w stosunku $1,1:2 = 0,55$, t. j. o 45%, przyczem oczywiście prąd b będzie obrocony.

W ten sposób zespół krzywych A_1 i A_2 , służąc do określenia otworów równoznacznych systemu przy danem n (a więc ilości powietrza ogólnej q przy danych h_1 i h_2), unaoczniając równocześnie bezpieczne warunki w przypadku regulacji odjemnej, oraz wzajemny wpływ depre-

syj, stanowi istotną charakterystykę przewietrzania dwoma źródłami depresji wogóle, podziemnym wentylatorem w szczególności, i musi być podawany we wszystkich tych wypadkach, gdyż w zwykłych warunkach wystarcza znajomość jedynie wielkości otworu równoznacznego A_0 .

U w a g a. Gdy chodzi w praktyce istniejących instalacji podziemnych wentylatorów ustalić charakterystykę przewietrzania i wykryć warunki niebezpieczne, należy stale obserwować depresję naturalną. Jakkolwiek istnieje łatwy sposób określenia tejże bezpośrednio przez przerwanie ruchu powietrza za pomocą szczelnych tam i manometru, sposób ten jednak oczywiście nie nadaje się do stałej a codziennej kontroli. Opierając się wszakże na wyprowadzonych w poprzednich §§ wzorach, posiadamy możliwość określenia depresji naturalnej przez obliczenia na podstawie jedynie pomiarów anemometrycznych, jeżeli znane są wielkości oporów składowych całego systemu. Istotnie, z codziennych pomiarów znane są ilości q_a i q_b , a więc $q = q_a + q_b$ oraz $X = \frac{q_a}{q}$,

$Y = \frac{q_b}{q}$. Oprócz tego, samorejestrujący depresjometr przy wentylatorze podziemnym podaje różnicę ciśnień przed i za wentylatorem, a więc h_2 . Wówczas określamy:

$$M_2 = \frac{h_2}{q^2} \cdot 1000$$

oraz z (9):

$$M_2 = n(c + bY^2)$$

wyliczamy

$$n = \frac{M_2}{c + bY^2} = \frac{h_2}{h_1}$$

skąd

$$h_1 = \frac{h_2}{n} \quad (1)$$

Opory elementów zewnętrznych c i bocznic b mogą zachowywać przez bardzo długi przeciąg czasu wielkość niezmienną i dlatego mogą być bardzo dokładnie określone albo przez obliczenie, wychodząc z elementów geometrycznych wyrobisk i współczynników tarcia, albo — co jest lepiej — przez bezpośrednie pomiary piezometryczne. W ten sposób otrzyma się codzienną kontrolę depresji naturalnej i zostaną określone w różnych warunkach atmosferycznych wahania stosunku n , a co za tym idzie, otrzyma się właściwe przeświadczenie o praktycznie bezpiecznej granicy n , oraz z wykresu będziemy mogli widzieć, w które dni istotne n zbliża się nadmiernie do granicy krytycznej, co pozwoli zwiększyć czujność na dole i być przygotowanym zawczasu do obrócenia się prądu.

¹⁾ W ten właśnie sposób została obliczona depresja naturalna 5 m/m w przykładzie liczbowym 2 § 52.

§ 54. Oszacowanie wzajemnego wpływu depresyj oraz sposoby zmniejszenia tego wpływu zapomocą regulacji bezpośredniej. Krzywe charakterystyczne dają poglądowy sposób wykazania wzajemnego wpływu depresyj, jak również miarę możliwych zmian. Przy wentylatorze podziemnym jest szczególnie ciekawy wpływ depresji naturalnej. Miarą tego wpływu jest stopień krzywizny krzywej A_2 w punkcie przecięcia się z nią rzędnej n . Im stromsza jest krzywa w tem miejscu, tem szybciej i wyraźniej zachodzą zmiany w ilości powietrza pod wpływem zmian depresji naturalnej, a więc wogóle przy małych n , t. j. nieznacznych depresjach wentylatora, lecz znacznych — depresjach naturalnych. Z drugiej strony amplituda możliwych wahań wyraża się stosunkiem rzędnych krzywej A_2 przy skrajnych możliwych wartościach h_1 . Maximum tych wahań w stronę zmniejszania ilości powietrza jest stosunek $\frac{A_2}{A_{2lim}}$; a ponieważ

$$A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a\left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + c}}$$

więc wpływ jest tem większy, im mniejsze jest A_{2lim} , czyli im większy jest opór bocznicy roboczej a , elementów zewnętrznych c , lecz im mniejszy opór bocznicy b .

Ażeby lepiej sobie uzmysłowić wpływ wielkości a , b i c na pozycję krzywych A_1 i A_2 i ich wzajemny stosunek, prześledźmy zmiany, jakim ulegają te krzywe w zależności od zmian oporów a , c , b . Zmiany te są uwidocznione na rys. 129, 130, 131 dla przypadku pośredniej odjemnej regulacji (przypadek dodatniej regulacji zostawmy bez rozpatrzenia). Na każdym rysunku podane są 2 wykresy: sub a) dla przypadku regulacji dodatniej bezpośredniej i sub b) dla przypadku regulacji odjemnej bezpośredniej. Na każdym rysunku grubsze linie oznaczają zasadnicze pozycje krzywych A_1 , A_2 , X , rzędnej $\frac{a}{c}$, oraz asymptoty A_{2lim} przy danem n , cieńsze

linje — kolejne pozycje tych krzywych i prostych odpowiednio do kolejnych zmian odnośnych elementów, przyczem strzałki przy linjach zasadniczych wskazują kierunek, w którym dana linja przesuwuwa się. Na niektórych rysunkach linje, zmieniając swe miejsca, dochodzą do pewnych pozycji granicznych, odznaczonych nieco grubiej oraz bez strzałki. Oprócz tego na rysunkach w odnośnych

miejskach są oznaczone wzory pewnych elementów, które ułatwią czytelnikowi śledzić zachodzące zmiany i sprawdzić słuszność rysunków.

Z rysunków tych możemy zrobić następujące wnioski:

Regulacja dodatnia w a (rys. 129a):

- 1) Odsuwa granicę krytyczną $n_k = \left(\frac{a}{c}\right)$ w kierunku do ∞ .
- 2) Zmniejsza wzajemny wpływ depresyj, gdyż obydwie krzywe przecinają stałą rzędną n pod coraz mniejszym kątem, lecz
- 3) amplituda zmian stosunkowych pod wpływem depresji h_1 zwiększa się, gdyż stosunek $\frac{A_2}{A_{2lim}}$ dąży do ∞ . Natomiast amplituda zmian stosunkowych pod wpływem h_2 zmniejsza się, gdyż stosunek $\frac{A_1}{A_0}$ dąży do 1. Razem z tem

4) zmniejsza się ogólna ilość powietrza, gdyż A_1 opuszcza się ku dołowi. Ponieważ jednak n_k odsuwa się szybciej w prawo, aniżeli krzywa A_1 opuszcza się na dół (ma bowiem w tym samym czasie większą drogę do przejścia), przeto niewykluczone jest dobranie takiego a , przy którym przez powiększenie n (h_2) osiągniemy znowu pierwotną ilość powietrza w granicach bezpiecznych; jednocześnie naturalnie zmniejszy się wpływ h_1 .

Dodatnia regulacja w a może być zatem więcej pożądana, o ile możliwym jest przez niezbyt wielkie zwiększenie depresji wentylatora osiągnąć w bezpiecznych granicach pożądaną ilość powietrza. Sposób ten jednak nie może być uniwersalnym, gdyż zbyt wiele czynników przeciwnych wchodzi tu w grę.

Regulacja odjemna w a (rys. 129b), oczywiście wywołuje skutki przeciwne:

- 1) Przysuwa granicę krytyczną do początku układu.
- 2) Zwiększa czułość wzajemnego wpływu depresyj (wobec przecinania się rzędnej n z krzywami A_1 i A_2 pod większym kątem).
- 3) Zmniejsza amplitudę wahań ilości powietrza pod wpływem depresji pierwotnej (h_1), lecz zwiększa tę amplitudę zmian pod wpływem depresji h_2 , oraz
- 4) Zwiększa ogólną ilość powietrza.

Własność (1) czyni odjemną regulację wielce niebezpieczną, która może więc być zastosowana jedynie wówczas, gdy granica krytyczna jest bardzo odległa, przytem jeżeli spodziewamy się obok po-

większenia ilości powietrza zmniejszyć wpływ depresji h_1 , ograniczając amplitudę spowodowanych przez nią zmian.

Regulacja dodatnia w c (rys. 130a):

- 1) Zbliża granicę krytyczną,
- 2) zmniejsza raptowność wpływu każdej depresji, gdyż krzywe A_1 i A_2 przecinają rzędną n pod coraz to mniejszym kątem,
- 3) zmniejsza też wzajemny wpływ depresyj pod względem amplitudy zmian stosunkowych, gdyż tak stosunek $\frac{A_2}{A_{2lim}}$, jak i $\frac{A_1}{A_0}$ dążą do 1; wreszcie

4) zmniejsza ogólną ilość powietrza, jakkolwiek temu przeciwdziała w ważnej bocznic a zwiększanie się stosunku X . Wobec własności (1) jest jednak w związku z (4) wielce niepożądaną, nie daje bowiem możliwości pierwotną ilość powietrza wznowić przez powiększenie n . Natomiast

Regulacja odjemna w c (rys. 130b):

- 1) Stwarza bezpieczne warunki przez odsuwanie granicy krytycznej,
- 2) powiększa wzajemny wpływ depresyj tak pod względem raptowności, jak i
- 3) pod względem amplitudy zmian stosunkowych; ale
- 4) powiększa ilość ogólną powietrza, jakkolwiek temu przeciwdziała w bocznic a zmniejszanie się stosunku X .

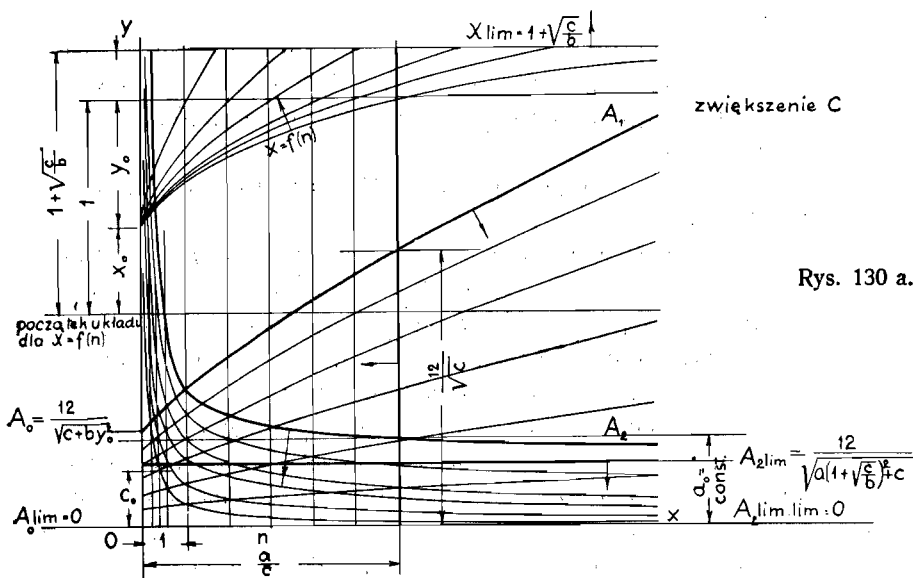
Zastosowanie tego sposobu zostanie więc uzależnione od możliwych do przyjęcia wahań depresji h_1 , o ile one zachodzą.

Regulacja dodatnia w b (rys. 131a):

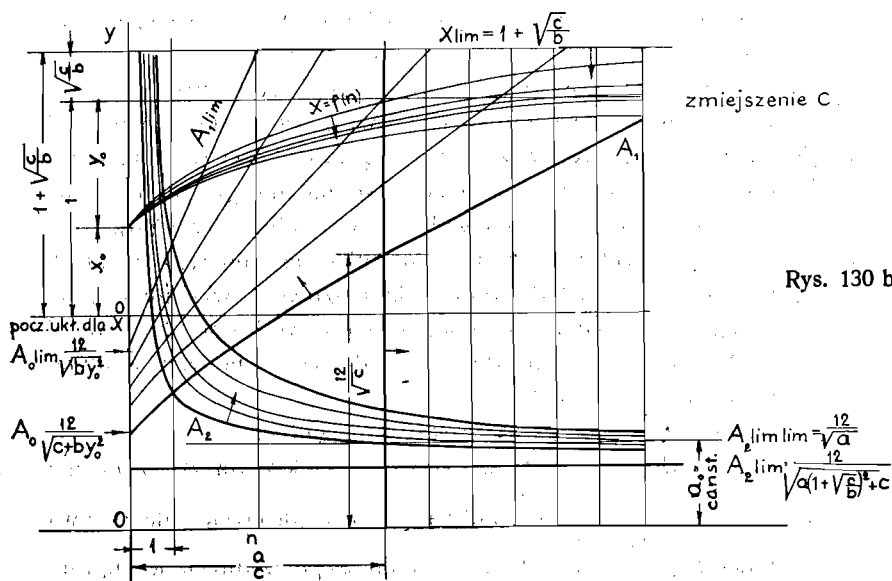
- 1) Nie mając żadnego wpływu na warunki bezpieczeństwa, gdyż n_k pozostaje niezmiennem,
- 2) zmniejsza wpływ depresji h_1 tak pod względem raptowności zmian, wskutek przecinania się rzędnej n z krzywą A_2 pod coraz to mniejszym kątem, jak i pod względem zmian stosunkowych, gdyż $\frac{A_2}{A_{2lim}}$ zmniejsza się (do pewnego minimum); lecz

3) powiększa w obydwu sensach wpływ depresji h_2 (krzywa A_2 bowiem staje się coraz stromszą, stosunek zaś $\frac{A_1}{A_0}$ coraz większym). Jednocześnie

- 4) zmniejsza ogólną ilość powietrza (bowiem krzywa A_1 , jak



Rys. 130 a.



Rys. 130 b.

też A_2 obniżają się), czemu jednak w ważnej bocznic a przeciwdziała zwiększanie się stosunku X .

Wobec własności (2) i (3) dodatnia regulacja w b może być wygodniej stosowana gdy $h_2 > h_1$, t. j. raczej w przypadku wentylacji zasadniczej podziemnym wentylatorem, niż w przypadku regulacji stosunkowej.

Regulacja odjemna w b (rys. 131 b) ma oczywiście skutki przeciwnie:

- 1) również nie wpływając wcale na warunki bezpieczeństwa,
- 2) zwiększa pod każdym względem wpływ depresji h_1 ; lecz
- 3) zmniejsza pod każdym względem wpływ depresji h_2 , oraz
- 4) powiększa ilość ogólną powietrza, jakkolwiek w ważnej bocznic a temu przeciwdziała zmniejszanie się X .

Wobec własności (2) i (3) może być wygodniej zastosowana, gdy $h_2 < h_1$, t. j. raczej w przypadku regulacji stosunkowej wtórnym wentylatorem przy zasadniczej wentylacji zapomocą wentylatora na powierzchni.

O ile więc regulacja w a (dodatnia) i w c (odjemna) mogą służyć dla ustalenia warunków bezpiecznych, o tyle regulacja b może służyć do pomniejszania wzajemnego wpływu depresyj.

W celu unicestwienia całkowitego wpływu depresji h_1 wypada zatem opór b mieć możliwie najwyższym. Stąd, o ile pod względem bezpieczeństwa obrócenia się prądu drzwi w tamie b nie grają żadnej roli, o tyle pod względem możliwego zmniejszenia wpływu depresji naturalnej na wahania w ogólnej ilości powietrza winny być one szczelnie zamknięte, okienka zaś tam regulacyjnych możliwie najmniejsze. Odwrotnie, dla możliwego wyeliminowania wpływu depresji h_2 (przy regulacji stosunkowej) opór bocznic b powinien być możliwie najmniejszy i drzwi w tamach wentylacyjnych powinny być zupełnie otwarte.

Rozpatrzmy niektóre przypadki szczególne.

1. Jeżeli $a = \infty$, wówczas (rys. 129a) krzywa A_1 zamienia się w prostą $y = \frac{12}{\sqrt{c+b}}$, równoległą do osi odciętych, ale krzywa A_2 zachowuje postać hiperboli z osiami współrzędnych w charakterze asymptot, przecinając się z prostą A_1 w odległości 1 od osi rzędnych, krzywa zaś X — zlewa się z osią odciętych. Przypadek odpowiada całkowitemu wyeliminowaniu bocznic a z systemu i ten przedstawia szeregowe połączenie bocznic b i c , których wspólny

otwór równoznaczny oczywiście jest $\frac{12}{\sqrt{b+c}}$. Wobec zamknięcia bocznic a wentylator, działając w głuchym przodku, utrzymywać będzie poza swą dyszą kompresję, nie wpływając natomiast w najmniejszym stopniu na depresję pierwotną. Wobec tego otwór równoznaczny systemu przy wszelkim h_1 pozostaje stały. Stosunkowe zaś ilości powietrza przy wszelkich n (tj. h_1) określają się podług A_2 . Gdybyśmy wielkości depresji h_1 odkładali na osi odciętych od 0, krzywa A_2 przyjęłaby postać prawidłowej paraboli.

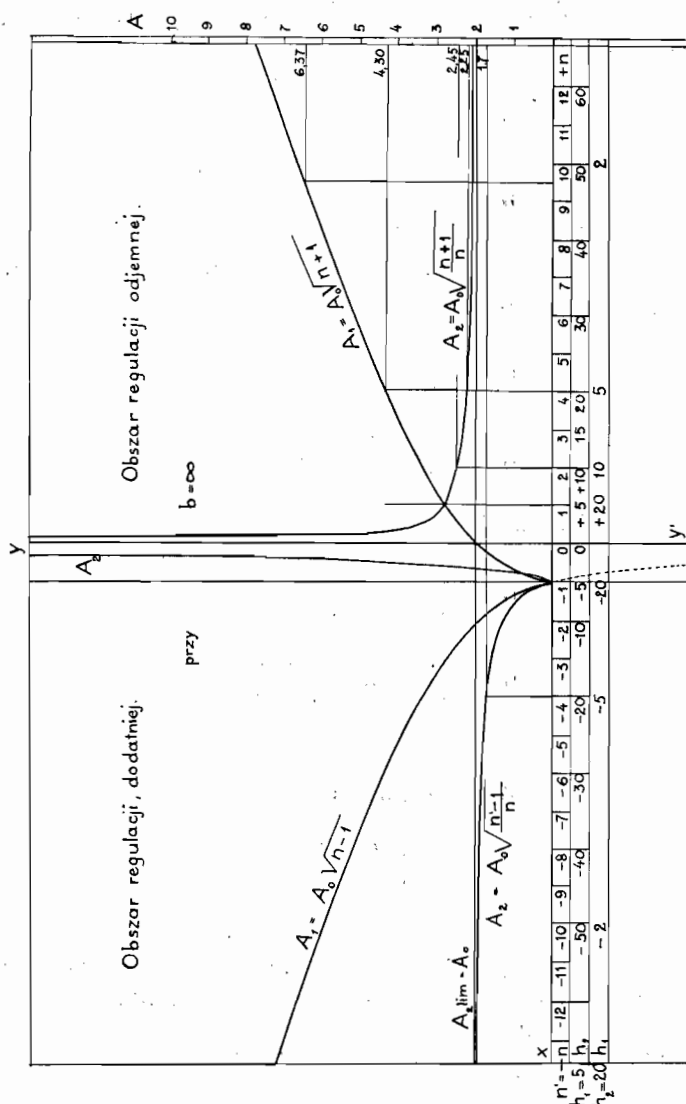
2. Jeżeli $b = \infty$, wówczas (rys. 131a) krzywe A_1 i A_2 zachowują swój zwykły wygląd, przyczem A_1 minimum (przy $n = 0$) równa się $\frac{12}{\sqrt{c+a}} = A_{2lim}$ (przy $n = \infty$), krzywa zaś X' zamienia się w prostą $\parallel$ do osi odciętych w odległości $+1$. Przypadek odpowiada całkowitemu wyeliminowaniu bocznic b , przytem bocznic a z wentylatorem zostaje w szeregowym połączeniu z c . Innymi słowy, mamy przypadek 2 źródeł depresji w tej samej linii, czyli przypadek regulacji absolutnej. Krzywe A_1 i A_2 charakteryzują zatem przebieg ogólny przewietrzaniu przy regulacji absolutnej i mogą ilustrować wpływ depresji naturalnej na depresję wentylatora, umieszczonego na powierzchni. Zwykle w tym wypadku ograniczamy się wzorem:

$$q = \frac{A_{0lim} \sqrt{h_1 + h_2}}{0,38}$$

Nowa metoda pozwala z wykresu widzieć wszystkie zmiany stosunkowe podług krzywej A_1 w zależności od h_2 i podług A_2 w zależności od h_1 . Szczególnie ważnem może być takie graficzne ujęcie zjawiska w przypadku, gdy depresja wentylatora h_2 jest stosunkowo nieznaczna, depresja naturalna zaś ulega znacznym wahaniom w obydwie strony od zera.

W tym ostatnim wypadku dla wartości $n < 0$ można sporządzić wspólny wykres, obejmujący prawą i lewą stronę od osi rzędnych.

Ponieważ przy $b = \infty$, $-\frac{a+b}{b} = -1$, również $-\frac{b}{b+c} = -1$, przeto, opierając się na rys. 126, nie trudno przekonać się, że dla wszystkich wartości n od $+\infty$ do $-\infty$ krzywe A_1 i A_2 przyjmą postać, wskazaną na rys. 132, gdzie asymptota $A_{2lim} = A_0$. Obszar wykresu między główną osią rzędnych



Rys. 132.

a rzędną — 1 odpowiada przewodze przeciwnej depresji h_1 i obróceniu się całego prądu w systemie. Dla lepszego zobrazowania tego zjawiska wygodniej jest odpowiednią część krzywej A_2 rysować w odzwierciedleniu z dolnej strony osi odciętych. W ten sposób krzywa A_2 przyjmie postać krzywej hiperbolicznej o dwu gałęziach ze środkiem w A_0 na osi odciętych.

Równania krzywych przyjmują następujące postacie:

Na podstawie (63) i (64) dla prawej strony (przyp. regulacji odjemnej):

$$M_1 = \frac{c + aX^2}{n + 1}$$

$$M_2 = \frac{c + aX^2}{n + 1} \cdot n$$

Na podstawie zaś (67) i (68) dla lewej strony wykresu (przyp. regulacji dodatniej):

$$M_1 = \frac{c + aX^2}{n - 1}$$

$$M_2 = \frac{c + aX^2}{n - 1} \cdot n$$

Przy $b = \infty$ $X = 1$; więc

$$M_1 = \frac{c + a}{n \pm 1} = \frac{M_0}{n \pm 1}$$

$$M_2 = \frac{c + a}{n \pm 1} n = \frac{M_0 n}{n \pm 1}$$

Przeto:

$$A_1 = A_0 \sqrt{n \pm 1}$$

$$A_2 = A_0 \sqrt{\frac{n \pm 1}{n}}$$

Jeżeli oznaczymy $A_1 = y_1$, $A_2 = y_2$, $n = x$, wówczas pierwsze równanie: $y_1^2 = A_0^2 (x \pm 1)$ przedstawia zwykłą parabolę ze środkiem na osi odciętych — 1 i osią wzdłuż odciętych, której parametr $p = \frac{A_0^2}{2}$; drugie zaś równanie

$$y_2^2 x = A_0^2 (x \pm 1)$$

przedstawia hiperbolę 3-go stopnia, której asymptoty są $y = A_0$ i $x = 0$. Krzywa zostanie oczywiście wyrysowana z obliczenia rzędnych poszczególnych punktów.

Rys. 132 jest ułożony dla konkretnego wypadku $A_0 = 2$. Przypuśćmy $h_1 = 5$ — (depresja naturalna); $h_2 = 20$; $n = \frac{20}{5} = 4$.

Temu odpowiada $A_2 = 2,24$

$$A_1 = 4,30.$$

więc:
$$q = \frac{2,24\sqrt{20}}{0,38} = 26,5$$

albo:

$$q = \frac{4,30\sqrt{5}}{0,38} = \sim 26,5$$

Ale również

$$q = \frac{A_0\sqrt{h_1 + h_2}}{0,38} = \frac{2\sqrt{25}}{0,38} = \sim 26,5.$$

Z wykresu widzimy odrazu, że jeżeli chodzi o powiększenie ilości powietrza o 50%, należy zwiększyć n z 4 do 9,5; t. j. $h_2 = 9,5 \times 5 = 47,5$ mm.

Sprawdzić możemy podług

$$q = \frac{A_0\sqrt{h_1 + h_2}}{0,38} = \frac{2\sqrt{52,5}}{0,38} = \sim 39,5 = 1,50 \cdot 26,5.$$

Wahania depresji naturalnej w granicach 10—0 wywołują wahanie w ilości powietrza w stosunku rzędnych $n = 2$ i $n_{max} = \infty$:

$$\frac{2,45}{2} = 1,225 = 22,5\%.$$

Przy zmianie kierunku depresji naturalnej i dalszem jej wzrastaniu rzędne odpowiednich n przechodzą na lewą stronę i rosną do nieskończoności. Jeżeli zatem wahania depresji naturalnej zachodzić będą np. w granicach + 10, — 5, to zmiany ilości powietrza mogą zachodzić w stosunku rzędnych, należących do $n = + 2$ i $n = - 4$, czyli $2,45 : 1,7 = 1,44$. Jeżeli przy $n = + 4$ jest $q = 26,5$, to przy $h_2 = + 10$ ($n = + 2$) będzie $q = 26,5 \cdot \frac{2,45}{2,24} = 29$; przy $h_2 = - 5$ ($n = - 4$): $q_{min} = \frac{29}{1,44} = 20$.

3. Jeżeli $b = 0$ (rys. 131b) wówczas krzywa A_1 zamienia się w prostą równoległą do osi odciętych w odległości $y = \frac{12}{\sqrt{c}}$ od niej, krzywa zaś A_2 zachowuje swoją postać hiperboliczną, której asymptotami są obydwie główne osie współrzędnych. Wreszcie

krzywa X jest parabolą, wychodzącą z początku układu i przecinającą rzędną $n = \frac{a}{c}$ w odległości $+1$.

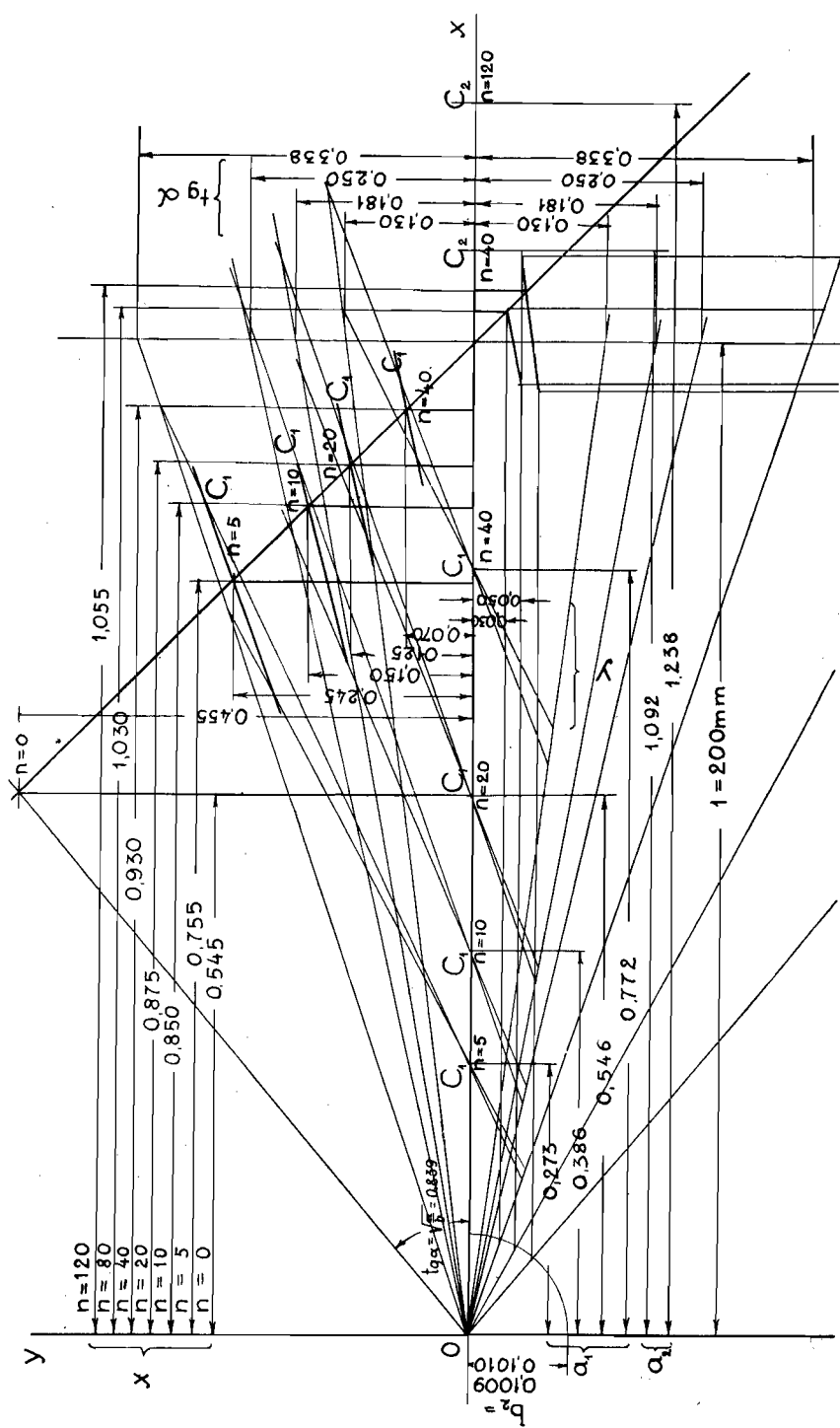
Przypadek odpowiada przewietrzaniu głuchych przodków w zapomocą lutni.

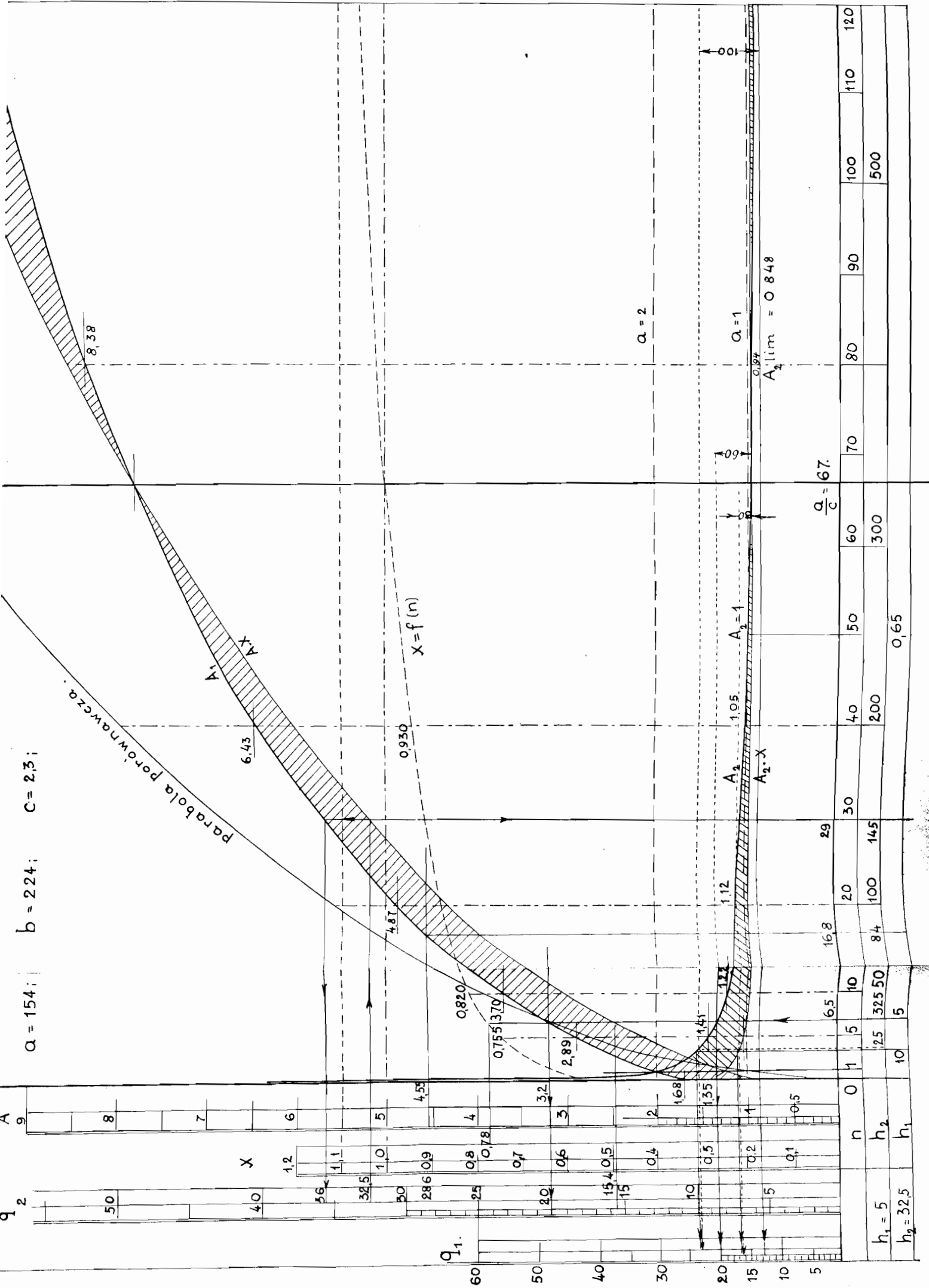
Pozycja krzywych dowodzi, że ilość powietrza w głównym prądzie nie zależy od depresji wentylatora wtórnego i pozostaje stałą przy wszystkich zmianach h_2 , bowiem otwór równoznaczny A_1 jest stały. Tylko w tym wypadku, gdy wyprowadzając lutnię do chodnika prądu głównego, stwarzamy element b i krzywa A_1 przyjmuje postać paraboli, wpływ wentylatora wtórnego zaczyna oddziaływać na ilość ogólną. W praktyce oczywiście element b w tych wypadkach jest bardzo nieznaczny i wpływ jego nie gra żadnej roli, przeto wogóle przewietrzanie lutniami głuchych przodków zapomocą wentylatorów wtórnych w praktyce nie wpływa wcale na ilość ogólną powietrza w kopalni, powodując jedynie podział powietrza w prądzie głównym na 2 strumienie: do przodka głuchego przez lutnię prąd a , oraz bezpośrednio — dalej przez przekrój chodnika głównego naprzeciw ujścia chodnika ślepego — prąd b . Podział ten zachodzi w stosunku X ; gdy zatem $n < \frac{a}{c}$, $X < 1$ — tylko część powietrza wchodzi do lutni; gdy $X = 1$, cała ilość powietrza płynie przez lutnię i chodnik boczny; gdy $n > \frac{a}{c}$, $X > 1$ — przez lutnię płynie więcej powietrza, niż w prądzie głównym, część zatem całkowitej ilości powietrza znajduje się w ustawicznym krążeniu w lutni i chodniku głuchym. Ponieważ przy powiększaniu b , oraz $n < \frac{a}{c}$, ogólna ilość powietrza zmniejsza się (krzywa A_1 opuszcza się), przeto teoretycznie, celem zachowania stałej ogólnej ilości powietrza w systemie, lutnie nie powinny być zawracane do chodnika głównego.

§ 55. Przykład liczbowy.

1. Dla tej samej kopalni, o której była mowa w § 52 str. 105, ułożmy wykres krzywych charakterystycznych. Dla szeregu wartości $n = 5, 10, 20, 40, 80, 120$ obliczamy rzędne krzywych X , A_1 i A_2 . Obliczenia najwygodniej ułożyć w następującej tabelce:

Dane: $a = 154$, $b = 224$, $c = 2,3$. $n_k = \frac{a}{c} = \frac{154}{2,3} = 67$									
$n =$	0	5	10	20	40	80	120	∞	
$z(21) a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}}$	0	0,273	0,386	0,546	0,772	1,092	1,238	∞	
$z(22) \text{ dla } n > \frac{a}{c}; b_2 = \sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{c}{b}} =$						0,1007	0,101	0,1013	
$z(23) \text{ dla } n < \frac{a}{c}; tga = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}} =$	0,839	0,338	0,250	0,181	0,1295				
Podług tych danych z rys. 133 krzywych zasadniczych:									
$X =$	0,545	0,755	0,820	0,875	0,930	1,030	1,055	1,101	
$Y =$	0,455	0,245	0,180	0,125	0,070	—0,030	—0,055	—0,101	
$z(9) \text{ dla } n < \frac{a}{c}; M_1 = c + bY^2 =$	51	17	10	6	3,5				
„ dla $n > \frac{a}{c}; M_1 = c - bY^2 =$						1,2	1,507	0	
„ dla $n < \frac{a}{c}; M_2 = aX^2 - bY^2 =$	0	73	96	114	132				
„ dla $n > \frac{a}{c}; M_2 = aX^2 + bY^2 =$						164	173	201	
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	1,68	2,89	3,76	4,87	6,43	8,33	9,59	∞	
$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	∞	1,41	1,226	1,125	1,046	0,938	0,913	0,848	
$A_1 \cdot X =$	0,915	2,18	3,00	4,26	5,98	8,58	10,10	∞	
$A_2 \cdot X =$	∞	1,06	1,005	0,985	0,973	0,965	0,964	0,936	





Rys. 134.

Na podstawie tych danych sporządzamy wykresy krzywych charakterystycznych (rys. 134).

Jeżeli $h_1 = 5$ m/m, $h_2 = 32,5$, to $n = \frac{32,5}{5} = 6,5$.

Odpowiedni otwór równoznaczny podług krzywej A_2

$$A_2 = 1,35$$

zatem

$$q = \frac{1,35 \sqrt{32,5}}{0,38} = 20,2 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Na podstawie zaś krzywej X:

$$q_a = 20,2 \cdot 0,78 = 15,6 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

$$q_b = q - q_a = \frac{4,6}{20,2 \text{ m}^3/\text{sec.}}$$

Kopalnia w granicach bezpiecznych niemal nie wychodzi z kategorii średnich, przyjmując znaczenie otworu równoznacznego

$A_2 = 1$ przy $n = 50$, t. j. gdy h_1 opada do $\frac{32,5}{50} = 0,65$ m/m.

Stopień bezpieczeństwa jest znaczny $K = \frac{n}{n_k} = \frac{6,5}{67} = 0,097$.

Jeżeli przyjmiemy $K_{lim} = 0,25$, t. j. $n = 0,25 \cdot 67 = 16,8$, czyli $h_2 = 16,8 \cdot h_1 = 16,8 \cdot 5 = 84$, możemy ogólną ilość powietrza zwiększyć w stosunku rzędnych krzywej A_1 , t. j. $\frac{4,55}{3,20} = 1,42$,

czyli o 42%. Wyrysowując wszakże parabolę porównawczą dla $A_2 = 1,35$ w podziałce odpowiedniej rzędnej A_1 , przekonamy się, że w normalnych warunkach to samo powiększenie depresji wywołałoby powiększenie o 59% lub, uwzględniając depresję naturalną, o 54%. W ten sposób z powodu umieszczenia wentylatora pod ziemią osiągamy 28,6 m³ zamiast 32.

Jeżeli rzędną A_1 ($n = 6,5$) przyrównamy do 20,2 i proporcjonalnie do niej podzielimy oś rzędnych, otrzymamy skalę q_2 krzywej A_1 dla bezpośredniego odczytywania ilości powietrza w zależności od zmian h_2 przy stałym h_1 ; przyrównywując zaś rzędną A_2 ($n = 6,5$) do 20,2 i dzieląc proporcjonalnie do niej oś rzędnych otrzymamy drugą skalę q_1 krzywej A_2 dla bezpośredniego odczytywania ilości powietrza w zależności od zmian h_1 przy stałym h_2 . Tak więc, jeżeli depresja naturalna może wahać się w granicach 10 — 0, ilość powietrza będzie wahała się podług skali q_1 w granicach 24—12,5 m³. — Amplituda wynosi 100%. Jeżeli będziemy

przyjmowali jedynie bezpieczne granice $q_1 = 24 - 15 \text{ m}^3$, amplituda: $\frac{24}{15} = 1,60$, t. j. 60%. Przy wahaniach h_1 od 5, w granicach bezpiecznych, $q_1 = 20 - 15$, amplituda — 33%. Jednakże, jak widać podług krzywej A_2X , w wa ż n e j bocznicy wahania te będą mniej znaczne. Mianowicie gdy $h_1 = 10 - 0,6$ — (w granicach bezpiecznych) $q_a = 17 - 15$. Amplituda — tylko 13%. Natomiast $q_b = 5 - 0$. Amplituda $\rightarrow \infty$.

Przypuśćmy, że w ważnej bocznicy a ilość powietrza 15,4 jest niewystarczająca i należy ją wskutek zamierzonego zdwojenia wydobyć powiększyć do 32,5 m^3 . Podług skali q_2 znajdujemy na krzywej A_1 punkt, któremu odpowiada odcięta $n = 29$ albo $h_2 = 145 \text{ m/m}$. Jednocześnie całkowita ilość powietrza $q = 36$. Przytem oczywiście osiąga się znaczne pomniejszenie wpływu zmian depresji h_1 , mianowicie zaledwie $1,15 : 1,1 = 1,04$, t. j. tylko 4%, co praktycznie oznacza zupełny zanik wszelkich wahań. Atoli, wskutek przekroczenia dopuszczalnego stopnia bezpieczeństwa: $K = \frac{n}{n_k} = \frac{29}{67} = 0,43$ bez jakiegokolwiek bądź regulacji bezpośredniej, nie można zwiększyć w tak znacznym stopniu ogólnej ilości powietrza.

2. Na kopalni projektuje się zmniejszenie oporu właściwego a do 60, wiemy atoli (rys. 129b), że odjemna regulacja a jeszcze bardziej przysuwa granicę krytyczną, ale zmniejsza amplitudę wahań pod wpływem depresji h_1 , oraz powiększa ogólną ilość powietrza. Ażeby przekonać się, jakie zostaną osiągnięte możliwości przewietrzania przy $a = 60$, ułożmy dla tego przypadku wykresy charakterystyczne. Stosowne obliczenia objęte są tabelką poniższą. (Patrz str. 145).

Na podstawie tych danych sporządzamy wykres, jak na rys. 136.

Skalę osi rzędnych q_1 i q_2 wybieramy podług dowolnego n . Więc np. $n = 6,5$ ($h_2 = 32,5$).

