

VIII.

Prof. K. SMOLEŃSKI i inż. W. REICHER.

Studja nad piecami wapiennymi.*)

WSTĘP.

Bodźcem bezpośrednim do bliższego zainteresowania się działaniem i kontrolą pieców wapiennych była dla nas okoliczność następująca. Przy zwiedzaniu przez jednego z nas (K. S.) w czasie kampanji 1925/26 r. szeregu cukrowni napotkaliśmy w kilku z nich (Zbiersk, Tuczo, Kościan) niedawno postawione przez firmę H. L ö h n e r t w Bydgoszczy „automatyczne” piece wapienne z mechanicznem: załadowaniem wapniaka i wyładowaniem wapna. Piece te bardzo nas zainteresowały, jako rzecz nowa dla nas, a będąca wyrazem postępu w tej dziedzinie.

Niestety, żadnych własnych doświadczeń, ani nawet spostrzeżeń, nad działaniem tych pieców nie byliśmy w stanie wtedy wykonać, nietylko dla braku czasu, ile dla tej prostej przyczyny, że we wszystkich trzech wspomnianych cukrowniach zastaliśmy mechaniczne tarcze do wyładowania wapna unieruchomione i zastąpione przez zwykłe ręczne wyładowanie. Działanie mechanicznego wyładowania, jako też i załadowania, było, jakoby, „zupełnie wadliwe i prowadziło do zupełnego rozstroju biegu pieca”. Podawano przytem rozmaite wytłumaczenia wadliwego działania i wskazywano błędy wykonania tych mechanicznych urządzeń. Nie pozostało nam wtedy nic innego, jak podanie do wiadomości publicznej krótkiej wzmianki o tych piecach, co też uczyniliśmy w Korespondencji z cukrowni Tuczo¹⁾). Dodaliśmy wtedy, że występujemy tylko w roli tego, który „relata refert”. Uważając zaś „sam pomysł automatycznego pieca wapiennego za dobry i będący na czasie”, zdecydowaliśmy się w czasie najbliższej kampanji (1926/27) r.) przeprowadzić obszerniejsze studja nad automatycznymi piecami wapiennymi. Dla zdobycia materiału porównawczego postanowiliśmy też rozszerzyć nasze studja na zwykłe piece wapienne.

Dziś, kiedy część tej pracy została wykonana, kiedy zapoznaliśmy się

*) Gaz. Cukr. 62, 1928 r., str. 217 i dal.

¹⁾ Gaz. Cukr., T. 57, s. 873—876, r. 1925.

na przykładzie wielu cukrowni z realnym stanem rzeczy w zakresie działania pieców wapiennych, dochodzimy do przekonania, że studja nad działaniem i kontrolą pieców wapiennych mają prawo zająć swoje miejsce w szeregu badań, prowadzonych przez C. L. C.¹⁾

Uprzypomnijmy sobie, że piec wapienny jest dla cukrowni fabryką dwóch głównych (poza wodą) odczynników chemicznych, masowo przez nią stosowanych do oczyszczania soku surowego: fabryką wapna i dwutlenku węgla. Koszt wyprodukowania tych odczynników jest jedną z poważniejszych pozycji wśród bezpośrednich kosztów technicznych, wynosząc około 1,0—1,5 zł. na 100 kg cukru. Prócz tego (co nie mniej jest ważne), jakoś tych odczynników odgrywa poważną rolę w sprawie oczyszczania soku. Zawartość w wapnie wypalonym czynnego wolnego CaO, który jest rzeczywistym odczynnikiem, podczas kiedy inne składniki są niepotrzebnym lub nawet szkodliwym balastem, wahać się może w szerokich granicach (np. 70 — 92%), w zależności zarówno od jakości wapienka, jako też od prawidłowości wypalania. Wapno może być tłuste lub chude, łatwo lub trudno lasujące się, co znów zależy może zarówno od składu i budowy fizycznej wapienka, jako też od stopnia wypalania, przyczem zarówno wapno niedopalone jako też przepalone powodować mogą trudne lasowanie i dawać chude wapno.

Wapno tłuste daje w mleku wapiennym silnie rozproszoną, subtelną zawiesinę wodorotlenku wapiennego. Takie mleko wapienne szybciej i lepiej reaguje z sokiem na defekacji i saturacji, dając lepszy efekt oczyszczania soku, niż przygotowane z wapna chudego. Obecność w wapnie i mleku wapiennym siarczku wapnia, którą skonstatowaliśmy w wielu cukrowniach²⁾, obok znaczniejszej zawartości siarkowodoru w gazie, może niekorzystnie odbić się na zabarwieniu soków i cukru.

Jakość gazu nie jest też rzeczą obojętną dla cukrownika.

Szybkość saturacji zależy, oczywiście, od stężenia CO₂ w gazie: dwie te wielkości są do siebie mniej więcej proporcjonalne. Szybkie wykonanie saturacji daje naogół lepsze, lepiej oczyszczone i mniej zabarwione soki. Zawartość CO₂ w gazie waha się dla poszczególnych cukrowni w granicach od 20 %—32%! Przy prawidłowej robocie pieca zawartość CO₂ nie powinna ulegać zbyt znacznym i zbyt raptownym zmianom, jest to szczególnie ważne dla fabryk, posiadających ciągłą saturację. Gaz, zawierający CO i H₂S, ujemnie wpływa na oczyszczanie soku.

Główne zasady i prawa prowadzenia pieców wapiennych są już od lat 15—20 dobrze znane technikom cukrowniczym i weszły do praktyki cukrowni. To też nie słyszymy już dziś o katastrofalnych wypadkach, takich jak: zawisanie pieca, przepalenie pieca, niemożność otrzymania dobrze wypalonego wapna i t. p., które przed laty 25—30 często się przytrafiały.

¹⁾ W chwili, kiedy oddajemy pracę naszą do druku, t. j. po upływie także kampanji 1927/28 r., w czasie której prowadziliśmy w dalszym ciągu studja nasze nad piecami wapiennymi, jesteśmy jeszcze bardziej przekonani, że studja te przyniosą korzyść przemysłowi cukrowniczemu. K. S.

²⁾ CaS jest zawarty głównie w t. zw. „żwirku”, powstającym, jak sądzimy, przez działanie popiołu z koksu na wapno; żwirek ten zawiera zapewne krzemiany i gliniany wapnia, i jest szkodliwą domieszką mleka wapiennego, od której winno ono być jak najstaranniej oddzielane.

Piece wapienne są dziś w cukrowniach prowadzone naogół, jak się mówi, dobrze, t. j. z racji pieców niema ani zatrzymywań fabrykacji, ani wyraźnie złych skutków przy oczyszczaniu soków. Przy bliższym natomiast wejrzeniu w sprawę piece wapienne aż nadto często prowadzone są nieprawidłowo, co ujemnie odbija się na kosztach wapna, na ilości wapna, użytego na defekacji i, co najważniejsza, na jakości oczyszczonych soków. Cukrownie nie zwracają dostatecznej uwagi na jakość wapna i mleka wapiennego oraz gazu; aż nadto skłonne do tłumaczenia różnych przykrych objawów i niedomagań fabrykacyjnych jakością buraków, nigdy prawie nie szukają przyczyny złego w jakości wapna i gazu. Piec wapienny pozostawiony jest naogół bez kontroli, a nawet bez dozoru personelu technicznego, i zdany na łaskę i niełaskę majstra i robotników. Postępowanie takie należy uznać za niesłuszne: piec wapienny, jako fabryka wapna i gazu, stale znajdować się winien pod opieką i kontrolą personelu technicznego, narówni z defekacją i saturacją.