Podług A_2 :

$$q_2 = \frac{A_2 \sqrt{h_2}}{0,38} = \frac{1,875 \sqrt{32,5}}{0,38} = \sim 28$$

Więc dla skali q_2 porównujemy

$$A_{1(n=6,5)} = 28$$

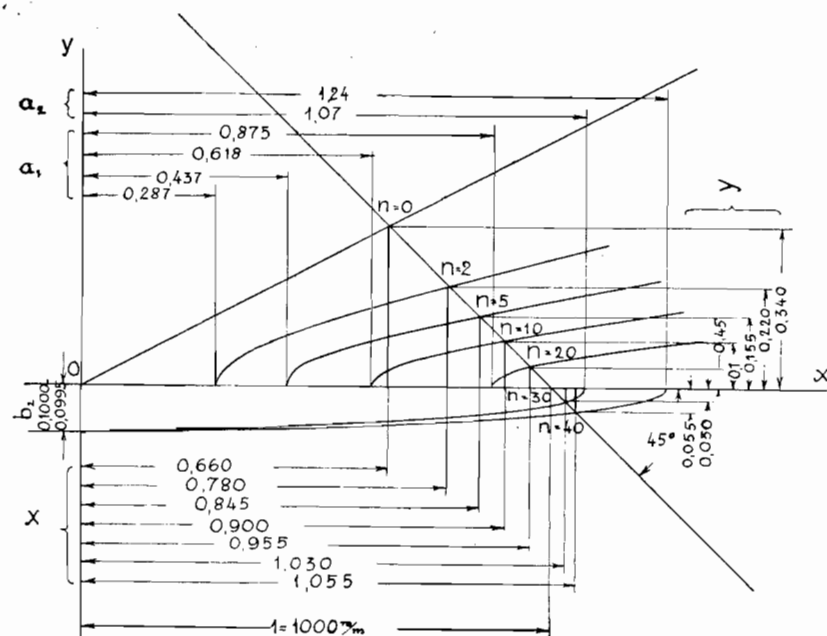
zaś dla skali $q_1 = A_{2(n=6,5)} = 28$.

Z wykresu spostrzegamy, że jest niemożliwe przez odjemną regulację w a (od 154 do 60) osiągnięcie pożądanego powiększenia

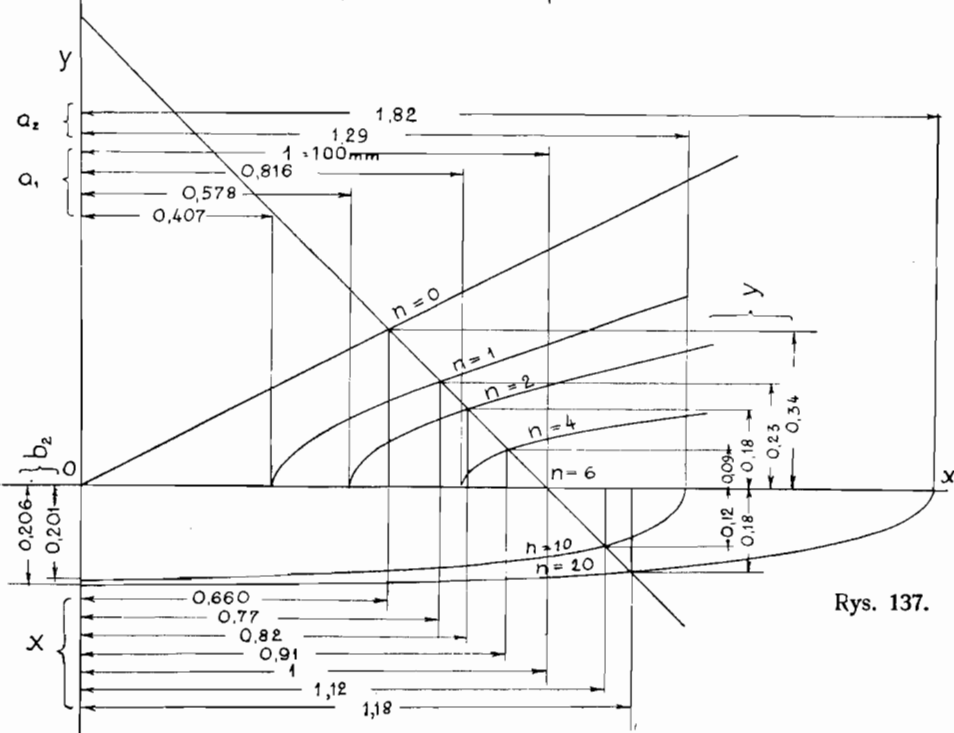
Dane: $a = 60, b = 224, c = 2,3, n_k = \frac{60}{2,3} = 26$									
$n =$	0	2	5	10	20	30	40	∞	
Z (21) $a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}}$	0	0,287	0,437	0,618	0,875	1,07	1,24	∞	
» (22) dla $n > \frac{a}{c}; b_2 = \sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{c}{b}}$						0,0995	0,1000	0,1015	
» (23) » $n < \frac{a}{c}; tg \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$	0,517	0,298	0,211	0,156	0,113				
Podług tych danych z rys. 135:									
X =	0,660	0,780	0,845	0,900	0,955	1,030	1,050	1,1015	
Y =	0,340	0,220	0,155	0,100	0,045	—	0,050	—	0,1015
Z (9) dla $n < \frac{a}{c}; M_1 = c + bY^2$	28,1	13,1	7,7	4,54	2,75				
» » » $n > \frac{a}{c}; M_1 = c - bY^2$						2,1	1,76	0	
» » » $n < \frac{a}{c}; M_2 = aX^2 - bY^2$	0	25,6	37,4	46,26	54,15				
» » » $n > \frac{a}{c}; M_2 = aX^2 + bY^2$						63,8	66,54	76,3	
$A_1 = \sqrt[12]{M_1}$	2,27	3,32	4,32	5,63	7,24	8,29	9,04	∞	
$A_2 = \sqrt[12]{M_2}$	∞	2,37	1,96	1,764	1,63	1,50	1,47	1,37	
$A_1 \cdot X$	1,50	2,6	3,65	5,1	6,9	8,50	9,50	∞	
$A_2 \cdot X$	∞	1,85	1,64	1,59	1,56	1,55	1,54	1,53	

powietrza do $32,5 \text{ m}^3$ w bocznicę ważnej, potrzebną bowiem do tego depresję osiąga się przy $n = 11,6$. Ponieważ zaś $n_k = 26$, więc $K = \frac{11,6}{26} = 0,45$ jest za wielkie. Nadto przy dawnej depresji $32,5$ mamy $K = \frac{6,5}{26} = 0,25$, t. j. warunki graniczne. Zatem największe możliwe zwiększenie ilości powietrza w ważnej bocznicę jest $24,5$ zamiast $15,4$, t. j. $\frac{24,5}{15,4} = 1,60$, czyli 60%. Zatem wydobyć nie można zwiększyć więcej, niż w przybliżeniu półtora razy. Osiągamy jednak widoczne zmniejszenie wpływu depresji pierwotnej, amplituda bowiem wahania ilości ogólnej powietrza przy $h_1 = 10 - 0$ wynosi $32 - 20,5$, czyli $\frac{32}{20,5} = 1,68$, 68% zamiast 100%. Przy zmianach zaś h_1 od 5 m/m do $-\frac{5}{26} = 0,25$ (w granicach bezpiecznych) amplituda stanowi $28 - 23$, czyli $\frac{28}{23} = 1,25$, 25% zamiast 33%. Wreszcie w tych samych granicach w bocznicę a amplituda wynosi $25 - 22,5$, $\frac{25}{22,5} = 1,10$, a więc 10% zamiast 13%. We wszystkich wypadkach kopalnia zostaje w kategorii średnich.

3. Ponieważ wszystkie roboty dzisiaj już są prowadzone z upadowych poniżej poziomu głównej przecznicy, rozważany jest przeto projekt na kopalni utworzenia nowego poziomu przez pogłębienie szybu wydobywczego o 150 m i przebicie długiej przecznicy na 800 m (rys. 106), co wobec konieczności zwiększenia wydobywania może mieć szczególne znaczenie dla sprawności odstawy. Projekt ten jednak musi spotkać się ze stanowczym sprzeciwem ze strony interesów przewietrzania. Jeżeli bowiem już przez zmniejszenie a (w związku z utworzeniem nowych pól dla większego wydobywania) kopalnia stanęła na granicy dopuszczalnego stopnia bezpieczeństwa, nie osiągając wszakże zamierzonej ilości powietrza w bocznicę $a - 32,5 \text{ m}^3$, lecz tylko 24 m^3 , to tem bardziej warunki przewietrzania staną się wręcz niebezpiecznymi, gdy po pogłębieniu szybu i przebicu nowej przecznicy zostanie powiększony opór elementów zewnętrznych. Nietrudno obliczyć, że opór właściwy przecznicy 800 m dł. o przekroju 3×2 w obudowie betonowej przy współczynniku tarcia zaledwie $0,0002$ wyniesie conaj-



Rys. 135.



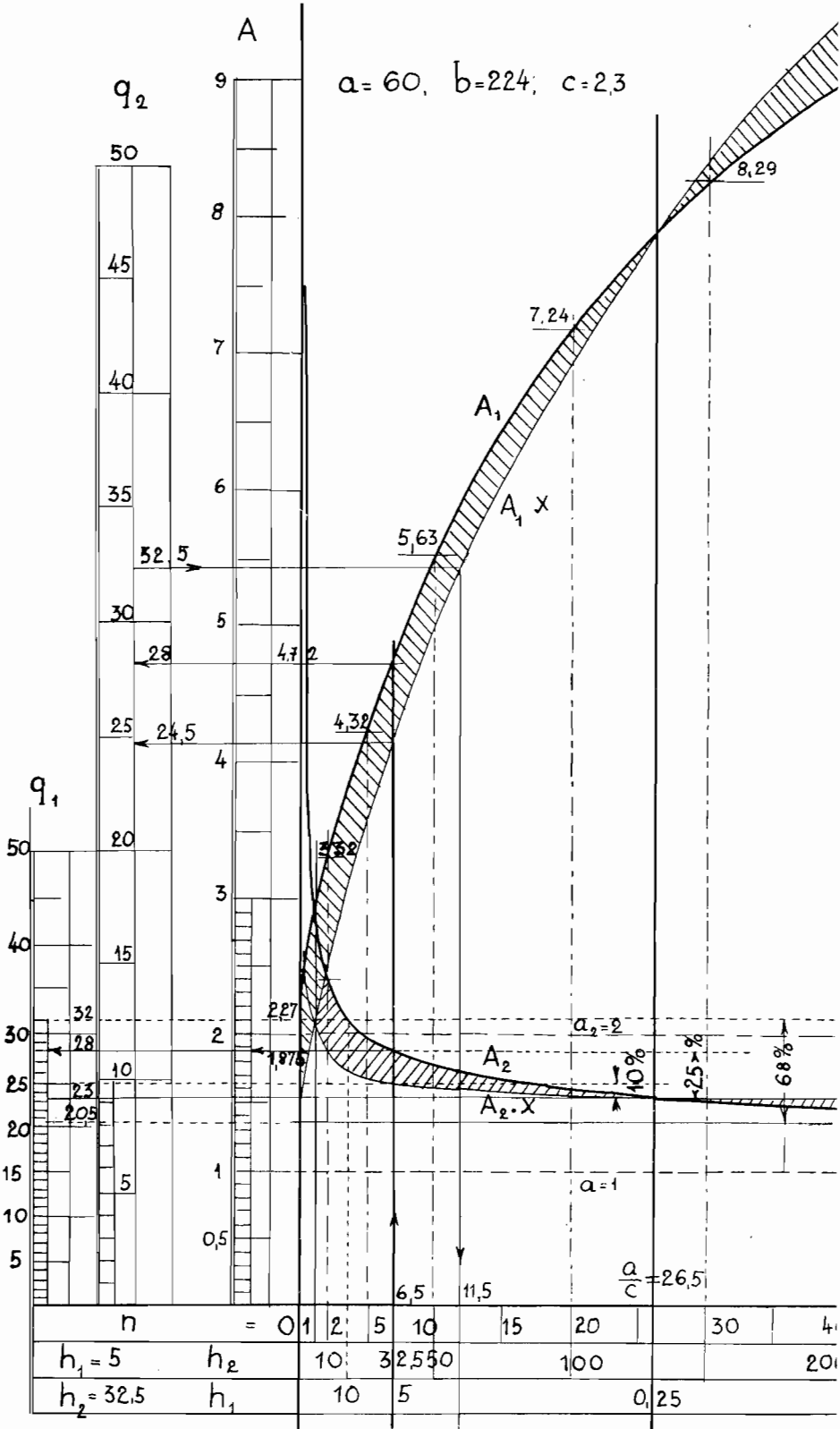
Rys. 137.

mniej 7,5 miurgów. Można zatem śmiało przypuszczać, że całkowity opór elementów zewnętrznych wraz z szybami podniesie się z 2,3 do 10. Skąd $n_k = \frac{a}{c} = \frac{60}{10} = 6$, co jest mniej, niż $\frac{h_2}{h_1} = \frac{32,5}{5} = 6,5$. Ponieważ oprócz tego powinien zmniejszyć się również i otwór równoznaczny (rys. 130a), przeto dopuszczalna ilość powietrza będzie znacznie mniejsza od 24. Jediną wygraną, jaka zostanie osiągnięta, będzie zmniejszenie amplitudy zmian ilości powietrza w zależności od wpływu h_1 . Lecz i to jest wątpliwe wobec konieczności zmniejszenia n .

Przedstawmy sytuację, jaka się wytworzy z utworzeniem nowego poziomu zapomocą wykresu krzywych charakterystycznych. Następująca tabelka obejmuje odnośne obliczenia:

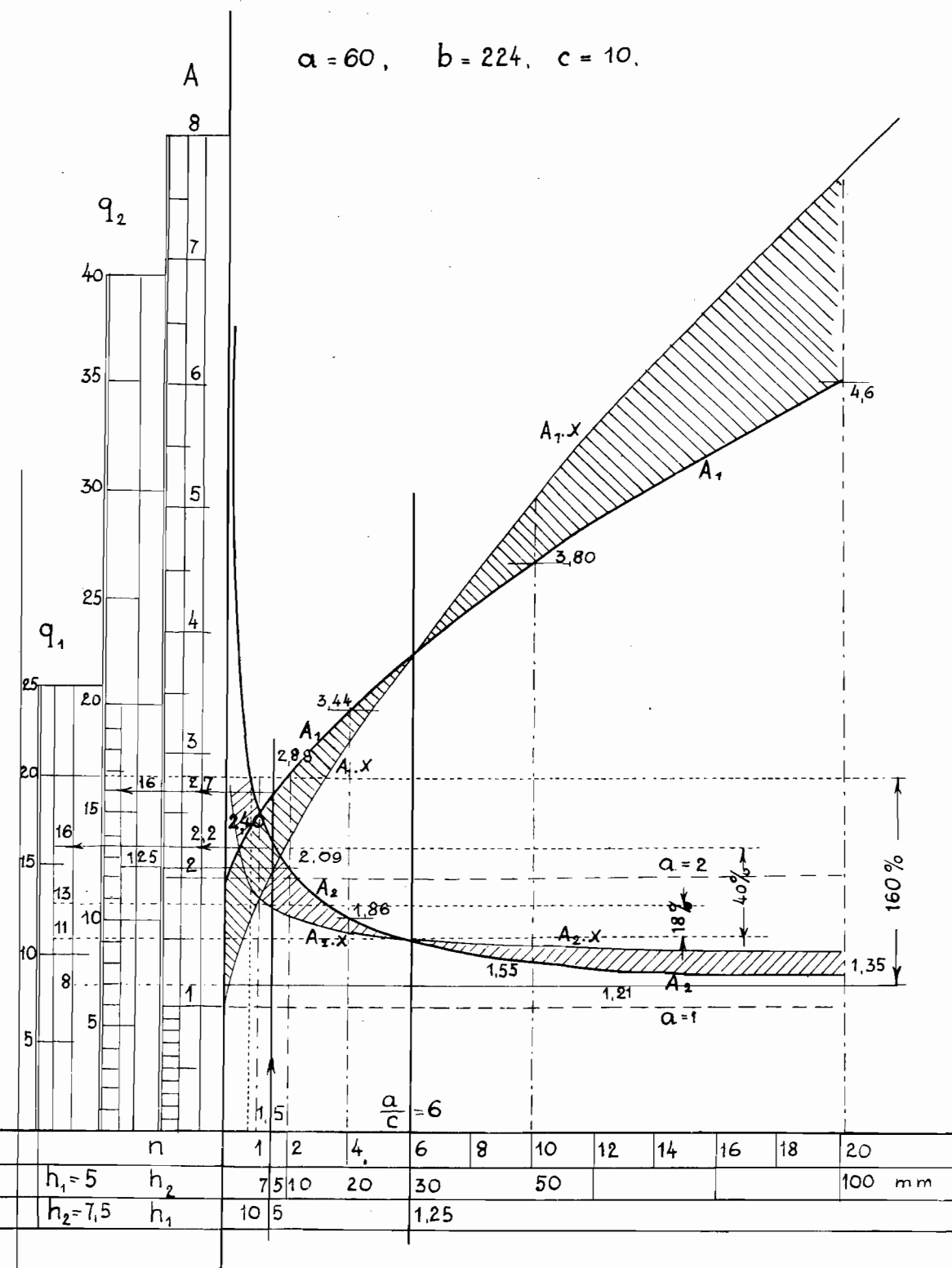
Dane: $a = 60$, $b = 224$, $c = 10$, $n_k = \frac{60}{10} = 6$								
$n =$	0	1	2	4	6	10	20	∞
$a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}} =$	0	0,407	0,578	0,816	1	1,29	1,82	∞
$b_2 = \sqrt{\frac{nc}{(n+1)b}} =$						0,201	0,206	0,210
$tg\alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{(n+1)b}} =$	0,517	0,366	0,299	0,232	0,196			
z rys. 137:								
$X =$	0,66	0,77	0,82	0,91	1,00	1,12	1,18	1,21
$Y =$	0,34	0,23	0,18	0,09	0	-0,12	-0,18	-0,21
$M_1 = c + bY^2 =$	36	23,5	17,3	12,24	10			
$M_1 = c - bY^2 =$						6,8	2,7	0
$M_2 = aX^2 - bY^2 =$	0	23,5	33,2	48,2	60			
$M_2 = aX^2 + bY^2 =$						78,7	90,3	98
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	2	2,48	2,88	3,44	3,80	4,6	7,3	∞
$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	∞	2,48	2,09	1,86	1,55	1,35	1,26	1,21
$A_1 \cdot X =$	1,03	1,91	2,37	3,13	3,80	5,15	8,61	∞
$A_2 \cdot X =$	∞	1,91	1,72	1,69	1,55	1,51	1,49	1,47

Na podstawie tych danych układamy wykres, jak na rys. 138. Wychodząc z $K = 0,25$ musimy przyjąć $n = n_k \cdot K = 6 \cdot 0,25 = 1,5$,



Rys. 136.

$$a = 60, \quad b = 224, \quad c = 10.$$



stąd $h_{2\max} = 7,5$ m/m. Podług krzywej A_2 znajdujemy $A_2 = 2,2$.
Stąd:

$$q_{\max} = \frac{2,2\sqrt{7,5}}{0,38} = 16$$

t. j. powietrza będzie mniej, niż jest dzisiaj przy $a = 154$. Porównując rzędną $A_{1(h_2=7,5)} = 2,7$ do 16, układamy na osi rzędnych skalę q_2 ; porównując zaś rzędną $A_2 = 2,2$ do 16, układamy skalę q_1 . Wówczas zobaczymy, że w ważnej bocznicy płynie tylko $12,5$ m³. Zatem przejście na nowy poziom przy $a = 60$ możliwe jest jedynie przy zmniejszeniu wydobywania w stosunku $\frac{12}{15} = 0,8$, t. j. o 20% w porównaniu z dzisiejszym, jakkolwiek kopalnia przechodzi do szeregu szerokich. Nadto skutek małej wielkości h_2 amplituda wpływu depresji naturalnej jest bardzo wielka przy zmianach h_1 w granicach 10—0. Zmiany ogólnej ilości powietrza mogą zachodzić w granicach 20—8 (160%). W granicach bezpiecznych zaś ($h_1 = 5 - 1,25$) — 16 — 11 (46%), oraz w ważnej bocznicy 13—11 (18%).

W ten sposób przy planowanym rozwoju robót górniczych, wyrażającym się w osiągnięciu liczby $a = 60$, nie można przechodzić na nowy poziom, lecz należy dalej prowadzić roboty na upad. Nadto osiągnięcie większej ilości powietrza niż 28 m³ przy danej instalacji wentylatora, nie wychodząc z granic bezpiecznych, jest niemożliwe. Stąd wydobywanie nie może być powiększone więcej, niż o 60%.

Nietrudno się przekonać drogą wskazaną, że zastosowanie regulacji dodatniej w a , odsuwając granicę krytyczną, nie daje wszakże możliwości przez powiększenie n dojść do pożądanej ilości powietrza.

Z przykładu tego widzimy, że pociągając niebezpieczeństwo obrócenia się prądu b i stawiając pewne granice dla stosunku n , system przewietrzania zapomocą wentylatora podziemnego posiada ograniczony zakres zastosowania i nie może służyć dla zabezpieczenia w danej kopalni dowolnej ilości powietrza.

ROZDZIAŁ XI.

WENTYLACJA TŁOCZĄCA WENTYLATOREM PODZIEMNYM (NOWY SPOSÓB)

§ 56. Nowy, bezwzględnie bezpieczny sposób instalacji wentylatora podziemnego. Wychodząc z wyłożonych wyżej zasad proponujemy w tem miejscu nowy, bezwzględnie bezpieczny sposób instalacji wentylatora podziemnego, który jakkolwiek, jak zobaczymy niżej, również jest ograniczony pewnymi warunkami, to jednak najkorzystniejszym do zastosowania będzie wówczas, gdy stary sposób staje się niebezpiecznym (tj. gdy

$$n > \frac{a}{c}).$$

Idea tego sposobu polega na tem, że wentylator podziemny umieszcza się w prądzie świeżego powietrza niedaleko szybu wydobywczego i pracuje tłoczendo, przytem znajduje się on w chodniku równoległym do chodnika głównego przewozowego (ew. głównej przecznicy przewozowej szybowej), z którym łączy się przed i poza wentylatorem. W chodniku przewozowym niema żadnej tamy i przewóz zachodzi bez żadnych przeszkód. W ten sposób cała sieć wyrobisk górniczych, w których prowadzone są wszystkie roboty wydobywcze, zostaje względem bocznicy wentylatora włączona do systemu elementów zewnętrznych c . Stosunkowo krótka bocznicą wentylatora stanowi element a . Bocznicą zaś b jest częścią chodnika przewozowego, równoległą do bocznicy wentylatora. Ponieważ w takim ugrupowaniu element zewnętrzny c nie może być bardzo mały, natomiast bocznicą wentylatora a jest stosunkowo krótka, przeto stosunek $\frac{a}{c}$ jest zawsze dość mały i zwykle będziemy mieli nierówność $n > \frac{a}{c}$. Z tego wynika, że prąd w bocznicy b , przez którą odbywa się cały przewóz urobku do szybu wydobywczego, będzie stale obrócony. Ponieważ jednak w krążeniu znaj-

duje się świeże powietrze, nie będzie to stwarzało żadnego niebezpieczeństwa, ani żadnych przeszkód dla przewozu.

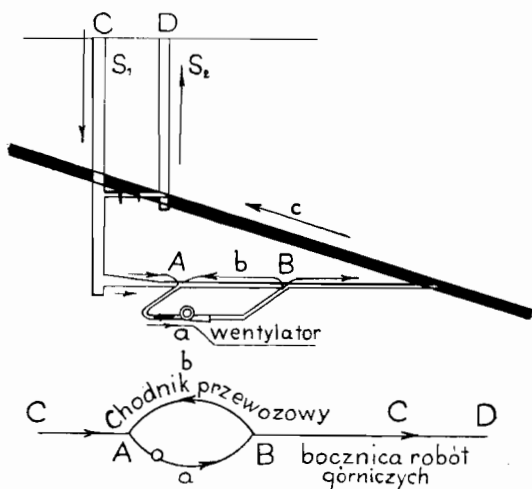
System ten może być jednakowo zastosowany zarówno dla zgodnych depresyj wentylatora i naturalnej, jak też dla depresyj przeciwnych, przyczem w ostatnim wypadku prąd w bocznicy b będzie płynąć w odwrotnym kierunku z natury rzeczy. Rys. 139 wyjaśnia dyspozycję wyrobisk i sytuację wentylatora.

Jasnym jest, że przy takiej dyspozycji we wszystkich wyrobiskach robót górniczych będziemy mieli zawsze trwały kierunek prądu i żadnego powrotnego krążenia powietrza zużytego przez pola robocze być nie może. Pomimo, że wentylator jest umieszczony na dole, chodnik przewozowy nie jest niczem skrępowany i przewóz odbywa się stale w prądzie świeżego powietrza.

Przewietrzanie kopalni może być projektowane albo 1) na największą możliwą ilość powietrza q_{max} podług dopuszczalnej największej prędkości powietrza v_{max} w tych chodnikach przewozowych, przez które płynie najwięcej powietrza

(w przecznicy głównej, jeżeli cały prąd płynie tą jedyną przecznicą od szybu), przyczem wydobyte w kopalni dostosowuje się do tej największej ilości powietrza; albo 2) na zadaną ilość powietrza q , odpowiednio do zamierzonej wydajności, przyczem może być albo a) $q < q_{max}$ i wówczas prędkości w chodnikach przewozowych są mniejsze od dopuszczalnych największych, albo b) $q > q_{max}$ i wówczas w zadanie przewietrzania wchodzi ewentualne rozszerzenie chodników głównych lub przebicie chodników równoległych tak, ażeby osiągnąć $v \leq v_{max}$.

Przypuszczamy, że w naszych warunkach projektowanie przewietrzania raczej powinno uwzględniać możliwe maximum



Rys. 139.

ilości powietrza, a to z tego względu, że wydajność naszych kopalń ulega wielkim wahaniom zarówno sezonowym, jak też uzależnionym od wciąż zmieniających się warunków rynku i konjunktury ekonomiczno-politycznej. Wobec tego dla większej swobody przystosowania się do potrzeb rynku możliwa wydajność kopalni powinna być ograniczona jedynie możliwym maximum ilości powietrza (z czym też powinna być uzgodniona organizacja odstawy, problemu tego jednakże w pracy niniejszej nie poruszamy). Będziemy przeto mieli na względzie w dalszych wywodach ten właśnie przypadek.

Jak wiemy już, przy umieszczeniu wewnętrznego źródła depresji w jednej z bocznic systemu normalnego określenie oporu właściwego wychodzi ze stosunków podziału powietrza na bocznicę X i Y . W starym sposobie wentylacji podziemnym wentylatorem podział ten jest uwarunkowany zapotrzebowaniem powietrza w bocznicach a i b , gdyż w każdej z nich prowadzone są roboty i znajdują się ludzie (w bocznicy b — mogą być stajnie, komory maszynowe, prochownia, składy benzyny, remizy, warsztaty, roboty przygotowawcze etc.¹⁾ W nowej instalacji kryterjum to nie istnieje, gdyż w bocznicach a i b stale nikt nie przebywa; w b — chwilowo może znajdować się obsługa przewozu. Wobec tego wybór stosunków X i Y wypływa z warunku osiągnięcia q_{max} .

Wiemy, że przy stałej depresji naturalnej h_1 ilość ogólna powietrza jest proporcjonalna do A_1 . W przypadku odwróconego prądu w b podług (9 bis) przy zgodnych depresjach:

$$M_1 = c - bY^2$$

$$A_1 = \frac{12}{\sqrt{c - bY^2}}$$

Stąd, tem więcej będzie płynąć powietrza przez kopalnię, im większy jest stosunek Y , czyli innymi słowy stosunek Y należy obierać z warunku maximum powracającej ilości powietrza w bocznicę b , które nie może przekraczać pewnej granicy w związku z dopuszczalną największą szybkością prądu w chodniku przewozowym.

Oznaczmy przez S_c przekrój przecznicy, przez którą płynie cały prąd c , przez S_b — przekrój bocznicę b , wówczas największa ogólna ilość powietrza

$$q_{max} = S_c \cdot v_{max}.$$

¹⁾ Na jednej z naszych kopalń w bocznicę b są nawet prowadzone roboty wydobywcze.

Ale również musi być zachowany warunek

$$q_b \leq q_{b \max} = S_b v_{\max}.$$

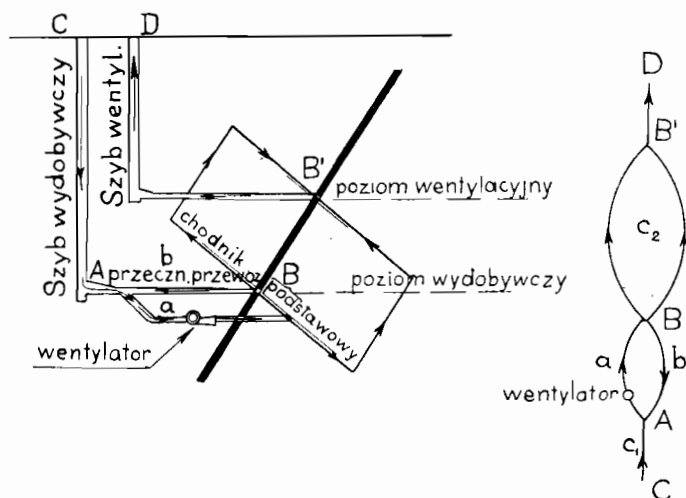
Stąd:

$$Y_{\max} \leq \frac{q_{b \max}}{q_{\max}} = \frac{S_b \cdot v_{\max}}{S_c \cdot v_{\max}} = \frac{S_b}{S_c}$$

Jeżeli po złączeniu bocznic a i b prąd dalej płynie pojedynczym chodnikiem (przeczną szybową, jak na rys. 139) zwykle jest $S_c = S_b$, oraz

$$Y_{\max} \leq 1.$$

Jeżeli jednakże po połączeniu bocznic a i b prąd główny rozdziela się od razu na 2 bocznic, np. jeżeli bocznic a i b stanowią 2 równo-



Rys. 140.

ległe przecznice, które dochodzą do chodnika przewozowego w układzie (rys. 140), w którym prąd rozdziela się w chodniku podstawowym na 2 skrzydła po rozciągłości,¹⁾ wówczas S_c stanowi sumę przekrojów obydwu chodników głównych. Jeżeli poza tem zachowują one te same wymiary, wówczas $S_c = 2S_b$, oraz:

$$Y_{\max} \leq 1/2.$$

¹⁾ Przyjęto opór krótkiej części chodnika podstawowego, łączącej przecznice a i b , za $= 0$.

Jeżeli prąd c po złączeniu chodników a i b rozdziela się na większą ilość bocznic (rys. 141), przytem powietrze dzieli się na bocznicę o uregulowanych oporach w stosunkach różnych, wówczas q_{max} określa się podług największej możliwej ilości powietrza w tej bocznicy, w której płynie najwięcej powietrza, oraz S_c — jest pewnym przekrojem fikcyjnym, określonym z równania:

$$S_c = \frac{q_{max}}{v_{max}}$$

a w takim razie

$$Y_{max} \leq \frac{S_b}{S_c} = \frac{q_{b\ max}}{q_{c\ max}} = \frac{1}{m} \quad (a)$$

gdzie m — jaki bądź stosunek q_{max} do $q_{b\ max}$

Ponieważ zaś

$$X - Y = 1 \quad (\text{podług 25})$$

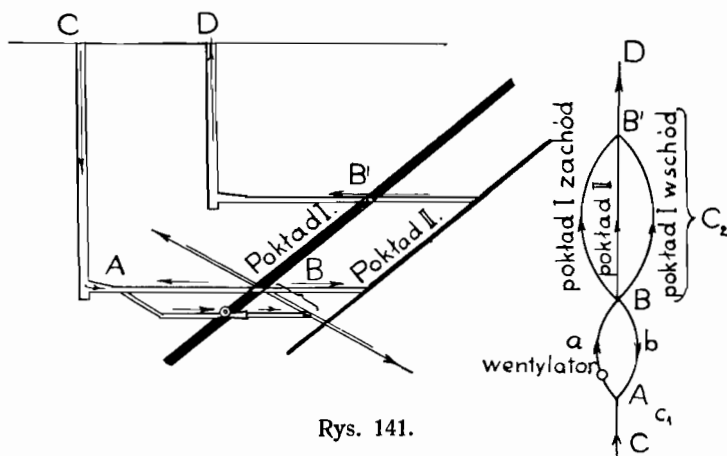
przeto:

$$X_{max} = 1 + Y_{max} \leq 1 + \frac{1}{m}$$

i w przypadku $S_b = S_c$: $X_{max} \leq 2$;

w przypadku $S_b = \frac{1}{2}S_c$: $X_{max} \leq \frac{3}{2}$

i t. d.



Rys. 141.

Z drugiej strony wiemy, że

$$Y_{lim} = \sqrt{\frac{c}{b}}$$

$$X_{lim} = 1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$$

wielkości te osiąga się teoretycznie, gdy $n = \infty$, przyczem otwór równoznaczny względem depresji wentylatora osiąga swoje minimum

$$A_{2lim} = \frac{12}{\sqrt{a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}}\right)^2 + c}}$$

ogólna zaś ilość powietrza — swoje maximum, gdyż

$$A_1 = \infty$$

Ponieważ, jak widać z przebiegu krzywych charakterystycznych (rys. 126 i 127), $A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}}$ bardzo szybko zbliża się do swojej asymptoty, więc otwór równoznaczny zbliża się do tej wielkości dosyć prędko przy pewnym stosunku n o niezbyt wielkiej wartości, oraz stosunki Y i X zbliżają się prędko do swoich wartości granicznych. Dlatego też warunek (a) będzie bezwzględnie zachowany, jeżeli zachowana będzie nierówność:

$$\sqrt{\frac{c}{b}} \leq \frac{1}{m}$$

$$1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \leq 1 + \frac{1}{m}$$

skąd:

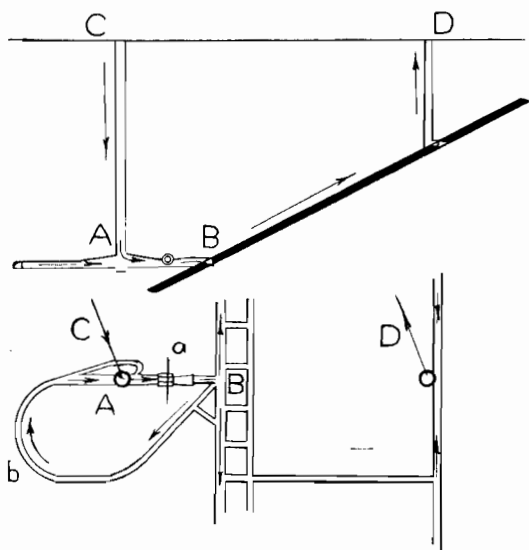
$$\begin{array}{ll} & b \geq m^2 c \\ \text{jeżeli } m = 1: & b \geq c \\ \text{jeżeli } m = 2: & b \geq 4c \end{array} \quad (81)$$

Zachowanie tego warunku może stać się przeszkodą dla wprowadzenia nowego sposobu albo też ograniczyć możliwie maximum ogólnej ilości powietrza w danej kopalni, czasami w bardzo znacznym stopniu.

Ponieważ c oznacza opór całej kopalni, przeto może przyjmować dość znaczne wielkości. W kopalniach szerokich $c < 36$; w średnich $c = 36 - 144$; w wąskich $c > 144$. Ponieważ b w przeciwieństwie do wielce rozgałęzionej sieci c stanowi zwykle poje-

dyńczą arterję, przeto przy wskazanych wielkościach c musi posiadać dosyć znaczną długość. Im dłuższa jest bocznica b , tem więcej istnieje pewności zachowania warunku (81), a co za tem idzie osiągnięcia dopuszczalnych szybkości w chodniku przewozowym do szybu przy zabezpieczeniu maximum ogólnej ilości powietrza.

Zachowanie warunku $b \geq m^2 c$ następuje jednak pewne trudności. Jeżeli pokład jest połączony z szybem krótką przecznicą, wówczas dla stworzenia znacznego oporu b wypadnie przebić okrężną przecznicę fajkową (rys. 142), w krótkiej zaś przecznicy



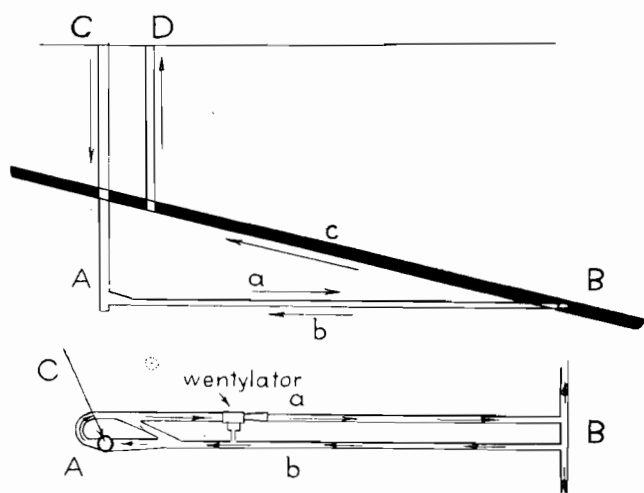
Rys. 142.

długą przecznicą, wówczas dla stworzenia znacznego oporu b nie może być zbyt krótką również i bocznica a , gdyż innym sposobem, jak tylko przebicciem dość długiej przecznicy równoległej (rys. 143), nie potrafimy otrzymać znacznego oporu b . Przebijanie tych przecznic podnosi koszt instalacji zarówno na rys. 142, jak i na rys. 143. Jednakże pierwszy przypadek może być uważany za

pomyślniejszy, gdyż niedługa przecznica a , nie wpływając na wielkość stosunku $\sqrt{\frac{c}{b}}$, pomniejsza opór właściwy $M_2 = aX^2 + bY^2$.

W wielu wypadkach nie uda się zachować warunku $c \geq m^2 c$; wówczas dopiero po wyrysowaniu krzywych charakterystycznych będziemy mogli osądzić, drogą jakich zmian w ustosunkowaniu oporów (t. j. jaką regulacją bezpośrednią) będziemy w stanie zabezpieczyć możliwie maksymalną ilość powietrza w kopalni bez przekraczania szybkości dopuszczalnych w pojedynczych bocznicach (zwłaszcza w b).

Zgóry jednakże należy przewidzieć, że bocznicą b powinna posiadać dość znaczny opór właściwy. Jeżeli na swej największej możliwej długości bocznicą b nie stwarza potrzebnego oporu, wówczas — celem doprowadzenia jej oporu do należytej wielkości — nie możemy jednakże uciekać się do tamy regulacyjnej, chodnik bowiem jako przewoźowy nie może być przez nią krępowany. Nie pozostaje zatem nic innego, jak stwarzać większy opór w niej przez odpowiednią obudowę, co łatwo uskutecznić, jeżeli przecznice przebijają się specjalnie dla zastosowania nowego sposobu przewietrzania. Będziemy unikali w niej gładkiej obudowy. Często, jeżeli okoliczności pozwolą, zostanie ona raczej bez obudowy lub w obudo-

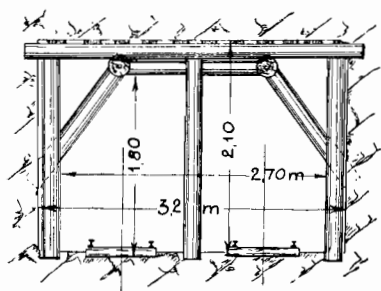


Rys. 143.

wie drzewnej, nawet specjalnie w tym celu wzniesionej, ze stemplami pośrodku oraz ukośnymi podporami (rys. 144) jedynie w celu stworzenia większego oporu. Jeżeli jednak słabe skały będą wymagały obudowy murowej, wówczas wypadnie przynajmniej unikać zbyt gładkiej obudowy betonowej, nadto strop zabezpieczyć systemem sklepień poprzecznych na belkach żelaznych, które mogą być oparte pośrodku na kanciastych słupach betonowych (rys. 145). Również i boczne ścianki mogą być zamurowane pionowymi sklepieniami, a w ten sposób współczynnik tarcia wyrobiska zostanie znacznie zwiększony.

Przeciwnie, opór bocznicą a w celu możliwego zmniejszenia oporu ogólnego raczej powinien być możliwie najmniejszy, tu

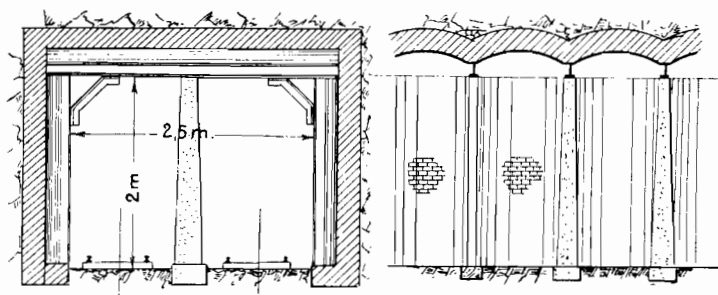
więc zastosujemy obudowę możliwie najgładszą, tem bardziej, że prędkość prądu w niej będzie anormalnie wielka, sięgająca 8—9 m, co jednak ze względu, że bocznicą tą jest wyłącznie wentylacyjna, nie stworzy żadnych nadzwyczajnych przeszkód, gdyż dostęp do



Rys. 144.

komory wentylatora może być zrobiony od strony wyrobiska *b* (rys. 146). W tej bocznicie zawsze będziemy mogli zbudować tamę regulacyjną, a z tego względu również należy dać jej jak najmniejszy opór przez betonową gładką obudowę i możliwie duży przekrój, aby w razie potrzeby mieć możliwość w szerokich granicach zmieniać jej opór zapomocą tamy regulacyjnej.

W ten sposób nowy system przewietrzania znajdzie naturalnie wygodniejsze zastosowanie tam, gdzie dla stworzenia bocznic *b* istnieje możliwość wyzyskania istniejącego długiego wyrobiska, w szczególności długiej przecznicy szybowej, a więc właśnie

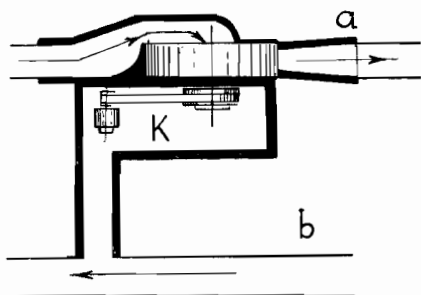


Rys. 145.

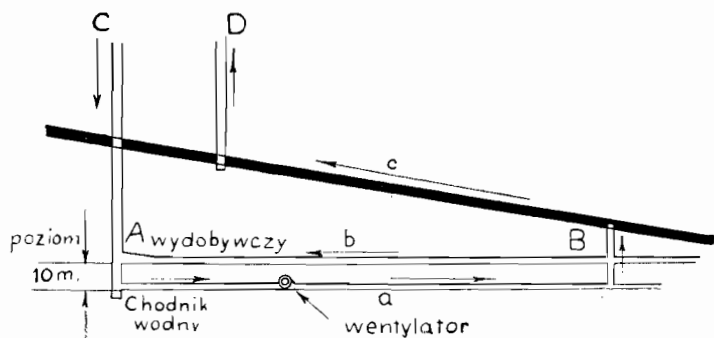
w tych warunkach, w których, jak widzieliśmy z ostatniego przykładu (§ 55 str. 154), stary sposób staje się niebezpiecznym i niewygodnym.

Na wielu kopalniach znajdziemy gotowe przecznice szybowe podwójne, zwłaszcza długie, które były prowadzone w ten sposób bądź w celu ułatwienia ich przebijania przez połączenie przecinakami, bądź w celu utworzenia specjalnego ścieku dla wody (na różnych poziomach); wówczas, o ile dla przewozu i ruchu ludzi

może być wyzyskana tylko jedna z nich, nie stanie na przeszkodzie dla umieszczenia w drugiej wentylatora. Na rys. 147 pokazane jest wyzyskanie przecznicy wodnej dla umieszczenia wentylatora; na rys. 148 — szczegóły komory wentylatora. Na wielu kopalniach dostęp do pokładu otwarty jest kilkoma przeczniami na różnych poziomach. Wówczas, jeżeli cała odstawa jest ześrodkowana na dolnym poziomie, przecznica wyżej leżącego poziomu może być użyta dla pomieszczenia wentylatora (rys. 149) przy połączeniu jej z dolną przecznicą w pobliżu pokładu szybkim ślepym (S) (ew. pochylnią kamienną) celem doprowadzenia całego powietrza na dolny poziom, wentylacyjnym zaś właściwym poziomem zostanie wyznaczona trzecia od dołu przecznica, z którą naturalnie, powinno być zachowane połączenie środkowego poziomu



Rys. 146.