I. STUDJA Z KAMPANJI 1926/27 r.

Studja nad piecami wapiennymi, wykonane przez nas w czasie kampanji ubiegłej (1926/27 r.), poświęcone były doraźnej, praktycznej sprawie zbadania automatycznych pieców wapiennych firmy H. Löhnera w celu orzeczenia o ich przydatności lub nieprzydatności dla cukrownictwa polskiego. Dla zdobycia materiału porównawczego oraz dla wprawy w kontroli zbadaliśmy także zwykły szybowy piec wapienny. Wiedzę naszą w zakresie pieców automatycznych udało się nam rozszerzyć przez otrzymanie materiałów, dotyczących automatycznego pieca wapiennego, wybudowanego w cukrowni „Łubna” przez znaną czeską firmę „Zakłady Škoda w Pilźnie”.

Badania z kampanji 1926/27 r. uważamy sami za „wstęp” do właściwych studjów. Rozumiemy, że zdobyliśmy dotychczas tylko pewną ilość „surowego materiału” oraz pewną wprawę w kontroli i rozumieniu biegu pieców wapiennych. Ogłaszając drukiem skromne rezultaty tych badań, prosimy uważać je za bezpretensjonalne „obrazki z natury”, które mogą obudzić pewne zainteresowanie poruszanemi w nich sprawami.

1. Perjodyczne i ciągłe prowadzenie pieca wapiennego.

Szybowe piece wapienne, typu t. zw. belgijskiego, powszechnie dziś przez nas w cukrowniach stosowane, są typowym przykładem naczynia reakcyjnego, służącego do wykonania reakcji między kawałkowem ciałem stałym i gazem. Reakcja ta wykonywana jest, jak zawsze prawie w tym przypadku, w przeciwnym kierunku. Jednakże tylko jedno z reagujących środowisk, środowisko gazowe, utrzymywane jest w stanie ciągłego równomiernego ruchu; środowisko drugie, kawałki ciała stałego, wprowadzane jest w ruch (wyładowanie produktu, załadowanie materiałów) tylko perjodycznie, każdorazowo po upływie pewnego okresu czasu, w przeciągu którego spoczywa ono w piecu bez ruchu. Taki sposób wykonania procesu posiada, choć w złagodzonej formie, główne cechy ujemne procesu, wykony-

wanego w sposób periodyczny. Z tych cech ujemnych najłatwiej rzuca się w oczy nierównomierność biegu pieca w rozmaitych momentach każdego okresu między kolejnymi wyładowaniami pieca.

Tablica I. *Cukrownia X. Periodyczny bieg pieców.*

Czas po załadowaniu	% CO_2	Temp. gazu przed płóczką	Ciąg przed płóczką
25'	26,2 ₀	275 ⁰	140 mm słupa wody
40'	25,4 ₀	325 ⁰	160 mm
55'	24,0 ₀	385 ⁰	170 mm
1 g. 10'	21,8 ₀	520 ⁰	175 mm
1 g. 30'	20,4 ₀	530 ⁰	180 mm
1 g. 45'	18,3 ₀	> 550 ⁰	190 mm

Wyładowanie co 3 godziny.

Wahania zawartości CO_2 w gazie: od 14% do 28% CO_2 .

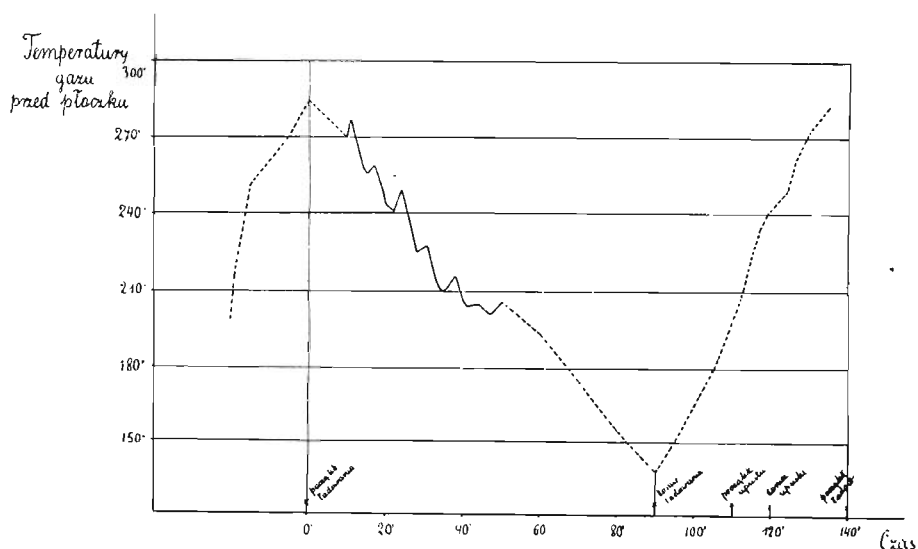
W tablicy I podany jest skład gazu (zawartość CO_2) w różnym czasie po załadowaniu pieca według analiz, wykonanych przez nas w cukrowni X, w której piec wyładowywany jest co 3 godziny. Tylko przez pierwsze pół godziny gaz posiada wysoką zawartość CO_2 — powyżej 26%, dalej spada ona stopniowo, dochodząc do 18% przed wyładowaniem pieca. W tej samej tablicy podane są temperatury gazu i ciąg, mierzone przed płóczką, w różnych momentach okresu. Widzimy, jak temperatura gazu stopniowo wzrasta, a wraz ze wzrostem temperatury wzrasta ciąg. W cukrowni X gaz przed płóczką posiada temperatury naogół zbyt wysokie dla pewnych przyczyn, które będą wytłumaczone później. Wysoka temperatura gazu, zwiększająca objętość gazu, a przez to i jego szybkość liniową w przewodach przed płóczką, powoduje także zbyt wysoki ciąg przed płóczką.

Wykres (Rys. 25) podaje nam zmianę temperatur gazu przed płóczką w okresie czasu między dwoma upustami wapna. Wykres został wykreślony według pomiarów, wykonanych przez nas w cukrowni Tuczo, w czasie periodycznego ręcznego wyładowywania wapna. Długość każdego okresu około 2 godzin. Temperatura gazu waha się od ok. 150° do ok. 300°. Ciąg przed płóczką był normalny i wynosił 50—70 mm słupa wody. Wykres obrazowo wskazuje spadek temperatury gazu w czasie ładowania pieca, które trwało około 1,5 godz. Ładowanie było t. zw. „automatyczne”, niedużemi porcjami (p. dalej opis urządzenia do ładowania).

Na wykresie widać momenty poszczególnych załadowań, uwidocznione przez nieznaczne podniesienie się temperatury przed każdym z nich. W czasie po ukończeniu ładowania aż do początku następnego ładowania widzimy stopniowe podnoszenie się temperatury gazu.

W dalszym ciągu pracy przytoczone będą jeszcze cyfry, dotyczące zmiany innych czynników, jako to: temperatur w piecu, temperatury gazu oraz ciągu przed pompą gazową i t. p.

Ujemny wpływ periodycznego wyładowywania i załadowywania pieca na jego bieg znany był cukrownikom oddawna. Oddawna też znano sposób zmniejszenia tego zła: częstsze upusty wapna. Sposób ten stopniowo zyskiwał prawo obywatelstwa w cukrowniach w coraz to silniejszej formie. Przed laty 20 — 25 robiono upusty przeważnie co 4 godziny, później co 3 godziny. Wreszcie ostatnio w wielu cukrowniach — co 2 godz., a w niektórych pono nawet co 1 godz. To skrócenie okresu było niewątpliwie bardzo znacznym postępem w prowadzeniu pieca wapiennego.



Rys. 25. Cukrownia Tuczo. Periodyczny bieg pieca. Ładowanie co 2 godziny.

Cóż jednak oznacza to coraz dalej idące skrócenie okresu między upustami wapna? Przecież nie co innego, jak stopniowe zbliżanie się do całkowicie ciągłego prowadzenia pieca, ciągłego już nietylko ze strony gazu, ale także ze strony wapniaka i wapna! Bezwiednie więc może, ale prawidłowo, cukrownictwo oceniło już oddawna korzyści, jakie wyniknąć mogą z ciągłego prowadzenia pieca wapiennego. Naturalną konsekwencją tego faktu winno być przejście w najbliższej przyszłości do automatycznych pieców wapiennych, w których zarówno ładowanie jak wyładowanie uskuteczniane będzie w sposób ciągły (lub możliwie do ciągłego zbliżony), a przytem w sposób mechaniczny.

Zagadnienie o korzyściach, jakie wypływają z zastąpienia periodycznego wykonania procesu przez wykonanie ciągłe, jest przedewszystkiem zagadnieniem ogólnem i jako takowe posiada swoją wyraźną odpowiedź.

Ogólna technologia chemiczna poucza nas, że wykonanie procesu technologicznego w sposób całkowicie ciągły, a przytem w przeciwnym kierunku, daje teoretycznie zawsze: większą wydajność i większą szybkość procesu, niż wykonanie perjodyczne. W zastosowaniu do pieca wapiennego oznacza to: mniejsze zużycie koksu na wypalanie wapienka, oraz większą ilość wapna, wypalonego w danej pojemności pieca. Dalej, ciągłe wykonanie daje większą równomierność procesu, w naszym przypadku: stały skład gazu, jednakowo wypalone wapno, jednakowy rozkład temperatur w piecu, jednakową temperaturę i ciąg w przewodach gazowych i t. d. Ciągłemu wykonaniu towarzyszy też większa łatwość regulowania procesu. Wreszcie, prawie zawsze — zmniejszenie robocizny, a przytem, co ważniejsze, uniezależnienie się od dobrej woli robotnika, od pomyłek przez niego popełnianych, od konieczności nadzoru i kontroli jego pracy.

Takie to „dobrodziejstwa” wypłynąć mogą z przejścia do ciągłego wykonania procesu. Ale te dodatnie strony wystąpią wtedy tylko, kiedy ciągłości i zmechanizowaniu procesu będzie towarzyszyło prawidłowe wykonanie procesu pod względem technologicznym. Dużo pomysłów w dziedzinie ciągłych procesów i aparatów chybiło celu, ponieważ nie brało pod uwagę, zawsze najważniejszej, technologicznej strony.

Praktyczne wykonanie ciągłego wypalania wapienka, budowa automatycznych pieców wapiennych napotyka znaczne trudności zarówno pod względem technologicznym jak konstrukcyjnym. O tem pamiętać należy przy ocenie osiągniętych dotychczas wyników.

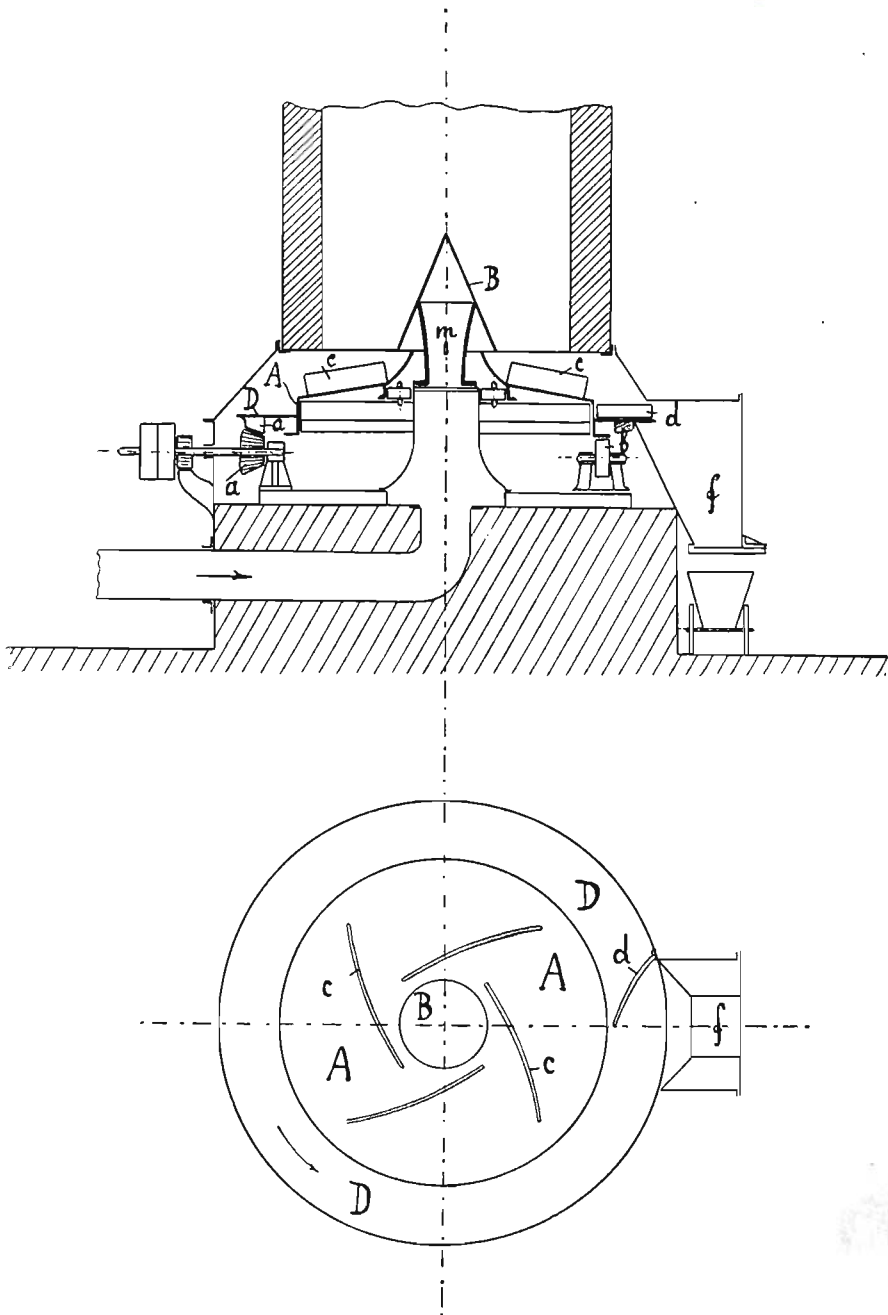
3. Automatyczne piece do wypalania wapienka.

Istnieje dużo pomysłów, dotyczących mechanicznego wygarniania wapienka z pieca. Opis licznych mechanicznych urządzeń, proponowanych do tego celu, znaleźć można w książce B. Block'a „Das Kalkbrennen”, wyd. II, 1924 r., str. 425 — 449. Przy czytaniu tego opisu mimowolnie nasuwa się myśl, że żadne z proponowanych ewent. wypróbowanych urządzeń nie odpowiada jeszcze całkowicie swemu przeznaczeniu. Podamy tu wzmianki tylko o niektórych z nich, a obszerniej opiszemy tylko nowe piece automatyczne firmy H. Löhner oraz Zakładów Škody, przed niedawnym czasem ustawione w kilku naszych cukrowniach.