Rys. 147.

w pokładzie przez filar oporowy. W ten sposób w miarę przechodzenia z poziomu na poziom szyb wentylacyjny będzie płytszy od wydobywczego o odległość dwóch poziomów, nie zaś jednego, jak to ma miejsce przy prawidłowej odbudowie w zwykłych warunkach.

We wszystkich wypadkach możliwego wyzyskania istniejących wyrobisk należy najprzód sprawdzić $b \geq m^2 c$, ażeby zgóry przewidzieć, czy cel zostanie osiągnięty łatwo, czy nie. Jeżeli wa-

runek $b \geq m^2 c$ jest zachowany, wówczas dla wyrysowania krzywych charakterystycznych, przyjmując stosunki Y i X nieco niższe od granicznych, np.:

$$Y = 0,95 \sqrt{\frac{c}{b}}$$

$$X = 1 + 0,95 \sqrt{\frac{c}{b}}$$

i określając:

$$n' = \frac{aX^2 + bY^2}{c - bY^2}$$

obliczamy znanym sposobem graficznym stosunki X i Y dla szeregu wartości w granicach $n = 0$ do $(n' + \text{pewna liczba})$ z tą pewnością, że w granicach $n < n'$ stosunek Y nie przekracza warunku (a). Podług określonych w ten sposób szeregów wartości X i Y sporządzamy zwykłym sposobem wykresy charakterystyczne, których ważne części leżeć będą oczywiście w obszarze na prawo od rzędnej

$n = \frac{a}{c}$ (rys. 150). Podług dowolnej wielkości h_2 przy danem h_1 określamy podziałkę na osi rzędnych q_2 . Wreszcie w tejsze podziałce wykreślamy krzywą A_1X . Wówczas krzywa A_1 jest krzywą ogólnej ilości powietrza; krzywa A_1X jest krzywą ilości powietrza, płynącego przez wentylator. Odcinki rzędnych pomiędzy krzywą A_1 i A_1X reprezentują ilości powietrza, powracającego z przecznicy przewozowej b . Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie dla obrania takiego h_2 , przy którym otrzymamy na robotach żądane q_{max} , przyczem odpowiedni odcinek q_b pokaże ilość powietrza powracającego w b i możemy przekonać się, czy q_b jest $<$ lub $>$ $q_{b\ max}$, oraz o ile. Przy zachowaniu warunku $b \geq m^2 c$, q_b będzie $<$ $q_{b\ max}$. Jeżeli zaś $b \leq m^2 c$, $q_b > q_{b\ max}$ i wówczas możliwa największa ilość powietrza zostaje ograniczona. Oczywiście, wybierając h'_2 tak, ażeby $q_{b'} = q_{b\ max} < q_b$, otrzymamy na robotach $q_1 < q_{max}$.

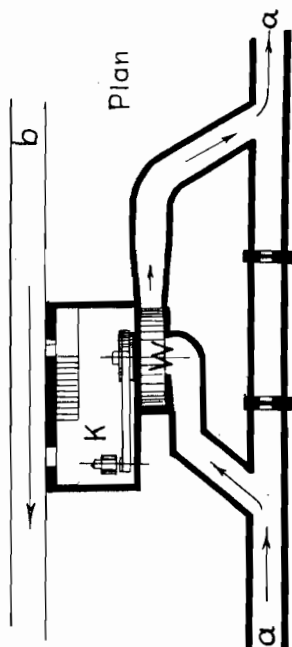
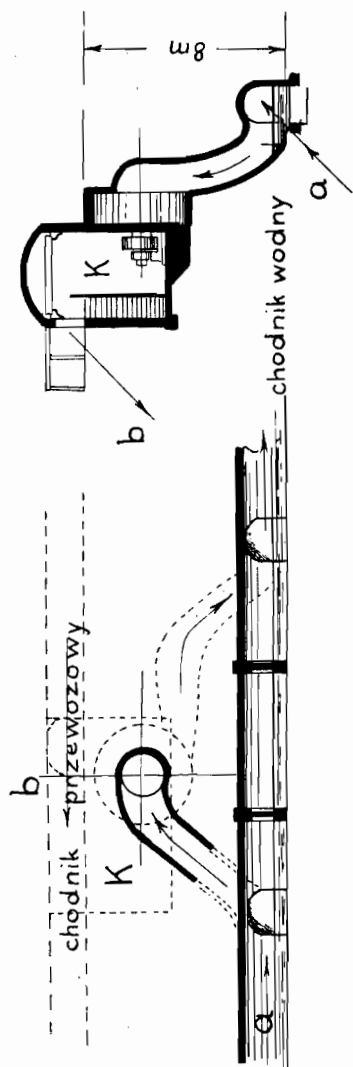
W celu zachowania $q_1 = q_{max}$ przy $q_b < q_{b\ max}$, należy drogą regulacji pośredniej na wykresie obniżyć krzywą A_1X (ew. X). To może być wykonane przez:

1) powiększenie a (rys. 129a i 103b), przyczem zmniejsza się A_1 i q ; restytucja osiąga się przez powiększenie n ;

2) powiększenie b (rys. 131a i 105), przyczem A_1 i q zwiększa się; restytucja osiąga się przez pomniejszenie n ; wreszcie

3) przez pomniejszenie c (rys. 130b i 102b), przyczem A_1 i q zwiększa się; restytucja osiąga się przez pomniejszenie n .

Dwa ostatnie sposoby są najwygodniejsze, gdyż pociągają zmniejszenie depresji h_2 i pracy wentylatora, sposób zaś pierwszy jest najprostszy do przeprowadzenia zapomocą tamy regulacyjnej.

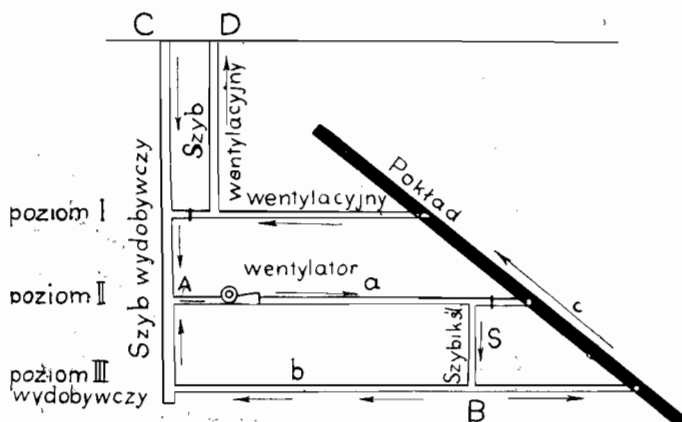


Rys. 148.

Ponieważ jednak przy warunku $q = \text{Const.}$ nie jesteśmy w stanie ułożyć takiego równania, któreby dało możliwość odrazu określić potrzebne wielkości a , b , c , przeto nie pozostaje innej drogi prócz kolejnych prób i wykresów.

§ 57. Przykład liczbowy.

1. W przykładzie 3, § 55 widzieliśmy, iż z przejściem na poziom głębszy przy $a = 60$, $b = 224$ i $c = 10$, nie wychodząc z granic bezpiecznych przy starym systemie instalacji wentylatora podziemnego, nie mogliśmy zabezpieczyć dla kopalni więcej powietrza, niż 16 m^3 , w ważnej zaś bocznicy a — tylko $12,5$. Z tego powodu przyszliśmy do wniosku, że roboty powinny być prowadzone dalej na upad, przyczem jednakże zgodnie z wynikami przykładu 2 w całej kopalni będzie nie więcej jak 28 m^3 , a w ważnej bocznicy — $24,5$. Ponieważ i ta ilość nie jest wystarczająca, gdyż założyliśmy, że



Rys. 149.

w ważnej bocznicy powinno być $32,5 \text{ m}^3$ (przykł. 1), przeto powstaje pytanie, czy nie można zastosować na nowym poziomie nowego systemu wentylacji, tem bardziej, jeżeli przypuścimy, że dalsze prowadzenie robót upadowych¹⁾ będzie niemożliwe wskutek wysokich kosztów utrzymania głównych wyrobisk w pokładzie. Znaczna długość przecznicy dolnego poziomu (800 m) wskazuje przytem zgóry na wygodne warunki dla nowego systemu (rys. 106).

W takim wypadku obydwie dawne bocznice a i b wejdą do elementu c nowego systemu. Jeżeli dawniejsze stosunki X i Y powinny być zachowane w sieci c nowego systemu, powinniśmy ustalić je przez dodatnią regulację bocznicy b dawnego systemu tak, żeby

¹⁾ Filary oporowe przy upadach mogą zostać zgniecione i ulec zapaleniu się.

Dodając opór obydwu szybów, przypuścmy $= 4$, otrzymamy opór elementów zewnętrznych nowego systemu

$$c = 40.$$

Opór przecznicy dolnego poziomu 800 m dł. przy wymiarach poprzecznych 3×2 wynosi:

- a) w obudowie betonowej przy $\alpha = 0,0002$; $\frac{L \cdot P}{S^3} \cdot 1000 \cdot \alpha = 7,5$
 b) » murowanej » $\alpha = 0,0004$; » $= 15,0$
 c) bez obudowy » $\alpha = 0,0008$; » $= 30,0$
 d) w obudowie drzewnej » $\alpha = 0,0018$; » $= 67,0$

Spostrzegamy z tych liczb, że w przypadkach a), b) i c), o ile w ważnej dawnej bocznicy $q = 32,5$ odpowiada maximum szybkości dopuszczalnej w chodnikach przewozowych, w przecznicy dolnego poziomu, która będzie odpowiadała elementowi b nowego systemu, szybkość prądu powracającego bezwzględnie przekroczy graniczną. Z tego możemy zrobić wniosek, że 1) bocznica b (nowa) jest za krótka i dlatego powinna ona zostawać w obudowie drzewnej, że 2) dla utworzenia bocznicy a nowego systemu dla umieszczenia wentylatora możemy przebić drugą równoległą przecznice na całej długości istniejącej.

Jeżeli więc przyjmiemy $b = 67$, wówczas z warunku (81)

$$b \geq m^2 b$$

$$m \leq \sqrt{\frac{b}{c}} = \sqrt{\frac{67}{40}} = \sim 1,3$$

oraz

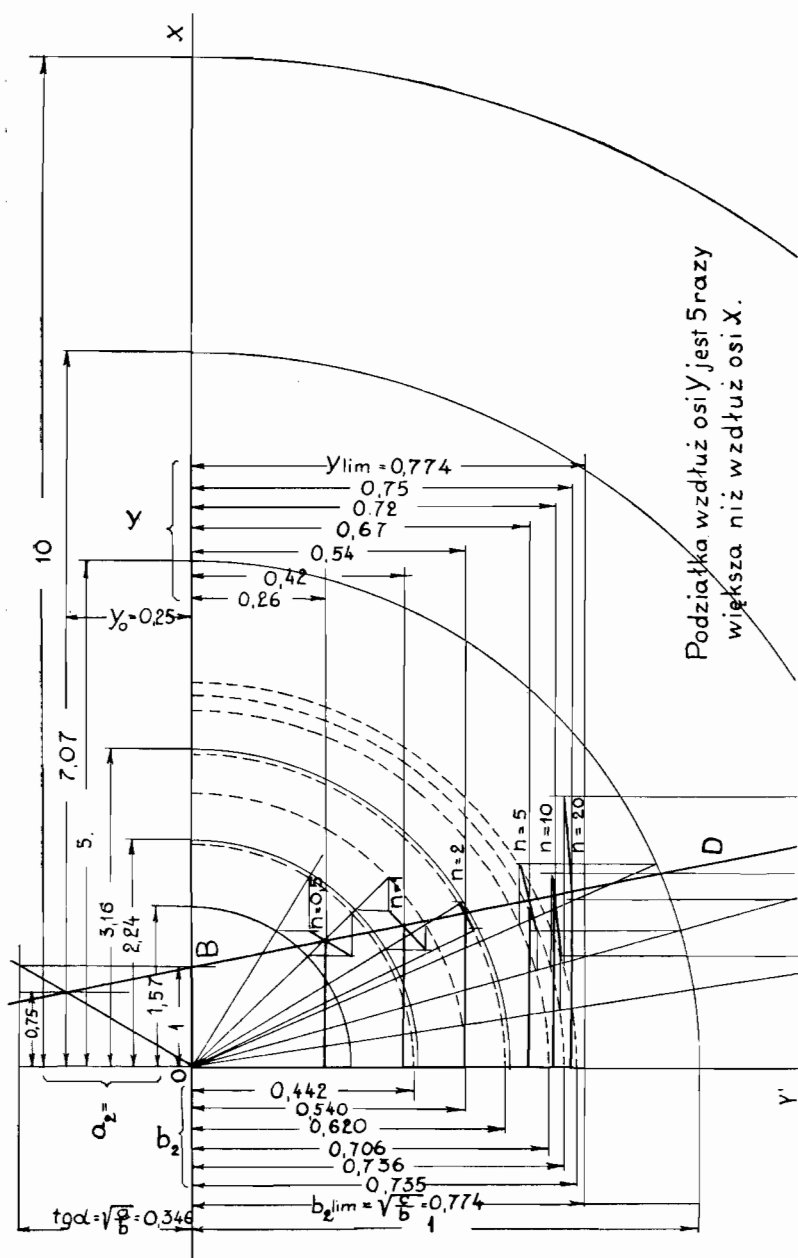
$$Y \geq \frac{1}{m} = \frac{1}{1,3} = 0,77$$

stąd, jeżeli

$$q_b = (3 \times 2) \cdot 4 = 24$$

$$q \leq \frac{q_b}{Y} = \frac{24}{0,77} = 31.$$

Ponieważ jednak ilość ta rozdzieli się na dawne bocznicę a i b w stosunku $0,78 : 0,22$, przeto w ważnej bocznicy otrzymamy niewielej od $31 \cdot 0,78 = 24 \text{ m}^3$, czyli bocznica nowa b dzięki zbyt małemu swemu oporowi ogranicza ilość ogólną powietrza w kopalni i nie daje osiągnąć potrzebnej ilości 32,5 w ważnej bocznicy. Niemniej w stosunku do wyniku otrzymanego w przykładzie 3 § 55 osią-



Podziałka wzdłuż osi Y jest 5 razy większa niż wzdłuż osi X.

Rys. 151.

gamy 2 razy więcej powietrza i dlatego w każdym razie nowy system jest wygodniejszy.

Bocznice nową a wybetonujemy na całej długości i opór jej przyjmujemy wobec tego równym 8.

Ułożmy więc wykresy charakterystyczne dla danych:

$$a = 8; b = 67; c = 40.$$

Za q należy przyjąć całą ilość powietrza, płynącego przez obydwie dawne bocznice a i b ; więc $q = \frac{32,5}{0,78} = \sim 41,5$

$$\begin{aligned} \text{Przyjmujemy} \quad Y &= 0,95 \sqrt{\frac{c}{b}} = \sim 0,74 \\ X &= 1 + Y = 1,74 \end{aligned}$$

Stąd:

$$n' = \frac{aX^2 + bY^2}{c - bY^2} = \frac{8 \cdot 1,74^2 + 67 \cdot 0,74^2}{40 - 67 \cdot 0,74^2} = 18,5$$

Z drugiej strony

$$n_k = \frac{a}{c} = \frac{8}{40} = 0,2$$

Określamy więc X i Y dla szeregu danych w granicach 0,5 — 20.¹⁾

$n =$	0	0,5	1	2	5	10	20	∞
$z(21) a_2 = \sqrt{\frac{nc}{a}} =$	0	1,57	2,24	3,16	5	7,07	10	
$z(22) b_2 = \sqrt{\left(\frac{n}{n+1}\right) \frac{c}{b}} =$		0,442	0,54	0,62	0,706	0,736	0,755	0,774
$z \text{ rys. 151 } X =$	0,75	1,26	1,42	1,54	1,67	1,72	1,75	1,774
$Y =$	0,25	0,26	0,42	0,54	0,67	0,72	0,75	0,774
$M_1 = c + bY^2 =$	44,2							
$M_1 = c - bY^2 =$		35,5	28,2	20,5	10	5,3	2,35	0
$M_2 = aX^2 + bY^2 =$	0	17,2	28	38,5	52,3	58,4	62,15	65,3
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	1,81	2,02	2,27	2,65	3,79	5,22	7,83	∞
$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	∞	2,90	2,27	1,93	1,66	1,57	1,52	1,485
$A_1 \cdot X =$	1,35	2,55	3,23	4,08	6,33	9	13,7	

¹⁾ Krzywe zasadnicze są elipsami i rysunek obliczeniowy odpowiada obszarowi elips w IV-tej ćwierci rys. 101.

Podług tych danych układamy wykres, jak na rys. 152.

Dla określenia podziałki q_2 przyjmujemy dla $n = 5$
 $A_2 = 1,66$; oraz przy $h_1 = 5$; $h_2 = 5 \cdot 5 = 25$

$$q_2 = \frac{1,66\sqrt{25}}{0,38} = 21,8$$

Więc rzędna $A_1 = 3,79$ odpowiada $q = 21,8$.

Z wykresu podług krzywej A_1 znajdujemy dla $q = 41,5$

$$n = 17,1; \text{ więc } h_2 = 5 \cdot 17,1 = 85,5$$

oraz $q_b = 30$

co jest o 25% więcej, niż dopuszczalne — 24.

Jeżeli przyjmiemy $q_b = 24$, wówczas z wykresu znajdziemy:

$$q = 33,5$$

przy $n = 11,8$; $h_2 = 11,8 \cdot 5 = 59$

co stanowi $\frac{33,5}{41,5} = 0,80$ — 80% projektowanej ilości, ale znacznie przekracza maximum przy starym systemie.

Zwróćmy uwagę, że $q = 41,5$ możliwe jest jedynie dlatego, że obydwie przecznice a i b dochodzą do pokładu i powietrze może od razu dzielić się na 2 skrzydła: fikcyjne S_c jest $= \frac{41}{4} = \sim 10 \text{ m}^2$, co odpowiada dwóm chodnikom głównym po rozciągłości o przekroju $5 \text{ m}^2 = 2,25 \cdot 2,25$; w przeciwnym razie nie moglibyśmy przyjąć q więcej niż 24.

2. Przypuśćmy jednak, że konieczne jest doprowadzenie ogólnej ilości do $q = 41,5$. Chodzi więc o to, by zmniejszyć ilość powietrza powracającą w przecznicy b . Istnieją, jak wiemy, 3 sposoby: przez powiększenie a , powiększenie b i pomniejszenie c . Zobaczymy, który z tych trzech jest w danym wypadku najwygodniejszy.

Pierwszy sposób. Powiększenie a .

$$\text{Stosunek } Y = \frac{q_b}{q} = \frac{24}{41,5} = \sim 0,6.$$

Przy danem n (z wykresu) $= 17,1$

Z równania:

$$n = \frac{aX^2 + bY^2}{c - bY^2}$$

określamy:

$$a = \frac{nc - (n+1)bY^2}{X^2} = \frac{17,1 \cdot 40 - 18,1 \cdot 67 \cdot 0,6^2}{1,6^2} = 98$$

Zatem opór właściwy tamy regulacyjnej w a powinien wynosić $98 - 8 = 90$.

Jednakże:

$$M_2 = aX^2 + bY^2 = 98 \cdot 1,6^2 + 67 \cdot 0,6^2 = 274$$

$$A_2 = \frac{12}{\sqrt{274}} = \sim 0,725$$

oraz przy $h_2 = 85,5$

$$q = \frac{0,725 \sqrt{85,5}}{0,38} = 17,6$$

Ażeby znaleźć, przy jakiej depresji pierwotna ilość powietrza 41,5 zostanie restytuowana, należy zrobić wykres krzywej A_1 przy nowych danych. Zgóry jednak możemy być przeświadczeni, że potrzebna do tego depresja będzie o wiele więcej niż 4-krotna, a zatem sposób powiększenia a nie jest wygodny, gdyż olbrzymio powiększa pracę wentylatora.

Drugi sposób. Powiększenie b .

Wobec tego, że przecznice b zostawiliśmy w obudowie drzewnej, więc powiększenie oporu b , unikając w niej tamy regulacyjnej, jest możliwe jedynie przez przebicie okrężnej przecznicy i wydłużenie drogi przewozowej do szybu, co jednak pociągnie powiększenie kosztów odstawy. Zobaczmy jednak, o ile należałoby przedłużyć przecznice.

Z równania

$$n = \frac{aX^2 + bY^2}{c - bY^2}$$

określamy:

$$b = \frac{nc - aX^2}{(1+n)Y^2} = \frac{17,1 \cdot 40 - 8 \cdot 0,6^2}{18,1 \cdot 0,6^2} = 102.$$

Zatem, ponieważ opory są proporcjonalne do długości, należałoby przebieć co najmniej $\left(\frac{102-67}{67}\right) \cdot 800 = 420$ m drogi okrężnej, co praktycznie wyklucza zastosowanie sposobu.

Trzeci sposób. Zmniejszenie c .

Z równania

$$n = \frac{aX^2 + bY^2}{c - bY^2}$$

określamy

$$c = \left[aX^2 + (1+n)bY^2 \right] \frac{1}{n} = \left[8 \cdot 1,6^2 + 18,1 \cdot 67 \cdot 0,6^2 \right] \frac{1}{17,1} = 26,7$$

Podobne zmniejszenie oporu sieci c z 40 do 26,7 drogą bezpośredniej regulacji odjemnej nie jest niemożliwe, o ile wprowadzony zostanie system chodników podwójnych. W danym konkretnym wypadku właśnie większość chodników podstawowych warstwowych i pochyłń jest pędzona pojedynczo, i z tego względu system podwójnych chodników jest możliwy jako metoda regulacji odjemnej bezpośredniej. Zresztą przez odpowiednie rozgałęzienie całej sieci nie trudno osiągnąć stosunkowo nieznaczne obniżenie oporu właściwego. W każdym razie jest to jedynie możliwy sposób praktyczny. Przez zmniejszenie c otrzymamy:

$$M_2 = aX^2 + bY^2 = 8 \cdot 1,6^2 + 67 \cdot 0,6^2 = 44$$

$$A_2 = \frac{12}{\sqrt{44}} = 1,84$$

i przy tej samej depresji $h_2 = 85$

$$q = \frac{1,84\sqrt{85}}{0,38} = 44,6$$

co jest nieznacznie większe od ilości pożądanej, a zatem przez nieznaczne obniżenie depresji łatwo się osiągnie ilość pożądaną. Celem dokładnego określenia tej depresji należy wykreślić krzywą A_1 przy nowych danych. Odnośne obliczenia objęte są następującą tabelką:

Dane: $a = 8$; $b = 67$; $c = 26$.					
$n =$	2	5	8	12	20
$a_1 = \sqrt{\frac{nc}{a}} =$	2,55	4,04	5,1	6,25	8,05
$b_1 = \sqrt{\left(\frac{n}{n+1}\right) \cdot \frac{c}{b}} =$	0,51	0,57	0,586	0,599	0,607
Z rys. 153 ¹⁾ $X =$	1,43	1,52	1,55	1,58	1,598
$Y =$	0,43	0,52	0,55	0,58	0,598
$M_1 = c - bY^2 =$	14	8	7,5	3,5	2
$(M_2 = aX^2 + bY^2 =$	28	36,5	40	42,5	44,05)
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	3,21	4,45	5,37	6,4	8,5
$(A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	2,27	1,99	1,9	1,84	1,81)
$A_1 \cdot X =$	4,60	6,8	8,3	10,1	13,6

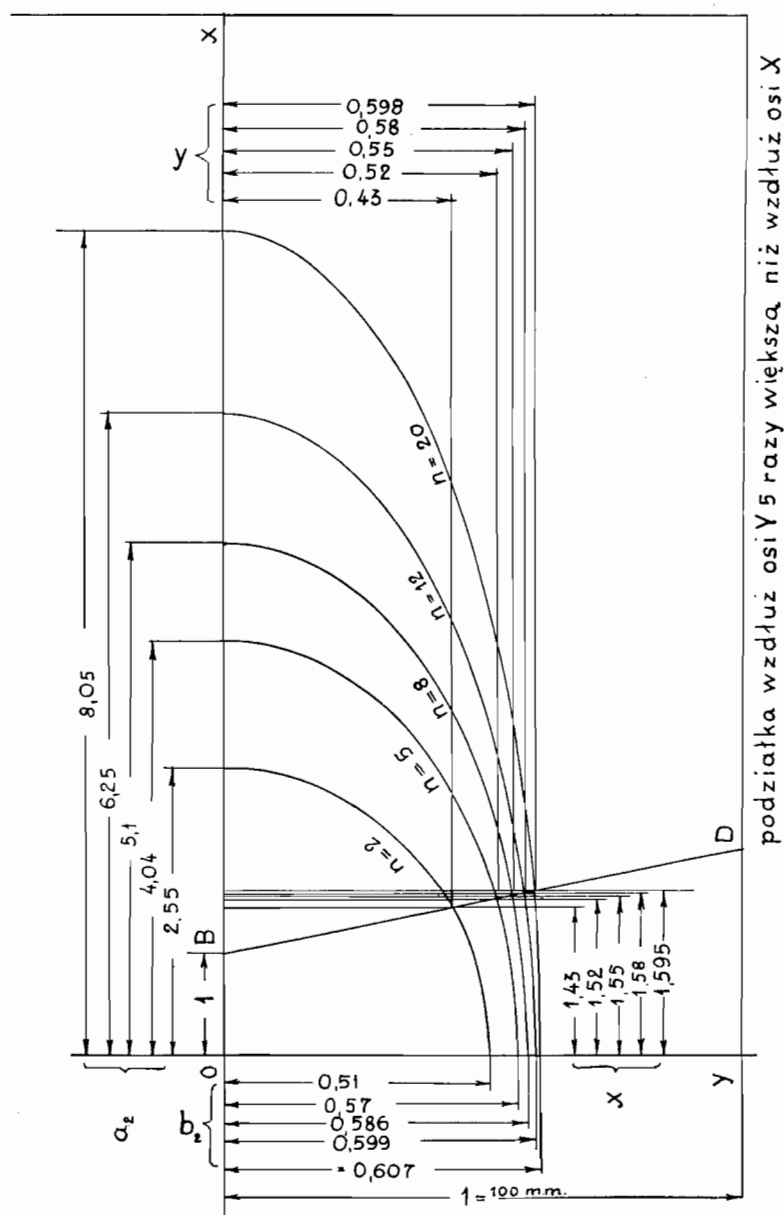
Podług tych danych wykreślamy na tym samym rys. 152 kreskowanymi liniami nowe krzywe A'_1 , A'_2 i A'_1X . Podziałka na osi Y zostaje ta sama (jeżeli $h_1 = \text{Const.}$). Z wykresu znajdujemy, że przy $q = 41,5$, $n = 14,7$, $h_2 = 14,7 \cdot 5 = 73,5$ m/m, przytem q_b niemal równe jest **24**. W ten sposób szybkości maximum prądu w sieci c oraz chodniku przewozowym b zostały uzgodnione.

Krzywa A_2 służy dla określenia faktycznego otworu równoznacznego kopalni, który wynosi 1,83 (kopalnia jest zatem średnia), oprócz tego służy ona dla oszacowania wpływu depresji naturalnej. Jak widzimy na wykresie wpływ ten jest praktycznie żaden, gdyż A_2 jest bardzo zbliżona do swej asymptoty.

Zwróćmy uwagę, że podczas gdy w starej metodzie wszelkie powiększanie otworu równoznacznego sieci roboczej stwarzało stan niebezpieczny, w nowym systemie powoduje uzgodnienie wszystkich elementów przewietrzania i zwiększenie ogólnej ilości powietrza do granic maksymalnie możliwych.

Gdybyśmy chcieli porównać ten wynik z pracą wentylatora na powierzchni, musielibyśmy przypuścić, że celem doprowadzenia

¹⁾ Przy małych wielkościach b_1 w stosunku do a_1 wygodniej jest większą podziałkę używać wzdłuż osi Y , aniżeli wzdłuż X ; na rysunku podziałka Y jest 5 razy większa od podziałki X .



podziałka wzdłuż osi Y 5 razy większą niż wzdłuż osi X

Rys. 153.

do pokładu $41,5 \text{ m}^3$ powietrza przeczną główną powinna byłaby ona również być przebita jako podwójna. Nic nie stałoby wówczas na przeszkodzie wybetonowania obydwu równoległych przecznic, których wspólny opór mógłby być w ten sposób obniżony do 2 miur-gów. Do tego należy dołączyć opór obydwu szybów — 4, więcej opór sieci wewnętrznej 22. Mielibyśmy zatem opór całkowity — 28, ew. otwór równoznaczny — 2,27, zamiast 1,83, odpowiednio de-presja ogólna wynosiłaby:

$$h = \left(\frac{q \cdot 0,38}{A} \right)^2 = \left(\frac{41,5 \cdot 0,38}{2,27} \right)^2 = 48$$

i za potrąceniem depresji naturalnej $h_1 = 5 \text{ m/m}$

$$h_2 = 48 - 5 = 43,$$

co w stosunku do obliczonej depresji 73 stanowi 0,59, t. j. o 41% mniej.

W ten sposób wygody, osiągnięte przez podziemne umieszcze-nie wentylatora tłoczącego, pociągają za sobą w danym przykła-dzie podniesienie kosztów przewietrzania o $\frac{73 - 43}{43} \cdot 100 = 70\%$.

§ 58. Przypadek niezgodnych depresyj w nowym sposobie instalacji podziemnego wentylatora. Przy nie-zgodnych depresjach wentylator podziemny powinien obrócić kie-runek całego prądu c . Obowiązkowe jest zatem zachowanie wa-runku (57):

$$n' > \frac{a + b}{b} > 1.$$

Dla określenia oporu właściwego w tych warunkach służą wzory (43):

$$M_1 = -c + bY^2$$

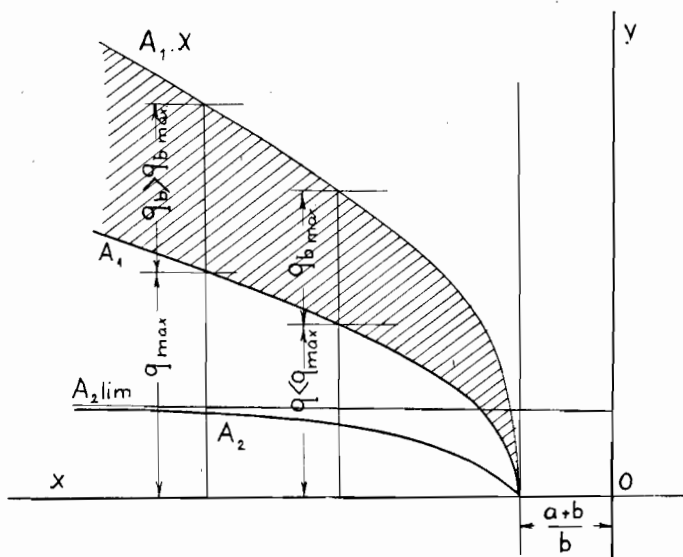
$$M_2 = aX^2 + bY^2$$

Krzywe charakterystyczne obejmują lewą stronę wykresu 126 o rzędnej $n = -\frac{a + b}{b}$ (rys. 154).

Wybór stosunków X i Y , pomiędzy którymi zachodzi współ-zależność (45)

$$X - Y = 1$$

wychodzi z tych samych podstaw, t. j. dopuszczalnych największych szybkości. Różnica polega jednak na tem, że o ile przy zgodnych



Rys. 154.

depresjach w celu osiągnięcia q_{max} dążyliśmy do możliwego maksimum Y , o tyle w danym przypadku należy dążyć do Y minimum, z wykresu bowiem (rys. 126), jak też wyrazu otworu równoznacznego A_1 :

$$A_1 = \frac{12}{\sqrt{bY^2 - c}}$$

widzimy, że ogólna ilość powietrza, która jest proporcjonalna do A_1 jest tem większa, im mniejszy jest stosunek Y .
Stąd:

$$Y_{min} \geq \frac{q_{b \max}}{q_{max}}$$

albo:

$$Y_{min} \geq \frac{1}{m} \quad (b)$$

Z drugiej strony

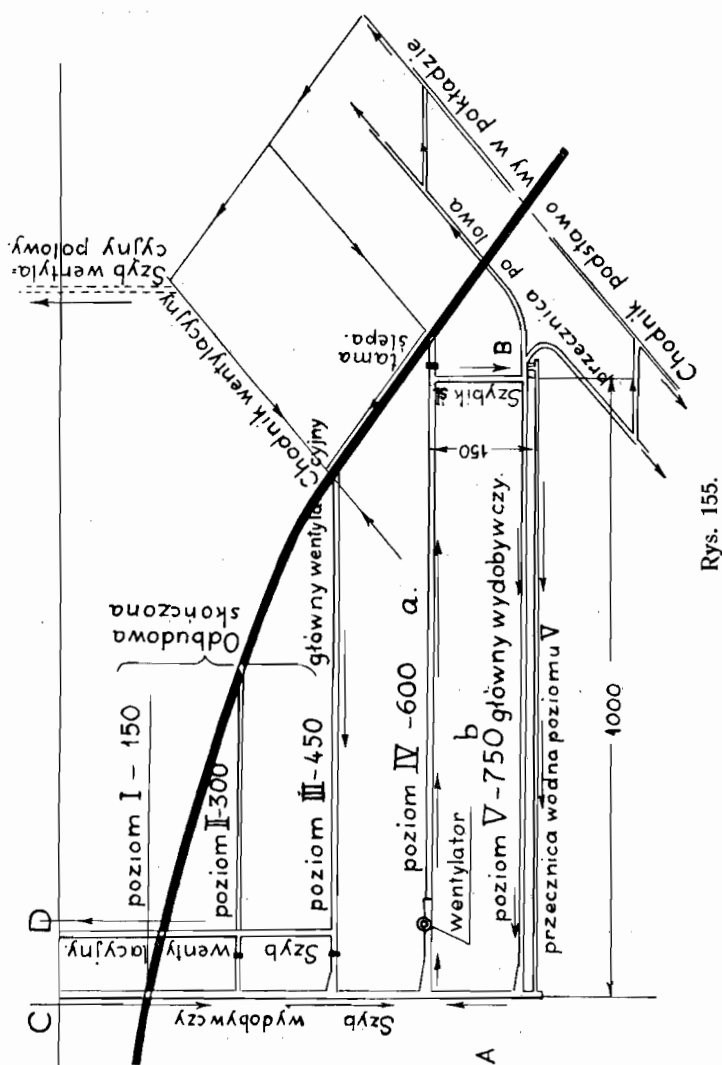
$$\lim Y_{min} = \sqrt{\frac{c}{b}}$$

Stąd warunek (b) będzie bezwzględnie zachowany, jeżeli

$$\sqrt{\frac{c}{b}} \geq \frac{1}{m}$$

albo

$$b \leq m^2 c$$



Niemniej ostatnią nierówność musimy pisać tak samo, jak w przypadku zgodnych depresyj, t. j. podług (81)

$$b \geq m^2 c$$

gdyż chodzi o to, by nie tylko A_1 miało maximum, ale również by Y nie przekroczyło pewnej największej granicy, uwarunkowanej maksymalną szybkością prądu w b . W ten sposób co do wielkości

i charakteru bocznicy b obowiązują te same rozważania, któreśmy zrobili w § 56.

Jeżeli w przypadku niezachowania warunku $b \leq m^2 c$ po wyrysowaniu krzywych charakterystycznych znajdziemy, iż przy q_{max} powracająca ilość powietrza q_b znacznie przekracza q_{bmax} , wówczas w celu obniżenia krzywej $A_1 X$ należy zmniejszyć stosunek X przez

1) zmniejszenie a (rys. 118b), przyczem A_1 i q powiększają się, restytucja zaś osiąga się przez pomniejszenie n' ;

2) powiększenie b (rys. 115b), przyczem A_1 i q powiększają się, restytucja osiąga się przez pomniejszenie n' ;

3) zmniejszenie c (rys. 113), przyczem A_1 i q — również powiększają się i restytucja osiąga się znowu przez pomniejszenie n' .

Jeżeli porównamy te sposoby ze sposobami stosowanymi w tym samym celu przy zgodnych depresjach, spostrzeżemy, że sposoby 2) i 3) są te same i wywołują taki sam skutek, natomiast sposób 1) jest przeciwny i wywołuje skutek przeciwny; stąd we wszystkich wypadkach osiągniemy zwiększenie A_1 i zmniejszenie depresji.

Przykład liczbowy.

Przypuśćmy, że mamy kopalnię, w której pokład węgla jest otwarty na kilku poziomach zapomocą przecznic od strony spągu, jak na rys. 155, przyczem w odbudowie znajduje się dolny poziom (V od góry). Odległość poziomów i długości przecznic są wskazane na rysunku. Na V-tym poziomie posiadamy 2 przecznice równoległe: przewozową o przekroju 6 m^2 i wodną o przekroju 4 m^2 .

W odległości 1000 m od szybu (200 m od pokładu), od przecznicy głównej rozchodzą się w kierunkach przeciwnych dwie przecznice połowe po 6 m^2 w przekroju i pokład jest udostępniony z przecznic połowych kilkoma krótkimi przecznicami poprzecznymi. Dla przewietrzania służy szyb wentylacyjny I, bliźniaczy do wydobywczego, oraz szyb połowy II na jednym ze skrzydeł pokładu. Głębszy szyb — wydobywczy wskutek zachowania parowych maszyn odwadniających na poziomie III jest ogrzany i stwarza naturalną depresję 5 m/m, powodując krążenie powietrza w pokładzie z góry na dół. Celem nadania normalnego kierunku przewietrzania przy przejściu na wentylację mechaniczną, wskutek niemożności zamknięcia żadnego z szybów istniejących, oraz w celu uniknięcia ustawienia wentylatorów na szybach wentylacyjnych

zdecydowano zastosować wentylator tłoczący podziemny podług nowego systemu. W tym celu wyzyskamy dla umieszczenia wentylatora przecznice IV poziomu w charakterze bocznic *a* i przebijemy ślepy szybik z poziomu IV do V w miejscu, w którym zaczynają się przecznice połowe, t. j. w odległości 1000 m od szybu, celem stworzenia możliwie długiej bocznic *b*, oraz celem doprowadzenia możliwie największej ilości powietrza.

Opory poszczególnych elementów mogą być oszacowane następująco:

1) b o c z n i c a *a*:

opór 1000 m przecznicy murowanej o przekroju 6 m^2 — 17 miurgów
 » 150 m ślepego szybika — 3
 razem $a = 20$.

2) b o c z n i c a *b*:

opór 1000 m przecznicy murowanej przewozowej 6 m^2 — 17 → 2,9
 » 1000 m » » wodnej 4 m^2 — 50 → 1,7
 Razem przecznica podwójna 7 ← 4,6
 » 150 m szybu między poziomami IV i V 1
 razem $b = 8$

3) b o c z n i c a *c*:

opór sieci wyrobisk w pokładzie przy dwóch szybach wentylacyjnych i wielce rozgałęzionym systemie szacujemy — 7
 opór szybu wydobywczego — 600 m głębokości 3
 Razem $c = 10$

W ten sposób dla projektowania nowego systemu mamy dane $a = 20$; $b = 8$; $c = 10$.

Przy wentylacji naturalnej powietrze schodziło dwoma szybami i skupiało się po obejściu robót na dolnym poziomie, skąd przez przecznice 1000 m i szyb wydobywczy wychodziło na powierzchnię. Opór właściwy kopalni przytem wynosił:

1) Sieć robót górniczych w pokładzie z dwoma szybami wentylacyjnymi 7
 2) Przecznica podwójna dolnego poziomu 7
 3) Szyb wydobywczy — 750 m głębokości 4

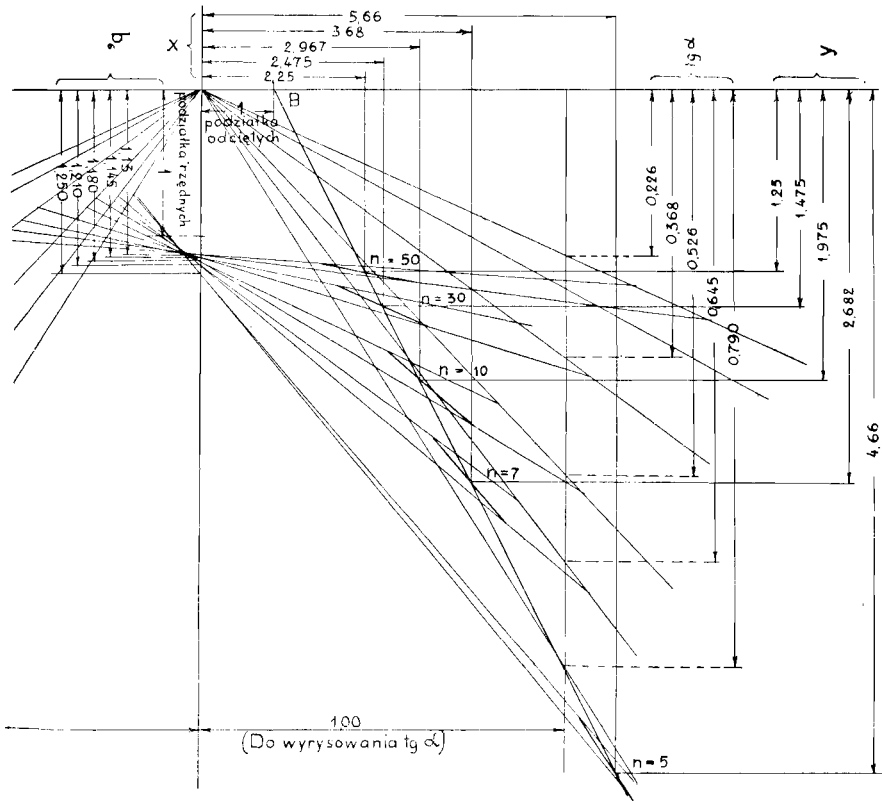
Razem $M = 18 \rightarrow 2,83 = A$

Ogólna ilość powietrza przy depresji naturalnej 5 m/m wynosi:

$$q = \frac{2,83 \sqrt{5}}{0,38} = 16,7 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Maksymalna ilość powietrza, jaka może płynąć w kopalni przez podwójną przecznice dolnego poziomu przy umieszczeniu wentylatora na powierzchni wynosi $(4 + 6) \cdot 4 = 40 \text{ m}^3$. Potrzebna do tego depresja wentylatora tłoczącego

$$h_2 + h_1 = \left(\frac{40 \cdot 0,38}{2,83} \right)^2 + 5 = 27,5 + 5 \text{ m/m} = 32,5 \text{ m/m}$$



Rys. 156.

Przy wyzyskaniu przecznicy IV-go poziomu i przebicciu ślepego szybika maksymalna ilość powietrza, jaka może przejść na roboty przez przecznice połowe, wynosi

$$2 \cdot 6 \cdot 4 = 48 \text{ m}^3$$

Atoli powracająca ilość powietrza podwójną boczną b nie może przekroczyć ilości poprzedniej

$$q_{b \max} = 40.$$

Stąd:

$$m = \frac{48}{40} = 1,2$$

warunek zatem (81):

$$b \geq m^2 c \text{ — nie jest zachowany,}$$

jest bowiem:

$$8 < 1,2^2 \cdot 10.$$

Stąd wynika, że opór bocznic b ogranicza maksymalną ilość powietrza w kopalni i bez regulacji pośredniej zabezpieczyć $q_{\max} = 48$ nie będzie możliwe.

Obliczenia są objęte w poniższej tabelce.