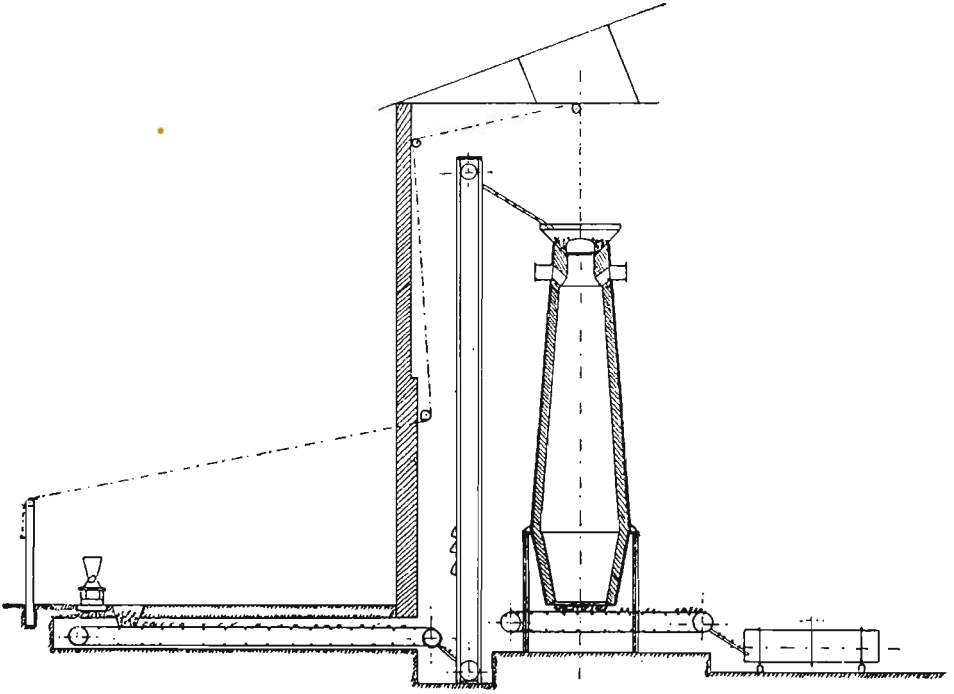
Jednym z pierwszych pieców automatycznych, które weszły do praktyki przemysłowej, był piec, opatentowany przez Ernesta Solvay'a (D. R. P. 43 901, 1887 r.). Rys. 26 daje nam przekrój pionowy dolnej części tego pieca oraz widok z góry tarczy wygarniającej. Istotną częścią pieca jest tarcza obrotowa A, otrzymująca napęd przez tryby stożkowe a — a. a wsparta na rolkach prowadzących b. Nad środkową częścią tarczy umieszczony jest stożek B; na powierzchni tarczy znajduje się szereg skrzydeł c — c. Przy ruchu obrotowym tarczy wapno, ześlizgujące się po powierzchni stożka B, trafia na powierzchnię tarczy i przez skrzydła c spychane jest na obwód D tarczy; listwa zatrzymująca d (nieruchoma) zgarnia wapno z ruchomego obwodu D do leja f. Piec pracuje z nadmuchem powietrza, wpędzanego do pieca przez otwory m pod stożkiem. Patent

przewiduje także modyfikację, według której stożek i tarcza przedstawiają obrotowy stożek ślimakowy.

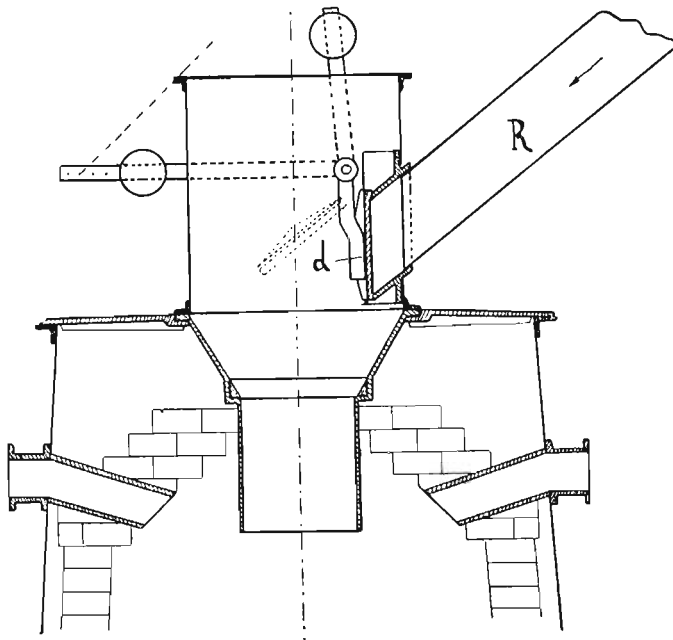
Zwracamy tu uwagę, że opisane dalej piece f. L ö h n e r t i Z a k ł a d. Š k o ł y niewątpliwie wzorowały się na piecu S o l v a y'a.



Rys. 26. Piec Solvay'a.

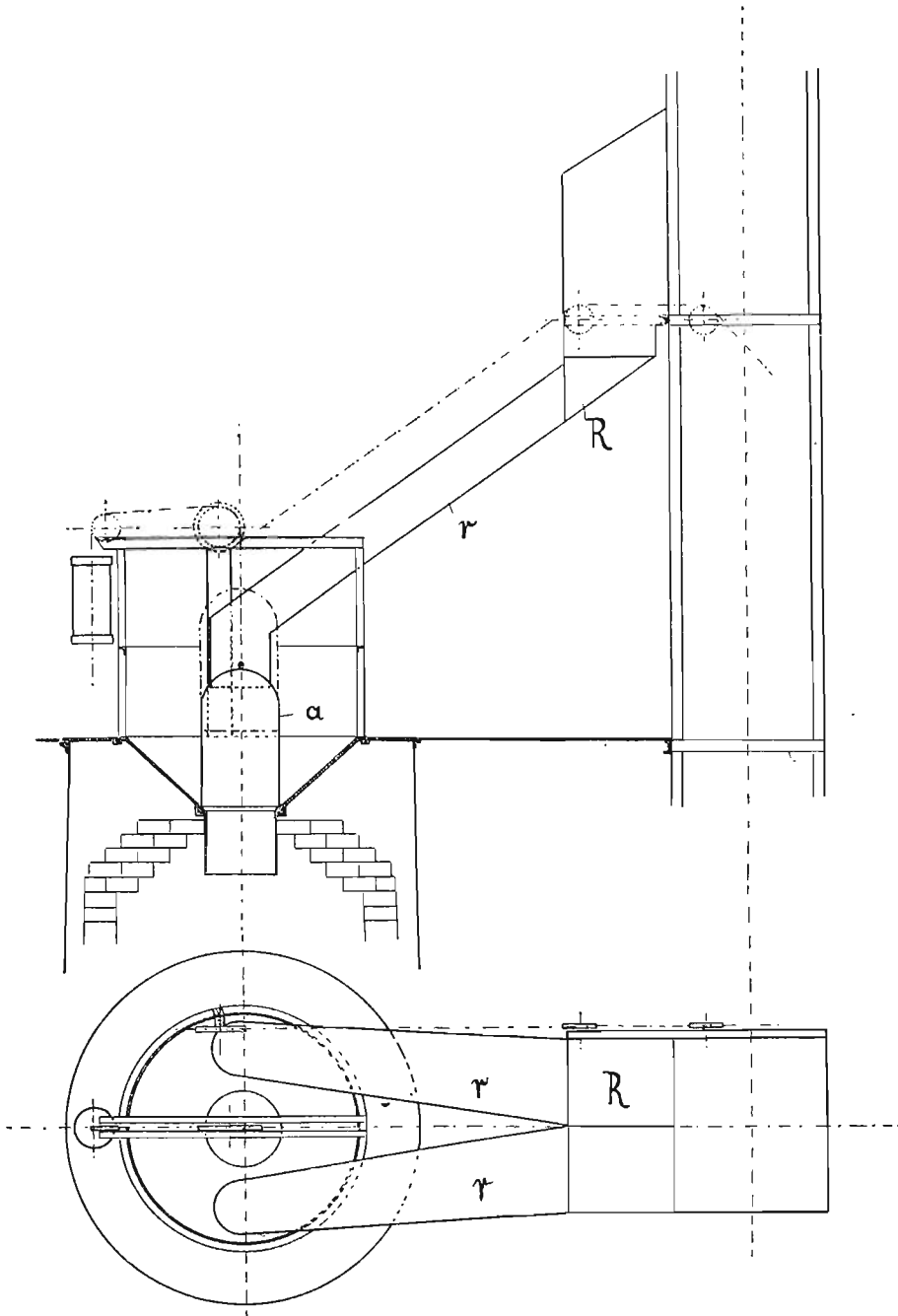


Rys. 27. Piec w cukrowni Meaux.



Rys. 28. Urządzenie do automatycznego ładowania (pierwotne).

W paru cukrowniach belgijskich i francuskich jeszcze przed wojną pracowały piece wapienne, z automatycznym wyładowaniem w postaci pasa bez końca, przesuwanego się pod dolnym wylotem pieca. Rys. 27 podaje



Rys. 29. Urządzenie do automatycznego ładowania f. Herman Löhnert.

piec, ustawiony w cukrowni *Meaux* pod Paryżem (według *Gaz. Cukr.*, Tom. 36, str. 185, 1910/11 r.).

Block (str. 440) uważa, że urządzenie do wyładowania w postaci pasa bez końca (ewent. ruchomego rusztu) działa wadliwie, powodując jednostronne (ze strony nasuwu pasa) opuszczanie się wapna w piecu.

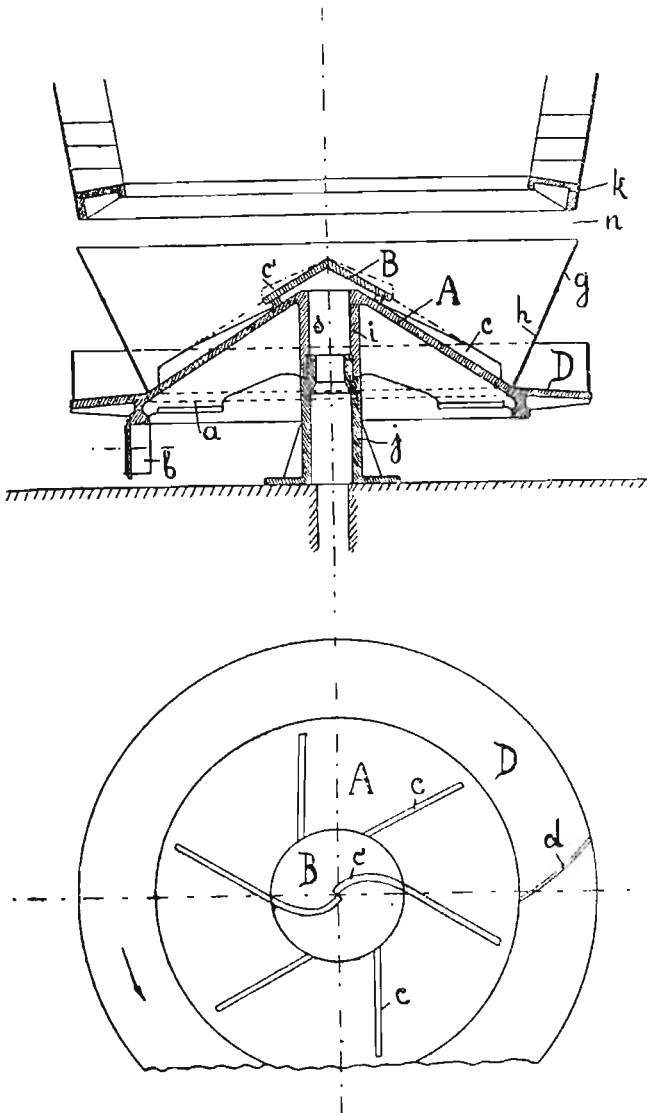
Automatyczne piece wapienne firmy H. Löhnert od kilku lat zaczęły wchodzić do praktyki cukrowni naszych; ustawione zostały: w Janikowie Kościanie, Tucznie, Zbiersku i ostatnio w Horodence. Pierwotna konstrukcja posiadała liczne błędy, stopniowo usuwane. Piec ten posiada zarówno „automatyczne” załadowanie jak wyładowanie. Rys. 28 i 29 przedstawiają urządzenia do ładowania: pierwotne (które w r. 1925/26 widzieliśmy w Tucznie) oraz obecne (r. 1926/27). W urządzeniu pierwotnym (rys. 28), które na papierze przedstawiało się dobrze, nie uwzględniono technologicznych wymogów. Wapniak z koksem, podany w wózku na górę windą elektryczną, przez automatyczne przewrócenie wózka, wpadał do pochyłej rynny *R*; jednocześnie automatycznie otwierały się drzwiczki *d*, które następnie zamykać się miały pod wpływem przeciwwagi. Wózek po opróżnieniu automatycznie powracał windą na dół. Urządzenie to okazało się wadliwe zarówno w szczegółach konstrukcyjnych (co łatwiejby się dało usunąć) jako też, co ważniejsze, pod względem technologicznym, przez nierównomierne rozrzucanie ładowanego materiału w przekroju pieca: materiał, wpadając z impetem do leja, uderzał w przeciwległą do rynny ścianę leja i odbity spadał do pieca w większej ilości z jednej jego strony; koks, jako lżejszy, niż wapniak, układał się jeszcze bardziej jednostronnie. Powodowało to jednostronny, a przez to nieprawidłowy bieg pieca.

Konstrukcja r. 1926/27 (rys. 29) szczęśliwie usunęła te wady i pracuje zupełnie zadowalająco, według opinii personelu technicznego cukrowni Tucznia, potwierdzonej przez wykonaną przez nas ścisłą kontrolę pieca. Wózek z wapniakiem i koksem, wywrócony automatycznie, wrzuca materiał do rynny pochyłej *R*, rozwidłonej na dwa rękawy *r—r*. Po załadowaniu „porcji” wapniaka i koksu, dzwon *a*, zamykający wylot pieca, zostaje automatycznie podniesiony, materiał ulega załadowaniu, poczem dzwon zostaje automatycznie opuszczony, a wózek powraca na dół. Przy tym systemie materiał ładowany jest dosyć równomiernie, aczkolwiek zawsze jeszcze gorzej, niż przy ręcznym ładowaniu, kiedy lej zupełnie równomiernie wokoło zapełniany jest materiałem.

Rys. 30 przedstawia urządzenie do wyładowania wapna. Jest to, podobnie jak u *Solvay’a*, stożkowa tarcza obrotowa *A*, zaopatrzona w środkowej części w główkę stożkową *B*, a na bocznej powierzchni w skrzydła wygarniające *c—c*. Tarcza otrzymuje napęd przez tryby stożkowe *a* i wsparta jest na rolkach *b*. Przestrzeń między wylotem pieca i powierzchnią tarczy otoczona jest stożkowym kożuchem *g* (patrz rys. 31), w którym znajdują się cztery otwory *h* do wyładowania wapna; wysokość tych otworów może być regulowana przez podnoszenie respect. opuszczanie zasuw, i w ten sposób może być zwiększana lub zmniejszana ilość wygarnianego wapna. Wapno, wygarnięte skrzydłami tarczy przez te otwory, trafia na ruchomy obwód *D* tarczy, przez który przesunięte aż do listwy zatrzymującej *d* spada wreszcie na przenośnik, podający je do Mika. Powietrze wchodzi do pieca: 1) przez otwory *h* do wyładowania wapna i 2) przez szczelinę *n*, utworzoną między dolną krawędzią pieca *k* i kożu-

chem g. Prócz tego do doprowadzania powietrza do wnętrza pieca ponad środkiem tarczy miał służyć kanał s i otwory pod główką stożkową B.