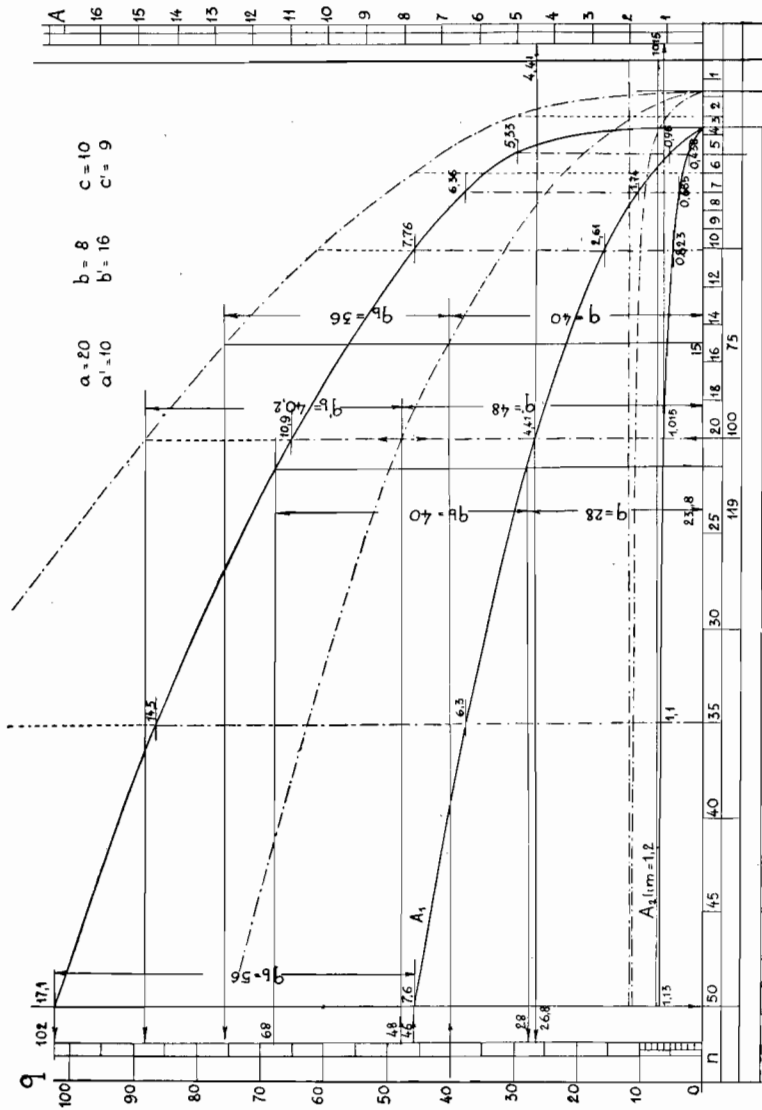
Dane: $a = 20$; $b = 8$; $c = 10$								
$n =$	$\frac{a+b}{b} =$ $= 3,5$	5	7	10	20	35	50	∞
$z(59): b_0 = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot \frac{c}{b}} =$		1,25	1,21	1,18	1,145	1,135	1,13	
$z(60): tg \alpha_0 = \sqrt{\frac{a}{(n-1)b}} =$		0,79	0,645	0,526	0,368	0,271	0,226	
z rys. 156 (odpowiada 4-ej ćwierci rys. 101):								
$X =$	∞	5,66	3,68	2,975	2,475	2,3	2,25	2,12
$Y =$	∞	4,66	2,68	1,975	1,475	1,3	1,25	1,12
$z(43): M_1 = -c + bY^2 =$	∞	156	47,5	21,2	7,4	3,6	2,5	0
$M_2 = aX^2 + bY^2 =$	∞	786	324,5	208	140,4	119,6	113,5	100
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	0	0,96	1,74	2,61	4,41	6,3	7,6	∞
$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	0	0,438	0,665	0,823	1,015	1,1	1,13	1,2
$A_1 \cdot X =$	0	5,33	6,36	7,76	10,9	14,5	17,1	∞

Wykresy charakterystyczne podane są na rys. 157.

Dla określenia podziałki osi rzędnych określamy dla do-

wolnego $n = 20$, $q = \frac{1,015 \sqrt{100}}{0,38} = 26,6$. — Podziałka jest $\frac{4,41}{26,6}$.

Z rysunku widzimy, że już przy $q = 46$, w bocznic b powraca $q_b = 56$ — ilość niedopuszczalna. Jeżeli przyjmiemy $q_b = 40$,



Rys. 157.

wówczas, podług krzywej A_1 , $q=28$, przyczem $n=23,8$, $h_2=23,8 \cdot 5 = 119$ m/m; w przecznicy wentylacyjnej a szybkość $v = \frac{68}{6} = 11,3$ jest dopuszczalna.

W celu wyrównania q_b i q mogą być użyte trzy środki: zmniejszenie a , zwiększenie b i zmniejszenie c . Pierwszy sposób

wymaga bądź przebudowy przecznicy IV-go poziomu z zamianą muru na beton, bądź przebicia przecznicy równoległej. Drugi sposób wymaga zamiany muru na drzewo, co ze względu na ciśnienie i znaczną głębokość nie jest wskazane, albo też — zamknięcia przecznicy wodnej; przez to jednak zmniejszy się znacznie dopuszczalna ilość powietrza powracającego (do $q_{b\max} = 24$), co będzie wymagać wyrównania jeszcze większej różnicy. Wreszcie 3-ci sposób wymaga zmniejszenia oporu sieci zewnętrznej, co wobec niedużej jego wielkości zapewne będzie trudne do przeprowadzenia, o ile nie da się wykorzystać lub pogłębić 3-go szybu wentylacyjnego. Zapewne wypadnie zastosować w różnej mierze wszystkie 3 sposoby, a mianowicie: 1) w bocznicy a stary mur z cegły zamienić betonem. W ten sposób opór jej może być zmniejszony 2 razy, z 20-tu do 10-ciu; 2) bocznice b wykonać podług sposobu, wskazanego na rys. 145; w ten sposób można przypuszczać, że opór jej zostanie podniesiony 2 razy, z 8-miu do 16-tu; 3) wreszcie pewne zarządzenia w sieci wewnętrznej robót górniczych obniżą nieznacznie jej opór, np. z 10 do 9, i w ten sposób warunek (81) zostanie zachowany z pewną rezerwą:

$$b = 16 > m^2 \cdot c = 1,2^2 \cdot 9 = 13.$$

Wówczas możemy być pewni, że $q_{\max} = 48$ będzie możliwe do osiągnięcia przy $q_b \leq q_{b\max} = 40$. Możemy przekonać się o tem przez wyrysowanie krzywych charakterystycznych.

Stosowne obliczenie podane są w załączonej tabelce (patrz str. 182).

Wykres krzywych charakterystycznych podany został na tym samym rys. 157 linjami kreskowanemi; przy tem samem $h_1 = 5$ zachowa on swoją podziałkę q_2 .

Znajdujemy podług A_1 dla $q = 48$, $q_b = 40,2$.

Stosunek $m = \frac{48}{40}$ wypadł dokładnie 1,2.

Przytem $n = 20$; $h_2 = 100$.

W porównaniu z depresją wentylatora na powierzchni 32,5 jest to trzykrotnie więcej. Jednakże z powodu poprzecznych wymiarów przecznicy b , przez którą powinien w tym wypadku płynąć cały prąd, nie moglibyśmy osiągnąć przy wentylatorze na powierzchni 48 m³, lecz tylko 40. — Ażeby w nowym systemie osiągnąć 40, należy podług wykresu mieć stosunek $n = 15$, oraz $h_2 = 75$, co jest prawie tylko dwa razy więcej.

Dane: $a = 10$, $b = 16$, $c = 9$.							
$n =$	$\frac{a+b}{b} =$ $= 1,63$	3	6	10	20	35	∞
$z(59) b_0 = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot \frac{c}{b}} =$		0,918	0,82	0,79	0,77	0,76	0,75
$z(60) \operatorname{tg} \alpha_0 = \sqrt{\frac{a}{(n-1)b}} =$		0,559	0,354	0,264	0,181	0,1355	0
z rys. 158:							
$X =$	∞	2,815	2,11	1,94	1,84	1,795	1,75
$Y =$	∞	1,815	1,11	0,94	0,84	0,795	0,75
$z(43) M_1 = -c + bY^2 =$	∞	45,0	10,4	5,10	2,28	1,1	0
$M_2 = aX^2 + bY^2 =$	∞	133,2	64,0	51,70	45,08	42,35	39,6
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	0	1,79	3,72	5,32	8,04	11,45	∞
$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	0	1,04	1,50	1,67	1,79	1,845	1,91
$A_1 \cdot X =$	0	5,04	7,85	10,30	14,79	20,55	∞

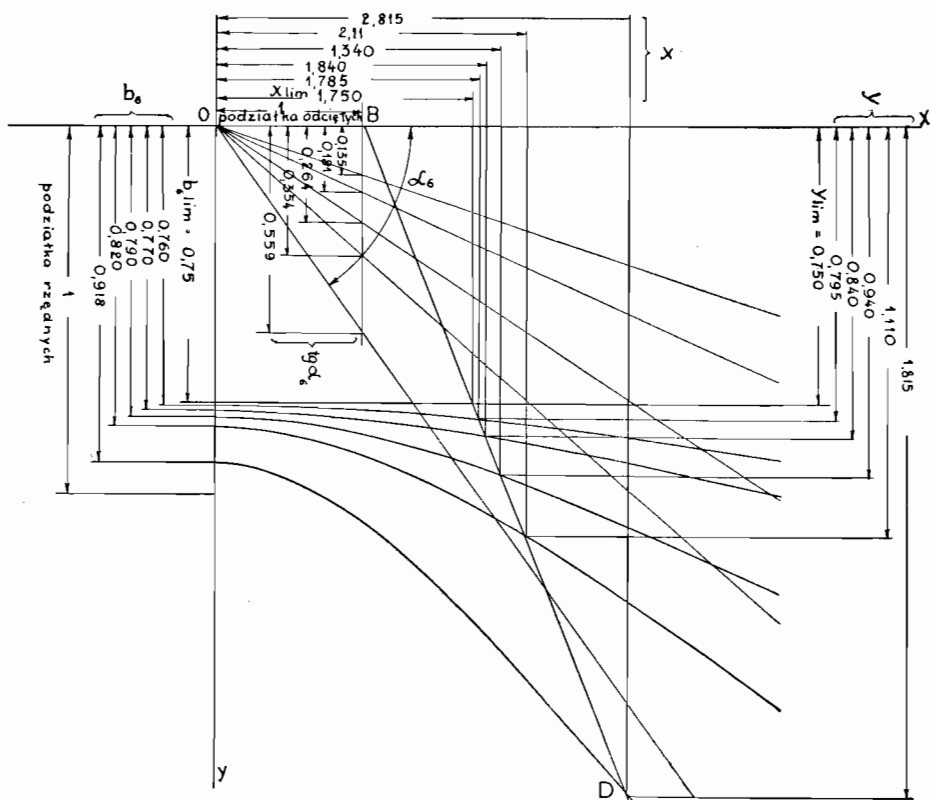
§ 59. Zalety i wady nowego systemu instalacji podziemnych wentylatorów. Z przykładów poprzednich §§, jak również z zasad ogólnych widzimy, że nowy system posiada następujące niewygody:

1) System w nowych kopalniach pociąga konieczność przebijania specjalnych dosyć długich wyrobisk w kamieniu. Przy małej odległości pokładu od szybu — należy przebijać długą przebitkę okrężną b , przy dużych zaś odległościach — równoległą przecznicę a , co pociąga koszt dodatkowy.

2) W starych kopalniach, gdzie można wyzyskać istniejące wyrobiska — podwójne przecznice lub przecznice na różnych poziomach, dosyć trudną może być sprawa przystosowania oporów bocznic a i b drogą odpowiedniej ich przebudowy.

3) W stosunku do wentylatorów nadziemnych odznacza się nowy system większym zużyciem energii mechanicznej, zwłaszcza w razie przeciwstawienia depresji sztucznej do naturalnej, a zatem eksploatacja jest kosztowniejsza.

Atoli w stosunku do podziemnych wentylatorów, działających podług starej metody, posiada bezwzględne zalety:



Rys. 158.

1) Gwarantuje bezpieczeństwo robót, zabezpieczając stabilizację prądów i wykluczając krążenie w sieci roboczej zużytego powietrza tak samo, jak każdy wentylator na powierzchni.

2) Daje możliwość dostarczenia wszelkiej ilości powietrza przy jedynym ograniczeniu ze strony maksymalnej szybkości w chodnikach głównych i przewozowej bocznicy b , co jest własnością również wentylatorów na powierzchni.

3) Jest możliwy do zastosowania przy przeciwnej depresji naturalnej.

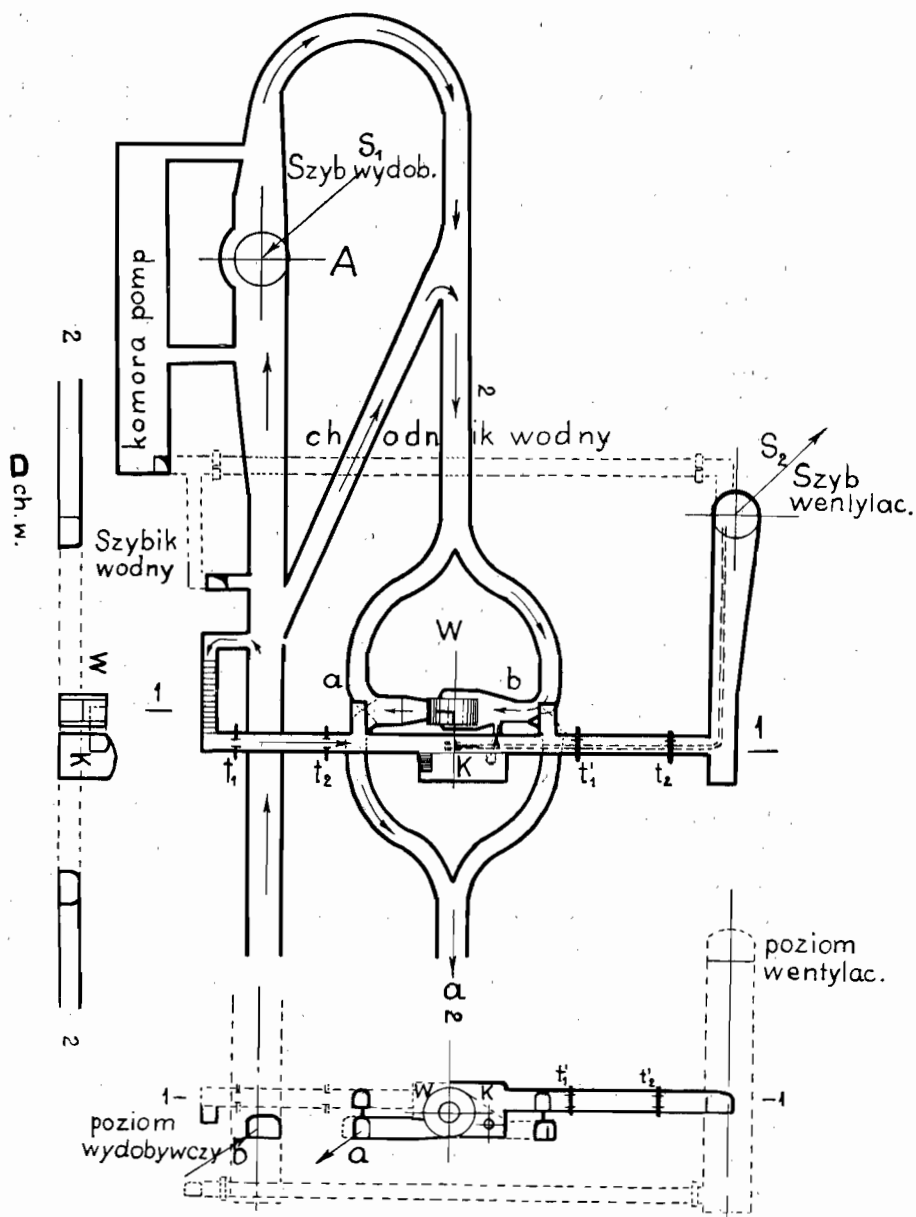
4) Jeżeli szyb wentylacyjny jest bliźniaczym z szybem wydobywczym, daje możliwość obrócić cały prąd, co w pewnych wypadkach akcji ratunkowej może być bardzo pożyteczne, podczas gdy w starej metodzie jest to właśnie w czasie wypadku bezwzględnie wykluczone. Istotnie, jeżeli podziemny wentylator w starym syste-

mie daje depresję zgodną z naturalną, wówczas przy obroceniu będzie przeciwdziałał jej, a w takim razie, jak wiemy, w bocznicy b prąd bezwzględnie zostaje obrócony w stosunku do kierunku prądu w bocznicy a , w kopalni więc powstaje kołowrotowe krążenie części powietrza, co wyklucza wszelką akcję ratunkową. Tymczasem przy nowym systemie w razie istnienia bliźniaczych szybów, z których jeden jest wciągający, a drugi wyciągający, nie trudno jest przez dyspozycję wskazaną na rys. 159 odwrócić prąd powietrza w całej kopalni bez wszelkich niebezpiecznych konsekwencji.¹⁾ Nietrudno zrozumieć, że przy znacznej odległości szybu wentylacyjnego od wydobywczego, w pobliżu którego znajduje się

¹⁾ Przecznica wentylatora podziemnego (rys. 159 — bocznica a) rozwidla się przy nim, tworząc zespół kanałów, które zapomocą klap k i l mogą być połączone z dowolną stroną wentylatora, jak to się czyni przy wentylatorach na powierzchni. Komora wentylatora K zapomocą przecznicy $t_1 t_2$ łączy się z jednej strony z przecznicą przewozową szybu wydobywczego S_1 (bocznica b), z drugiej strony z przecznicą szybu wentylacyjnego S_2 i zwykle jest z tej strony odgradzona dwiema hermetycznymi tamami $t'_1 - t'_2$. Przecznica ta przebita jest ponad kanałami wentylatora i bezpośrednio z nimi się nie łączy, lecz dwie ślepe wcinki m i n prowadzą nad skrzyżowania ssących i tłoczących kanałów, skąd mogą być otwierane, lub zamykane kłapy k i l , nie wchodząc do samych kanałów. Przewietrzanie komory K zachodzi przez otwór O , łączący ją z ssącą stroną wentylatora, przy tem oczywiście przez otwór przechodzi część obróconego prądu b . Otwór ten może być regulowany zasłoną w komorze K .

Szyb wentylacyjny zwykle bywa pogłębiony tylko do głównego poziomu wentylacyjnego, który normalnie jest wyżej sytuowany nad poziomem wydobywczym. W celu jednak możliwości skutecznego zmiany kierunku powietrza, szyb wentylacyjny musi być pogłębiony do poziomu wydobywczego, gdzie oczywiście musi być przedewszystkiem połączony na poziomie wodnym z systemem wodnych chodników szybu wydobywczego; oczywiście połączenia te muszą być szczelnie izolowane dla powietrza. Właściwe podszybie na szybie wentylacyjnym może być założone na poziomie przecznicy $t_1 - t_2$. Przewietrzanie ślepej części szybu wentylacyjnego poniżej głównego poziomu wentylacyjnego powinno być zrobione zapomocą lutni lub przepierzenia, nie zaś zapomocą połączenia w tamach t'_1 i t'_2 , gdyż wówczas powstanie tutaj prąd odwrócony.

Gdy chodzi o zmianę kierunku powietrza w całej kopalni, należy najprzód zamknąć tamy t_1 i t_2 od strony szybu wydobywczego. Następnie przestawić kłapy k i l , poczem, po pewnym czasie, otworzyć tamy t'_1 i t'_2 . Jeżeli w szybie wentylacyjnym znajdują się dymy pożarowe, czynność obrócenia powietrza należy wykonać w respiratorach, gdyż po otwarciu tam t'_1 i t'_2 powstałe w dolnej części szybu gazy skierują się do komory i przez otwór O do wentylatora.



Rys. 159.

w nowym systemie wentylator, w razie obrócenia prądu niema dostępu do komory wentylatora w prądzie świeżego powietrza i w tym względzie nowy system ustępuje wentylatorom na powierzchni.

W ten sposób widzimy, że tłoczące wentylatory podziemne w dyspozycji nowego systemu, przewyższając bezwzględnie ssące wentylatory podziemne w starym systemie, ustępują wentylatorom na powierzchni jedynie pod względem ekonomicznym. Wobec tego podziemne wentylatory w nowej dyspozycji znaleźć powinny w praktyce zastosowanie wówczas, gdy dla różnych względów wentylatory na powierzchni są niewygodne.

Niewygody wentylatorów na powierzchni występują w dwóch wypadkach:

1) Jeżeli niema szybu, który mógłby służyć jedynie jako wentylacyjny, wówczas albo urządza się na szybie wentylacyjnym samoczynne śluzy (klapy Briar'a), lub też całe nadszybie wraz z sortownią ujmuje się w służbę. Przy klapach Briar'a niewygody polegają na ustawicznie zachodzących krótkich spięciach, znacznych stratach powietrza, lub wielce nieekonomicznej pracy wentylatora. Przy ujęciu w służbę całego budynku nadszybia wraz z sortownią, jakkolwiek straty powietrza zmniejszają się, wszakże obok kosztowności urządzenia, powstaje w nadszymbiu i sortowni niezdrowa i niebezpieczna atmosfera podziemna, której niebezpieczeństwo wobec pyłu, powstającego w sortowni, zostaje spotęgowane.

2) Jeżeli przy kilku szybach polowych (na wychodach różnych pokładów lub w częściach podzielonych uskokami) należy zachować w każdym polu kierunek prądu od szybu wydobywczego w górę do szybów polowych, wówczas wentylatory ssące są ustawiane na każdym szybie polowym i przewietrzanie zachodzi kilkoma szybami wentylacyjnymi wyciągającymi i jednym lub dwoma szybami wciągającymi, które są też zwykle wydobywczymi. Jak zobaczymy w następnych rozdziałach, taka instalacja jest mniej ekonomiczna, aniżeli całkowite przewietrzanie jednym wentylatorem tłoczącym, lecz z drugiej strony wentylator tłoczący na powierzchni jest niewygodny, gdyż zmusza zamykać w służbę szyb wydobywczy. Zamieniając w takim wypadku wentylator tłoczący na powierzchni podziemnym tłoczącym podług nowej metody, otrzymamy jednakże instalację, która pod względem ekonomicznym, na ogół biorąc, nie różni się wielce od systemu kilku wentylatorów ssących. Ale przez zastosowanie regulacji bezpośredniej wygrywamy bezwzględnie na powstających bardziej korzystnych warunkach kontroli nad rozdzia-

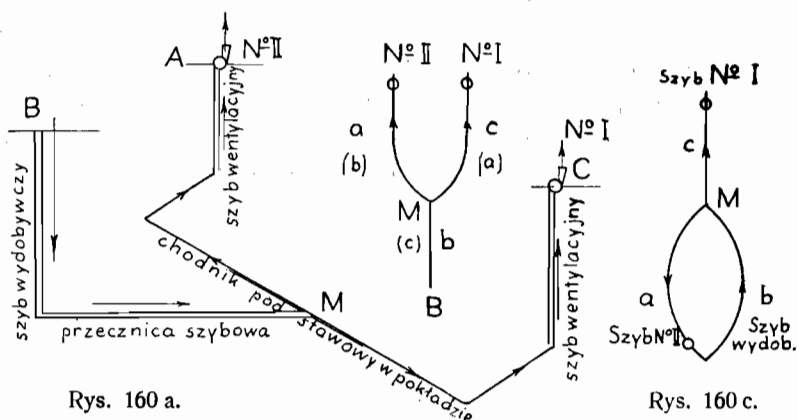
łem powietrza, a co za tem idzie — i na ogólnem bezpieczeństwie kopalni, podczas gdy w wypadku już dwóch wentylatorów ssących na dwóch szybach wentylacyjnych, których depresja rzadko bywa jednakowa, jak zobaczymy niżej, kontrola podziału powietrza jest wielce utrudniona. Zjawisko rozdziału powietrza przy dwóch szybach wentylacyjnych jest tak samo skomplikowane, jak w rozpatrzonym szczegółowo przypadku dwóch depresyj, zewnętrznej i wewnętrznej, i jakkolwiek kontrola nad rozdziałem nie jest niemożliwa, wszakże praktycznie zostaje niemal wykluczona. Przy większej ilości szybów wentylacyjnych, zwłaszcza jeżeli jest ich więcej od trzech, można powiedzieć, że nie istnieją nawet teoretycznie sposoby kontroli. Tymczasem, im więcej jest szybów wentylacyjnych, tem większy jest wpływ różnych komplikacyj żywiołowych, na skutek których jeden z szybów może zacząć niespodziewanie tłoczyć powietrze na dół, przeciw depresji wentylatora, powodując w ten sposób stan niebezpieczny na dole. (Przypomnijmy, że na jednej z większych kopalń Górnego Śląska istnieje 10 wentylatorów ssących przy dwu szybach wciągających). Taki stan rzeczy stwarza w gospodarce powietrznej chaos, który łatwo może stać się przyczyną większej katastrofy. We wszystkich tych wypadkach zainstalowanie podług nowej metody jednego tłoczącego wentylatora podziemnego, jeżeli nie chcemy lub nie możemy zamknąć nadszybia głównego, usuwa wszystkie wspomniane niewygody i niebezpieczeństwa.

ROZDZIAŁ XII.

WENTYLACJA SSĄCA ZAPOMOCĄ DWÓCH SZYBÓW WENTYLACYJNYCH

§ 60. Określenie otworów równoznacznych poszczególnych szybów. Schematy na rys. 160 a, b uwidoczniają dyspozycję szybów i kierunki prądów. Powietrze schodzi szybem wydobywczym *B* i podąża jedną przecznicą do punktu *M* w pokładzie, gdzie rozdziela się w chodniku podstawowym na 2 prądy, które dążą

Rys. 160 b.



Rys. 160 a.

Rys. 160 c.

każdy do swego szybu wentylacyjnego połowego Nr. I i Nr. II. — Na szybie pierwszym (*C*) panuje depresja h_1 , na drugim zaś (*A*) — h_2 . Będziemy przypuszczali, że przy każdym szybie znajduje się ssący wentylator na powierzchni, przyczem oznaczone depresje h_1 i h_2 włączają depresję naturalną, którą uważamy za stałą i jednakową na obydwu szybach:

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{w1} + h'_n \\ h_2 &= h_{w2} + h''_n \end{aligned}$$

Nietrudno widzieć, że przypadek ten odpowiada dokładnie regulacji pośredniej dodatniej, rozpatrzonej szczegółowo w § 49, depresje bowiem szybów I i II wzajemnie przeciwstawiają się, i schemat 160b może być zamieniony schematem 160c. W takim wypadku, jeżeli depresję szybu I będziemy uważali za pierwotną, szybu II zaś za wtórną, musimy oznaczyć przez c opór boczniczy szybu I, przez a opór boczniczy szybu II, przez b zaś — opór szybu wydobywczego i wspólnej części prądu do punktu M .

Oprócz tego:

q_b — oznacza ilość powietrza, wchodzącą do kopalni przez szyb wydobywczy,

q_c — oznacza ilość powietrza wychodzącą szybem I,

q_a — oznacza ilość powietrza wychodzącą szybem II,

$X = \frac{q_a}{q_c}$ — oznacza stosunek ilości powietrza wychodzącego szybem II do ilości powietrza, wychodzącej szybem I,

$Y = \frac{q_b}{q_c}$ — oznacza stosunek ilości powietrza, wchodzącego szybem wydobywczym, do ilości powietrza, wychodzącego szybem I.

Widzieliśmy, że przy regulacji dodatniej mogą zachodzić 3 wypadki:

1) Kierunek prądów a i b jest zgodny (rys. 161a); w przypadku 2 szybów odpowiada to niezgodnym kierunkom prądów szybu I i II. Szyb II tłoczy powietrze na dół przeciw własnej depresji. Ma to miejsce, jeżeli

$$n = \frac{h_2}{h_1} < \frac{b}{b+c} \quad (49)$$

przyczem

$$\begin{aligned} q_a + q_b &= q_c \\ X + Y &= 1 \end{aligned}$$

2) Kierunki prądów a i b są niezgodne przy zachowaniu pierwotnego kierunku prądu c (rys. 161b). W przypadku dwu szybów odpowiada ten stan rzeczy ssaniu obydwoma szybami. Ma to miejsce jeżeli:

$$\frac{b}{b+c} < n = \frac{h_2}{h_1} < \frac{a+b}{b}$$

przyczem

$$\begin{aligned} q_b - q_a &= q_c \\ Y - X &= 1 \end{aligned}$$

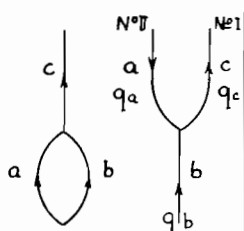
3) Przy niezgodnych kierunkach prądów a i b zostaje obrócony prąd główny c (rys. 161c). W przypadku 2 szybów, odpowiada to tłoczeniu szybem I przy ssaniu II-gim. Ma to miejsce, jeżeli:

$$n > \frac{a+b}{b} \quad (57)$$

przyczem

$$\begin{aligned} q_a - q_b &= q_c \\ X - Y &= 1 \end{aligned}$$

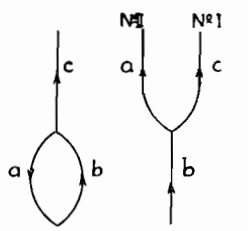
Oczywiście, że w normalnych warunkach obydwie szyby powinny ssać powietrze do góry, t. j. powinien zachodzić z wyliczonych trzech



$$\begin{aligned} q_a + q_b &= q_c \\ x + y &= 1 \end{aligned}$$

$$\frac{h_2}{h_1} \cdot n < \frac{b}{b+c}$$

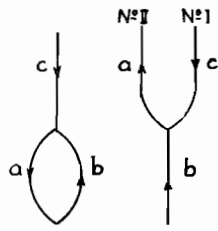
Rys. 161 a.



$$\begin{aligned} q_b - q_a &= q_c \\ y - x &= 1 \end{aligned}$$

$$\frac{b}{b+c} < n < \frac{a+b}{b}$$

Rys. 161 b.



$$\begin{aligned} q_a - q_b &= q_c \\ x - y &= 1 \end{aligned}$$

$$\frac{a+b}{b} < n$$

Rys. 161 c.

2-gi przypadek, właśnie ten, który w zastosowaniu do podziemnych wentylatorów przeciwdziałających depresji naturalnej, oraz do regulacji pośredniej nigdy zachodzić nie powinien. W ten sposób warunkiem normalnej pracy wentylatorów na dwu szybach jest zachowanie granic dla stosunku depresyj, wskazanych w 2-gim przypadku:

$$\frac{b}{b+c} < n = \frac{h_2}{h_1} < \frac{a+b}{b} \quad (82)$$

albo w postaci ogólnej:

$$\frac{\text{Opór pola szybu wyd.}}{\text{Opór p. sz. wyd. + op. p. sz. I.}} < \frac{\text{depres. szybu II.}}{\text{depres. szybu I.}} < \frac{\text{Opór p. sz. wyd. + op. p. sz. II.}}{\text{Opór pola szybu wyd.}}$$

Naturalnie, na skutek zjawisk żywiołowych może nastąpić nagle zmiana granic i przesunięcie się ich względem n na tyle, że

nierówność (82) zostanie z jednej lub z drugiej strony odmieniona. Wówczas jeden z szybów przewycięża depresję przeciwną drugiego szybu i ten zaczyna tłoczyć powietrze nadół, powodując stan niebezpieczny w kopalni. W tem tkwi niebezpieczeństwo dwu szybów ssących, które przy jednym wentylatorze tłoczącym przy szybie wydobywczym na powierzchni lub pod ziemią jest wykluczone.

W normalnych warunkach, gdy nierówność (82) jest zachowana, obowiązują równania (40), (41) i (42) § 49:

$$\left. \begin{aligned} M_{1I} &= c + bY_I^2 \\ M_{2I} &= aX_I^2 + bY_I^2 \end{aligned} \right\} \quad (40) \quad (83)$$

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX_I^2 + bY_I^2}{c + bY_I^2} \quad (41) \quad (84)$$

$$Y_I - X_I = 1 \quad (42)$$

Współrzędne punktu przecięcia się krzywej stożkowej (41, 84) z prostą (42) — określają stosunki X_I i Y_I . Krzywa stożkowa jest elipsą przy $n < 1$, oraz hiperbolą przy $n > 1$. Odpowiedni obszar możliwych rozwiązań znajduje się w drugiej ćwiartce rys. 101.

Określone podług wzorów (40—83) ilości powietrza:

$$q_c = \sqrt{\frac{1000 \cdot h_1}{M_{1I}}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot h_2}{M_{2I}}}$$

oznaczają jednak nie całkowitą ilość powietrza, lecz tylko ilość, wychodzącą szybem I-ym; całkowita zaś ilość zostanie określona podług stosunku Y :

$$q_b = Y \cdot q_c$$

przyczem $Y > 1$.

W ten sposób obydwa wyrazy (40) oznaczają opór właściwy szybu I i jego pola.¹⁾

Dla otrzymania wyrazów oporu szybu II należy tylko przedstawić we wzorach oporu szybu I wzajemnie litery a i c oraz oznaczenia szybów: stąd wzory oporu szybu II są:

¹⁾ I dlatego we wzorach (40) dodajemy do M , X , Y znaczek I , oraz nadajemy im kolejny numer.

$$\left. \begin{aligned} M_{2II} &= a + bY_{2II}^2 \\ M_{1II} &= cX_{2II}^2 + bY_{2II}^2 \end{aligned} \right\} \quad (85)$$

$$n = \frac{h_1}{h_2} = \frac{cX_{2II}^2 + bY_{2II}^2}{a + bY_{2II}^2} \quad (86)$$

$$Y_{II} - X_{II} = 1$$

$$\left. \begin{aligned} X_{II} &= \frac{q_c}{q_a} = \frac{1}{X_I} \\ Y_{II} &= \frac{q_b}{q_a} = 1 + \frac{1}{X_I} = \frac{Y_I}{X_I} \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

przyczem warunkiem normalnej pracy szybów jest:

$$\frac{b}{b+a} < n = \frac{h_1}{h_2} < \frac{c+b}{b} \quad (88)$$

którego treść jest identyczna z (82).

Jasnym jest, że:

$$q_a = \sqrt{\frac{1000 \cdot h_1}{M_{1II}}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot h_2}{M_{2II}}}$$

jest ilością powietrza, wychodzącą szybem II.

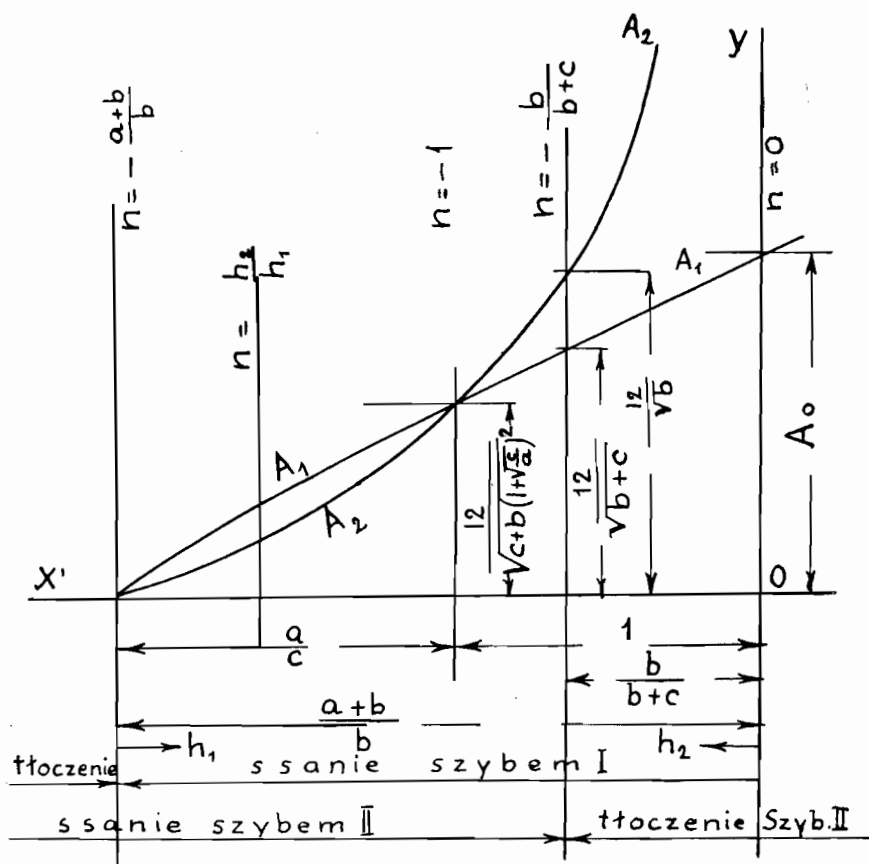
Na tej podstawie otwór równoznaczny każdego szybu jest zmienny, zależny od stosunku depresyj obojdwóch, oraz każdy szyb posiada własne krzywe charakterystyczne, wyrysowanie których wykonywa się podług punktów, obliczonych dla szeregu wartości n w granicach bezpiecznych (82), ewent. (88). Krzywe charakterystyczne będą posiadały jednak wygląd odmienny, niż dla przypadków podziemnych wentylatorów, oraz regulacji odjemnej, przypadają one bowiem w obszarze pomiędzy rzędnymi $-\frac{a+b}{b}$

i $-\frac{b}{b+c}$ rys. 126 i są przedstawione dla szybu I na rys. 162, dla szybu II — na rys. 163.

Dla szybu I otwór równoznaczny podług krzywej A_1 w miarę wzrastania stosunku $n = \frac{h_2}{h_1}$ na skutek opadania jego depresji od

¹⁾ Stosunek depresji wtórnej, w danym przypadku szybu I, do depresji pierwotnej, która jest w danym przypadku — szybu II.

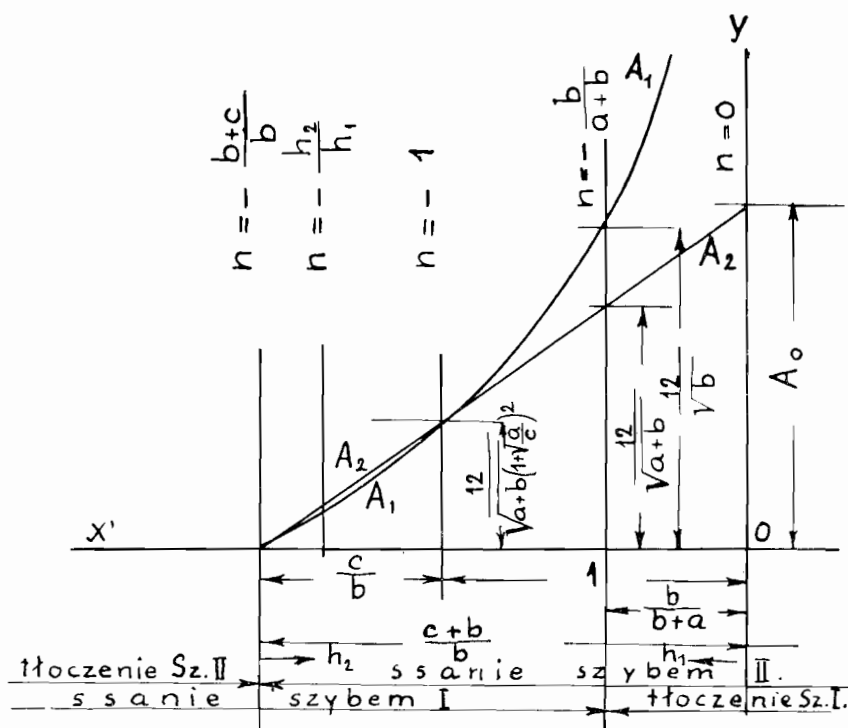
pewnej wielkości największej, przy której $n_{min} = \frac{b}{b+c}$, opada zaczynając od $\frac{12}{\sqrt{b+c}}$ i przy pewnym h_1 minimum, przy którym



Rys. 162.

$n_{max} = \frac{a+b}{b}$, równa się 0. Przy $n = \frac{b}{b+c}$ oczywiście w szybie II prąd nie istnieje, gdyż całkowity opór prądu szybu I składa się z szeregowo połączonych elementów b i c , czemu odpowiada $A_1 = \frac{12}{\sqrt{b+c}}$, a co wskazuje, że bocznica a w tej chwili została wyeliminowana. Jeżeli n opada poniżej $\frac{b}{b+c}$ wskutek powiększe-

nia depresji h_1 szybu I przewyższa depresję h_2 szybu II i ten zaczyna tłoczyć. Natomiast przy $n = \frac{a+b}{b}$ wobec $A_1 = 0$ ustaje prąd w szybie I-ym i przy dalszem powiększaniu n wskutek obniżania się h_1 szybu II przewyższa depresję szybu I i ten zaczyna tłoczyć. Krzywa A_2 wskazuje stosunkowe zmiany ilości powietrza w szybie I przy zmianach depresji h_1 . To samo zachodzi w odwrotnym porządku przy zmianach h_2



Rys. 163.

Dla szybu II zmieniają się wartości odciętych: $\frac{a+b}{b}$ i $\frac{b}{b+c}$ na $\frac{c+b}{b}$ i $\frac{b}{b+a}$, jak również oznaczenia przy krzywych A_1 i A_2 (rys. 163), przyczem dla odciętej $\frac{b}{b+a}$ rzędna krzywej A_2 będzie miała wartość $\frac{12}{\sqrt{b+a}}$, zaś krzywej A_1 — tę samą, co przedtem

krzywa $A_2 = \frac{12}{\sqrt{b}}$. Również na osi odciętych zmieni się kierunek odczytywania wartości h_1 i h_2 , mianowicie teraz wartości h_2 będą się zwiększały z lewa na prawo, natomiast h_1 — z prawa na lewo. Przy takich zmianach wygląd krzywej otworów równoznaczących szybu II — A_2 , oraz krzywa stosunkowych ilości powietrza w tymże szybie — A_1 będą miały absolutnie ten sam charakter, również wnioski wypłyną analogiczne.

Zaznaczmy jeszcze, że przy $n = 1$ obydwie krzywe A_1 i A_2 przecinają się: w 1-ym wypadku przy $A_1 = A_2 = \frac{12}{\sqrt{c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}}\right)^2}}$
w 2-gim przy $A_1 = A_2 = \frac{12}{\sqrt{a + b \left(1 + \sqrt{\frac{a}{c}}\right)^2}}$

Jeżeli na obydwu szybach znajdują się wentylatory, zwykle w czasie ich biegu depresje nie ulegają zmianom, wpływ zaś depresji naturalnej jest bardzo nieznaczny.¹⁾ Stąd, o ile warunk (82), ew. (88) jest zachowany, niema niebezpieczeństwa tłoczenia jednym z szybów na skutek zmian depresji. Natomiast mogą przesuwac się granice nierówności (82) i (88) na skutek zmian żywiołowych, co pośrednio naturalnie wywoła i zmianę depresji. Zwykle, jeżeli wentylator jest dobrze dostosowany do swego oporu, depresja jego powiększa się, jeżeli się zwiększa opór, i opada razem z oporem. Stąd — jeżeli opór c szybu I opada, granica lewa $\frac{a+b}{b}$ pozostaje bez zmiany, natomiast prawa granica $\frac{b}{b+c}$ zbliża się do pierwszej, ale razem z nią powiększa się stosunek $\frac{h_2}{h_1}$, który może przekroczyć $\frac{a+b}{b}$ i wówczas zacznie tłoczyć szyb I; ale również może nastąpić tłoczenie szybu II, jeżeli stosunek $\frac{h_2}{h_1}$ zwiększa się z mniejszą szybkością, niż $\frac{b}{b+c}$. Zależy to oczywiście od charakterystyki wentylatora. Aby nie wikłać rozumowań własnościami wentylatorów, będziemy przypuszczali, że depresje wentylatorów

¹⁾ O ile, co zakładamy, wentylatory znajdują się na powierzchni.

na skutek zmian oporów zmianom nie ulegają, oraz stosunek n pozostaje stały. Wobec tego możemy twierdzić, że:

1) Prąd szybu I-go odwraca się, jeżeli lewa granica na rys. 162 przesunie się w prawo poza rzędną n . Stać się to może od dwóch przyczyn: raptownego zmniejszenia oporu a , t. j. — szybu II, albo na skutek raptownego powiększenia oporu szybu wydobywczego i jego pola. Obydwie przyczyny jednak mogą tylko wówczas wywołać obrócenie prądu szybu I, gdy $n > 1$, t. j. gdy depresja szybu II-go jest większa od depresji szybu I, albowiem $\frac{a+b}{b}$ stale jest > 1 .

2) Prąd szybu II odwraca się, jeżeli prawa granica $\frac{b}{b+c}$ przesunie się w lewo poza linię n . Stać się to może również od dwóch przyczyn: (raptownego) zmniejszonego oporu c pola szybu I, albo — powiększenia oporu b — pola szybu wydobywczego. Jednakże przyczyny te mogą wywołać obrócenie się prądu szybu II wówczas jedynie, gdy $n = \frac{h_2}{h_1} < 1$, czyli gdy depresja szybu I jest większa od depresji szybu II, albowiem $\frac{b}{b+c}$ stale jest < 1 . Innymi słowy:

1) Z dwóch szybów ten może stwarzać warunki niebezpieczne na dole, który posiada mniejszą depresję.

2) Prąd w szybie, którego depresja jest mniejsza, może odmienić swój kierunek i zacząć tłoczyć, jeżeli a) w prądzie drugiego szybu nastąpi zmniejszenie oporu (zbyt wielkie rozgałęzienie, nowe połączenia, pożar) lub b) we wspólnej części prądu szybu wydobywczego nastąpi powiększenie oporu (zwiększenie skutkiem ciśnienia i przebudowy, zawalenie się przecznicy itp.). Z tego wypływa, że:

3) Przywrócenie normalnego kierunku prądu w szybie, który zaczął tłoczyć, może być osiągnięte:

- a) przez powiększenie jego depresji,
- b) przez dodatnią regulację bezpośrednią w polu drugiego szybu,
- c) przez odjemną regulację bezpośrednią we wspólnej części prądu szybu wydobywczego.

Z punktu 3 c) wynika: im krótsza jest wspólna część prądów, tem mniejsze jest niebezpieczeństwo obrócenia się prądów szy-

bów połowych. Jeżeli prądy rozłączają się bezpośrednio pod szybem wydobywczym, praktycznie rzecz biorąc, odpada wszelka możliwość obrócenia się prądów, albowiem granica $\frac{a+b}{b}$ odchodzi

w nieskończoność, granica zaś $\frac{b}{b+c}$ zbliża się do 0 (gdyż $b = 0$).

Natomiast jeżeli wspólną część prądów stanowi bardzo długa przecznica, możliwość raptownej zmiany kierunku prądu w jednym z szybów od przyczyn żywiołowych staje się bardzo aktualną.

W praktyce korzystanie ze wzorów szybów I i II jest wygodniejsze przy zmianie oznaczenia bocznici. Mianowicie, będzie wygodniej, jeżeli prąd tego szybu, który nazwiemy I — oznaczać będziemy literą a , prąd zaś tego szybu, który nazwiemy II — oznaczmy literą b , wspólny zaś prąd szybu wydobywczego — literą c . Oprócz tego przez n będziemy oznaczać stosunek depresji tego szybu, który rozważamy w danej chwili, do depresji szybu drugiego; to znaczy dla I-go szybu przyjmować

$$n_I = \frac{h_1}{h_2}$$

Dla drugiego zaś:

$$n_{II} = \frac{h_2}{h_1}$$

Wówczas wszystkie stosowne wzory otrzymamy z wyprowadzonych poprzednio, jeżeli zamienimy w nich:

a — przez b ¹⁾

b — przez c

c — przez a

oraz we wzorach szybu I

$$n = \frac{h_2}{h_1} \text{ — przez } \frac{1}{\left(\frac{h_1}{h_2}\right)} = \frac{1}{n_I}$$

we wzorach zaś szybu II

$$n = \frac{h_1}{h_2} \text{ — przez } \frac{1}{\left(\frac{h_1}{h_2}\right)} = \frac{1}{n_{II}}$$

¹⁾ Litery w nawiasach rys. 160 b, oraz szkic rys. 166.

Wówczas otrzymamy następujące wzory:

Szyb I.		Szyb II.
$\left. \begin{aligned} \text{z (83)} \quad M_{1I} &= a + cY_{1I}^2 \\ M_{2I} &= bX_{1I}^2 + cY_{1I}^2 \end{aligned} \right\} \quad (89)$		$\left. \begin{aligned} \text{z (85)} \quad M_{2II} &= b + cY_{2II}^2 \\ M_{1II} &= aX_{2II}^2 + cY_{2II}^2 \end{aligned} \right\} \quad (91)$
$\text{z (84)} \quad n_I = \frac{h_1}{h_2} = \frac{a + cY_{1I}^2}{bX_{1I}^2 + cY_{1I}^2} \quad (90)$		$\text{z (86)} \quad n_{II} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{b + cY_{2II}^2}{aX_{2II}^2 + cY_{2II}^2} \quad (92)$
oraz pozostaje (42) $Y_I - X_I = 1$		$Y_{II} - X_{II} = 1$

Dla obliczenia elementów krzywych stożkowych (90) i (92) będziemy mieli wzory:

półoś wzdłuż X z (51) i (55):

$$a_{4,5} = \sqrt{\frac{a}{n_I \cdot b}} \quad (93)$$

$$a_{4,5} = \sqrt{\frac{b}{n_{II} \cdot a}} \quad (96)$$

półoś wzdłuż Y elipsy przy $n < 1$, $n_I > 1$ z (52):

$$b_4 = \sqrt{\frac{a}{(n_I - 1)c}} \quad (94)$$

$$b_4 = \sqrt{\frac{b}{(n_{II} - 1)c}} \quad (97)$$

tg kąta asymptoty hiperboli przy $n > 1$, $n_I < 1$ — z (56):

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \sqrt{\frac{n_I b}{(1 - n_I)c}} \quad (95)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \sqrt{\frac{n_{II} a}{(1 - n_{II})c}} \quad (98)$$

Wygodniej jest również uwzględniać stosunki:

$$X = \frac{q_a}{q_c} \quad Y = \frac{q_b}{q_c}$$

przyczem

$$X + Y = 1$$

praktycznie bowiem nas interesuje podział ogólnej ilości powietrza na pola szybów I i II. Wówczas dla korzystania z wyprowadzonych wzorów należy pamiętać następujące współzależności:

$$\left. \begin{aligned} X_I &= \frac{Y}{X} \\ Y_I &= \frac{1}{X} \end{aligned} \right\} \quad (99)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{II} &= \frac{X}{Y} \\ Y_{II} &= \frac{1}{Y} \end{aligned} \right\} \quad (100)$$

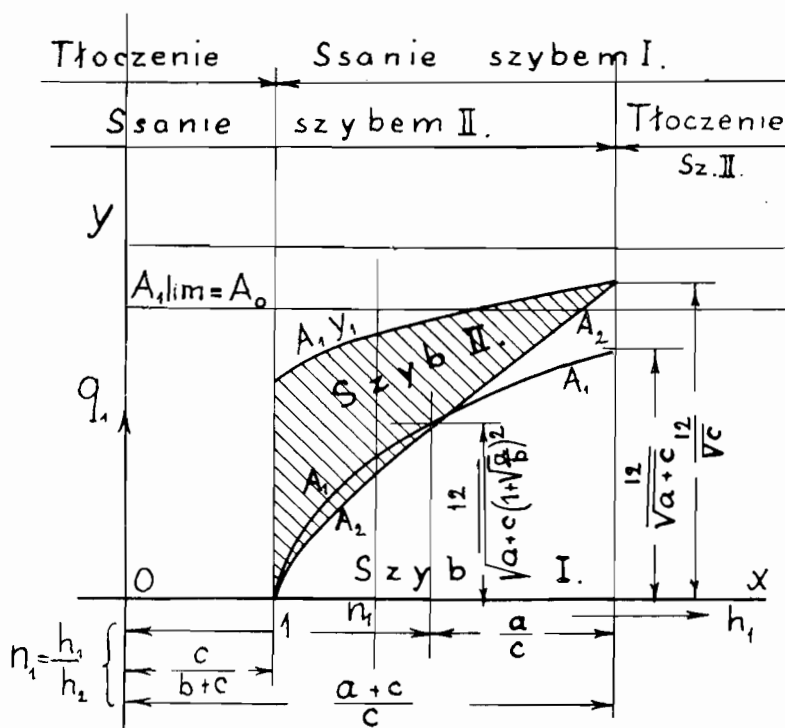
Wreszcie warunkiem normalnej pracy szybów jest:

$$\frac{c}{c+b} < n_I < \frac{c+a}{c} \quad (101)$$

$$\frac{c}{c+a} < n_{II} < \frac{c+b}{c} \quad (102)$$

Przy takich oznaczeniach krzywe charakterystyczne przyjmą postać bardziej wygodną i pogładową.

Odkładając na osi odciętych zamiast wartości n ich odwrotne



Rys. 164.

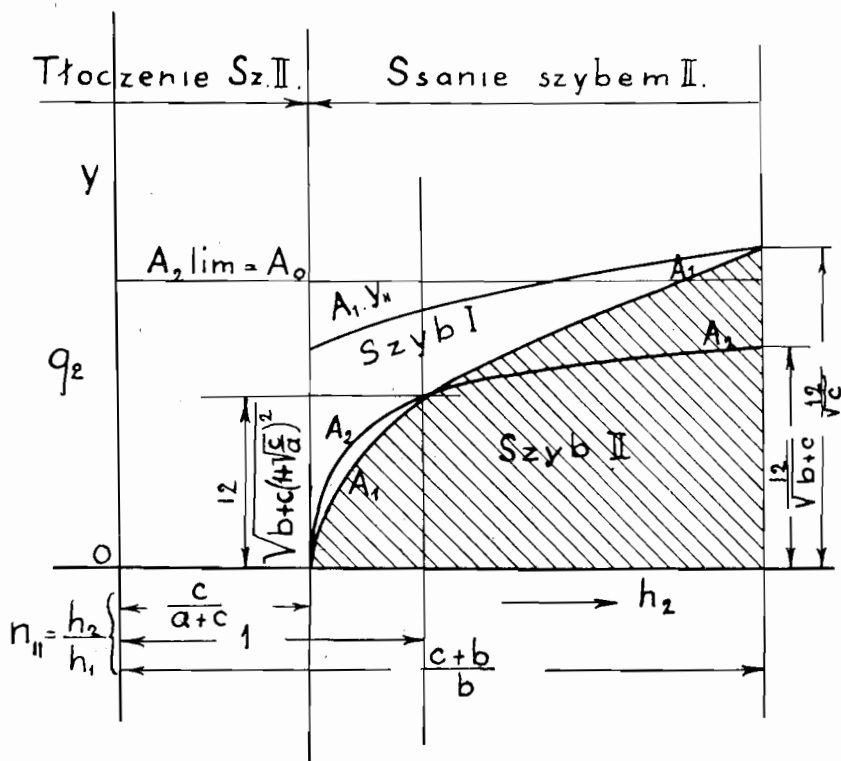
wielkości n_I i n_{II} otrzymamy w punkcie, odpowiadającym na rys.

162, 163 $n = \frac{a+b}{b}$, ew. $\frac{c+b}{b}$, na nowych wykresach każdego

szybu, rys. 164 i 165, $n_I = \frac{c}{b+c}$ ew. $\frac{c}{a+c}$, natomiast w punkcie,

odpowiadającym $n = \frac{b}{b+c}$ ew. $\frac{b}{b+a}$ otrzymamy górną granicę,

czyli $\frac{c+a}{c}$, ew. $\frac{c+b}{c}$. Zamiast ∞ na lewej stronie rys. 162, 163 będziemy mieli na rys. 164 i 165 punkt 0 z lewej strony niższej granicy n_I ew. n_{II} ; natomiast punkt 0 wykresów 162, 163 odsunie się na wykresach 164 i 165 na prawo w nieskończoność. Otrzymamy przeto bardzo wygodny wykres w pierwszej ćwiartce układu Kartezjusza, w którym liczby n_I ew. n_{II} na osi odciętych są normalnie odczytywane z lewa na prawo. Krzywa A_1 , t. j. krzywa aktualnych



Rys. 165.

otworów równoznacznych szybu I, na wykr. rys. 164, zaczynając się na osi odciętych w punkcie niższej granicy n_I , będzie miała postać paraboli, zbliżającej się w nieskończoności do asymptoty A_0 , oraz przecinającej rzędną wyższej granicy n_{II} w odległości $\frac{12}{\sqrt{c+a}}$, krzywa zaś A_2 aktualnych otworów równoznacznych szybu II — na

rys. 165 — w odległości $\frac{12}{\sqrt{c+b}}$. Hiperboliczna zaś krzywa A_2 rys. 164, oznaczająca stosunkowe zmiany ilości powietrza w danym szybie, jak też krzywa A_1 rys. 165 — stosunkowych ilości powietrza w II szybie zamieni się w krzywą paraboliczną, która, wychodząc z tego samego punktu na osi odciętych, przebiega na początku wewnątrz paraboli A_1 , ew. A_2 , przecina się z nią pomiędzy granicznymi rzędnymi i — po przecięciu rzędnej większej granicznej na obydwóch wykresach w punkcie $\frac{12}{\sqrt{c}}$ — oddala się w nieskończoność.

Jeżeli na tychże wykresach wykreślimy oprócz tego krzywą $(A_2 \cdot Y_I)$ dla szybu I i $(A_1 \cdot Y_{II})$ dla szybu II, wówczas na wykresie szybu I (164) rzędne krzywej A_2 oznaczają stosunkowe ilości płynące szybem I, odcinki rzędnych między krzywymi $A_2 Y_I$ i A_2 — stosunkowe ilości powietrza, płynące przez szyb II; wreszcie całkowite rzędne krzywej $A_2 Y_I$ oznaczają całą ilość powietrza, wchodzącego do kopalni szybem wydobywczym. Krzywa zaś A_1 oznacza otwory równoznaczne szybu I w zależności od $n_I = \frac{h_1}{h_2}$.

Na wykresie szybu II (rys. 165) będziemy mieli: podług rzędnych krzywej A_1 — stosunkowe ilości powietrza, płynące szybem II-im; podług różnicy rzędnych krzywej $(A_1 \cdot Y_{II})$ i A_1 — stosunkowe ilości, płynące szybem I; podług całkowitych rzędnych krzywej $A_1 Y_{II}$ — całą ilość powietrza, wchodzącą szybem wydobywczym, oraz podług A_2 — otwory równoznaczne szybu II w zależności od $n_{II} = \frac{h_2}{h_1}$.

Nadając na wykresie szybu I pewną stałą wielkość h_2 , na wykresie zaś szybu II — stałą wielkość h_1 , stosunkowe wielkości n_I , ew. n_{II} na osi odciętych zostaną zamienione w konkretne wielkości depresyj na szybie I ew. II, na osi rzędnych zaś otrzymamy konkretne ilości q powietrza w m^3 na sec. jako rzędne krzywych A_2 i $A_2 Y_I$ dla szybu I i jako rzędne krzywych A_1 i $A_1 \cdot Y_{II}$ dla szybu II.

§ 61. Ogólny otwór równoznaczny całej kopalni przy dwóch szybach wentylacyjnych. Wyprowadzone wzory w poprzednim § mają tę niedogodną stronę, że nie charakteryzują całej kopalni. W wielu wypadkach może być pożądanem posiadanie liczby charakterystycznej, podług której można byłoby zrobić porównanie bezpośrednie kopalni o dwu szybach wentylacyjnych z kopalnią o jednym szybie wentylacyjnym.

Wychodząc z rozkładu ciśnień na rys. 166, możemy ułożyć równania:

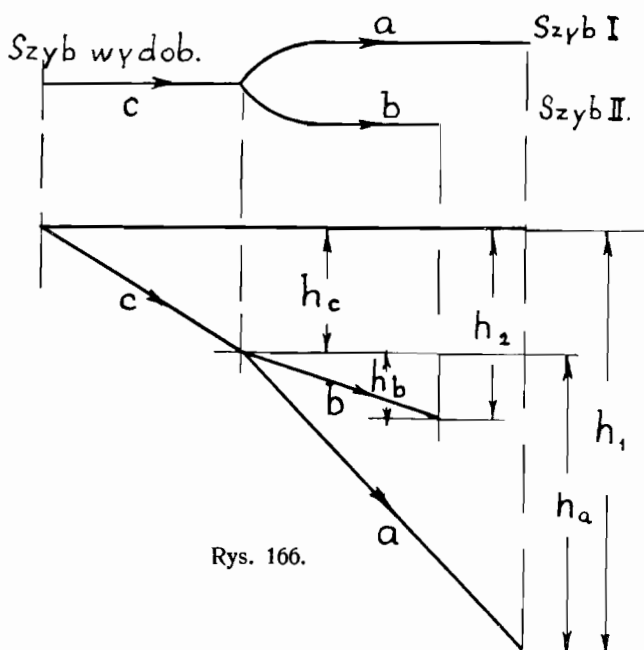
$$h_1 = h_c + h_a$$

$$h_2 = h_c + h_b$$

albo, zamieniając h przez $m \cdot q^2$:

$$M_1 \cdot q^2 = c \cdot q^2 + a \cdot q_a^2$$

$$M_2 \cdot q^2 = c \cdot q^2 + b \cdot q_b^2$$



Rys. 166.

Oznaczając:

$$\frac{q_a}{q} = X; \quad \frac{q_b}{q} = Y,$$

przyczem

$$X + Y = 1$$

otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + aX^2 \\ M_2 &= c + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (103)$$

Są to oczywiście wyrazy oporu ogólnego całej kopalni, które się określa bądź podług depresji jednego, bądź drugiego szybu wen-

tylacyjnego, a więc również i dla ogólnego otworu równoznacznego służą dwa wzory.

Oznaczmy przez n stosunek depresji szybu I do depresji szybu II, a więc:

$$n = \frac{h_1}{h_2} = \frac{c + aX^2}{c + bY^2} \quad (104)$$

Stosunki X i Y znajdują się, jak zwykle, przez określenie współrzędnych przecięcia się krzywej stożkowej (104) z prostą $X + Y = 1$.

Z (104) otrzymamy:

$$aX^2 - nbY^2 = (n - 1)c$$

skąd:

$$\frac{X^2}{(n-1)\frac{c}{a}} - \frac{Y^2}{\left(\frac{n-1}{n}\right)\frac{c}{b}} = 1 \quad (105)$$

Jest to hiperbola, której oś rzeczywista jest wydłużona w kierunku osi X , jeżeli $n > 1$; oraz wzdłuż osi Y , jeżeli $n < 1$ (rys. 167). Gdy $n = 1$, krzywa zamienia się w 2 proste, z których ważną jest:

$$\frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

Elementa hiperboli (105) są:

$$\text{półoś na osi } X: \quad a_1 = \sqrt{(n-1)\frac{c}{a}} \quad (106)$$

$$\text{półoś na osi } Y: \quad b_1 = \sqrt{\left(\frac{1-n}{n}\right)\frac{c}{b}} \quad (107)$$

$$\text{pochylenie asymptoty: } \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{a}{n \cdot b}} \quad (108)$$

Jasnym jest, że szyb I przestaje ssać, gdy $X = 0$; $Y = 1$. Ażeby taki stan nie nastąpił, półoś b musi być mniejsza od 1:

$$\sqrt{\left(\frac{1-n}{n} \cdot \frac{c}{b}\right)} < 1.$$

skąd:

$$\frac{c}{c+b} < n$$

Gdy $n = n_{\min} = \frac{c}{c+b}$, $X = 0$, $Y = 1$, więc

$$M_{1\min} = c + aX^2 = c + a \cdot 0^2 = c$$

$$M_{2\max} = c + bY^2 = c + b \cdot 1^2 = c + b$$

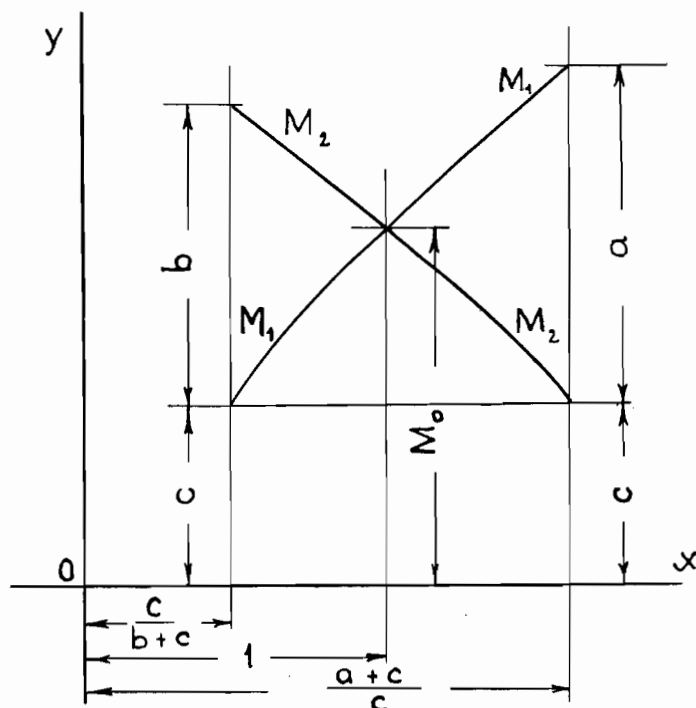
przy $n = 1$ $X = \frac{1}{\sqrt{\frac{a}{b} + 1}}$; $Y = \frac{1}{\sqrt{\frac{b}{a} + 1}}$, więc

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + a \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{a}{b} + 1}} \right)^2 \\ M_2 &= c + b \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{b}{a} + 1}} \right)^2 \end{aligned} \right\} = c + \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}} \right)^2} = M_0 \left\{ \begin{aligned} &> c \\ &< c + b \end{aligned} \right.$$

przy $n = n_{\max} = \frac{c+a}{c}$; $X = 1$, $Y = 0$, więc

$$M_{1\max} = c + aX^2 = c + a \cdot 1^2 = c + a > M_0$$

$$M_{2\min} = c + bY^2 = c + b \cdot 0^2 = c = M_{1\min} < M_0$$



Rys. 168.

W otworach równoznaczných krzywe $A_1 = f(n)$ i $A_2 = f(n)$ mają postać analogiczną, tylko A_1 wygląda jak M_2 , A_2 zaś jak M_1 (rys. 169), więc

przy $n = n_{\min} = \frac{c}{b+c}$

$$A_{1\max} = \frac{12}{\sqrt{c}}$$

$$A_{2\min} = \frac{12}{\sqrt{c+b}}$$

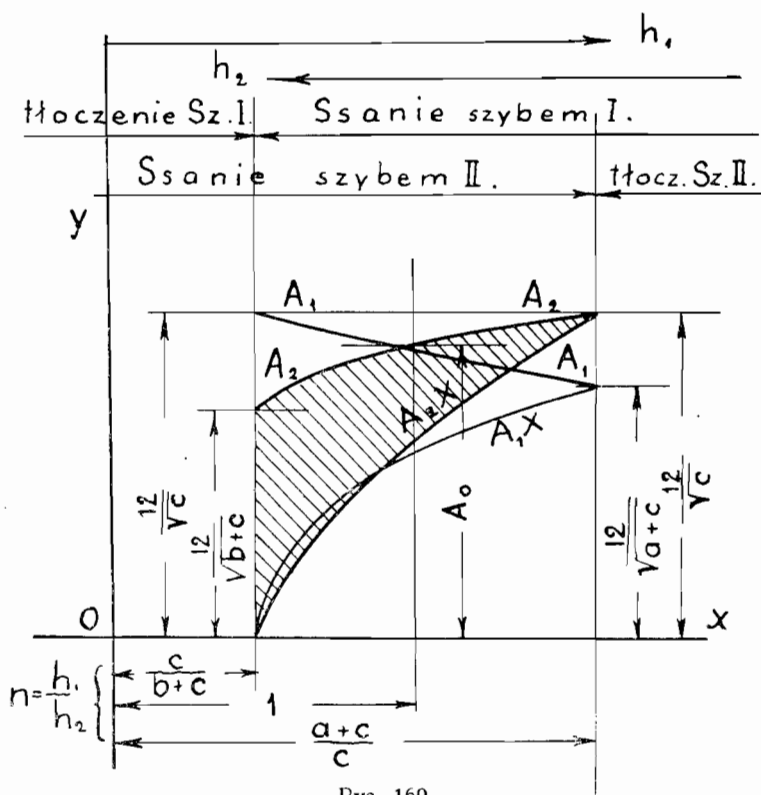
przy $n = 1$

$$A_1 = A_2 = A_0$$

przy $n = n_{\max} = \frac{c+a}{c}$

$$A_{1\min} = \frac{12}{\sqrt{c+a}}$$

$$A_{2\max} = \frac{12}{\sqrt{c}} = A_{1\max}$$



Rys. 169.

Jeżeli otwór równoznaczny określać będziemy podług depresji szybu I, wówczas jego wielkość absolutna zmniejsza się razem z powiększeniem stosunku n albo depresji h_1 , które odczytywują się na osi odciętych z lewa na prawo w prostym stosunku, stosunkowe zaś ilości powietrza zwiększają się podług krzywej A_2 ; stosunek q_{max} do q_{min} jest $\sqrt{\frac{b+c}{c}}$.

Jeżeli otwór równoznaczny określa się podług depresji szybu II, wówczas jego wielkość absolutna zwiększa się razem z n , czyli z pomniejszeniem depresji h_2 , a więc wraz z powiększeniem się h_2 zmniejsza się tak, jak w przypadku określenia otworu podług h_1 — z tą różnicą, że depresje h_2 odczytuje się w odwrotnym porządku na osi odciętych, której podziałki są proporcjonalne do jej wielkości odwrotnych; razem z tem ilość powietrza powiększa się w stosunku do rzędnych krzywej A_1 z prawa na lewo.

Przy nadaniu konkretnych wartości — w pierwszym przypadku h_2 , a w drugim h_1 , — na działkach odciętych będziemy odczytywali bezpośrednie wartości depresji h_1 w pierwszym wypadku i h_2 — w drugim; na osi zaś rzędnych w obydwóch wypadkach — ogólne ilości powietrza, wchodzące szybem wydobywczym. Jeżeli obok krzywych A_1 i A_2 wyrysujemy krzywą $A_2 \cdot X$ w pierwszym wypadku, oraz $A_1 X$ w drugim, wówczas wobec tego, że przy n_{min} $X = 0$, przy n_{max} zaś $X = 1$ krzywe te będą łączyły początkowy punkt rzędnej n_{min} z końcowym punktem krzywej A_2 w pierwszym przypadku i krzywej A_1 w drugim przypadku. Krzywe te podzielią obszar krzywych A_1 i A_2 na 2 części, na których odpowiednie odcinki rzędnych w tej samej podziałce (różnej jednak dla obydwóch przypadków) będą pokazywały w dolnej części ilości powietrza wychodzące przez szyb I, w górnej zaś — przez szyb II.

Przy projektowaniu przewietrzania zapomocą dwóch szybów należy wychodzić z założenia: $n = \frac{h_1}{h_2} = 1$; $h_1 = h_2$.

Wówczas: podług (104)

$$n = \frac{c + aX^2}{c + bY^2} = 1$$

$$aX^2 = bY^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a}{b}} \\ X + Y = 1 \end{array} \right\} \text{ co daje określone wielkości } X \text{ i } Y.$$

przy

Jeżeli te stosunki nie odpowiadają zapotrzebowaniu, potrzebne stosunki zostaną ustalone zapomocą regulacji bezpośredniej.

Jeżeli jednak niema wygodnych miejsc dla tam regulacyjnych, lub wogóle chcemy ich uniknąć, wówczas regulacja może być przeprowadzona pośrednio przez dobór depresyj na szybach.

Danemi są w takim razie stosunki X i Y ; na zasadzie zaś (104) określamy stosunek

$$n = \frac{c + aX^2}{c + bY^2} \quad (104)$$

przytem, jeżeli $X + Y = 1$, n zawsze wypadnie w granicach dopuszczalnych; porównanie z temi granicami wielkości n , określonej z (104), oraz oszacowanie rozpiętości różnic będzie wskaźnikiem mniejszej lub większej możliwości obrócenia się prądu w jednym z szybów od przyczyn nieprzewidzianych. Przy określonym n opory ogólne zostaną znalezione ze wzorów (103).

Przy danym stosunku n , oraz zadanych stosunkach X i Y , równanie (104) daje możność określić dowolną wielkość z trzech wielkości a , b , c , jeżeli 2 drugie pozostają stałe, i przeprowadzić w ten sposób regulację bezpośrednią. Rozwiązując (104) odnośnie niewiadomych a , b , c , otrzymamy

$$a = \left[(n - 1)c + nbY^2 \right] \frac{1}{X^2} \quad (109)$$

$$b = \left[aX^2 - (n - 1)c \right] \frac{1}{nY^2} \quad (110)$$

$$c = \frac{aX^2 - nbY^2}{n - 1} \quad (111)$$

§ 62. Przykład liczbowy.

Przypuśćmy, że mamy system, w którym:

opór szybu I —	$a = 24$	$h_1 = 28$
» » II —	$b = 17$	$h_2 = 20$
» » wydob.	$c = 13$	

Należy ułożyć wykresy charakterystyczne dla każdego szybu z osobna i wspólny dla całej kopalni.

1) Wykresy Szybu I.

Obliczenia układamy w poniższej tabelce:

z (101)		n_{min}						n_{max}
$n_I = \frac{h_1}{h_2}$		$\frac{c}{c+b} = 0,43$	0,6	0,8	1	1,5	2	$\frac{a+c}{c} = 2,87$
z (93)	$a_1 = \sqrt{\frac{a}{n_I b}} =$	1,81	1,535	1,33	1,188	0,97	0,84	0,7
« (94)	$b_1 = \sqrt{\frac{a}{(n_I - 1)c}} =$ dla $n_I > 1$				∞	1,92	1,355	1
« (95)	$tg\alpha = \sqrt{\frac{n_I b}{(1 - n_I) c}} =$ dla $n_I < 1$	1	1,40	2,285	∞			
z rys. 170:								
	$X_I =$	∞	3,68	1,825	1,188	0,563	0,285	0
	$Y_I =$	∞	4,68	2,825	2,188	1,563	1,285	1
z (99)	$\left\{ \begin{array}{l} X = \frac{1}{Y_I} = \\ Y = 1 - X = \end{array} \right.$	0	0,214	0,354	0,457	0,64	0,778	1
« (89)	$\left\{ \begin{array}{l} M_{1I} = a + cV^2_I = \\ M_{2II} = bX^2_I + cV^2_I = \end{array} \right.$	∞	308	128	86,4	55,8	45,5	37
		∞	515	160,8	86,4	37,2	22,8	13
	$A_{1I} = \frac{12}{\sqrt{M_{1I}}} =$	0	0,684	1,06	1,29	1,605	1,780	1,975
	$A_{2I} = \frac{12}{\sqrt{M_{2I}}} =$	0	0,529	0,946	1,29	1,970	2,512	3,33
	$A_{2I} \cdot Y_I =$	A_{2II}^{max} 2,19	2,48	2,67	2,82	3,08	3,23	3,33

Podług tych danych układamy wykres rys. 172.

Otwór równoznaczny szybu I może być wąski i średni od 0 do 1,975. Podziałka dla h_1 na osi odciętych przy $h_2 = 20$ — od 8,5 do 57,5 mm. Przy $h_1 = 28$ ($n_1 = \frac{28}{20} = 1,4$), $A_{1I} = 1,55$.

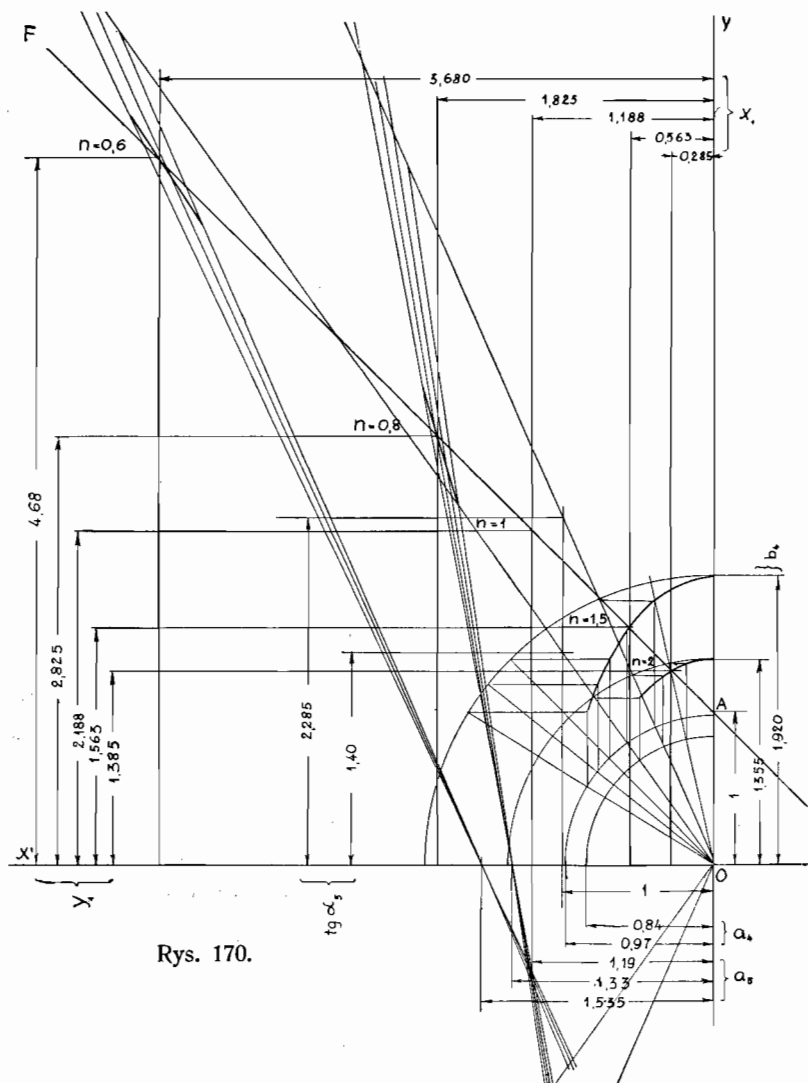
$$q_a = \frac{A_{1I} \sqrt{h_1}}{0,38} = \frac{1,55 \sqrt{28}}{0,38} = 21,6$$

Odpowiednie $A_{2I} = 1,85$.

Podziałka na osi rzędnych dla q znajduje się z przyrównania rzędnej A_{2I} ($= 1,85$) = **21,6 m³**.

Wówczas cała ilość powietrza w kopalni podług $A_{2I} Y_I$ — 36 m³, z których na szyb I przypada 21,6, na szyb II — 14,4. Zatem

$X = \frac{21,6}{36} = 0,6$, $Y = 0,4$. Jeżeli powiększymy depresję h_1 do 40, otrzymamy $q = 38$ i $q_a = 29,5$, $q_b = 8,5$; $X = 0,77$ i $Y = 0,23$.



Rys. 170.

2) Wykresy Szybu II.

Obliczenia układamy w poniższej tabelce (patrz str. 211).

Podług tych danych układamy wykres rys. 173.

Otwór równoznaczny szybu II może być wąskim, średnim i szerokim w granicach 0 — 3,33.

Podziałka dla h_2 na osi odciętych (przy $h_1 = 28$) od 9,8 do 65 m/m. Przy $h_2 = 20$ ($n_{II} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{20}{28} = 0,715$); $A_{2II} = 1,22$

$n_I = \frac{1}{n_{II}}$	2,87	2	1,5	1	0,8	0,6	0,43
$z \text{ (102)}$ $n_{II} = \frac{1}{n_I}$	n_{min} $\frac{c}{c+a}$ $=0,35$	0,5	0,67	1	1,25	1,67	$\frac{n_{max}}{c+b}$ $=2,32$
z (96) $a_1 = \sqrt{\frac{b}{n_{II}a}} =$	1,42	1,195	1,03	0,841	0,69	0,655	0,555
z (97) $b_1 = \sqrt{\frac{b}{(n_{II}-1)c}} =$				∞	2,29	1,395	1
z (98) $tg\alpha = \sqrt{\frac{n_{II}a}{(1-n_{II})c}} =$	1	1,36	1,91	∞			
z rys. 171:							
$X_{II} =$	∞	3,59	1,81	0,841	0,513	0,27	0
$Y_{II} =$	∞	4,59	2,81	1,841	1,513	1,27	1
z (91) $\begin{cases} M_{2II} = b + cY_{2II} = \\ M_{1II} = aX_{1II} + cY_{1II} = \end{cases}$	∞	291	121	61	48	38	30
	∞	584	181,5	61	38,1	22,76	13
$A_{2II} = \frac{12}{\sqrt{M_{2II}}} =$	0	0,704	1,09	1,536	1,73	1,95	2,19
$A_{1II} = \frac{12}{\sqrt{M_{1II}}} =$	0	0,497	0,89	1,536	1,95	2,52	3,32
$A_{1II} \cdot Y_{II} =$	A_{1I}^{max}	1,97	2,28	2,50	2,82	3,01	3,33

$$q_b = \frac{A_{2II}\sqrt{h_2}}{0,38} = \frac{1,22\sqrt{20}}{0,38} = 14,4$$

Odpowiednie $A_{1II} = 1,05$. Podziałka dla q na osi rzędnych otrzymuje się z przyrównania rzędnej $A_{1II} (= 1,05) = 14,4$. Cała ilość powietrza w kopalni podług krzywej $A_{1II}Y_{II} - 36$, z których na szyb II przypada 14,4, na szyb I — 21,6.

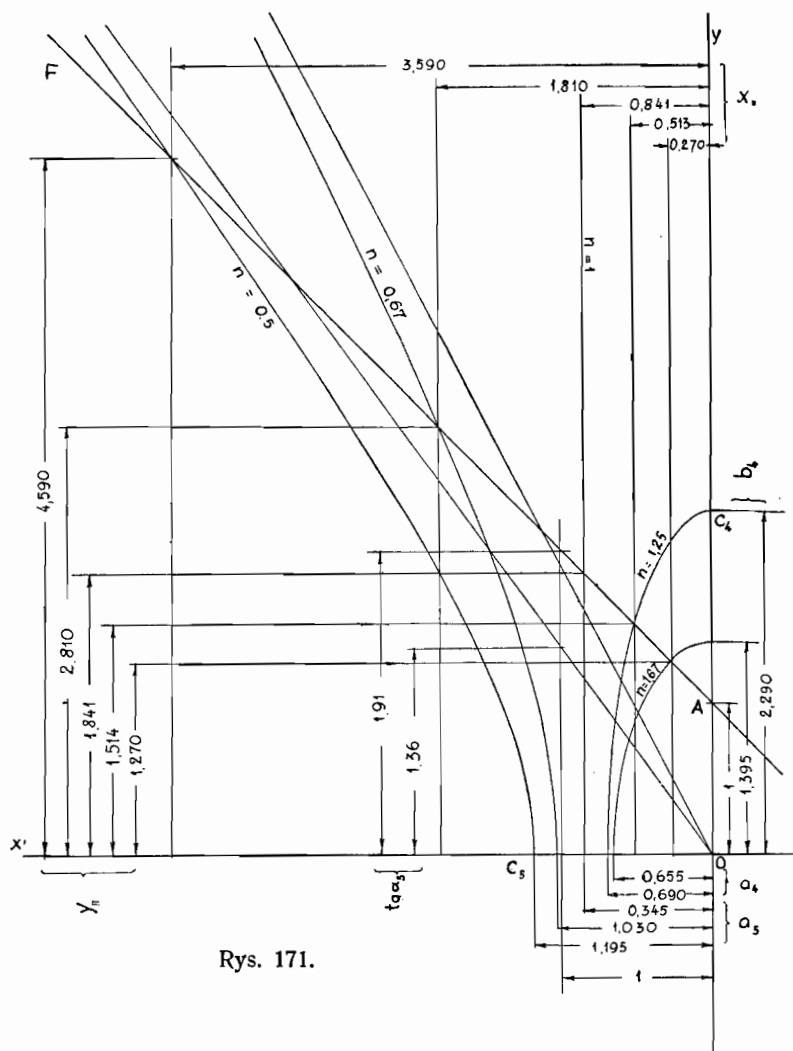
Ażeby otrzymać 38 m₃ przy $h_1 = 28$, t. j. tę samą ilość, którąśmy osiągnęli przy $h_2 = 20$ i $h_1 = 40$, należy zwiększyć h_2 do 26 mm.

3) Wykres ogólny:

Obliczenia zawarte są w poniższej tabelce (patrz str. 213).

Podług tych danych układamy wykres rys. 174 b.

W tym wykresie krzywa A_2 jest identyczna z krzywą $A_{2I}Y_I$ na wykresie rys. 172, krzywa zaś A_1X jest identyczna z krzywą na tymże wykresie. Stąd na wykresie szybu I otrzymujemy krzywą $A_{2I}Y_I$ otworu równoznacznego ogólnego podług depresji szybu II.



Rys. 171.

Na wykresie zaś ogólnym otrzymujemy krzywą A_1X , która jest krzywą otworu równoznacznego I szybu — podług depresji tegoż szybu.

Krzywa A_1 wykresu ogólnego jest odwrotną krzywą $A_{1II}Y_{II}$ na wykresie szybu II. Stąd na wykresie szybu II otrzymuje się krzywą otworu ogólnego podług depresji szybu I.

Otwór równoznaczny ogólny podług depresji szybu I waha się w granicach 3,33 — 1,97; zaś podług szybu II — w granicach 2,19—3,33. Kopalnia jest zatem niemal stale szeroka.