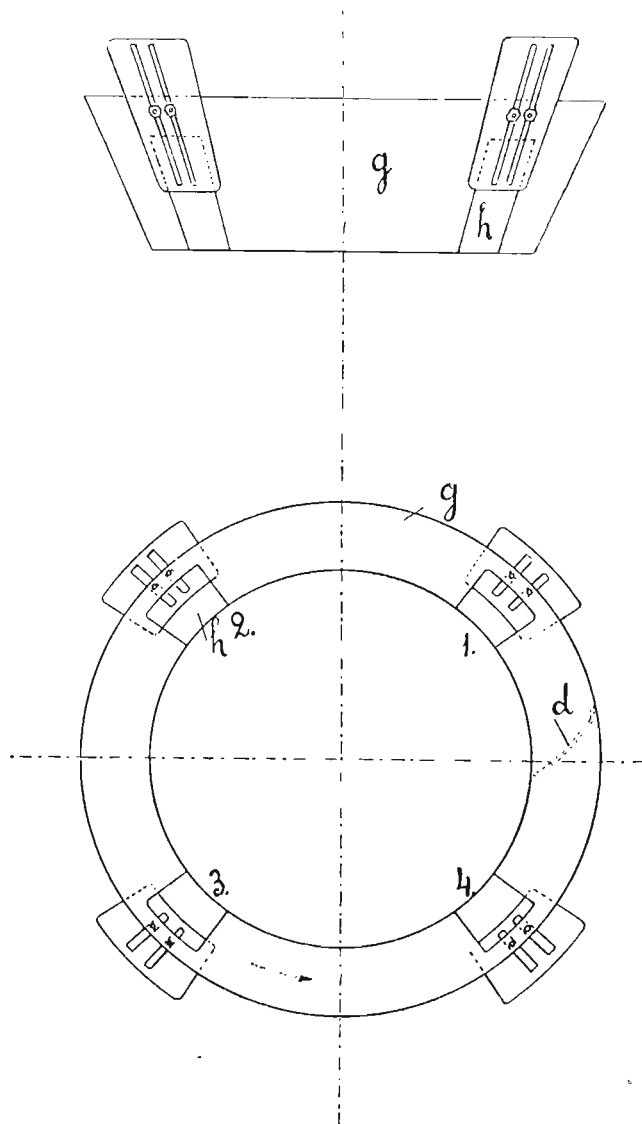
Poszczególne części konstrukcyjne tego urządzenia stopniowo ule-



Rys. 30: Urządzenie do wyładowania wapna f. Herman Löhnert.

gały zmianom. Tak, tarcza nie posiadała początkowo rolek prowadzących, na których spoczywa i przez które jest podparta. Konstruktor jakgdyby nie zdawał sobie sprawy z tego, że tarcza jest bardzo znacznie obciążona ciężarem spoczywającego na niej wapna. Przy obecnie stosowanych słabo stożkowych, prawie cylindrycznych profilach pieców znaczna część „hydrostatycznego” ciśnienia słupa materiałów, znajdujących się w piecu, spoczywa na tarczy. Przy wysokości pieca około 12 m (jak w Tucznie),

całkowite obciążenie tarczy o średnicy ok. 2 m wyniosłoby ok. 40 000 kg; gdyby więc obciążenie tarczy wyniosło tylko $\frac{3}{4}$ część całkowitego, zawsze jeszcze dawałoby to 10 000 kg, czyli 10 t! Nic dziwnego, że bez rolek prowadzących tarcza przekrzywiała się, ulegała niebezpiecznym wyboaczom, a tryby się łamały. Rolki usunęły te niedomagania, nie mogły je-



Rys. 31. Kozuch nad tarczą z okienkami wyładowczymi.

dnak usunąć ich całkowicie wobec zbyt prymitywnej konstrukcji łożyska podporowego. Łożysko to, na którym obraca się trzon tarczy, składa się z pustego czopa *i*, nastawionego na nieruchomy pusty czop (kolumnę) *j*; powierzchniami tarcia są stykające się z sobą boczne powierzchnie czo-

pów oraz krawędzie ich. Gdyby nawet rolki były stale idealnie ustawione i przyjmowały na siebie całe obciążenie tarczy (trudno zresztą uwierzyć, żeby tak było), łożysko zawsze przyjmować na siebie musi wybożenia tarczy, które choćby same przez się nieznaczne, zawsze jeszcze znaczne tarcie wywołać muszą na niewielkiej powierzchni łożyska. Urządzenie do smarowania łożyska (smarem T o v o t e'a) dano prymitywne, wystarczające póty póki łożysko jest zimne, przy zagrzaniu się zaś łożyska, które jak to dalej zobaczymy, łatwo się tu zdarzyć może, chybiające celu.

Niewłaściwa konstrukcja łożyska sporo zawiniła w nieprzychylnym przyjęciu przez cukrownie całości urządzenia, jak o tem jeszcze dalej szczegółowiej mówić będziemy.

Ujemną stroną urządzenia jest też trudność regulowania ilości odciganego wapna. Tarcza, napędzana elektromotorem, posiada tylko jedną stałą liczbę obrotów (w Tucznie — 1 obrot w $7\frac{1}{2}$ min.). Ilość odciganego wapna regulować można przez zmianę wysokości czterech otworów upustowych w kożuchu (p. rys. 31). Regulowanie to trudne jest do ujęcia w karby, tem bardziej, że poszczególne otwory nawet przy jednakowym przekroju dają jednak niejednakowe ilości wapna, co przy niedopatrzniu spowodować może nierównomierny z różnych boków bieg pieca. Mianowicie otwór 1, znajdujący się tuż za zatrzymywaczem *d*, gdzie obwód tarczy jest jeszcze zupełnie wolny od wapna, daje najwięcej wapna, każdy następny, w miarę jak obwód tarczy coraz to bardziej zapełnia się wapnem, wygarnia wapna coraz to mniej. Nadać tarczy zmienną liczbę obrotów nie przedstawi oczywiście trudności, natomiast usunięcie wskazanej nierównomierności wygarniania przez poszczególne otwory przedstawia poważny szkopuł.

Dopływ powietrza pod stożkową główkę tarczy faktycznie nie zachodził i zachodzić nie mógł. Powietrze miało wchodzić przez samorzutny ciąg; ciąg ten, z natury rzeczy b. słaby, nie wystarzał, tem bardziej, że otwory pod stożkiem *B*, a nawet kanał *s* wewnątrz czopa i kolumny szybko ulegały zapchaniu przez miął i pył wapienny (wspomniany kanał — jeszcze i przez smar). Usunąć to niedomaganie mógłby tylko silniejszy ciąg np. wdmuchiwanie powietrza wentylatorem.

Mówiliśmy dotychczas o takich usterkach konstrukcji, które praktyka łatwo mogła wykazać i które nie są zbyt trudne do usunięcia. Trudniej jest rzec coś pewnego o działaniu podstawowej części urządzenia: stożkowej tarczy obrotowej, zaopatrzonej w listwy (skrzydła) do wygarniania wapna. Na rys. 30 linią kropkowaną wskazany jest widok skrzydeł w pierwotnej konstrukcji (1925/26 r.); stożkowa główka *B* zaopatrzona była również w listewki wygarniające *c*¹. Zdaniem techników cukrowni Tuczn. które i nam wydaje się słuszne, listewki te powodowały zbyt silne wygarnianie wapna ze środka pieca, który schodził przez to szybciej, aniżeli boki. Przed kampanją 1926/27 r. listewki te ścięto; ku środkowi (linia całna głównym stożku tarczy nadano kształt, ścięty ku środkowi (linia całkowa na rys. 30), przez co jeszcze bardziej osłabiono wygarnianie wapna ze środka pieca.

Automatyczny piec wapienny Zakładów Škody należy do tego samego typu pieców, co piec H. L ö h n e r t, i wzorowany jest również na patencie S o l v a y'a. Posiada więc również tarczę obrotową do wygarniania wapna, lecz tarcza ta urządzona jest, jako ślimak stożkowy *A* (Rys. 32).

Srodek stożka ślimakowego zakończony jest grzybkim *b*, pod którym znajdują się otwory doprowadzające powietrze. Tarcza wsparta jest na kulkowym łożysku i otrzymuje powolny ruch od przekładni ślimakowej *a*.

Listwa *d* (nieruchoma) służy do skierowania wapna do podnośnika. Cylindryczny kożuch *g* otacza tarczę ślimakową. Pierwotne wykonanie posiadało liczne błędy, które uniemożliwiały przez kampanje 1924/25 i 1925/26 roku pracę mechanicznego urządzenia.

Do najważniejszych z tych błędów należy zaliczyć:

1) zbytne obciążenie tarczy ciężarem wapna z pieca (podobnie jak w piecu H. Löhner t) i zasypywanie wapnem całej tarczy. W celu zmniejszenia tego obciążenia i zasypywania ustawiono później u wylotu pieca rodzaj rusztu z 4-ch belek *c—c*.

2) Wadliwe funkcjonowanie podnośnika ślimakowego *S*, podającego wapno do Mika. Podnośnik ten, postawiony zbyt stromo, nie zabierał prawie wcale wapna. Ustawiony następnie bardziej poziomo zaczął zabierać wapno, ale zamiast podawać go do Mika działał głównie jako młyn, mielący wapno na proszek. Wtedy wreszcie wyrzucono podnośnik ślimakowy, jako nie nadający się widocznie do podawania wapna, i zastąpiono go podnośnikiem kubetkowym¹⁾. Ładowanie posiada piec zwykły, ręczne.

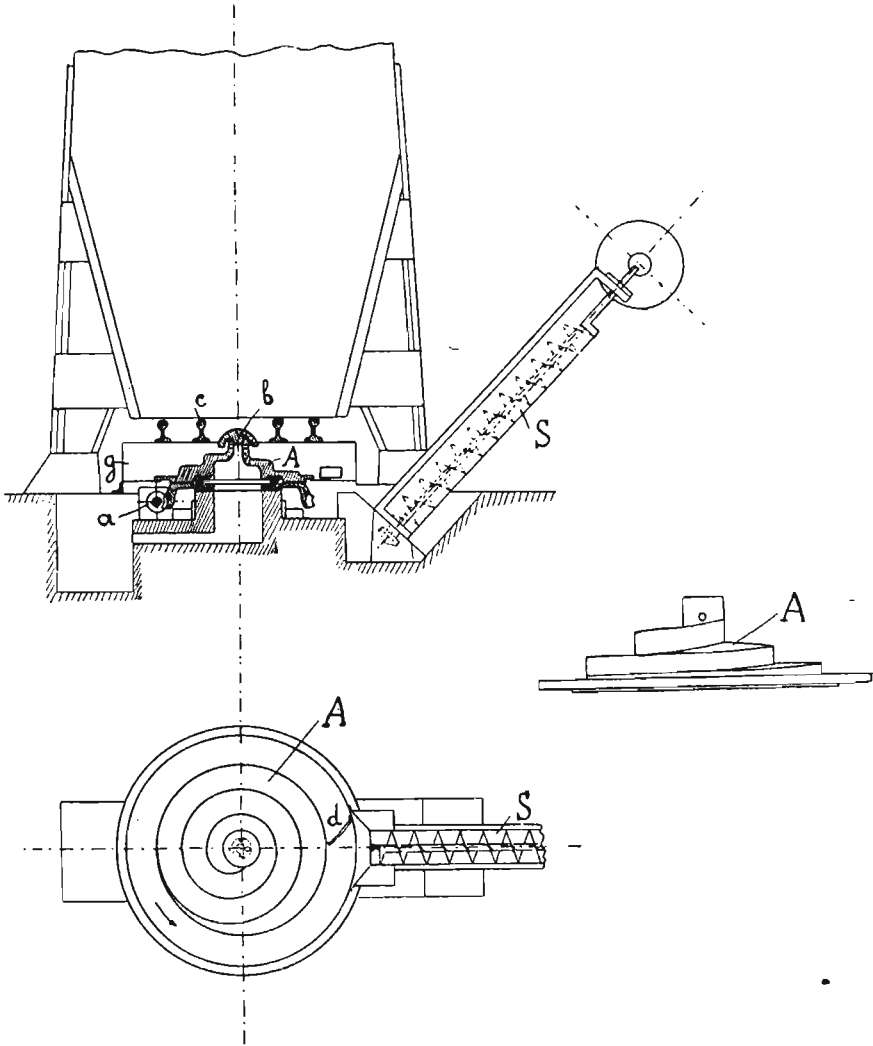
3. Zakres badań, wykonanych w r. 1926/27.

Pierwotnym i głównym celem tych badań było zapoznanie się z działaniem automatycznych pieców wapiennych firmy H. Löhner t. Jako obiekt do badania wybrano piec taki, ustawiony w cukrowni Tuczn o. Dla lepszego zrozumienia pracy automatycznego urządzenia do wyładowania wapna, postanowiono zbadać uprzednio piec ten przy ręcznym wyładowaniu, później zaś dopiero przy wyładowaniu mechanicznym, przy czem wszystkie inne czynniki, poza sposobem wyładowania, miały pozostać niezmiennie. Ponieważ piec w Tuczn i posiada pojemność (70 m³) dwa razy większą, aniżeli zwykłe doniedawna u nas budowane piece wapienne, oraz różni się od zwykłych pieców, prócz mechanicznego wyładowania, jeszcze automatycznym ładowaniem materiałów, odmiennym nieco profilem i t. p., postanowiono rozpocząć badania od kontroli z wy k ł e g o pieca wapiennego o pojemności ok. 35—40 m³, typu budowanego w ostatnich latach przed wojną.

Wybór nasz padł na piec cukrowni *X*, o którym z pobieżnych oględzin w czasie kampanji 1925/26 r. sądziliśmy, że pracuje zupełnie normalnie, i że otrzymane przy kontroli tego pieca cyfry i obserwacje posłużą nam jako wytyczne przy badaniu pieca w Tuczn i. Rzeczywistość niezupełnie odpowiedziała tym nadziejom; bieg pieca dla przyczyn, o których będzie mowa dalej, jak się okazało, uchylał się od przeciętnych norm. Badanie więc pieca w cukrowni *X* stało się raczej oddzielnym rozdziałem w naszych studjach, ilustracją niektórych nieprawidłowości w biegu zwykłych pieców. Wobec tego, że rezultaty badania pieca w Tuczn i doprowadziły nas do wniosku, iż urządzenie do automatycznego wyładowania

¹⁾ Przytoczone rysunki pieca oraz wiadomości o jego działaniu zawdzięczamy p. Dyrektorowi cukrowni Łubna p. inż. St. Dobrowolskiemu. Osobiście w Łubnej w roku 1926/27 nie byliśmy.

nie może w swej dzisiejszej postaci prawidłowo działać przy produkcji całej „normalnej” (dla pieca danej pojemności) ilości wapna (którą dawał on z łatwością przy ręcznym wyładowaniu), oraz do przypuszczenia, że urządzenie to da sobie radę z produkcją wapna o 30—40% mniejszą od normalnej, — zajęliśmy się zbadaniem takiego samego automatycznego pieca H. L ö h n e r t, ustawionego w cukrowni Zbiersk, który pracował na



Rys. 32. Urządzenie do wyładowania wapna Zakł. Škoda.

produkcję wapna, wynoszącą około 65% normalnej. Wreszcie, dowiedziawszy się, że cukrownia Ł u b n a posiada automatyczny piec Z a k ł a d. Š k o d y, postanowiliśmy i ten piec wciągnąć w sferę naszych badań.

Szczegółowe badania zdążyliśmy ukończyć tylko w cukrowniach: X i Tuczo. W Zbiersku mieliśmy czas tylko na bardziej ogólne badania i obserwacje. W Łubnej wreszcie nie zdążyliśmy już być w czasie kam-

panji; dane, dotyczące pieca Zakł. Škody podane w pracy niniejszej, zawdzięczamy uprzejmości p. dyr. S. Dobrowolskiego.

Metody i narzędzia badania, stosowane przez nas, będą w krótkości wskazane w poszczególnych dalszych rozdziałach. Nie różniły się one, naogół biorąc, od metod i narzędzi, zwykle do tego celu stosowanych, których opis można np. znaleźć w broszurze J. Maciejewicza „Kontrola pieca wapiennego” (Warszawa, 1926 r.). Oznaczano: ilość wapieniaka i koksu, ładowanego do pieca; pobierano średnie próbki tych materiałów, które analizowano; tak samo postępowano z wapnem; oznaczano wielkość i wagę kawałków wapieniaka i koksu; oznaczano ilość niedopału i żwirku w wapnie. Kontrolowano czas wyładowania i załadowania pieca; mierzono temperaturę i ciąg na różnych wysokościach pieca. Mierzono temperaturę i ciąg w różnych częściach przewodów gazowych: u wylotu pieca, przed płóczką gazową, za płóczką, przed odwadniaczem i za nim, przed pompą gazową i za pompą; zdejmowano wykresy pompy gazowej i t. d. Zebrano rysunki pieców, przewodów, dane, dotyczące wymiarów pieca, pomp i t. d. Urządzenie i sprawność działania płóczek gazowych (poza wskazanymi wyżej pomiarami) nie wchodziły narazie w zakres naszych badań.