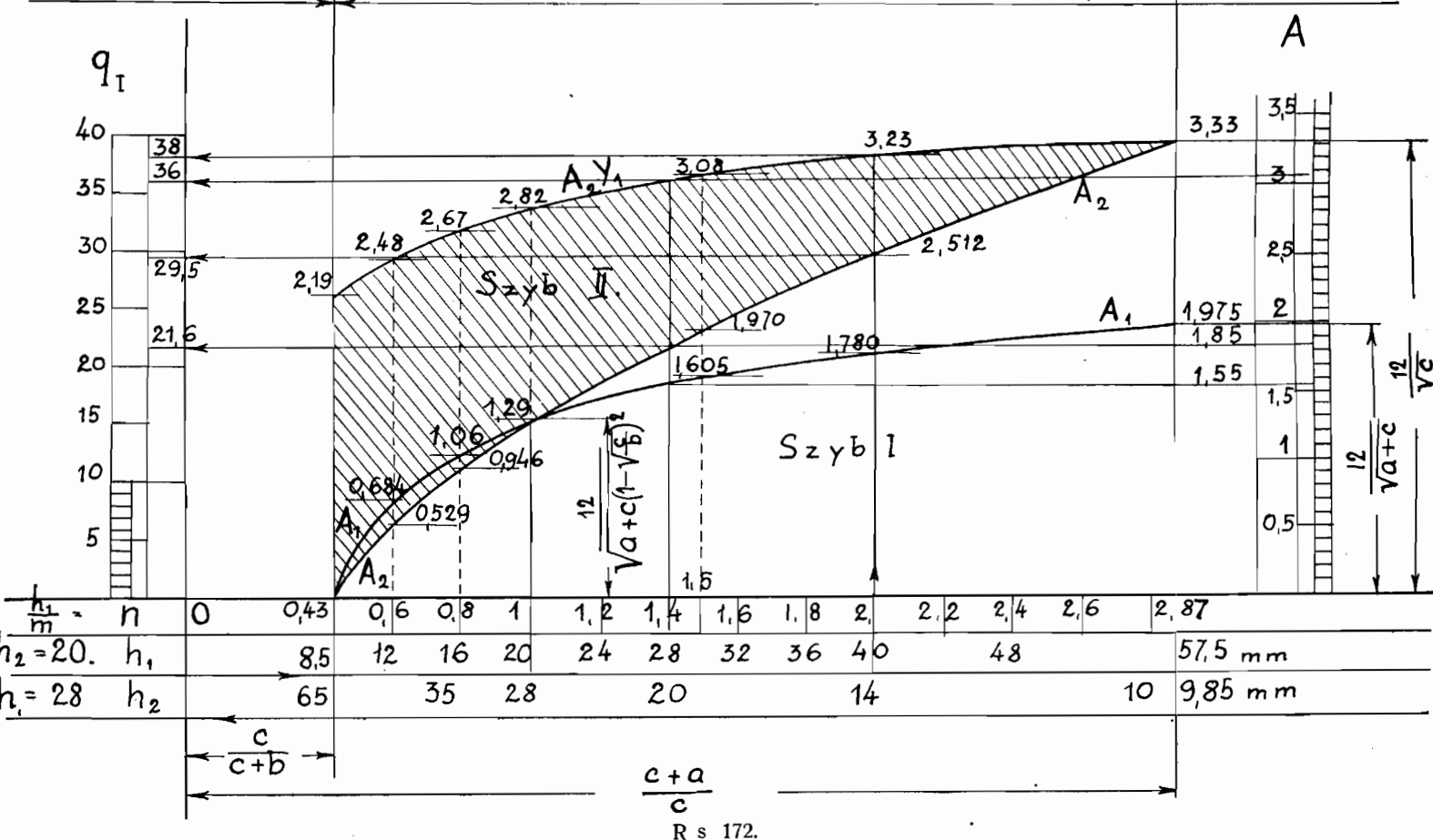
Ssanie szybem II.

Tłoczenie Sz. II.

Tłoczenie Szybem I

Ssanie szybem I.

A



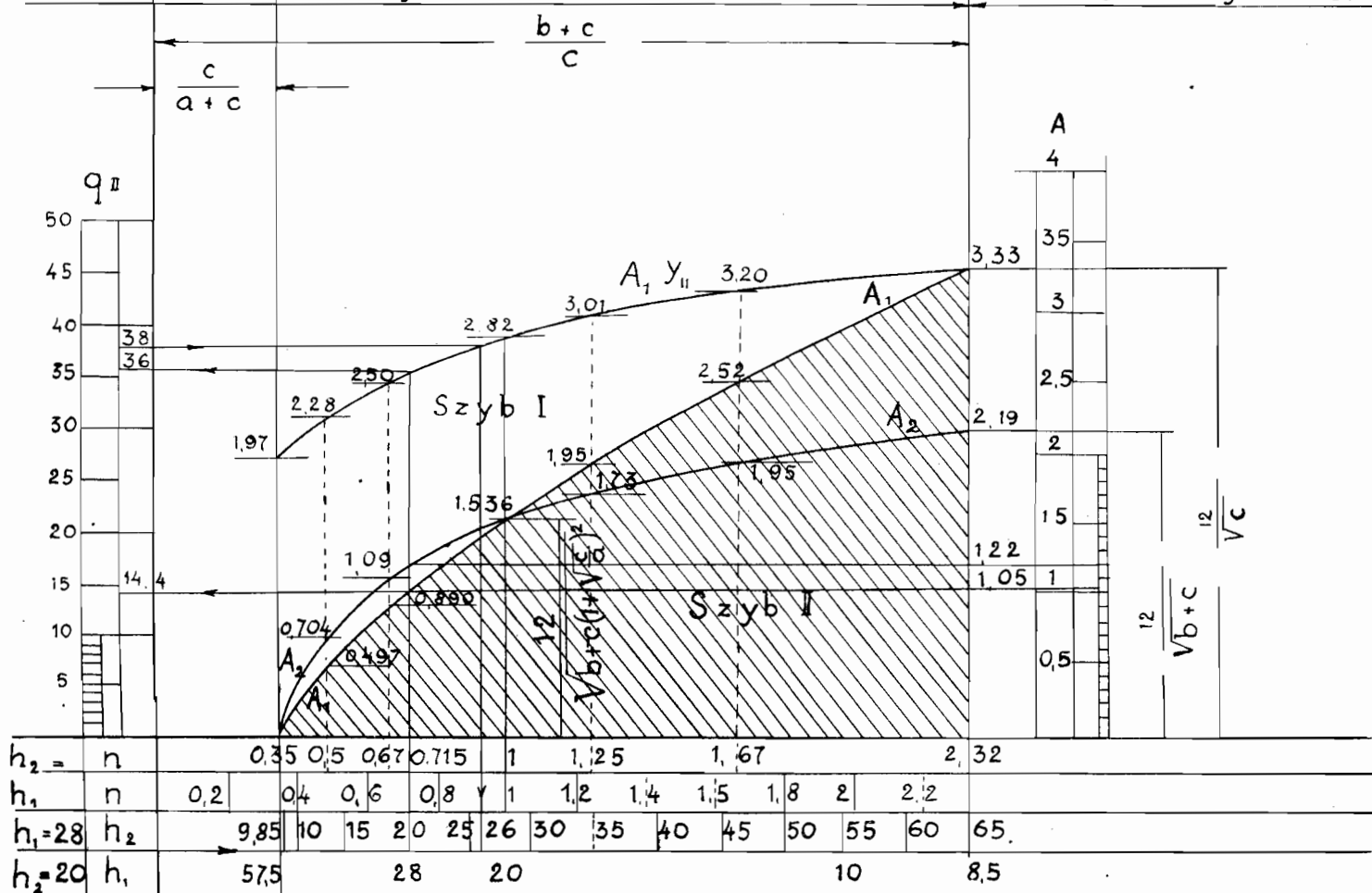
Tłoczenie szybem II

Ssanie szybem II.

Ssanie

szybem I.

Tłoczenie szybem I.

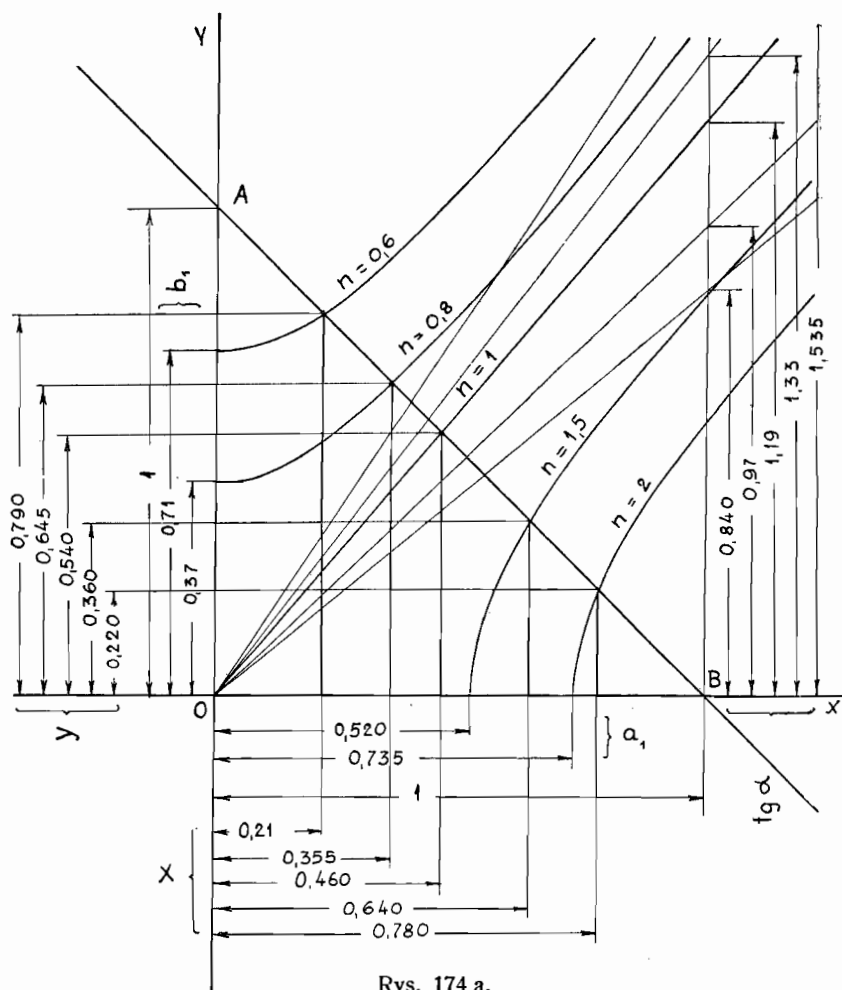


$n = n_1 = \frac{h_1}{h_2}$	$z(101)$ $\frac{n_{min}}{c+b} = 0,43$	0,6	0,8	1	1,5	2	$\frac{n_{max}}{c+a} = 2,87$
$z(106) \ a_1 = \sqrt{(n-1) \frac{c}{a}} =$ dla $n > 1$				0	0,520	0,735	1
$z(107) \ b_1 = \sqrt{\left(\frac{1-n}{n}\right) \frac{c}{b}} =$ dla $n < 1$	1	0,71	0,427	0			
$z(108) \ tg \alpha = \sqrt{\frac{a}{nb}} =$ z rys. 174 a:	1,81	1,535	1,33	1,19	0,97	0,84	0,702
$X =$	0	0,21	0,355	0,46	0,64	0,78	1 ¹⁾
$Y =$	1	0,79	0,645	0,54	0,36	0,22	0
$z(103) \ \begin{cases} M_1 = c + aX^2 = \\ M_2 = c + bY^2 = \end{cases}$	$\begin{cases} 13 \\ 30 \end{cases}$	$\begin{cases} 14,06 \\ 23,6 \end{cases}$	$\begin{cases} 16 \\ 20,1 \end{cases}$	$\begin{cases} 18 \\ 18 \end{cases}$	$\begin{cases} 22,8 \\ 15,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 27,8 \\ 13,8 \end{cases}$	$\begin{cases} 37 \\ 13 \end{cases}$
$A_1 = \frac{12}{\sqrt{M_1}} =$	3,33	3,2	3	2,83	2,52	2,28	1,97
$A_2 = \frac{12}{\sqrt{M_2}} =$	2,19	2,47	2,68	2,83	3,08	2,23	3,33
$A_1 \cdot X =$	0	0,694	1,063	1,30	1,61	1,78	1,97
$A_2 \cdot X =$	0	0,518	0,952	1,30	1,97	2,52	3,33

Dla depresji $h_1 = 28$ i $h_2 = 20$ podziałki na osi rzędnych są takie same jak na wykresach 172 i 173. Z lewej strony mamy podziałkę dla rzędnych krzywej A_2 — określającej ilości ogólne powietrza dla otworów A_1 podług depresji szybu I; z prawej zaś — dla rzędnych krzywej A_1 , określającej ilości ogólne dla otworów A_2 podług depresji szybu II. Widzimy, że przy $h_1 = 28$ i $h_2 = 20$, otwór równoznaczny $A_1 = 2,58$, zaś $A_2 = 3,03$. Ilości powietrza podług jednej i drugiej podziałki są te same — 36. Jeżeli depresja szybu I — $h_1 = 40$, przy $h_2 = 20$ znajdziemy, jak i przedtem, podług krzywej A_2 — $q = 38$. Krzywa $A_2 \cdot X$ dzieli odpowiednią rzędną na odcinki, których długości odpowiadają: $q_a = 29,5$ i $q_b = 8,5$.

Przypuśćmy, że przy $n = 1,4$ ($h_1 = 28$, $h_2 = 20$) istniejący podział powietrza nie odpowiada zapotrzebowaniu — i zamiast $X = 0,6$, $Y = 0,4$ należy ustalić $X = 0,75$, $Y = 0,25$ zapomocą re-

¹⁾ Porówn. ten wynik z wynikami tab. 1-go zadania.



Rys. 174 a.

gulacji bezpośredniej dodatniej; oczywiście należy powiększyć b , więc podług (110)

$$b = \left[aX^2 - (n-1)c \right] \frac{1}{nY^2} = \frac{(24 \cdot 0,75^2 - 0,4 \cdot 13)}{1,4 \cdot 0,25^2} = 104$$

Zatem opór tamy regulacyjnej wynosić powinien $104 - 17 = 87$ miurgów, przytem opór ogólny podniesie się do (podług 103):

$$M_1 = c + aX^2 = 13 + 24 \cdot 0,75^2 = 26,5$$

$$A_1 = \frac{12}{\sqrt{26,5}} = 2,33$$

ogólna ilość powietrza spadnie do:

$$q = \frac{2,33\sqrt{28}}{0,38} = 32,5$$

z tego $0,75 \cdot 32,5 = 24$ — przypada na szyb I i $8,5$ — na szyb II. Ponieważ depresja szybu II jest mniejsza od depresji szybu I, przeto możliwe jest osiągnięcie nowego ustosunkowania powietrza również przez dodatnią regulację w c (podług 111):

$$c = \frac{aX^2 - nbY^2}{n - 1} = 30$$

Przytem: $M_1 = c + aX^2 = 30 + 24 \cdot 0,75^2 = 43,5$

$$A_1 = \frac{12}{\sqrt{43,5}} = 1,82$$

$$q = \frac{1,82\sqrt{28}}{0,38} = 25,3$$

Sposób ten jest przeto bardzo niewygodny.

§ 63. Porównanie przewietrzania dwoma szybami z przewietrzaniem zapomocą jednego szybu. Celem porównania pracy 2 wentylatorów ssących z jednym tłoczącym na szybie wydobywczym należy nakreślić parabolę porównawczą.

Parabola absolutna porównawcza o parametrze

$$2p = \frac{q^2}{h} = \left(\frac{A_0}{0,38} \right)^2$$

wychodząc z początku układu przechodzić powinna przez punkt przecięcia się krzywych A_1 i A_2 , który, jak wiemy, odpowiada rzędnej A_0 (rys. 174b).

Z przebiegu tej krzywej widać, że w stosunku do absolutnej ilości powietrza, bez względu na podział powietrza, jeden wentylator tłoczący jest wygodniejszy, gdy chodzi o powiększenie ilości powietrza, oraz mniej wygodny, gdy chodzi o pomniejszenie, o ile przy dwóch szybach zmiany ogólne chcemy spowodować przez zmianę depresji na jednym szybie. Naturalnie, o ile depresje obydwóch szybów będą zmieniane w jednostajnych stosunkach (co przy projektowaniu i wyborze depresji zawsze możemy przyjmować), wówczas żadna różnica pomiędzy jednym a dwoma wentylatorami nie będzie zachodziła. Natomiast jeżeli tego uczynić nie jesteśmy w stanie (np. jeżeli na jednym z szybów jest tylko de-

presja naturalna lub wentylator ustawiony jest pod ziemią w bocznym prądzie, co może na jedno wychodzić), wówczas regulacja ogólnej ilości powietrza przy zmianach depresji na jednym z szybów ogranicza się stosunkami $n = \frac{c}{c+b}$ i $\frac{c+a}{c}$, podczas gdy przy jednym szybie tłoczącym w tym względzie niema żadnych ograniczeń, co jest bardziej wygodne.

Natomiast, jeżeli różne depresje dwóch szybów wentylacyjnych rozpatrujemy jako czynniki regulujące podział powietrza na pola każdego szybu, wówczas 2 wentylatory ssące na każdym szybie połowym stanowią sposób wygodniejszy. Jeżeli naprzykład przy 2 szybach wentylacyjnych, gdy $n = 1$, otwór równoznaczny jest A_0 , zwiększymy depresję szybu I tak, że $n > 1$, oraz podług krzywej A_1 znajdujemy $A_1 < A_0$, przy czem podług krzywej A_2 osiągamy $q_1 > q_0$ i jednocześnie $X_1 > X_0$, zaś $Y_1 < Y_0$, wówczas oczywiście jesteśmy w stanie osiągnąć taki sam podział powietrza przy tej samej ogólnej ilości powietrza jednym wentylatorem tłoczącym jedynie przy takiej samej jego depresji, jaką nadamy szybowi I. Istotnie, przeprowadzając najprzód regulację stosunkową, osiągamy opór kopalni przez powiększenie b :

$$M'_0 = c + aX_1^2 > M_0$$

przyczem nowy opór bocznic b znajdzie się z równania:

$$c + b' \cdot Y_1^2 = c + aX_1^2$$

skąd:
$$b' = a \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 > b.$$

Następnie musimy powiększyć depresję wentylatora tłoczącego do h'_0 tak aby

$$q_1 = \sqrt{\frac{h'_0}{M'_0 \cdot 1000}} = \sqrt{\frac{h'_1}{M_1 \cdot 1000}}$$

Ale ponieważ podług (103)

$$M_1 = c + aX_1^2 = M'_0$$

więc $h'_0 = h'_1$. W takim wypadku praca wentylatora tłoczącego jest:

$$N_0 = \frac{q_1 \cdot h'_1}{75}$$

podczas gdy wspólna praca 2 wentylatorów jest:

$$N' = \frac{(q_1 \cdot X_1) h'_1}{75} + \frac{q_1 \cdot Y_1 \cdot \frac{h'_1}{n}}{75} = \frac{q_1 h'_1}{75} \left(X_1 + \frac{Y_1}{n} \right)$$

ponieważ $X_1 + Y_1 = 1$ i $n > 1$, przeto $N' < N_0$.

Z tego wynika, że mając 2 szyby wentylacyjne, pod względem ekonomicznym jest wygodniej przeprowadzić regulację stosunkową zapomocą 2 wentylatorów ssących przez odpowiedni dobór depresyj, aniżeli zapomocą regulacji bezpośredniej (dodatniej) przy jednym wentylatorze tłoczącym.¹⁾

Niewygody dwóch szybów wentylacyjnych występują jednak wówczas, jeżeli, jak najczęściej bywa, nie dają one możliwości dowolnej regulacji ich depresyj, a depresja całkowita poszczególnych szybów ulega częstym zmianom drogą naturalną. Może to mieć miejsce przy nieznacznych wielkościach depresji wentylatorów, gdy udział depresji naturalnej stanowi dość znaczny stosunek; np. jeżeli $h_1 = 15$, $h_2 = 25$, w tem $h_n = 5$. Stosunek $n = \frac{15}{25} = 0,6$. Jeżeli h_n będzie wahało się w granicach 0—10, wówczas n ulega wahaniom od $n' = \frac{10}{20} = 0,5$ do $n'' = \frac{20}{30} = 0,67$ i to może spowodować odpowiednie wahania w rozdziale powietrza, wykluczone przy jednym wentylatorze tłoczącym. Jeżeli jeden z wentylatorów jest podziemny, to wahanie depresji naturalnej może, jak widzieliśmy, zależnie od różnych okoliczności wywołać wahania w wielkości otworu równoznacznego do 100%, co może być uważane jako równoznaczne z wahaniami w tych samych granicach pewnej ogólnej depresji na szybie, podczas gdy wentylator na powierzchni przy drugim szybie zachowuje swoją depresję w bardzo szczupłych granicach wahań. Rezultatem tego stosunek n może zmieniać się w bardzo obszernych granicach, zbliżając się do wartości krytycznych, przy których jeden z szybów może zacząć tłoczyć. W ten sposób kombinację podziemnego ssącego wentylatora na jednym z szybów i na powierzchni przy drugim należy uważać za najmniej udaną

¹⁾ Oczywiście, że regulacja bezpośrednia odjemna przy jednym wentylatorze jest jednak wygodniejsza.

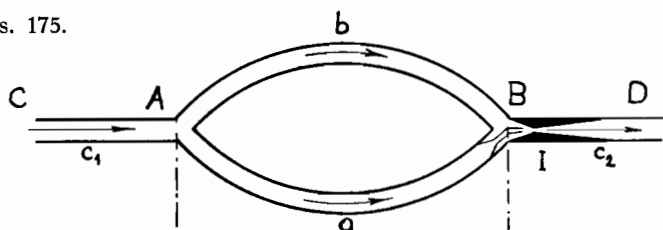
pod każdym względem. Najwłaściwsze zastosowanie dwu wentylatorów ssących jest a) przy stosunkowo znacznych depresjach obydwóch wentylatorów (w kopalniach wąskich); b) przy małej rozpiętości wahań depresji naturalnej i c) przy ustawieniu wentylatorów na powierzchni. W przeciwnych wypadkach, t. j. a) jeżeli depresja ogólna jest nieznaczna (w kopalniach szerokich), b) jeżeli depresja naturalna może ulegać znacznym wahaniom (w kopalniach zelektryzowanych), oraz c) jeżeli niema możliwości umieścić obydwu wentylatorów na powierzchni, — wówczas należy oddać pierwszeństwo jednemu wentylatorowi tłoczącemu przy szybie wydobywczym, który oczywiście najwłaściwiej zainstalować podług nowej metody, podanej w rozdziale XI.

ROZDZIAŁ XIII¹⁾.

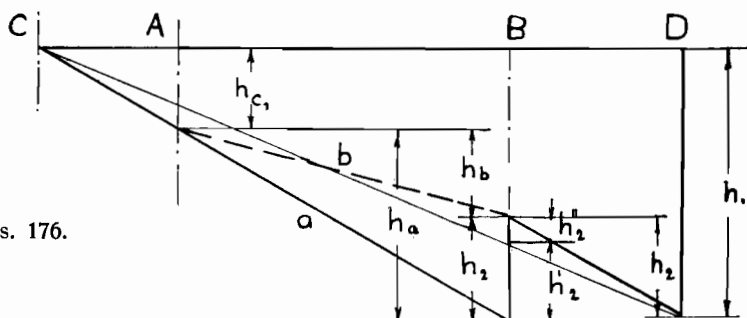
REGULACJA ODJEMNA ZAPOMOCĄ INŻEKTORÓW PETIT'A W SYSTEMACH NORMALNYCH PROSTYCH

§ 64. Teoria inżektorów. Regulacja zapomocą inżektora tem się różni od regulacji zapomocą wentylatora, że inżektor nigdy nie stwarza przed sobą kompresji, natomiast depresja, powstała w jego gardle, sięga przez bocznice *a* (rys. 175) od początku sy-

Rys. 175.



Rys. 176.



stemu wentylacyjnego. Oprócz tego, ponieważ depresja w gardle inżektora zależy od prądu, płynącego w bocznicy *b*, przeto nietylko

¹⁾ Niniejszy rozdział przekreśla wywody § 30 Rozdziału VI od wiersza 7 od góry str. 119 do wiersza 10 od dołu str. 120 i od str. 123 (przykład liczbowy) do końca §, jak również § 39 i 40 Rozdz. VII, oraz § 45 i 46 Rozdz. VIII.

nie może nastąpić obrócenie się prądu w tejże, lecz nawet niemożliwe jest zatrzymanie prądu, gdyż w takim przypadku znikłaby depresja dodatkowa w gardle inżektora.

Jakkolwiek zaznaczyliśmy, że inżektor nie stwarza przed sobą kompresji, to jednak wskutek oporu właściwego samego inżektora, umieszczonego w elemencie zewnętrznym końcowym, spadek ciśnienia w ostatnim powinien być większy, aniżeli w systemie pierwotnym bez inżektora. Stąd zjawisko rozkładu ciśnień zachodzi podobnie, jak w przypadku stworzenia depresji dodatkowej wentylatorem (rys. 176) przy zgodnych depresjach (porówn. rys. 90) z tą różnicą, że stosunek kompresji pozornej (h''_2) do depresji pozornej (h'_2) nie zależy od stosunków oporów elementów, pomiędzy którymi znajduje się gardło inżektora.

Wreszcie cechą wyróżniającą inżektory jest to, że stworzona przez nie depresja dodatkowa h_2 nie może istnieć bez depresji pierwotnej h_1 , wywołującej ruch powietrza w kopalni. Inżektor jest zatem przyrządem wyłącznie regulującym rozdział powietrza.

Ponieważ rozkład ciśnień jest analogiczny, jak w przypadku regulacji wentylatorem przy zgodnych kierunkach depresyj, oraz normalnym kierunku prądu w bocznicy b , przeto obowiązują równania (9) w postaci następującej:

$$M_1 = c' + b \cdot Y^2 \quad (81)$$

$$M_2 = a' X^2 - b \cdot Y^2 \quad (82)$$

gdzie $c' = c + \mu'$ (83)

$$a' = a + t \quad (84)$$

przyczem

μ' — jest oporem właściwym samego inżektora ¹⁾,

t — jest oporem rury ssącej w bocznicy a (rys. 177).

Oznaczmy przez:

S — duży przekrój inżektora w m^2 od strony wylotowej,

s — przekrój jego gardła w m^2 ,

$m = \frac{S}{s}$ — stopień zwężenia gardła.

Wówczas (zgodnie z § 30 str. 118) depresja stworzona w gardle

¹⁾ Ściślej część oporu μ' przypada na bocznice b . Żeby jednak nie wikać rozumowań, musimy przyjmować, iż opór cały μ' znajduje się w elemencie zewnętrznym.

inżektora (a więc działająca przez rurę ssącą t na bocznicy a) jest:

$$h_2 = \left(\frac{q_b}{S} \right)^2 (m^2 - 1) \frac{\delta}{2g} \quad (85)$$

gdzie q_b jest ilość powietrza, płynąca przez inżektor z bocznicy b i pod wpływem właśnie której powstaje depresja h_2 . Stąd:

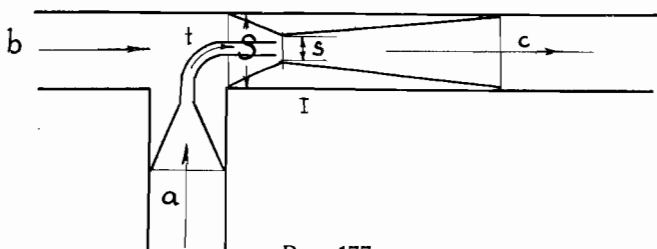
$$\frac{h_2}{(q_b)^2} 1000 = \mu = \frac{1000}{S^2} (m^2 - 1) \frac{\delta}{2g} \quad (86) \text{ (odp. dawn. 180)}$$

albo:

(przy $\delta = 1,226$)

$$\mu = 62,5 \left(\frac{m^2 - 1}{S^2} \right) \quad (87) \quad (\text{dawny } 182)$$

Skąd też
$$m = \sqrt{\mu \cdot \frac{S^2}{62,5}} + 1 \quad (88) \quad (\text{dawny } 186)$$



Rys. 177.

Wzory 86 i 87 bynajmniej nie oznaczają absolutnych wartości odjemnych oporów w bocznicy a (str. 119 wiersz 7—9), ponieważ depresja h_2 i ilość powietrza q_b panują w różnych bocznicach. Liczba μ wszakże może być traktowana przenośnie jako równoważnik depresji h_2 w miurgach danego inżektora.

Na podstawie (85) wzór (82) możemy przekształcić w sposób następujący:

$$a' X^2 - b \cdot Y^2 = a' \left(\frac{q_a}{q} \right)^2 - b \left(\frac{q_b}{q} \right)^2 = M_2$$

$$a' \cdot q_a^2 - b \cdot q_b^2 = M_2 \cdot q^2 = h_2 \cdot 1000 = 1000 \left(\frac{q_b}{S} \right)^2 (m^2 - 1) \frac{\delta}{2g}$$

Skąd:

$$a' \left(\frac{q_a}{q_b} \right)^2 - b = \frac{1000}{S^2} (m^2 - 1) \frac{\delta}{2g}$$

albo na zasadzie (86):

$$a' \left(\frac{X}{Y} \right)^2 - b = \mu \quad (89)$$

i wreszcie:
$$\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{\mu + b}{a'}} \quad (89 \text{ bis})$$

Dodając:
$$X + Y = 1 \quad (90)$$

możemy, rozwiązując zespół równań (89) i (90) pierwszego stopnia, dla każdego inżektora μ łatwo określić stosunki X , Y i odwrotnie.

Dla określenia oporu całkowitego systemu musimy znaleźć jeszcze opór właściwy dodatni μ' w elemencie zewnętrznym. Opór ten określamy podług wzoru (195) str. 122.

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^{2,7}}{256} \quad (91)$$

poczem:
$$M_1 = (c + \mu') + bY^2 \quad (92)$$

Ponieważ
$$M_1 = \frac{h_1}{q^2} \cdot 1000$$

oraz
$$\mu = \frac{h_2}{q_b^2} \cdot 1000 \quad (\text{podług } 86)$$

przeto:
$$\frac{\mu}{M_1} = \frac{h_2}{h_1} \left(\frac{q}{q_b} \right)^2 = n \left(\frac{1}{Y} \right)^2$$

skąd
$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\mu}{M_1} \cdot Y^2 \quad (93)$$

Wzór (93) daje możność określić depresję dodatkową, stworzoną przez dany inżektor (μ) w danym systemie (M_1).

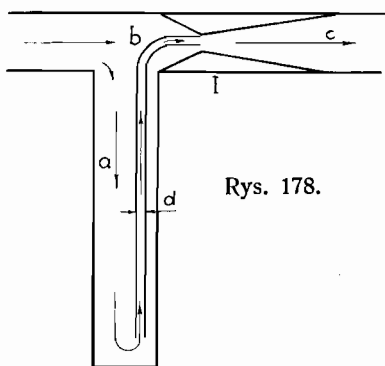
W ten sposób z (89) i (90) spostrzegamy, że rozdział powietrza zależy jedynie od oporów elementów sieci wewnętrznej i konstrukcji inżektora (μ); z (93) — stosunek depresji dodatkowej do pierwotnej w danym inżektorze i w danym systemie jest wielkością stałą; wszelka zmiana depresji pierwotnej wywołuje proporcjonalne zmiany depresji dodatkowej i bynajmniej nie wpływa na rozdział powietrza, a zatem również i opór całkowity kopalni jest wielkością stałą. Z (93) wypływa też, że zapomocą inżektora możliwa jest jedynie regulacja odjemna, nigdy zaś dodatnia.

Ze wzorów 89 i 90 jasne jest, że X i Y mogą się zmieniać jedynie w granicach 0—1, a zatem zjawisko obrócenia się prądów jest niemożliwe.

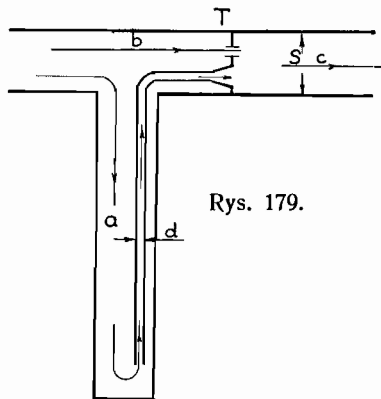
Jeżeli $a' = 0$, wówczas $\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{\mu + b}{a'}} = \infty$, $Y = 0$, $X = 1$,

$n = \frac{\mu}{M_1}$ $Y^2 = 0$, $h_2 = 0$, $M_1 = (c + \mu') + bY^2 = c + \mu'$. Prąd powietrza pod wpływem depresji pierwotnej płynie przez a do inżektora, do bocznic zaś b powietrze wcale nie wchodzi i nie wytwarza żadnej depresji h_2 .

Jeżeli $a' = \infty$, wówczas $\frac{X}{Y} = 0$, $Y = 1$, $X = 0$, $n = \frac{\mu}{M_1}$ $M_1 = (c + \mu') + b$. Bocznic a' jest wyeliminowana; prąd płynie pod wpływem depresji pierwotnej przez bocznice b , wytwarzając w inżektorze depresję h_2 , która wszakże żadnego znaczenia dla ruchu powietrza nie posiada, albowiem do gardła inżektora nie jest dołączona żadna bocznic.



Rys. 178.



Rys. 179.

Jeżeli $b = 0$, wówczas $\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{\mu}{a'}}$; $Y = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\mu}{a'}}}$; $X = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\mu}{a'}}}$

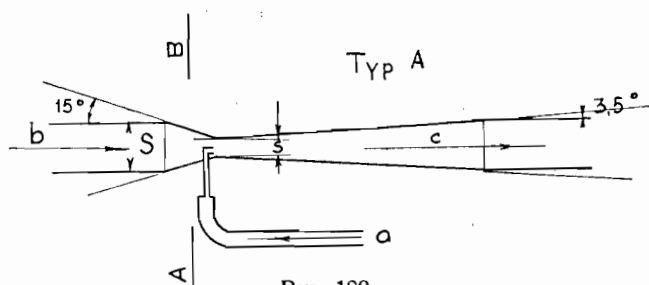
$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{\mu}{M_1} \left(\frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\mu}{a'}}} \right)^2; & h_2 &= h_1 n \\ M_1 &= (c + \mu') \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

Przypadek $b = 0$ odpowiada przewietrzaniu głuchych przodków podług szkicu rys. 178. Jest to zupełnie pewny sposób przewietrza-

nia głuchych przodków, gdyż w żadnym razie nie może nastąpić w lutni krążenie powrotne zużytej części powietrza, jak to może zachodzić przy wentylatorach.

Jeżeli $b = \infty$, wówczas $\frac{X}{Y} = \infty$, $Y = 0$, $X = 1$, $n = 0$, $h_2 = 0$. Opór ogólny zaś podług wzoru (92) przyjmuje postać nieokreśloną

$$M_1 = (c + \mu') + \infty \cdot 0.$$

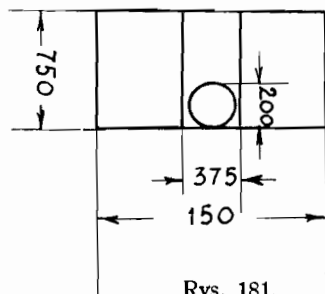


Rys. 180.

Należy przeto zastosować wzór (63), z którego otrzymamy:

$$M_1 = \frac{(c + \mu') + a'X^2}{n + 1} = (c + \mu') + a'$$

A B



Rys. 181.

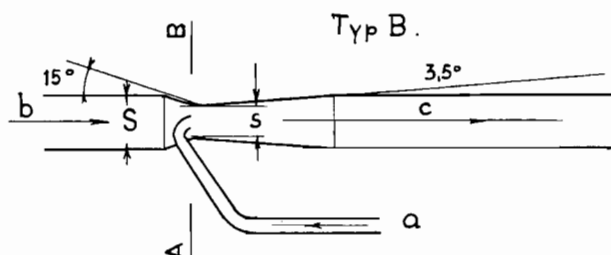
Prąd powietrza płynie więc pod wpływem depresji pierwotnej jedynie przez bocznice a , gdyż bocznic b jest całkowicie zamknięta, rura ssąca zaś t bocznicy a , mając wylot w gardle inżektora, nie wytwarza tu depresji, któraby mogła zwiększyć intensywność prądu.

Konstruując inżektor, należy pamiętać, że m przedstawia stosunek wolnego przekroju inżektora S od strony wlotowej do wolnego przekroju gardła s , przez które przechodzi strumień prądu b . Jeżeli zatem połączenie wyrobiska a z gardłem

inżektora dokonane jest zapomocą rury ssącej t (jak na rys. 177), wówczas dla określenia stosunku m należy brać odpowiednie przekroje, zmniejszone o przekrój tej rury. Rurę tę należy brać niezbyt

wąską, żeby nie stwarzać zbyt wielkiego oporu w bocznicy *a*. P. Petit¹⁾ w swoich doświadczeniach używał lutni o średnicy 200 *m/m* w gardle 750 × 375 przy $S = 1500 \times 750$, przytem, jak wskazuje rys. 180 i 181, lutnią była wprowadzona do inżektora przez boczną ściankę i nie zwężała przekroju wlotowego *S*. W ten sposób w jego inżektorach typu *A* stosunek $\frac{S}{s}$ był równy nie

$$\frac{1,50 \times 0,75}{0,75 \times 0,375} = 4, \text{ lecz: } m = \frac{1,50 \times 0,75}{0,75 \times 0,375 - \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4}} = 4,5$$



Rys. 182.

W inżektorach zaś typu *B* (rys. 182—183) przy stosunku całych przekrojów

$$\frac{S}{s} = \frac{1,50 \times 0,75}{0,75 \times 0,75} = 2$$

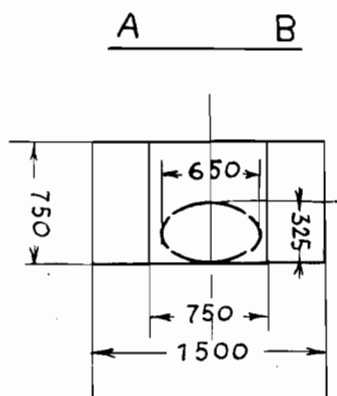
używał lutni eliptycznych 650 × 325. Właściwy więc stosunek przekrojów wolnych był:

$$m = \frac{1500 \times 750}{750 \times 750 - \frac{\pi}{4} (650 \times 325)} = 2,8$$

Stąd też wzór (91) lub (195) str. 122, § 30, powinien być skorygowany w sposób następujący:

przy $m = 4,5$:

$$\eta = \frac{\mu}{\mu'} = 6,093$$



Rys. 183.

¹⁾ «Études sur l'aérage des travaux préparatoires». — P. Petit. — 1900.

przy $m' = 2,8$

$$r'_i = \frac{\mu}{\mu'} = 40,17$$

$$\frac{r'_i}{r_i} = \left(\frac{40,17}{6,093} \right) = 6,6 = \left(\frac{4,5}{2,8} \right)^4 = \left(\frac{m}{m'} \right)^4$$

$$r'_i = r_i \left(\frac{m}{m'} \right)^4 = 6,093 \left(\frac{4,5}{2,8} \right)^4$$

$$r'_i = \frac{\mu}{\mu'} = \frac{2500}{(m')^4}$$

Skąd, odrzucając znak przy m :

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2500} \quad (95)$$

Nachylenie bocznych ścianek inżektora do jego osi w przyrządach Petit'a wynosiło ze strony wlotowej 15° , ze strony wylotowej — $3,5^\circ$. Dolna zaś ścianka jak też i górna były poziome. Oprócz tego inżektory, z którymi Petit wykonał precyzyjne doświadczenia, miały stały przekrój wlotowy S . Wskutek tego wzór (95), który został wyprowadzony na podstawie najprostszych wniosków, jakie mogą być wyciągnięte z wyników badań inżyniera Petit'a, wymaga jeszcze weryfikacji przez dalsze doświadczenia i może być jedynie wówczas zastosowany do obliczenia, gdy inżektory posiadają takie same pochylenia ścianek i przekrój S . Czy stosunek $\mu' : \mu$ zachowa tę samą postać (95) przy zmiennych przekrojach S , nie wiemy, gdyż w tym względzie również precyzyjnych badań Petit nie przeprowadzał. Możemy wszakże zgóry przypuszczać, że stosunek $\mu' : \mu$ będzie tem mniejszy, im większy jest przekrój wlotowy inżektora S .

O wpływie przekroju S na wielkość oporu właściwego inżektora μ możemy sądzić z doświadczenia, jakie wykonał P. Petit w kopalni «S-Louis» przy pogłębieniu pod żapiem szybu «de Flanches», gdzie zastosował on inżektor w dyspozycji i podług szkicu rys. 184—185, który posiadał przekrój wlotowy $1,6 \times 1,8 = 2,88$ i przekrój gardła $0,85 \times 1,05 = 0,89$. Rura ssąca t miała średnicę $0,75$ m. W ten sposób światło przekroju wlotowego w tym inżektorze wynosiło:

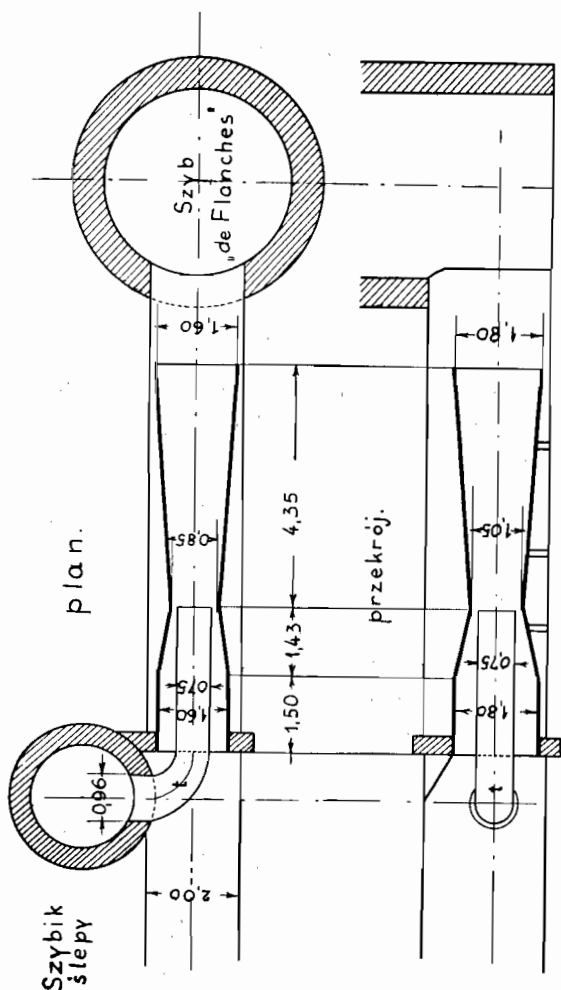
$$S = 2,88 - \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} = 2,88 - 0,44 = 2,44$$

gardła zaś:

$$s = 0,89 - \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} = 0,89 - 0,44 = 0,45.$$

Zatem stopień zwężenia wynosił:

$$m = \frac{2,44}{0,45} = 5,4$$



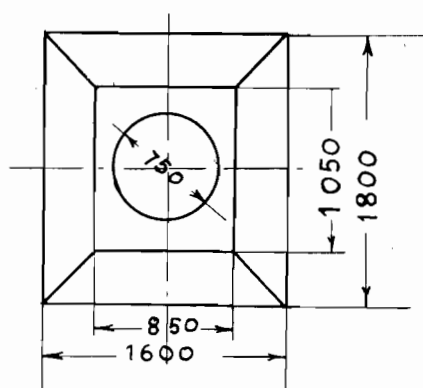
Rys. 184.

Pochylenie 15° od strony wlotowej i $3,5$ od strony wylotowej posiadały wszystkie 4 ścianki inżektora.

Bezpośrednio P. Petit nie daje w swoim dziele wielkości oporów μ i μ' , lecz z danych jego doświadczeń wielkości te mogą być łatwo wprowadzone i porównane ze stosunkiem (95).

Rys. 186 przedstawia dyspozycję wyrobisk, wziętą z dzieła Petit'a, która w postaci schematu przez nas używanego ma wygląd, wskazany na

rys. 187. Z tego rysunku widzimy, że system przedstawiał normalne połączenie dwu bocznic d i c I-szej klasy, z których jedna (d) ulega rozdzieleniu na bocznicę II-giej klasy (a i b). Prąd ślepego szybu, przewietrzanego inżektorem, stanowi bocznicę II-giej klasy a , przyczem inżektor ustawiony był przy punkcie węzłowym B w elemencie d , wchodzącym w skład bocznic pierwszej klasy i szeregowo złączonym z systemem normalnym bocznic II-giej klasy — a i b .



Rys. 185.

1) W systemie naturalnym:

$$q_a = 3,684 \text{ m}^3$$

$$q_b = \underline{10,824}$$

$$q_d = q_a + q_b = 14,508$$

$$\underline{q_c} = \underline{9,527}$$

$$q = q_a + q_b + q_c = 24,035$$

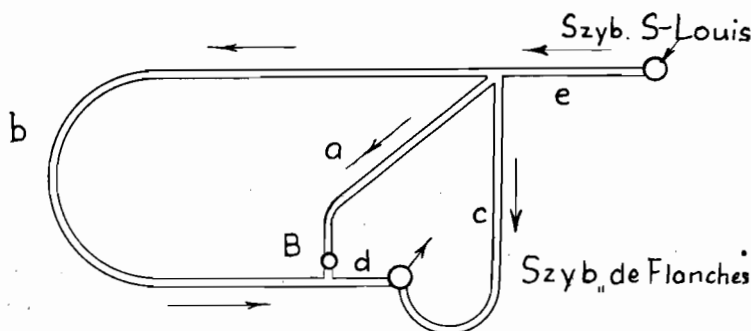
$$\frac{q_a}{q_d} = x = \frac{3,684}{14,508} = 0,255$$

$$\frac{q_b}{q_d} = y = \frac{10,824}{14,508} = 0,746$$

$$\frac{q_d}{q} = X = \frac{14,508}{24,035} = 0,605$$

$$\frac{q_c}{q} = Y = \frac{9,527}{24,035} = 0,395$$

$$H = 40 \text{ m/m}; M = \frac{H \cdot 1000}{q^2} = \frac{40 \cdot 1000}{24,035^2} = 69,5$$



Rys. 186.

2) Przy regulacji odjemnej:

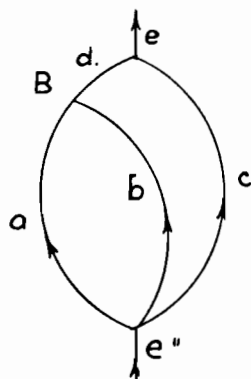
$q_{ai} =$	4,989	$x_i =$	0,368
$q_{bi} =$	8,563	$y_i =$	0,632
$q_{di} =$	13,552	$X_i =$	0,600
$q_{ci} =$	9,034	$Y_i =$	0,400
$q_i =$	22,586		

$$H_i = 40 \text{ m/m}; M = \frac{40 \cdot 1000}{22,586^2} = 78,5$$

3) Przy regulacji dodatniej:

$q_{ar} =$	5,034	$x_r =$	0,365
$q_{br} =$	8,788	$y_r =$	0,635
$q_{dr} =$	13,822	$X_r =$	0,705
$q_{cr} =$	5,814	$Y_r =$	0,295
$q_r =$	19,636		

$$H_r = 44 \text{ m/m}; M_r = \frac{44 \cdot 1000}{19,636^2} = 114$$



Rys. 187.

Z danych dotyczących systemu naturalnego, oraz zmienionego regulacją dodatnią jesteśmy w stanie określić opory poszczególnych bocznic tylko wówczas, jeżeli wielkość jednego z nich jest znana. Istotnie, dla systemu naturalnego możemy ułożyć następujące równania:

$$1) e + c \cdot Y^2 = M$$

$$2) \frac{a}{b} = \left(\frac{y}{x} \right)^2$$

$$3) \frac{d + aX^2}{c} = \left(\frac{Y}{X} \right)^2$$

Dla systemu uregulowanego, oznaczając opory tam regulacyjnych w bocznicach b i c przez μ_b i μ_c :

$$4) e + (c + \mu_c) Y_r^2 = M_r$$

$$5) \frac{a}{b + \mu_b} = \left(\frac{Y_r}{X_r} \right)^2$$

$$6) \frac{d + aX_r^2}{c + \mu_c} = \left(\frac{Y_r}{X_r} \right)^2$$

Mamy więc 6 równań, zawierających 7 niewiadomych: $a, b, c, d, e, \mu_b, \mu_c$. W postaci ogólnej zatem zadanie nie jest rozwiązywalne. Jednakże w danym przypadku, jak widać z rys. 184 i szkiców 186 i 187 dyspozycji wyrobisk, element d jest nader mały, i może być opuszczony nawet gdyby bocznicą c łączyła się z szybem «de Flanches» powyżej poziomu d (czego nie wiemy), gdyż szyb «de Flanches», posiadając obudowę okrągłą murowaną, powinien mieć bardzo nieznaczny opór właściwy. Przy takim przypuszczeniu

powyższe równania po podstawieniu wartości liczbowych wielkości M , x , y , X , Y i t. d. przyjmują wygląd:

$$1) e + 0,156 \cdot c = 69,5$$

$$2) \frac{a}{b} = 8,5$$

$$3) \frac{a}{c} = 6,58$$

$$4) e + 0,087 (c + \mu c) = 114$$

$$5) \frac{a}{b + \mu b} = 3,02$$

$$6) \frac{a}{c + \mu c} = 1,32$$

Rozwiązując równania otrzymamy:

$$a = 1092 \qquad e = 41$$

$$b = 128,5 \qquad \mu b = 234$$

$$c = 166 \qquad \mu c = 6621$$

Równoważnik w miurgach inżektora, podług (87)

$$\mu = 62,5 \left(\frac{m^2 - 1}{S^2} \right) = 62,5 \left(\frac{5,4^2 - 1}{2,44^2} \right) = 296$$

opór lutni t może wynosić ~ 20 miurgów.

Zatem podług (89) rozdział powietrza w bocznicach a i b powinien być:

$$\frac{x_i}{y_i} = \sqrt{\frac{\mu + b}{a'}} = \sqrt{\frac{296 + 128,5}{1092 + 20}} = 0,625$$

Stąd, ponieważ

$$x_i + y_i = 1$$

$$x_i = 0,385; \qquad y_i = 0,615$$

W rzeczywistości było:

$$x_i = 0,368; \qquad y_i = 0,632$$

t. j. teoretycznie ilość powietrza w bocznicy a powinna byłaby się zwiększyć w stosunku $\frac{0,385}{0,255} = 1,52$, t. j. o 52%, w rzeczywistości zaś osiągnięte zostało zwiększenie $\frac{0,368}{0,255} = 1,46$, t. j. o 46%. Błąd zatem wynosi $\frac{1,52}{1,46} = 1,04$, czyli + 4%, co z praktycznego punktu widzenia musi być uznane jako bardzo zadowalające.

Opór właściwy inżektora μ' możemy określić z równania:

$$(by^2r + \mu') X^2r + e = M_r$$

$$(128,5 \cdot 0,632^2 + \mu') 0,6^2 + 41 = 78,5.$$

skąd

$$\mu' = 51,5$$

Gdybyśmy przyjęli obliczoną wyżej teoretyczną wartość $y_i = 0,615$, wówczas otrzymalibyśmy:

$$\mu' = 53.$$

Obliczona w ten sposób wartość μ' wzbudza wątpliwość, gdyż wątpliwymi są wyniki pomiarów Petit'a przy regulacji odjemnej w porównaniu z wynikami pomiarów w systemie naturalnym. Istotnie, w obydwu przypadkach opór ogólny systemu ma postać:

$$M = e + c \cdot Y^2.$$

O ile przy inżektorze $y_i = 0,400$, t. j. niemal takie same, jak w systemie naturalnym, gdzie mamy $Y = 0,395$, opór ogólny przy inżektorze nie powinien wielce się różnić od oporu systemu naturalnego:

$$M = 41 + 166 \cdot 0,395^2 = 67$$

$$M_i = 41 + 166 \cdot 0,4^2 = 67,5$$

W rzeczywistości zaś mamy

$$M = 68,5; \quad M_i = 78,5$$

Niezgodność tę powinniśmy wytłumaczyć trudnością przeprowadzenia ścisłych badań w kopalni, znajdującej się w ruchu.

Gdybyśmy więc przyjęli dla M_i wartość teoretyczną 67,5, co jest, jak przypuszczać należy, bliższe prawdy ze względu na niemal jednakowe wyniki teoretyczne i eksperymentalne, oraz dla $y_i = 0,615$, wówczas obliczylibyśmy:

$$\mu' = 42$$

Gdybyśmy za słuszny przyjęli opór ogólny $M_i = 78,5$, za błędny zaś podział powietrza, określilibyśmy z równania:

$$e + c \cdot Y_i^2 = M_i$$

$$41 + 166 \cdot Y_i^2 = 78,5$$

$$Y_i = 0,475.$$

oraz

$$X_i = 0,525.$$

Wówczas, przyjmując dla $Y_i = 0,615$, otrzymalibyśmy z równania:

$$(b \cdot y_i^2 + \mu') X_i^2 + e = M_i$$

$$(128,5 \cdot 0,615^2 + \mu') 0,525^2 + 41 = 78,5$$

$$\mu' = 87$$

W ten sposób właściwa wartość μ' znajduje się w granicach 43—87; możemy przyjąć przeciętną z trzech znalezionych wartości 43, 52 i 87

$$\mu' = 60$$

Obliczając opór μ' podług wzoru (95), otrzymamy:

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2500} = \frac{296 \cdot 5,4^4}{2500} = 100$$

co jest większe od otrzymanego z doświadczenia $\frac{100}{60} = 1,67$ razy. Z drugiej strony stosunek światła przekroju S danego inżektora — 2,44 jest

zgórą 2 razy większy od przekroju $S = 1,125$, dla którego ważny jest wzór (95). Zatem można byłoby wnosić, że μ' jest mniej, niż odwrotnie proporcjonalne do przekroju poprzecznego szerokiego otworu wlotowego inżektora. Naturalnie na zasadzie jednego doświadczenia, wykonanego w kopalni w czasie jej ruchu, niemożliwym jest wyprowadzić ściśle prawo wiążące μ' z μ . Będziemy jednak prawdopodobnie bliżej do prawdy, jeżeli w obliczeniach, nie posiadając żadnych innych danych, będziemy przyjmowali opór μ' odwrotnie proporcjonalnym do przekroju S . W tym przypuszczeniu obliczylibyśmy $\mu' = 50$, co jest niemal równe pierwszej wielkości, jakąśmy otrzymali z doświadczenia, przyjmując $Mi = 78,5$.

W ten sposób na podstawie danych Petit'a przyjmujemy, że opór właściwy inżektora jest odwrotnie proporcjonalny do jego wolnego przekroju wlotowego.

W takim przypuszczeniu wzór (95) musi być skorygowany w sposób następujący:

$$\begin{aligned}\mu' &= \frac{\mu \cdot m^4}{2500} \cdot \frac{1,125}{S} \\ \mu' &= \frac{\mu \cdot m^4}{2350 \cdot S}\end{aligned}\quad (96)$$

Z równania (89 bis)

$$\frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a'}{\mu + b}}$$

przyjmując $a' = a$, możemy wnioskować, że rozdział powietrza przy regulacji odjemnej zapomocą inżektora jest taki, jaki zachodzi przy regulacji dodatniej, jeżeli oporem dodatkowym dodatnim jest właśnie równoważnik w miurgach danego inżektora.

Wielkość oporu dodatkowego odjemnego przy regulacji inżektorem może być określona z proporcji:

$$\frac{a'}{\mu + b} = \frac{a' - X}{b}$$

skąd:

$$X = \frac{a' b}{1 + \mu} \quad (97)$$

Opór odjemny możemy najprzód określić z warunków zadania na zasadzie:

$$\sqrt{\frac{a' - X}{b}} = \frac{Y_1}{X_1} \quad (98)$$

Skąd:

$$X = a' - \left(\frac{Y_1}{X_1}\right)^2 b$$

poczem z (97) znajdujemy równoważnik w miurkach inżektora w zależności od oporu odjemnego:

$$\mu = \frac{a'b}{a' - X} - b \quad (99)$$

Określać jednak opór odjemny niema nawet potrzeby, gdyż wstawiając (98) do (99) otrzymujemy odrazu równanie (89)

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1}\right)^2 - b$$

§ 65. Porównanie regulacji odjemnej zapomocą inżektora z regulacją dodatnią zapomocą tamy regulacyjnej. Porównując opory ogólne:

- 1) Przy systemie pierwotnym podług (28)

$$M_1 = c + bY^2$$

- 2) Przy regulacji dodatniej tamą regulacyjną, której opór — μ_r :

$$M'_1 = c + (b + \mu_r) Y_1^2$$

- 3) Oraz przy regulacji odjemnej inżektorem podług (92):

$$M''_1 = (c + \mu') + bY_1^2$$

spostrzegamy, że zawsze mamy

$$M'_1 > M_1$$

t. j. regulacja dodatnia zwiększa opór ogólny, gdyż:

$$bY^2 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}}\right)^2} < (b + \mu_r) Y_1^2 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b + \mu_r}}\right)^2}$$

podczas gdy przy regulacji odjemnej w warunkach idealnych, t. j. gdy konstrukcja inżektora odpowiada kształtowi

teoretycznemu strumienia, wobec czego $\mu' = 0$, opór ogólny zmniejsza się, gdyż

$$bY_1^2 < bY^2$$

więc powinniśmy mieć zawsze

$$M''_1 < M_1$$

Ponieważ jednak inżektor posiada opór właściwy μ' , przeto zmniejszenie oporu ogólnego może tylko wówczas mieć miejsce, jeżeli

$$\mu' < bY^2 - bY_1^2 \quad (100)$$

Opór ogólny zatem przy regulacji odjemnej inżektorem może być większy od oporu pierwotnego, równy mu lub mniejszy.

W porównaniu z oporem przy regulacji dodatniej inżektor stwarza opór ogólny mniejszy, jeżeli:

$$\begin{aligned} \mu' &< (b + \mu_r) Y_1^2 - bY_1^2 \\ \mu' &< \mu_r \cdot Y_1^2 \end{aligned} \quad (101)$$

ponieważ $\mu_r < \mu$, co widać ze wzoru (89), gdyż $a < a'$, przeto również

$$\mu' < \mu \cdot Y_1^2 \quad (102)$$

Oczywiście jednak ostatnia nierówność nie jest warunkiem tego, żeby opór ogólny przy inżektorze był mniejszy, niż przy tamie regulacyjnej, gdyż możliwy jest przypadek

$$\mu_r Y_1^2 < \mu' < \mu Y_1^2$$

Jeżeli jednak $a' - a = t$ jest bardzo nieznaczną wielkością w porównaniu z a , wówczas nierówność (102) będzie prawie zawsze odpowiadała warunkom mniejszego oporu przy inżektorze.

Wstawiając do (102) zamiast μ' jego wyraz z (96), otrzymamy

$$\frac{\mu \cdot m^4}{2350 \cdot S} < \mu Y_1^2$$

Skąd

$$m^2 < 48,5 \sqrt{S} \cdot Y_1$$

Ponieważ zaś podług (88)

$$m = \sqrt[3]{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1}$$

przeto

$$\mu \cdot \frac{S^2}{62,5} + 1 < 48,5 \sqrt{S} \cdot Y_1$$

Skąd

$$\mu < (3031 \cdot Y_1 \sqrt{S} - 62,5) \frac{1}{S^2} \quad (103)$$

W przypadku $S = 1,125$ (inżektorów Petit'a)

$$\mu < 2540 \cdot Y_1 - 49 \quad (104)$$

W ten sposób, określając z (89) dla zadanych stosunków X i Y opór μ , sprawdzamy następnie nierówność (103) ewent. (104) dla danego S i jeżeli okaże się, że jest ona zachowana, to możemy przypuszczać z wielkim stopniem prawdopodobieństwa, że zastosowanie regulacji odjemnej będzie dogodniejsze, w przeciwnym razie regulacja dodatnia jest bezwarunkowo stosowniejsza.

Ze wzoru (89)

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b$$

spostrzegamy, że w danym systemie (a, b) opór μ jest tem mniejszy, im większy jest stosunek Y_1 . Z drugiej strony ze wzoru (103) spostrzegamy, że w tychże warunkach nierówność, określająca możliwość zastosowania inżektora, może być łatwiej zachowana, gdyż lewa jej strona zmniejsza się, prawa zaś — zwiększa się. Stąd możemy zrobić wniosek, że inżektory mogą mieć raczej zastosowanie, gdy przy znacznych wartościach Y chodzi o takie powiększenie stosunku X , że po uregulowaniu stosunek Y_1 zachowuje jeszcze wartość dość znaczną, tamy zaś regulacyjne — w warunkach przeciwnych. Zatem bardzo wygodnem powinno być przewietrzanie inżektorem głuchych przodków, pędzonych z takich wyrobisk, przez które przepływa cała ilość powietrza albo bardzo wielka jej część (np. pogłębianie szybu).

Oprócz tego ze wzoru (89) spostrzegamy, że μ jest tem większe, im większe jest a , oraz im mniejsze jest b , czyli im większy

jest stosunek $\frac{a}{b}$. Oczywiście warunki te odpowiadają dogodniejszemu zastosowaniu regulacji dodatniej. Największym stosunek ten jest wówczas, gdy $b = 0$, t. j. gdy chodzi o przewietrzanie głuchych przodków. Stąd możemy wnosić, że jeżeli w prądzie głównym płynie niedostateczna ilość powietrza dla przewietrzania głuchych przodków, raczej tamy regulacyjne znajdą lepsze zastosowanie (rys. 179). Wybór wszakże ostatecznie będzie zależał od zachowania nierówności (103) ze znacznym marginesem różnicy, zwłaszcza jeżeli $b \neq 0$.

Wzór (103) wskazuje jednak, że przy jednakowych warunkach pozostałych nierówność tem więcej się przechyli na korzyść inżektora, im mniejszy jest przekrój chodnika S , wówczas bowiem prawa strona nierówności powiększa się. Zatem możemy wnosić, że w wyrobiskach wąskich raczej wygodniejszym jest stosowanie regulacji odjemnej, aniżeli dodatniej. Ponieważ jednak przy przewietrzaniu głuchego przodka, w miarę wydłużania się wyrobiska stosunek $\frac{a}{b}$ rośnie, zatem przy każdym S istnieć powinna pewna długość graniczna, poza którą inżektor nie może być zastosowany, czyli przewietrzanie długich, głuchych przodków (jeżeli nie uciekamy się do wentylatorów) wygodniej jest wogóle dokonywać przez regulację dodatnią. Uwaga ta zapewne nie dotyczy pogłębiania szybów, których opór (a) jest zawsze bardzo mały.

Wreszcie, jeżeli nierówność (103) jest zachowana, wówczas ze stosunków oporów ogólnych odjemnie i dodatnio uregulowanych systemów:

$$\frac{M''_1}{M_1} = \frac{(c + \mu') + bY_1^2}{c + (b + \mu_r)Y_1^2} < 1$$

spostrzegamy, że korzyść inżektora będzie tem znaczniejsza, im mniejszy jest opór elementów zewnętrznych c .

§ 66. Przykłady liczbowe regulacji odjemnej zapomocą inżektora.

1) Rozwiążmy zadanie, podane na str. 123, § 30, rozdz. VI.

$$\begin{aligned} a &= 360 & \rightarrow & a_0 = 0,63 \\ b &= 40 & \rightarrow & b_0 = 1,90 \\ (a, b) &= 22,5 & \leftarrow & (a_0, b_0) = 2,53 \\ c &= 120 \\ M_0 &= c + (a, b) = 142,5 & \rightarrow & A_0 = 1,02 \\ H &= 32 \text{ m/m.} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{A \sqrt{H}}{0,38} = \frac{1,02 \sqrt{32}}{0,38} = 15 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$q_a = \frac{15 \cdot 0,63}{2,53} = 3,7$$

$$q_b = \frac{15 \cdot 1,9}{2,53} = 11,3$$

$$q_a + q_b = 3,7 + 11,3 = 15 = Q.$$

$$\frac{q_a}{Q} = X = \frac{3,7}{15} = 0,247$$

$$\frac{q_b}{Q} = Y = \frac{11,3}{15} = 0,753$$

Należy zapomocą inżektora ustalić stosunki

$$X_1 = 0,67; Y_1 = 0,33.$$

Z (89) znajdujemy, przyjmując $t = 260$

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = (360 + 260) \left(\frac{0,67}{0,33} \right)^2 - 40 = 2400$$

przyjmując $S = 1,125$, sprawdzamy nierówność (104)

$$\mu < 2540 Y_1 - 49 = 2540 \cdot 0,33 - 49 = 790$$

Zatem bezsprzecznie w danym przypadku należy zastosować regulację dodatnią.

Zauważmy, że opór rury ssącej $t = 260$ jest przyjęty za wielki. Jeżeli będziemy używali rury o średnicy 800, to opór 1 metra takiej rury = 4.¹⁾ Celem złączenia chodnika a z gardłem inżektora najzupełniej wystarczyć może 5 metrów takiej rury. Zatem t może być oszacowane na 20 miurgów. Wówczas:

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = (360 + 20) \left(\frac{0,67}{0,33} \right)^2 - 40 = 1480$$

¹⁾

$$1000 \cdot \frac{\alpha P \cdot l}{S^3} = 1000 \cdot 0,000202 \cdot \frac{64}{\pi^2 \cdot (0,8)^5} = 4$$

co również jest więcej, aniżeli wypada z nierówności (104). Przeto regulacja odjemna wogóle dla danego zadania musi być wykluczona.

Rozwiążmy jednak zadanie dla danych poprzednich; podług (88) znajdujemy stopień zwężenia gardła:

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1} = \sqrt{2400 \cdot \frac{1,125^2}{62,5} + 1} = 7,04$$

Opór właściwy inżektora podług (95)

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2500} = \frac{2400 \cdot 7,04^4}{2500} = 2350.$$

Zatem opór ogólny podług (92):

$$M_1 = (c + \mu') + bY_1^2 = (120 + 2350) + 40 \cdot 0,33^2 = \mathbf{2474}$$

Podczas, gdy przy regulacji dodatniej:

$$\mu_r = a \left(\frac{X}{Y} \right)^2 - b = 360 \cdot 2^2 - 40 = 1400$$

$$M'_1 = c + (b + \mu_r) Y_1^2 = 120 + (1400 + 40) 0,33^2 = \mathbf{177^1)}$$

2) Przypuśćmy, że w tym samym systemie należy ustalić stosunki:

$$X_1 = 0,60; \quad Y_1 = 0,40$$

z (89) znajdujemy:

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = (360 + 20) \left(\frac{0,60}{0,40} \right)^2 - 40 = 810$$

z (104):

$$\mu < 2540 \cdot Y_1 - 49 = 970.$$

Ponieważ różnica między 810 i 970 jest stosunkowo niewielka, przeto twierdzić z całą pewnością, że inżektor jest wygodniejszy nie można i należy przekonać się przez obrachunek bezpośredni.

Z (88) określamy

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1} = \sqrt{810 \cdot \frac{1,125^2}{62,5} + 1} = 4,17$$

z (95):

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2500} = \frac{810 \cdot 4,17^4}{2500} = 98$$

¹⁾ Porównaj błędne rozwiązanie tego zadania w § 30.

z (92):

$$M_1 = (c + \mu) + bY_1^2 = (120 + 98) + 40 \cdot 0,40^2 = 224$$

Przy tamie regulacyjnej z (89)

$$\mu_r = a \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = 360 \left(\frac{0,6}{0,4} \right)^2 - 40 = 770$$

z (28):

$$M'_1 = c + (b + \mu_r) Y_1^2 = 120 + (40 + 770) 0,4^2 = 250.$$

Wygodniej jest zatem postawić inżektor, chociaż praktycznie różnica jest niewielka. Ogólna ilość powietrza przy inżektorze:

$$q = \sqrt{\frac{32 \cdot 1000}{224}} = 11,95 \text{ m}^3$$

przy tamie regulacyjnej

$$q' = \sqrt{\frac{32 \cdot 1000}{250}} = 11,3 \text{ m}^3$$

Osiągamy więc przy inżektorze o 5% więcej powietrza w całym systemie, aniżeli przy tamie regulacyjnej. Opór ogólny jest jednak większy, niż w systemie pierwotnym, stosownie do tego powietrza zmniejszyło się z 15 do 12 m³, wszakże na bocznicy *a* przypada 0,6.12 = 7,2 m³ zamiast 3,7 m³ w systemie wolnym.

3) Przypuśćmy, że stosunki, które należy ustalić, są:

$$X_1 = 0,40; \quad Y_1 = 0,60.$$

Z (89) znajdujemy:

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = (360 + 20) \left(\frac{0,40}{0,60} \right)^2 - 40 = 130$$

z (104):

$$\mu < 2540 Y_1 - 49 = 1475$$

Zastosowanie inżektora jest teraz bezsprzecznie wygodniejsze.

Z (88) określamy:

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1} = \sqrt{130 \frac{1,125^2}{62,5} + 1} = 1,91$$

z (95):

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2500} = \frac{130 \cdot 1,91^4}{2500} = 0,7$$

z (92):

$$M_1 = (c + \mu') + bY_1^2 = (120 + 0,7) + 40 \cdot 0,6^2 = 135$$

Przy tamie regulacyjnej z (89):

$$\mu_r = a \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = 360 \left(\frac{0,40}{0,60} \right)^2 - 40 = 122$$

z (28):

$$M'_1 = c + (b + \mu_r) Y_1^2 = 120 + (40 + 122) 0,60^2 = 178$$

$$q = \sqrt{\frac{32 \cdot 1000}{135}} = 15,4 \text{ m}^3; \quad q' = \sqrt{\frac{32 \cdot 1000}{178}} = 13,4$$

Ogólny opór nie tylko jest mniejszy od oporu ogólnego przy tamie regulacyjnej, lecz nawet mniejszy, niż w systemie pierwotnym. Ogólna ilość powietrza przy iniektorze jest o 15% większa, niż przy tamie regulacyjnej i o 2% większa, niż w systemie wolnym.

4) Przypuśćmy, że w ostatnim przykładzie wyrobisko obrane dla iniektora posiada przekrój $S = 2 \times 3 = 6 \text{ m}^2$, stosownie do czego iniektor powinien posiadać taką właśnie wielkość otworu wlotowego. Wówczas po określeniu jak przedtem $\mu = 130$, sprawdzamy podług nierówności (103).

$$\mu < (3031 \cdot Y_1 \sqrt{S} - 62,5) \frac{1}{S^2} = (3031 \cdot 0,6 \sqrt{6} - 62,5) \frac{1}{6^2} = 122$$

W takim przypadku regulacja dodatnia staje się znowu wygodniejsza. Istotnie:

z (88):

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1} = \sqrt{130 \frac{6^2}{62,5} + 1} = 8,8$$

z (96):

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2350 \cdot S} = \frac{130 \cdot 8,8^4}{2350 \cdot 6} = 55$$

z (92):

$$M_1 = (c + \mu') + bY_1^2 = (120 + 55) + 40 \cdot 0,6^2 = 199$$

Podczas gdy przy tamie regulacyjnej okoliczność ta niema żadnego wpływu i opór ogólny pozostaje bez zmiany $M'_1 = 178$.

5) Przypuśćmy, że przy $S = 6$ należy ustalić stosunki

$$X_1 = 0,33; \quad Y_1 = 0,67.$$

Z (89) znajdujemy:

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = (360 + 20) \left(\frac{0,33}{0,67} \right)^2 - 40 = 55$$

z (103):

$$\mu < (3031 \cdot Y_1 \sqrt{S} - 62,5) \frac{1}{S^2} = (3031 \cdot 0,67 \sqrt{6} - 62,5) \frac{1}{6^2} = 136$$

Znowu więc inżektor jest wygodniejszy.

Z (88):

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1} = \sqrt{55 \frac{6^2}{62,5} + 1} = 5,7$$

z (96):

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2350 \cdot S} = \frac{55 \cdot 5,7^4}{2350 \cdot 6} = 4,1$$

z (92):

$$M_1 = (c + \mu') + bY_1^2 = (120 + 4,1) + 40 \cdot 0,6^2 = 142$$

podczas gdy przy tamie regulacyjnej

z (89):

$$\mu_r = a \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b = 360 \left(\frac{0,33}{0,67} \right)^2 - 40 = 50$$

z (28):

$$M'_1 = c + (b'_1 + \mu_r) Y_1^2 = 120 + (40 + 50) 0,67^2 = 160$$

6) Różnica na korzyść inżektora będzie tem znaczniejsza, im mniejszy jest opór elementów zewnętrznych. Istotnie, w przykładzie 3 mieliśmy opory:

$$M_1 = 135 \quad M_0 = 142,5 \quad M'_1 = 178$$

odpowiednio otwory równoznaczne:

$$A_1 = 1,04 \quad A_0 = 1,01 \quad A'_1 = 0,9$$

Lecz gdyby opór elementów zewnętrznych wynosił zamiast 120 miurgów tylko 10, wówczas odpowiednie opory miałyby wartość:

$$M_1 = 25 \quad M_0 = 32,5 \quad M'_1 = 68$$

otwory równoznaczne zaś:

$$A_1 = 2,4 \quad A_0 = 2,1 \quad A'_1 = 1,45$$

O ile więc przy $c = 120$ stosunek $\frac{A_1}{A'_1} = \frac{1,04}{0,9} = 1,16$, czyli — przy

tej samej depresji pierwotnej ogólna ilość powietrza przy zastosowaniu inżektora jest o 16% większa, niż przy regulacji zapomocą tamy z okienkiem, to przy zmniejszeniu oporu c do 10 miurgów tenże stosunek wynosi $\frac{A_1}{A_1'} = \frac{2,4}{1,45} = 1,65$, t. j. przy inżektorze powietrza płynie o 65% więcej, niż przy tamie regulacyjnej. W porównaniu zaś z systemem pierwotnym mamy przy $c = 120$ — $\frac{A_1}{A_0} = \frac{1,04}{1,01} = 1,03$, t. j. o 3% więcej, lecz przy $c = 10$ — $\frac{A_1}{A_0} = \frac{2,4}{2,10} = 1,14$, t. j. o 14% więcej.

7) Określmy dla wszystkich wyżej przytoczonych 6 przykładów liczbowych wielkości depresyj dodatkowych podł. wzoru (93):

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\mu}{M_1} \cdot Y_1^2$$

$$1) \quad n = \frac{2400}{2474} \cdot 0,33^2 = 0,106; \quad h_2 = 32 \cdot 0,106 = 3,4 \text{ m/m.}$$

$$2) \quad n = \frac{810}{224} \cdot 0,40^2 = 0,58; \quad h_2 = 32 \cdot 0,58 = 18,5 \quad \gg$$

$$3) \quad n = \frac{130}{135} \cdot 0,60^2 = 0,35; \quad h_2 = 32 \cdot 0,35 = 11,2 \quad \gg$$

$$4) \quad n = \frac{130}{199} \cdot 0,60^2 = 0,235; \quad h_2 = 32 \cdot 0,235 = 7,5 \quad \gg$$

$$5) \quad n = \frac{55}{151} \cdot 0,67^2 = 0,162; \quad h_2 = 32 \cdot 0,162 = 5,25 \quad \gg$$

$$6) \quad n = \frac{130}{25} \cdot 0,60^2 = 1,87; \quad h_2 = 32 \cdot 1,87 = 60 \quad \gg$$

8) Określmy elementy konstrukcyjne inżektora dla przykładu 5-go przy $S = 6$, przyjmując średnicę rury ssącej $d = 0,800 \text{ m}$ (rys. 188). Cały przekrój inżektora jest

$$S' = S + \frac{\pi d^2}{4} = 6 + \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = \sim 6,5 = 3,1 \times 2,1$$

Wolny przekrój gardła:

$$s = \frac{S}{m} = \frac{6}{5,7} = 1,05$$

Jest to równanie prostej, przecinającej oś rzędnych w odległości a' od początku układu, a pochylonej do osi odciętych pod kątem $\arctg 2$. Wielkości y' , x' , a' są logarytmami liczb y , x , a (rys. 189).

Wykres I (Tabl. I) przedstawia szereg prostych (c), przecinających oś rzędnych w różnych odległościach od początku, równych logarytmom liczb, oznaczonych w górze wykresu od 1 do 100.000 przy każdej ukośnej prostej. Są to liczby a równania (a). Podziałka na osi odciętych jest 2 razy większa od podziałki na osi rzędnych, wskutek czego $\arctg 2$ odpowiada pochyleniu prostych (c) pod kątem 45° . Na osi rzędnych w odpowiednich punktach oznaczone są zamiast logarytmów ich liczby w granicach 1—10.000. Są to liczby y równania (a). Również na osi odciętych zamiast logarytmów oznaczone są ich liczby, lecz w granicach 0,1—10. Odpowiadają one liczbom x równania (a).

Z wykresu tego możemy obliczyć równoważnik inżektora μ w miurgach na zasadzie równania (89)

$$\mu = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - b$$

Skąd

$$(\mu + b) = a' \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2$$

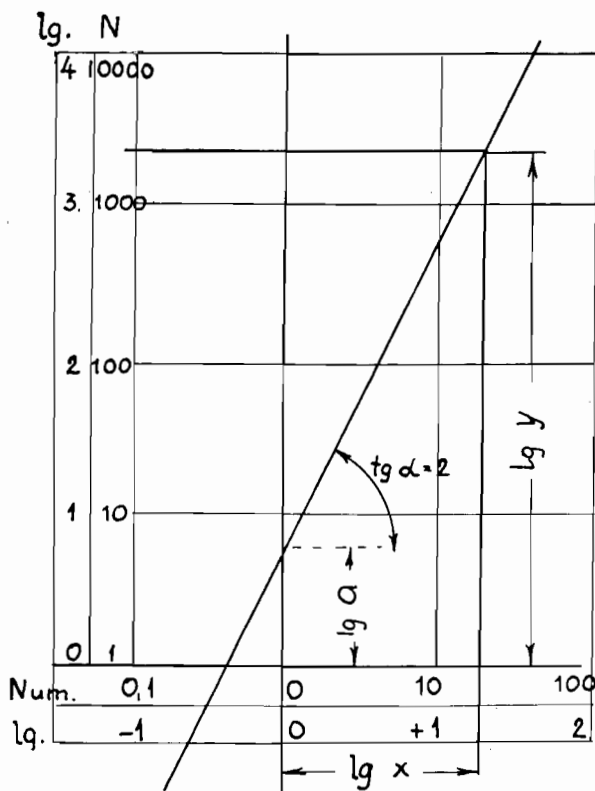
Jeżeli zadany jest stosunek $\left(\frac{X_1}{Y_1} \right)$, szukamy na osi odciętych odpowiedni mu punkt, prowadzimy od niego rzędną do przecięcia się z tą prostą ukośną, przy której w górze wykresu znajduje się liczba, odpowiadająca oporowi a' ; następnie, prowadząc od tego punktu odcietą do osi rzędnych, odczytamy na niej liczbę, która jest $(\mu + b)$. Odejmując od tej liczby b , otrzymamy szukany równoważnik inżektora w miurgach — μ .

Np. stosunkowi $\frac{Y_1}{X_1} = 3$ przy $a' = 100$ odpowiada $\mu + b = 920$ jako rzędna punktu ukośnej prostej, oznaczonej liczbą 100, którego odcietą jest 3. Jeżeli $b = 100$, wówczas $\mu = 920 - 100 = 820$.

Dla przykładu 3 poprzedniego §, przy $X_1 = 0,4$; $Y_1 = 0,6$, $\frac{X_1}{Y_1} = 0,67$, $a = 380$ i $b = 40$, podług prostej ukośnej, zawartej między oznaczonymi liczbą 300 i 400 w odległości od ostatniej $\sim 0,1$ ich wzajemnej odległości, znajdujemy dla odcietej $\frac{X_1}{Y_1} = 0,67$ odpowiednią rzędną $(\mu + b) = 170$, skąd $\mu = 170 - 40 = 130$.

Wykres oczywiście również łatwo daje możliwość rozwiązania zadania odwrotnego.

Jeżeli w systemie $a = 3000$, $b = 100$ ustawiony jest inżektor, którego $\mu = 1900$, wówczas na prostej ukośnej 3000 odszukamy punkt, którego rzędna



Rys. 189.

równa się $(\mu + b) = 1900 + 100 = 2000$. Wówczas na osi odciętych odczytamy $\frac{X}{Y} = 0,82$. Ponieważ $X + Y = 1$, łatwo znajdziemy $X = 0,45$, $Y = 0,55$.

Zupełnie tak samo z tegoż wykresu możemy znaleźć opór dodatkowy tamy regulacyjnej na zasadzie:

$$(b + \mu_r) = a \left(\frac{X_1}{Y_1} \right)^2$$

Dla tego samego przykładu przy $a = 360$ linia ukośna leży między prostą 300 i 400 w odległości od 1-szej $\sim 0,75$ ich wzajemnej odległości; i podług tej samej odciętej 0,67 znajdujemy rzędna 160. Skąd $\mu_r = 160 - 40 = 120$.

Gdy znany jest równoważnik w miurgach μ , stopień zwężenia gardła m określa się podług wzoru (88):

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1}$$

Obliczenie to może być również wykonane drogą graficzną: Podnosząc do kwadratu, otrzymamy:

$$m^2 = \mu \frac{S^2}{62,5} + 1$$

i oznaczając $y = m^2$; $x = \mu$; $\frac{S^2}{62,5} = a$

nadamy wzorowi (88) postać prostej (rys. 190):

$$y = ax + 1 \quad (d)$$

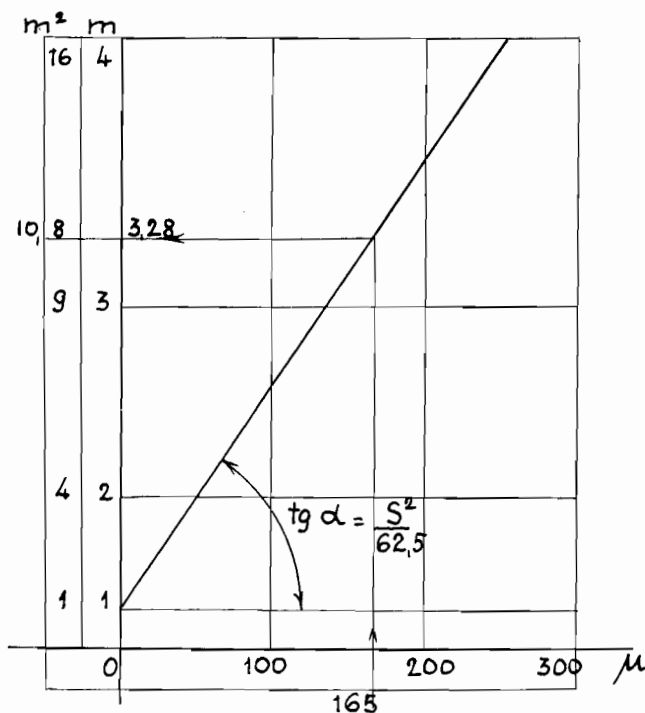
która przecina oś rzędnych w odległości + 1 od początku układu, i jest pochylona do osi odciętych pod kątem $\text{arc tg } \frac{S^2}{62,5}$, uzależnionym od wielkości przekroju otworu wlotowego inżektora S . Odciętymi tej prostej są liczby μ (równoważnik w miurgach), rzędnymi zaś — kwadraty stopnia zwężenia gardła — m^2 .

Wykres II (Tabl. II) przedstawia pęk prostych, przecinających oś rzędnych w odległości + 1 od początku układu, pochyłonych do osi odciętych pod różnymi kątami. Przy każdej prostej pęku z góry i z prawa wykresu oznaczone są wielkości odpowiedniego przekroju S w m. kw. w granicach 1—8. Przy odpowiednich punktach na osi rzędnych oznaczone są liczby m zamiast ich kwadratów, w granicach od 1—9. Wreszcie na osi odciętych oznaczone są miurgi w granicach od 1 do 2500 — jako wielkości równoważników inżektorów.

Żeby znaleźć stopień zwężenia gardła inżektora, którego równoważnik w miurgach został poprzednio określony z wykresu I, szukamy jego wartość na osi odciętych i z odpowiedniego punktu prowadzimy rzędną do przecięcia się z ukośną prostą, odpowiadającą danemu przekrojowi S . Potem podług odciętej przeprowadzonej z tego punktu odczytamy na osi rzędnych bezpośrednio szukany stopień zwężenia m . Podziałka na osi odciętych i osi rzędnych jest tak dobrana, żeby proste ukośne miały wygodne pochylenie, pokrywając cały wykres.

Jeżeli np. dane jest $\mu = 1900$ oraz $S = 1,25$, wówczas z punktu 1900 na osi odciętych prowadzimy prostą do góry do przecięcia się z ukośną prostą, oznaczoną liczbą 1,25, i z punktu przecięcia się — prostą w lewo do przecięcia się z osią rzędnych, na której odczytamy $m = 6,95$.

W zadaniu 3 poprzedniego § dla $\mu = 130$ przy $S = 1,125$ znajdujemy na prostej, idącej mniej więcej pośrodku między prostymi 1,10 i 1,15 punkt po dług odciętej 130, oraz odpowiednią rzędną — $m = 1,9$. W przykładzie 4 dla $S = 6$ znajdujemy na prostej oznaczonej 6 punkt, odpowiadający tej samej odciętej $\mu = 130$, którego rzędna jest $m = 8,8$.



Rys. 190.

Naturalnie, również łatwo z tego wykresu może być rozwiązane zadanie odwrotne: podług zadanego stopnia zwiężenia m i S (t. j. dla danego inżektora) znaleźć jego równoważnik w miurgach.

W celu określenia oporu właściwego inżektora μ' potem, gdy z poprzednich wykresów zostały znalezione μ i m , korzystamy ze wzoru (96)

$$\mu' = \frac{\mu \cdot m^4}{2350 \cdot S}$$

Logarytmując obydwie strony tego równania, otrzymamy:

$$\lg \mu' = (\lg \mu - \lg 2350) + \lg \left(\frac{m^4}{S} \right) \quad (e)$$

oraz:

$$\lg \left(\frac{m^4}{S} \right) = 4 \lg m - \lg S \quad (f)$$

Oznaczając w równaniu (f):

$$\lg \left(\frac{m^4}{S} \right) = x; \lg m = y; \lg S = a$$

otrzymamy:

$$x = 4y - a \quad (g)$$

równanie prostej, przecinającej oś odciętych w odległości — a od początku, a pochylonej do osi rzędnych pod kątem $\text{arc tg } 4$ (rys. 191).

Podług tej prostej dla danej wielkości m na osi rzędnych możemy znaleźć na osi odciętych odpowiednią wielkość $\lg \frac{m^4}{S}$. Następnie nietrudno już znaleźć μ' z równania (e), które przy oznaczeniach

$$\begin{aligned} \lg \mu' &= y; \lg \left(\frac{m^4}{S} \right) = x \\ \lg \mu - \lg 2350 &= b \end{aligned}$$

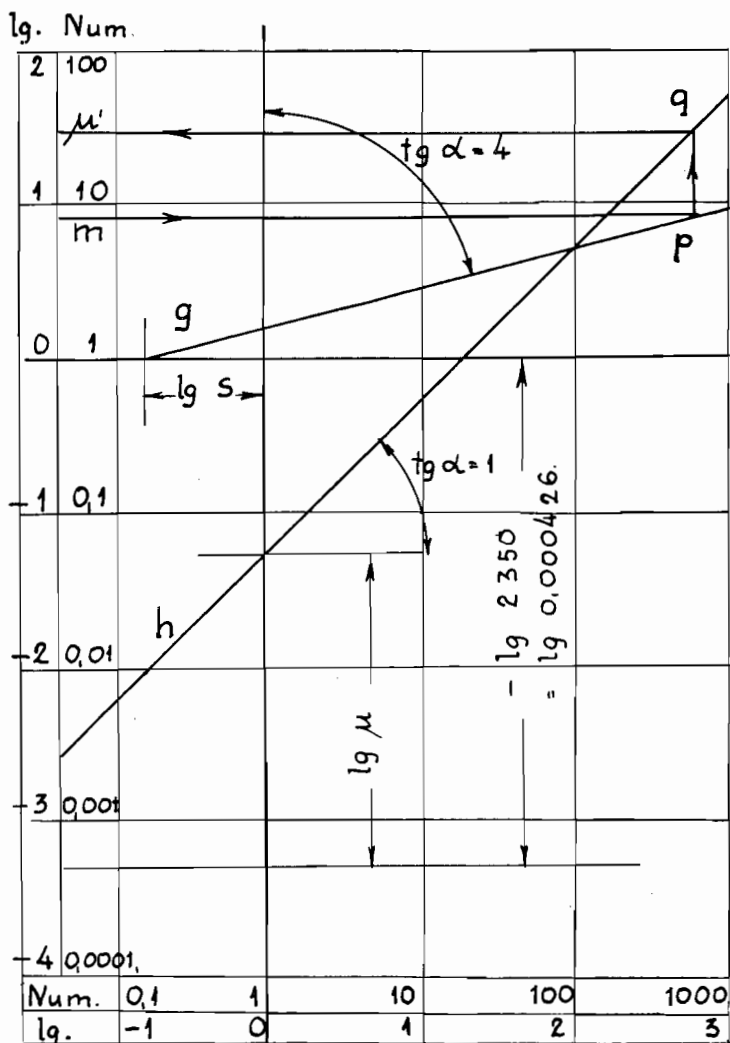
przyjmuje postać prostej:

$$y = b + x \quad (h)$$

przecinającej oś rzędnych w odległości $+b$ (która może być ≤ 0) od początku, a pochylonej ku osi odciętych pod kątem 45° . Prosta ta może być narysowana razem z poprzednią (g) we wspólnym układzie współrzędnych, gdyż posiadają one wspólne odcięte (rys. 191). Żeby wyznaczyć jej punkt przecięcia się z osią rzędnych odkładamy na niej na dół od początku odcinek równy $\lg 2350$, czyli znajdujemy punkt, odpowiadający $\lg \frac{1}{2350} = \lg 0,000426$. Potem (przyjmując ten punkt za początek) odkładamy od tego punktu $\lg \mu$ w górę.

Podług wyrysowanych w ten sposób na wspólnym rysunku

prostych (g) i (h) możemy łatwo określić μ' jeżeli danymi są m , S i μ , nie określając wielkości $\left(\frac{m^4}{S}\right)$. Mianowicie, odszukamy na



Rys. 191.

osi rzędnych punkt, odpowiadający zadanemu m , i prowadzimy od niego odcinę do przecięcia się z prostą (g) w punkcie p . Przez punkt p prowadzimy następnie rzędną do przecięcia się z prostą (h) w punkcie q , wreszcie przez ten ostatni — odcinę do osi rzęd-

nych, gdzie odczytamy logarytm, a więc również i samą liczbę szukanego oporu właściwego inżektora μ' . Rys. 191 przedstawia rozwiązanie zadania 4 poprz. § dla $\mu = 130$, $S = 6$ i $m = 8,8$, które daje $\mu = 56$.

Wykres III (Tabl. III) daje możność rozwiązać to zadanie we wszelkich przypadkach. Składa się on z dwu części: górnej i dolnej. W dolnej części wykresu wyrysowany jest szereg prostych (g) dla wartości S w granicach 1—10, lecz w stosunku do swojej pozycji na rys. 191 są one obrócone około osi odciętych o 180° . Odpowiednie wartości S są oznaczone przy każdej prostej z prawej strony dolnej krawędzi wykresu. Podziałka osi rzędnych dla m w granicach 1—10, oznaczonych z lewej strony wykresu poniżej linii 1—1, jest wzięta 2 razy większa od podziałki na osi odciętych. W górnej części wykresu znajdują się proste (h). Podziałki na osi odciętych i rzędnych są jednakowe, wskutek czego proste (h) są pochylone na wykresie pod swoim kątem naturalnym, a podziałka osi rzędnych na górnym wykresie jest 2 razy mniejsza od podziałki na tejże osi dolnego wykresu. Przy każdej prostej (h) na marginesie w górze i z prawej strony są oznaczone odpowiednie wielkości (równoważnika inżektora w miurgach) w granicach 1—10.000. Z lewej strony górnego wykresu na osi rzędnych oznaczone są wielkości oporów właściwych μ' w miurgach w granicach 1—10.000. Wszystkie oznaczenia stanowią liczby zamiast ich logarytmów. Co się tyczy osi odciętych, jest ona podzielona bez wszelkiej skali na szereg jednakowych odcinków, przez które przeprowadzone są w równych odstępach rzędne, wielkości bowiem odczytywanych na niej $lg \left(\frac{m^4}{S} \right)$ nie służą do niczego, szereg zaś rzędnych ułatwia tylko przejście od punktów prostych (g) do odpowiednich punktów prostych (h).

Żeby znaleźć na tym wykresie wielkość oporu właściwego danego inżektora, mającego dany otwór wlotowy S , dany stopień zwężenia gardła m , oraz dany równoważnik w miurgach μ , należy na odpowiedniej prostej S w dolnej części wykresu znaleźć punkt podług rzędnej m , prowadząc z odpowiedniego punktu na osi rzędnych odcietą do przecięcia się z obraną prostą. Następnie posuwamy się od tego punktu do góry podług prostej równoległej do osi rzędnych aż do przecięcia się w górnej części wykresu z ukośną prostą, odpowiadającą zadanej wielkości μ . Rzędna tego punktu, którą od-

czytamy na osi rzędnych, prowadząc do niej z tego punktu odcietą, będzie szukanym oporem właściwym μ' danego inżektora.

Np. w przykładzie 1-szym poprzedniego § dla $S = 1,125$, $m = 7$, $\mu = 2400$ w dolnej części wykresu obieramy prostą S , znajdującą się w bliskiej bardzo odległości od prostej $S = 1$, i podług rzędnej $m = 7$, odszukamy na niej odpowiedni punkt. Prowadząc następnie przez ten punkt rzędną do przecięcia się z prostą $\mu = 2400$, przeprowadzoną w myśli w górnej części wykresu pomiędzy prostymi 2000 i 3000, trochę bliżej do ostatniej, odszukamy rzędną tego punktu $\mu' = 2350$.

Tak samo dla zadania 5-go, przy $S = 6$, $m = 5,7$, $\mu = 55$, odszukamy najprzód w dolnej części wykresu na prostej $S = 6$, punkt podług rzędnej $m = 5,7$ i następnie w górnej części wykresu na ukośnej prostej μ leżącej między prostymi 50 i 60 punkt podług wspólnej z poprzednim odciętej, któremu odpowiada rzędna $\mu' = 4$.

Potem, gdy z wykresu III zostało określone μ' , mamy możliwość sprawdzić korzystając z wykresu I, czy w danym przypadku ustawienie inżektora jest wygodniejsze od tamy regulacyjnej, wychodząc z warunku (102):

$$\mu' < \mu \cdot Y_1^2$$

lub też z (101):

$$\mu' < \mu_r \cdot Y_1^2$$

W tym celu należy na wykresie I wybrać prostą ukośną podług wielkości μ (ewent. μ_r) i na niej odszukać punkt, którego odcietą jest dane Y_1 . Wówczas na osi rzędnych odczytamy najwyższą wartość graniczną μ' , przy której inżektor daje mniejszy opór ogólny, aniżeli tama regulacyjna (zupełnie dokładnie — jeżeli określać będziemy podług μ_r).

W przykładzie I-ym mieliśmy $\mu = 2400$, $Y_1 = 0,33$. Na prostej ukośnej wykresu I, znajdującej się między liniami 2000 i 3000 podług odciętej $Y_1 = 0,33$ znajdujemy $\mu' < 240$. Ponieważ z wykresu III określiliśmy poprzednio $\mu' = 2350$, przeto zastosowanie inżektora jest niewygodne.

W przykładzie 5-tym mieliśmy $\mu = 2400$, $Y_1 = 0,67$. Na prostej ukośnej wykresu I, leżącej między liniami 50 i 60 podług rzędnej $Y_1 = 0,67$ znajdujemy punkt, któremu odpowiada na osi rzędnych $\mu' < 24$. Ponieważ z wykresu III określiliśmy poprzednio $\mu' = 4$, przeto w tym przypadku inżektor jest wygodniejszy od tamy regulacyjnej.

Opór ogólny całego systemu przy regulacji odjemnej zapomocą inżektora określamy podług wzoru (92)

$$M'_1 = (c + \mu') + bY_1^2$$

Przy regulacji zaś dodatniej — podług (28)

$$M''_1 = c + (b + \mu_r) Y_1^2$$

We wzorach tych wyrazy bY_1^2 i $(b + \mu_r) Y_1^2$ mogą być również łatwo określone z wykresu I.

W tym celu wybieramy na wykresie I prostą ukośną podług b przy regulacji odjemnej, lub podług $(b + \mu_r)$ przy regulacji dodatniej i następnie łatwo odszukamy rzędne punktu, odpowiadającego odciętej Y_1 .

W zadaniu 5-tem przy $Y = 0,67$, $b = 40$ dla regulacji odjemnej znajdujemy na prostej ukośnej 40 dla odciętej 0,67 punkt, którego rzędną odczytamy na osi rzędnych $bY_1^2 = 18$. Zatem $M'_1 = c + \mu' + bY_1^2 = 120 + 4 + 18 = 142$. Dla regulacji dodatniej przy $\mu_r = 50$ wybieramy prostą ukośną, odpowiadającą $(\mu_r + b) = 50 + 40 = 90$ i podług tej samej odciętej $Y = 0,67$ znajdziemy na osi rzędnych $(\mu_r + b)Y_1^2 = 40$. Stąd $M''_1 = c + (\mu_r + b)Y_1^2 = 120 + 40 = 160$.

W ten sposób wykres I może służyć bardzo wygodnym środkiem dla obliczenia oporów systemów normalnych podwójnych podług oporu jednej bocznicy oraz stosunkowej ilości powietrza w tejże, zamiast, jak to zwykle czynimy, odszukania otworu równoznacznego każdej bocznicy i później ponownego odszukania odpowiedniego oporu podług sumy otworów równoznacznych.

Jeżeli jednak nie znamy podziału powietrza, lecz znamy opory każdej bocznicy w miurkach a i b , wówczas bardzo łatwo najprzód drogą graficzną określić stosunki X i Y na zasadzie równań:

$$\frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a}{b}} \quad (i)$$

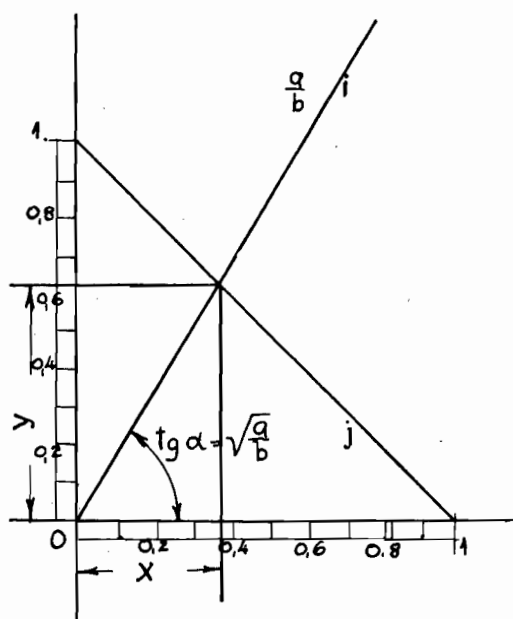
$$X + Y = 1 \quad (j)$$

Równanie (i) przedstawia prostą, wychodzącą z początku układu pod kątem $\arctg \sqrt{\frac{a}{b}}$ do osi odciętych (rys. 192). Równanie zaś

(j) przedstawia prostą, przecinającą obydwie osie współrzędnych pod kątem 45° w odległości + 1 od początku każdej. X i Y zostaną wówczas łatwo określone jako współrzędne punktu przecięcia się prostych (i) i (j).

Dla ułatwienia tych obliczeń sporządzony jest wykres IV (Tabl. IV), na którym przeprowadzona jest prosta (j) w stałej po-

zycji dla wszystkich przypadków, oraz pęk prostych (*i*), przy których na marginesie wykresu oznaczone są odpowiednie stosunki $\frac{a}{b}$ w granicach 0,0025—400. Dla rozwiązania danego zadania należy przez jedyne obliczenie znaleźć stosunek $\frac{a}{b}$ (najprędzej zapomocą suwaka) i odszukać na wykresie odpowiednią ukośną linię (*i*).



Rys. 192.

Wówczas współrzędne jej punktu przecięcia się z prostą (*j*) wykażą bezpośrednio szukane stosunki *X* i *Y*.

W § 48 podaliśmy nowe wzory oporów systemów normalnych (30)

$$M = aX^2 = bY^2.$$

Po określeniu zatem z wykresu IV-go stosunków *X* i *Y* możemy łatwo obliczyć opór ogólny systemu *M* według wzorów (30) z wykresu I, przyjmując liczby przy skośnych prostych za opór *a* i wówczas odkładając na osi odciętych stosunek *X*, albo przyjmując pierwsze za *b* i odkładając na osi odciętych stosunek *Y*.

Np. jeżeli $a = 400$, $b = 200$, więc $\frac{a}{b} = 2$, znajdujemy na wykresie IV

jako współrzędne punktu przecięcia się ukośnej prostej, przy której stoi liczba 2, z prostą (j); $Y = 0,585$; $X = 0,415$. Następnie na wykresie I od-
szukamy prostą $a = 400$ i podług odciętej $X = 0,415$, znajdziemy na osi
rzędnych $M = 78$. Ten sam wynik otrzymamy podług skośnej prostej $b = 200$
i odciętej $Y = 0,585$.

Jeżeli mamy więcej, niż 2 bocznic normalne, wówczas okre-
ślamy sposobem opisanym najprzód opór wspólny dwu bocznic,
następnie, przyjmując ten opór jako opór jednej bocznicy, odszu-
kamy opór wspólny tym samym sposobem z następną bocznica i t. d.

RÉSUMÉ

Le présent ouvrage attire l'attention sur les dangers d'un renversement, sous l'influence d'une dépression supplémentaire, non seulement des courants diagonaux critiqués dans § 17 de la «Théorie des courants diagonaux» du même auteur (Cracovie 1925), mais également de tous les autres, aussi bien dans les systèmes diagonaux que dans les systèmes normaux ordinaires. Dans certains cas, ces dangers peuvent être prévus et même écartés, ce qui permet d'augmenter la sécurité des travaux souterrains.

Cet ouvrage étudie l'influence des dépressions supplémentaires dans les systèmes simples normaux, et concerne également les ventilateurs principaux souterrains et les ventilateurs secondaires employés pour l'aérage de certains fronts de taille et chantiers, ainsi que la ventilation au moyen de deux puits d'aérage.

La variation de résistance d'un système ou d'une dérivation peut être obtenue, soit directement, en modifiant les éléments dont dépend la résistance, soit indirectement, en créant une dépression supplémentaire. Une augmentation de résistance s'obtient ainsi en donnant à la dépression supplémentaire un sens opposé à celui de la dépression initiale, une diminution de résistance — en faisant coïncider le sens des deux dépressions.

§ 47. — Chaque ventilateur mécanique peut aspirer et refouler, créant ainsi dans une conduite une dépression «H» (fig. 82) ou une pression (fig. 83) qui engendre dans la conduite *AB* une chute de pression suivant la ligne *AC* (fig. 82) ou *CB* (fig. 83). Si le ventilateur est placé au milieu de la conduite (*D*, fig. 84), il créera une dépression *h'* dans la partie *AD* et une pression *h''* dans la partie *DB*. La somme $h' + h'' = H$ est la dépression totale du ventilateur. Si les longueurs *AD* et *DB* sont proportionnelles aux résistances de la conduite, les lignes de chute *AC*₁ et *C*₂*B* sont droites et parallèles entre elles.

Si, à côté de la dépression initiale *h*₁, il y a dans une dérivation (*a*) d'un système ramifié (fig. 86) un ventilateur créant une dépression *h*₂, la ligne de chute de pression dans la dérivation (*b*) sera *A''G*. Le sens du courant dans cette dérivation dépendra du sens de l'inclinaison de cette ligne.

§ 48.

*a, b, c*₁, *c*₂ — indiquent le nombre de murgues des dérivations correspondantes (fig. 85, 86, 90);

$$c = c_1 + c_2$$

*h*_a, *h*_b, *h*_c₁, *h*_c₂ — les chutes absolues de pression dans les éléments correspondants;

*q*_a, *q*_b — le débit d'air dans les dérivations *a* et *b*;

q — le débit d'air total dans *c*₁ et *c*₂.

dans le cas où, au point initial A de la dérivation a intervient une dépression h_2 de sens opposé à h_1 (régulation positive). Lorsque la dépression h_2 croît, son action est la suivante:

1) Le débit d'air diminue dans les dérivation a , c_1 et c_2 ; il augmente dans b (fig. 96).

2) Si h_2 continue à croître (fig. 97) le courant a se renverse.

3) Pour une valeur encore plus grande de h_2 (fig. 98), le courant se renverse dans les éléments extérieurs.

Le sens du courant b ne change en aucun de ces cas:

Dans le premier cas, nous avons (fig. 96):

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + bY^2 \\ M_2 &= -aX^2 + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

$$n' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{-aX^2 + bY^2}{c + bY^2} \quad (38)$$

$$X + Y = 1 \quad (39)$$

Dans le deuxième cas (fig. 97):

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c + bY^2 \\ M_2 &= aX^2 + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

$$n' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX^2 + bY^2}{c + bY^2} \quad (41)$$

$$Y - X = 1 \quad (42)$$

Et dans le troisième cas (fig. 98),

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= -c + bY^2 \\ M_2 &= aX^2 + bY^2 \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

$$n' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{aX^2 + bY^2}{-c + bY^2} \quad (44)$$

$$X - Y = 1 \quad (45)$$

La condition requise pour que le courant a conserve son sens initial est:

$$n' < \frac{b}{c+b} < 1 \quad (49)$$

Etant donné que, avec une régulation négative, le maintien du sens initial du courant b était possible quand $n < \frac{a}{c}$, et que, en pratique, généra-

lement $\frac{a}{c} > 1$, l'inversion du courant b se produit beaucoup plus facilement lors d'une régulation positive. C'est pourquoi, la régulation positive doit être pratiquement évitée.

Le deuxième cas, où le courant est renversé dans a et normal dans c_1 et c_2 , se présente quand la condition ci-après est réalisée:

$$\frac{b}{c+b} < n' < \frac{a+b}{b}$$

La condition à laquelle tout le courant des éléments extérieurs change de sens (3ème cas) est:

$$n' > \frac{a+b}{b}$$

§ 50. Lorsqu'il existe, dans l'une des dérivation (*a*), une dépression supplémentaire h_2 de même sens que h_1 , le courant de la deuxième dérivation normal (*b*) peut se renverser par suite de l'accroissement du rapport des dépressions n , l'augmentation de la résistance des éléments extérieurs c , ou la diminution de la résistance de la dérivation (*a*), dans laquelle est créée la dépression supplémentaire. Par contre, aucune modification de la résistance de la seconde dérivation normale (*b*) ne peut avoir d'influence sur l'inversion du courant.

On peut rétablir le sens normal du courant dans la dérivation *b*, c'est à dire écarter le danger dans la mine, en faisant agir des facteurs opposés: diminution de n , diminution de c , ou augmentation de a ; aucune modification des résistances de la dérivation renversée *b*, sauf l'isolement hermétique de cette dérivation, ne peut avoir d'influence sur le rétablissement du sens normal du courant.

Etant donné la possibilité d'un renversement de courant, les ventilateurs souterrains doivent être considérés comme dangereux, et leur emploi doit être évité dans la pratique.

Le degré de sécurité de la mine, lors de l'emploi d'un ventilateur souterrain, est déterminé par le rapport:

$$K = \frac{n}{n_k} < 1$$

où $n_k = \frac{a}{c}$ est le rapport critique (arrêt du courant *b*). La sécurité est d'autant plus grande que ce rapport est plus petit.

Le coefficient de sécurité ne doit pas dépasser: $K_{max} = 0,1 - 0,5$ et une valeur moindre doit être admise:

1) Si la mine ne possède pas de tuyauteries de vapeur dans les puits de retour;

2) Au stade initial de développement de la mine;

3) Si, en général, les résistances des éléments extérieurs (c_1 et c_2) sont grandes.

Lors de l'aérage d'une galerie en cul de sac au moyen d'un ventilateur muni d'une conduite ou canar ($b = 0$), le danger de circulation continue de l'air vicié (fig. 109) est maximum au début du percement de la galerie, et diminue au fur et à mesure que l'abattage s'avance. On ne doit donc pas employer de ventilateur secondaire au début de l'abattage, ou éventuellement, il y a lieu d'utiliser un canar de faible section au de prolonger celui-ci dans la galerie principale contre le courant (fig. 110).

§ 51. Une dépression supplémentaire de sens opposé à celui de la dépression initiale ne peut être un moyen de régulation recommandé, puisque une régulation positive peut être obtenue plus simplement, à meilleur compte et avec plus de sécurité au moyen d'un barrage (porte à guichet).

La ventilation principale, au moyen d'un ventilateur souterrain, peut prendre le caractère d'une régulation indirecte positive quand la dépression de ce ventilateur est de sens contraire à la dépression naturelle de la mine. Dans ce cas, la communication entre les puits (dérivation *b*) doit être toujours fermée d'une manière étanche. Cependant, une fermeture étanche entre les puits ne peut être hermétique, car, dans le cas contraire, il n'y aurait

aucune raison d'installer un ventilateur au fond. Par conséquent, s'il est indispensable d'opposer un courant artificiel au courant naturel, on ne doit, en aucun cas, placer de ventilateur au fond. On ne doit pas non plus diriger dans le sens du courant un canar qui débouche dans la galerie principale (fig. 120).

§ 53. S'il y a deux sources différentes de dépression, la résistance propre, et par conséquent l'orifice équivalent de la mine ($A = \frac{12}{\sqrt{M}}$) n'ont pas une valeur constante, mais varient en fonction du rapport des dépressions n ; comme telles, elles ne peuvent caractériser l'aérage de la mine.

Il s'en suit que, pour 2 sources de dépression la caractéristique d'aérage ne peut être déterminée par un nombre, mais doit être donnée sous forme d'une fonction du rapport n :

$$\left. \begin{array}{l} M_1 = f_1(n) \\ M_2 = f_2(n) \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} A_1 = f_{11}(n) \\ A_2 = f_{12}(n) \end{array} \right\}$$

La forme de telles courbes, caractérisant l'aérage par deux sources de dépression, est représentée sur les fig. 125 et 126 dans le cas de régulation positive et négative. Leur ensemble montre, en même temps, les conditions de sécurité de l'aérage.

§ 54. La résistance de la dérivation b n'a aucune influence sur le renversement du courant qui la parcourt. Mais, pour diminuer l'influence des variations de la dépression h_1 (qui sera la dépression naturelle dans le cas d'un ventilateur souterrain), sur le débit total d'air, la résistance de la dérivation b doit être aussi grande que possible. Au contraire, pour éliminer l'influence de la dépression h_2 (dans le cas de régulation relative), la résistance de la dérivation b doit être aussi faible que possible.

La dépression du ventilateur secondaire d'aérage des galeries en cul de sac au moyen d'un canar ($b = 0$) n'a aucune influence sur le débit d'air du circuit principal.

Le système d'aérage par ventilateur souterrain a un emploi limité et ne peut assurer à une mine donnée une quantité d'air illimitée.

§ 56. La figure 129 et les suivantes montrent une nouvelle manière absolument sûre d'installer un ventilateur souterrain.

Le ventilateur soufflant se place dans le courant d'air frais, près du puits d'extraction et dans une galerie parallèle à la galerie principale de roulage. Le courant dans la dérivation b est renversé en permanence, mais cela ne présente aucun danger puisqu'il y a toujours de l'air frais en circulation; d'autre part, le transport n'est pas entravé. La dérivation b doit avoir une résistance aussi grande que possible, et la dérivation a , aussi faible qu'il se peut.

§ 59. Les ventilateurs soufflants souterrains du nouveau système présentent des avantages certains sur les ventilateurs aspirants souterrains de l'ancien système, mais ils sont moins économiques que les ventilateurs placés au jour.

§ 60. Les principes de ventilation positive indirecte (§ 49) trouvent leur application dans l'aérage des mines par 2 puits aspirants (fig. 160a), en modifiant le schéma 160b en 160c.

La dépression créée dans la section rétrécie de l'ajutage est:

$$h_2 = \left(\frac{qb}{S} \right)^2 \left(m^2 - 1 \right) \frac{\delta}{2g} \quad (85)$$

où S = section max. de l'ajutage en m^2 ,

s = section minimum de l'ajutage en m^2 ,

$m = \frac{S}{s}$ = rapport de réduction.

L'équivalent en murgues de la dépression h_2 d'un ajutage donné est:

$$\mu = 62,5 \left(\frac{m^2 - 1}{S^2} \right) \quad (87)$$

$$m = \sqrt{\mu \frac{S^2}{62,5} + 1} \quad (88)$$

$$\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{\mu + b}{a'}} \quad (89)$$

$$X + Y = 1 \quad (90)$$

$$M_1 = (c + \mu') + bY^2 \quad (92)$$

$$n = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\mu}{M_1} Y^2 \quad (93)$$

$$\mu' = \frac{\mu m^4}{2350 S} \quad (96)$$

Pour une construction et des résistances données de l'ajutage, n est constant et la résistance totale de la mine est une valeur constante.

Dans l'aérage de galeries en cul de sac ($b = 0$, fig. 178), au moyen d'un ajutage, une partie de l'air vicié ne peut se mouvoir en circuit fermé.

Dans le cas de régulation négative au moyen d'un ajutage, la résistance totale peut être supérieure, égale ou inférieure à la résistance initiale. L'application de la régulation par ajutage est plus commode que la régulation positive lorsque:

$$\mu < \left(3031 Y_1 \sqrt{S} - 62,5 \right) \frac{1}{S^2} \quad (103)$$

où Y_1 est le rapport des débits après le réglage.

L'aérage des longues galeries en cul de sac s'effectue plus commodément par régulation positive (fig. 179) que par ajutage (fig. 178). L'avantage de l'ajutage sera d'autant plus grand que la résistance des éléments extérieurs est plus petite.

SPIS RZECZY

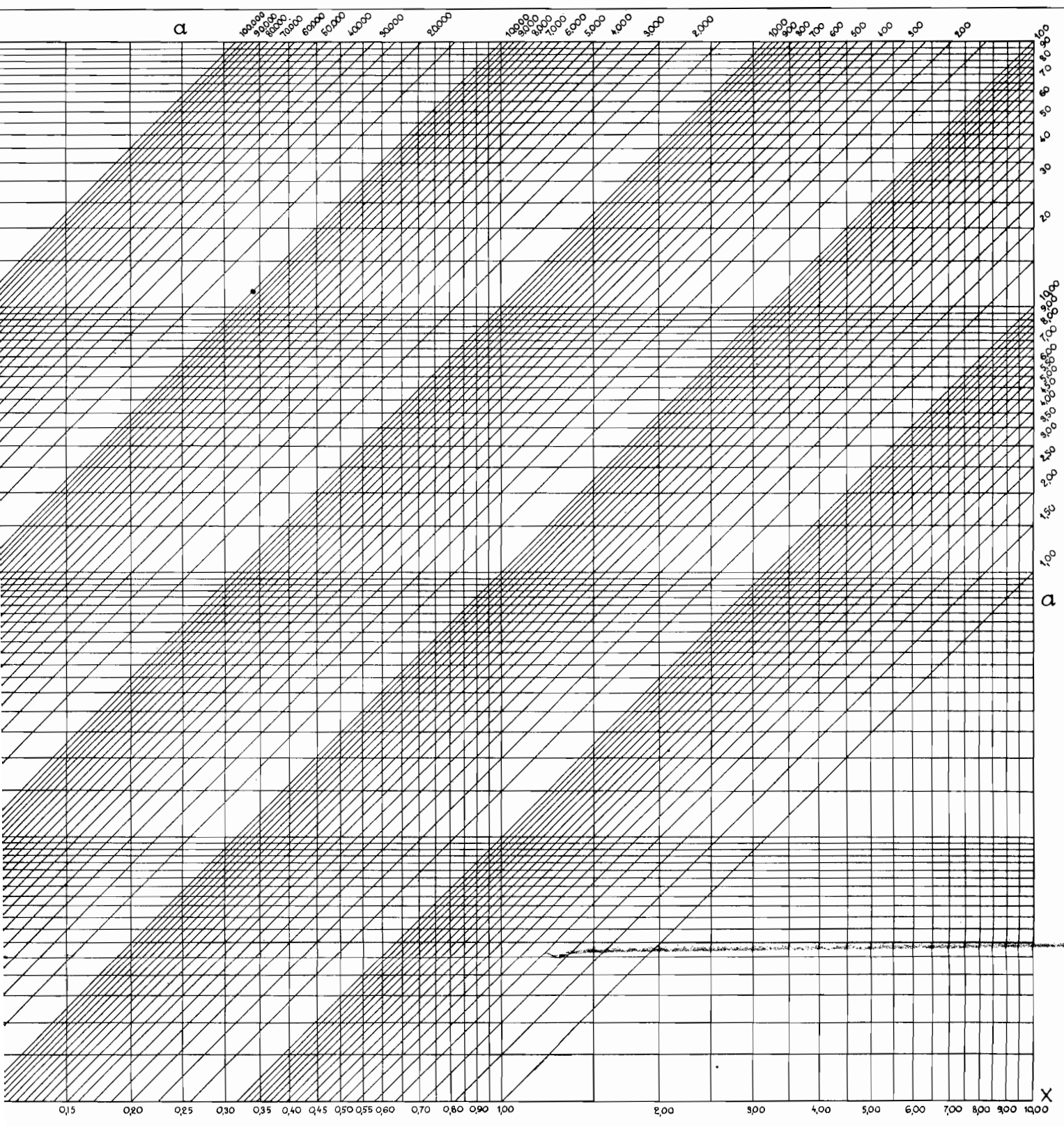
	Str.
Przedmowa	1
Wstęp	7
Rozdział IX. Regulacja zapomocą wentylatorów w systemach normalnych prostych.	
§ 47. Regulacja zapomocą wentylatorów odjemna. Wyjaśnienia zjawiska	15
§ 48. Analiza regulacji odjemnej zapomocą depresji dodatkowej, stworzonej wentylatorem wtórnym	27
§ 49. Regulacja dodatnia zapomocą wentylatorów i jej analiza	40
§ 50. Regulacja mieszana pośrednia odjemna z bezpośrednią w systemach normalnych	54
§ 51. Regulacja mieszana bezpośrednia z pośrednią dodatnią w systemach normalnych	72
§ 52. Przykłady liczbowe	89
Rozdział X. Krzywe charakterystyczne przewietrzania zapomocą dwóch źródeł depresji w systemach normalnych prostych.	
§ 53. Opór właściwy i otwór równoznaczny kopalni przy dwóch źródłach depresji, zewnętrznej i wewnętrznej w jednej z bocznic systemu normalnego	101
§ 54. Oszacowanie wzajemnego wpływu depresyj oraz sposoby zmniejszenia tego wpływu zapomocą regulacji bezpośredniej	129
§ 55. Przykład liczbowy	140
Rozdział XI. Wentylacja tłocząca wentylatorem podziemnym (nowy sposób).	
§ 56. Nowy bezwzględnie bezpieczny sposób instalacji wentylatora podziemnego	150
§ 57. Przykład liczbowy	162
§ 58. Przypadek niezgodnych depresyj w nowym sposobie instalacji podziemnego wentylatora	173
§ 59. Zalety i wady nowego sposobu instalacji podziemnych wentylatorów	182
Rozdział XII. Wentylacja ssąca zapomocą dwóch szybów wentylacyjnych	
§ 60. Określenie otworów równoznacznych poszczególnych szybów . .	188

	Str.
§ 61. Ogólny otwór równoznaczny całej kopalni przy dwóch szybach wentylacyjnych	201
§ 62. Przykład liczbowy	208
§ 63. Porównanie przewietrzania dwoma szybami z przewietrzaniem za pomocą jednego szybu	216
Rozdział XIII. Regulacja odjemna zapomocą inżektorów Petit'a w systemach normalnych prostych.	
§ 64. Teorja inżektorów	220
§ 65. Porównanie regulacji odjemnej zapomocą inżektora z regulacją dodatnią zapomocą tamy regulacyjnej	234
§ 66. Przykłady liczbowe regulacji odjemnej zapomocą inżektorów . . .	237
§ 67. Rozwiązanie zadań regulacji inżektorem w systemach normalnych prostych zapomocą wykresów	244
Résumé	256

WYKRES I

dla rozwiązywania równań typu $y = ax^2$.

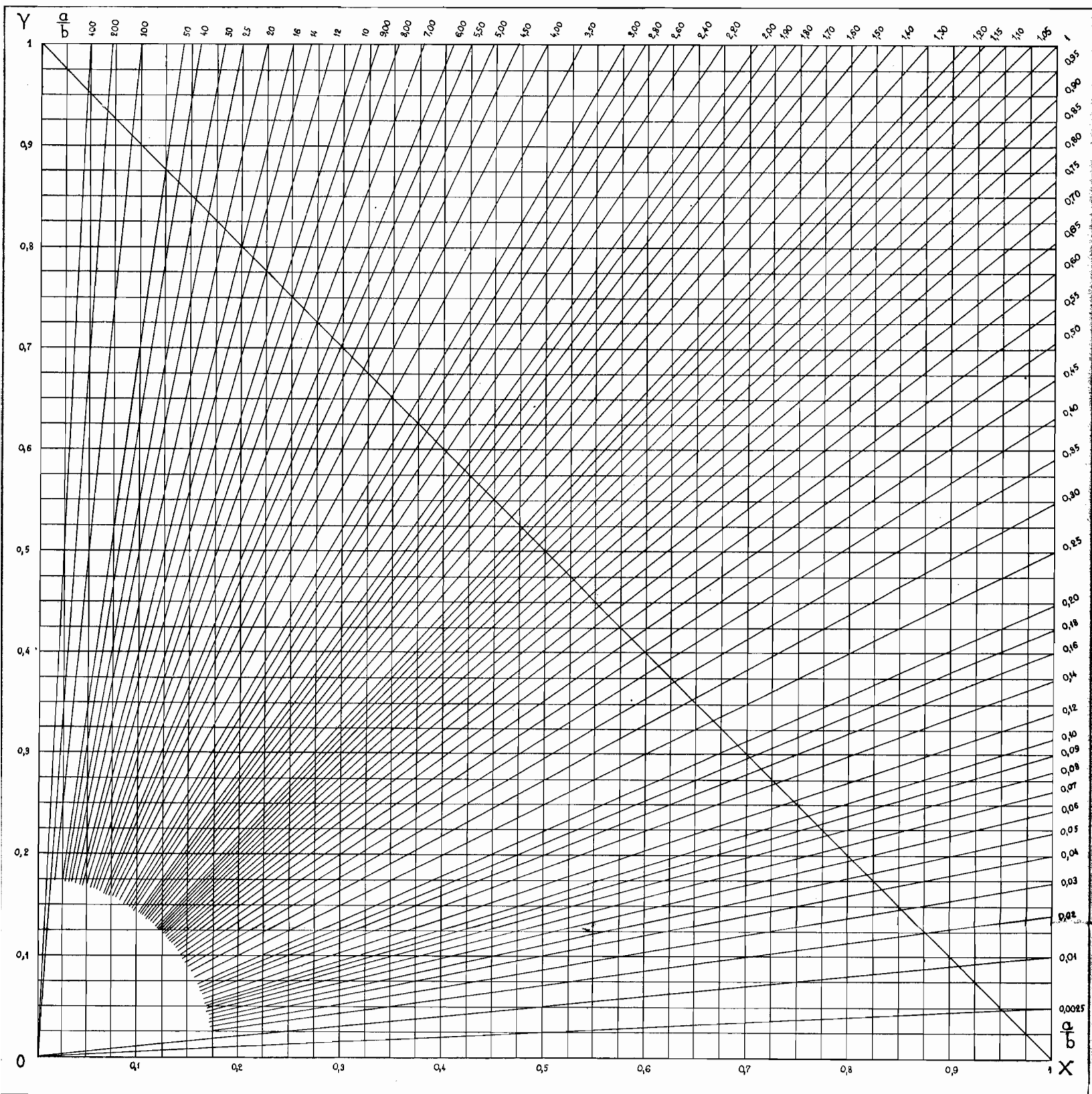
TABLICA I.



WYKRES IV

dla obliczania rozdziału powietrza na podstawie wzorów: $\frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a}{b}}$ i $X + Y = 1$

TABLICA IV



ZESTAWIENIE WZORÓW REGULACJI ZAPOMOĆĄ DEPRESJI DODATKOWEJ

n)	Równanie krzywej	Półoś na X a_i	Półoś na Y b_i	Nachyl. asymptoty $\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_i}{a_i}$	Równanie prostej	X	Y	Opór ogólny	
								M_1	M_2
(18)	$Y = \sqrt{\frac{c}{b}}$	∞	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	—	$X - Y = 1 \dots$ (25)	$1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	0	$a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c$ (27)
	$C_2 \quad \frac{X^2}{\left(\frac{nc}{a} \right)} + \frac{Y^2}{\left(\frac{n}{n+1} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (19 bis)	$\sqrt{\frac{nc}{a}}$ (21)	$\sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{c}{b}}$ (22)	—		1	0	$c - bY^2$ (9 bis)	$aX^2 + bY^2$ (9 bis)
		1	$\sqrt{\frac{a \cdot c}{a + c \cdot b}}$	$\sqrt{\frac{a \cdot c}{a + c \cdot b}}$				c	a
	$C_1 \quad \frac{X^2}{\left(\frac{nc}{a} \right)} - \frac{Y^2}{\left(\frac{n}{n+1} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (19)	$\sqrt{\frac{nc}{a}}$ (21)	$\sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{c}{b}}$ (22)	$\sqrt{\frac{a}{(n+1)b}}$ (23)		$\sqrt{\frac{a}{b}}$	$\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{a} + \sqrt{b}}$	$c + bY^2$ (9)	$aX^2 - bY^2$ (9)
(49)	$\frac{Y}{X} = \sqrt{\frac{a}{b}}$ (26)	0	0	$\sqrt{\frac{a}{b}}$	$X + Y = 1 \dots$ (24)	$\sqrt{\frac{a}{b}}$	$\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{a} + \sqrt{b}}$	$c + \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}} \right)^2}$	0
	$C_3 \quad \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{1-n'} \right) \frac{c}{b}} - \frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} = 1$ (46)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (51)	$\sqrt{\frac{n'c}{(1-n')b}}$ (47)	$\sqrt{\frac{a}{(1-n')b}}$ (48)		0	1	$c + bY^2$ (37)	$-aX^2 + bY^2$ (37)
		$\sqrt{\frac{c}{c + b \cdot \frac{a}{b}}}$	1	$\sqrt{\frac{c + b \cdot \frac{a}{b}}{c \cdot \frac{a}{b}}}$				$c + b$	b
	$C_4 \quad \frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} + \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{1-n'} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (50)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (51)	$\sqrt{\frac{n'c}{1-n'} \cdot \frac{c}{b}}$ (52)	—				$c + bY^2$ (40)	$aX^2 + bY^2$ (40)
(57)	$X = \sqrt{\frac{c}{a}}$	$\sqrt{\frac{c}{a}}$	∞	∞	$Y - X = 1 \dots$ (42)	$\sqrt{\frac{c}{a}}$	$1 + \sqrt{\frac{c}{a}}$	$c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}} \right)^2$ (53)	$c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}} \right)^2$ (53)
	$C_5 \quad \frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} - \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{n'-1} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (54)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (55)	$\sqrt{\frac{n'c}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}}$ (56)	$\sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}}$ (56)				$c + bY^2$ (40)	$aX^2 + bY^2$ (40)
		$\sqrt{\frac{(a+b)c}{ab}}$	$\sqrt{\frac{(a+b)c}{ab}}$	1		∞	∞	∞	∞
	$C_6 \quad \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{n'-1} \right) \frac{c}{b}} - \frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} = 1$ (58)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (59)	$\sqrt{\frac{n'c}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}}$ (59)	$\sqrt{\frac{a}{(n'-1)b}}$ (60)				$-c + bY^2$ (43)	$aX^2 + bY^2$ (43)
	$Y = \sqrt{\frac{c}{b}}$	∞	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	0	$X - Y = 1 \dots$ (45)	$1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	0	$a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c$

ZESTAWIENIE WZORÓW REGULACJI ZAPOMOCĄ DEPRESJI DODATKOWEJ

n $n' = \dots, n$	Równanie krzywej	Półoś na X a_i	Półoś na Y b_i	Nachyl. asymptoty $\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_i}{a_i}$	Równanie prostej	X	Y	Opór ogólny	
								M_1	M_2
$+\infty$	$Y = \sqrt{\frac{c}{b}}$	∞	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	—	(25)	$1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	0	$a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c$ (2)
$+\frac{a}{c}$ (18)	$\frac{X^2}{\left(\frac{nc}{a} \right)} + \frac{Y^2}{\left(\frac{n}{n+1} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (19 bis)	$\sqrt{\frac{nc}{a}}$ (21)	$\sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{c}{b}}$ (22)	—	$X + Y = 1 \dots$ (24)	1	0	$c - bY^2$ (9 bis)	$aX^2 + bY^2$ (9)
0	$\frac{X^2}{\left(\frac{nc}{a} \right)} - \frac{Y^2}{\left(\frac{n}{n+1} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (19)	$\sqrt{\frac{nc}{a}}$ (21)	$\sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{c}{b}}$ (22)	$\sqrt{\frac{a}{a+c} \cdot \frac{c}{b}}$	$X + Y = 1 \dots$ (24)	$\sqrt{\frac{a}{a+c} \cdot \frac{c}{b}}$	0	c	a
$\frac{b}{c+b}$ (49)	$\frac{Y^2}{\left(\frac{n'c}{1-n'} \right) \frac{c}{b}} - \frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} = 1$ (46)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (47)	$\sqrt{\frac{n'c}{(1-n')b}}$ (48)	$\sqrt{\frac{a}{b}}$	$X + Y = 1 \dots$ (42)	$\sqrt{\frac{a}{a+c} \cdot \frac{c}{b}}$	$\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{a+c} \cdot \sqrt{b}}$	$c + \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}} \right)^2}$	0
-1	$\frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} + \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{1-n'} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (50)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (51)	$\sqrt{\frac{n'c}{1-n'} \cdot \frac{c}{b}}$ (52)	—	$Y - X = 1 \dots$ (45)	0	1	$c + bY^2$ (40)	$aX^2 + bY^2$
$\frac{a+b}{b}$ (57)	$\frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} - \frac{Y^2}{\left(\frac{n'}{n'-1} \right) \frac{c}{b}} = 1$ (54)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (55)	$\sqrt{\frac{n'c}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}}$ (56)	∞	$X - Y = 1 \dots$ (45)	$\sqrt{\frac{c}{a}}$	$1 + \sqrt{\frac{c}{a}}$	$c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}} \right)^2$ (53)	$c + b \left(1 + \sqrt{\frac{c}{a}} \right)^2$
$-\infty$	$\frac{Y^2}{\left(\frac{n'c}{n'-1} \right) \frac{c}{b}} - \frac{X^2}{\left(\frac{n'c}{a} \right)} = 1$ (58)	$\sqrt{\frac{n'c}{a}}$ (59)	$\sqrt{\frac{n'c}{n'-1} \cdot \frac{c}{b}}$ (60)	1	$X - Y = 1 \dots$ (45)	∞	∞	$c + bY^2$ (40)	$aX^2 + bY^2$
	$Y = \sqrt{\frac{c}{b}}$	∞	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	0		$1 + \sqrt{\frac{c}{b}}$	$\sqrt{\frac{c}{b}}$	0	$a \left(1 + \sqrt{\frac{c}{b}} \right)^2 + c$