4. Sprawność pieców wapiennych.

Tablica II podaje główne dane, ilustrujące sprawność badanych pieców wapiennych. Mamy tu: 1) w cukrowni X piec o periodycznem ręcznem wyładowaniem (co 3 godziny), pojemność $V=37,5\text{ m}^3$; 2) w Tucznie — piec automatyczny H. Löhner t, $V=70\text{ m}^3$; podane dalej cyfry dotyczą pracy z ręcznem wyładowaniem (co 2 godziny), tak zresztą piec szedł przez całą kampanję; 3) w Zbiersku — piec automatyczny H. Löhner t, $V=65\text{ m}^3$; praca z mechanicznem wyładowaniem, jak przez całą kampanję; 4) w Łubnej — piec automatyczny Zakł. Škody, $V=55\text{ m}^3$.

a) *Profile pieców*. Rys. 33 i 34 podają nam profile 4-ch badanych pieców oraz główne ich wymiary. Kąty odchylenia (od pionu) ścian górnego i dolnego stożka podaje tablica następująca:

Kąty odchylenia: α górnego i β dolnego stożka.

	X	Tuczno	Zbiersk	Łubna
• Kąt α :	$2^{\circ}30'$ —	$13^{\circ}34'$ —	$12^{\circ}8'$ —	$12^{\circ}53'$
Kąt β :	$23^{\circ}30'$ —	$18^{\circ}4'$ —	$17^{\circ}40'$ —	$22^{\circ}57'$

Stosunek pojemności górnego stożka do dolnego wynosi: dla pieców firmy Löhner t — 2,8 — 2,9, dla cukrowni X — 3,7, dla pieca Škody — 5,1. Stosunek ten dla pieca cukrowni X odpowiada dawnym normom dla pieców szybowych z centralnem wyładowaniem (t. zw. pieców Kherm'a); według tych norm obliczano dolny stożek, jako pas chłodzenia, nadając mu zwykle 20—25% ogólnej objętości pieca. Dziś, jak widzimy, konstruktorzy pieców wapiennych odstępują od tych norm zarówno w jedną, jak w drugą stronę.

Tablica II.

Sprawność pieców wapiennych.

Cukrownia	X	Tuczno	Zbiersk	Łubna
1) Wyładowanie	Periodyczne ręczne	Przy periodycznym ręcznym	Ciągłe automat.	Ciągłe automat.
2) Przerób dobowy buraków	6 500 <i>b</i>	10 500 <i>q</i>	7 000 <i>q</i>	5 500 <i>q</i>
3) Objętość ogólna pieca V :	37,5 m^3	70 m^3	65 m^3	55 m^3
4) Objętość górnego stożka V_1 :	29,5 m^3	52 m^3	48 m^3	46 m^3
5) Objętość dolnego stożka, V_2 :	8 m^3	18 m^3	17 m^3	9 m^3
6) Stosunek $\frac{V_1}{V_2}$:	3,69	2,89	2,82	5,1
7) V pieca na 1000 <i>q</i> buraków na dobę:	5,8 m^3	6,7 m^3	9,3 m^3	11,0 m^3
8) Wypalano wapniaka na dobę:	370 <i>q</i>	680 <i>q</i>	430 <i>q</i>	—
9) Wypalano wapniaka na 1 m^3 pieca na dobę:	~ 10 <i>q</i>	~ 10 <i>q</i>	~ 6,6 <i>q</i>	—
10) Wypalano wapniaka na 1000 <i>q</i> buraków:	57 <i>q</i>	65 <i>q</i>	61 <i>q</i>	—

Zapatrzywanie się na dolny stożek, jako na wyłączny pas chłodzenia wapna, jest bezwiednem przeniesieniem na piec szybowy poglądów, dotyczących pieca generatorowego. W piecu generatorowym początek pasa palenia zamocowany jest przymusowo w płaszczyźnie wlotu gazu generatorowego; wlot ten znajduje się u podstawy górnego stożka, przez co dolny stożek (lub walec) przymusowo stawał się pasem chłodzenia. W piecu szybowym pas palenia ustala się sam przez się na pewnej wysokości w zależności od różnych czynników, niezależnie zaś od tego, gdzie się zaczyna górny stożek.

Nie wynika z tego bynajmniej, że dla pieca jest rzeczą obojętną taki lub inny stosunek pojemności stożków oraz kąt pochylenia ich boków. Od czynników tych zależą: 1) mechaniczna trwałość i statyczność pieca i 2) mniejsza lub większa prawidłowość schodzenia materiałów i podnoszenia się gazów w piecu. Idealnym pod tym względem byłby piec, w którym zarówno wapniak, koks i wapno, jako też gazy, poruszałyby się — w dół czy do góry — w każdym punkcie każdego danego przekroju równomiernie czyli z jednakową szybkością; wtedy materiały, które w górnej warstwie ułożone byłyby poziomo, zachowałyby ten układ we wszystkich przekrojach aż do dolnego wylotu pieca.

Teoretycznie (gdyby nie było tarcia) ideałowi takiemu odpowiadałby szyb ściśle cylindryczny. W realnym szybie o takim profilu schodzenie materiałów byłoby utrudnione; groziłoby niebezpieczeństwo zawisania pieca. To też praktyka nadaje piecowi na głównej części jego wysokości, dla ułatwienia schodzenia materiałów, profil stożkowy, jednak pochylenie stożka powinno być nieznaczne, byle wystarczające do schodzenia materiału. Dolna część pieca szybowego może być ukształtowana w postaci cylindra. Dla pieców współczesnych o dużej pojemności, a więc dużej średnicy w rozporze (D do 3,0 *m*), dolna część pieca szybowego kształtowana jest w postaci odwróconego stożka, ażeby zmniejszyć średnicę wylotu dolnego (np. z 3,0 *m* do 2,0 *m*). To zmniejszenie średnicy pozwala też na równomierniejsze w całym przekroju doprowa-

dzenie powietrza. Pochyłość boków dolnego stożka, zwykle większa aniżeli górnego, nie powinna także być zbyt znaczna, gdyż inaczej piec schodziłby przeważnie częścią środkową. Pod tym względem za bardziej prawidłowy uważaby należało profil pieca w Tucznie i Zbiersku, za zbyt mało zaś pochylone w stożku dolnym — piece w cukrowni X i w Łubrej.

Co do ruchu gazów, to w piecach szybowych, zarówno zwykłych o nieruchomym stożku pod dolnym wylotem pieca, jako też w opisanych piecach automatycznych L ö h m e r t'a i S k o d y o ruchomej stożkowej tarczy, powietrze wchodzi głównie na obwodzie dolnego wylotu, gazy zaś odciągane są z góry, również głównie na obwodzie górnego wylotu; gdyby piec był na całej wysokości cylindryczny, to gazy na całej wysokości szłyby przeważnie bokami pieca. Ukształtowanie pieca z dwóch stożków: górnego i dolnego, zmniejsza to niebezpieczeństwo. Poza tem przeciwdziałają temu inne okoliczności, które zmuszają cząsteczki gazu do mieszania się z sobą w kierunku poziomym, jako to: 1) dyfundowanie gazów, dość szybkie w wysokiej temperaturze; 2) prądy konwekcyjne, wywoływane przez różnicę ciężaru właściwego gazu w różnych punktach, zależną bądź od różnicy temperatur, bądź od składu gazu; 3) zmiana objętości gazu przez zmianę temperatury i przez reakcje chemiczne (wydzielanie się CO_2 z CaCO_3), dalej 4) zmiana kierunku ruchu gazu przy przechodzeniu między kawałkami ciała stałego, i powstające przy tem prądy wirowe gazu, wreszcie 5) pulsacja gazu na skutek szybkiej zmiany ciśnienia w przewodach i w piecu przy działaniu tłokowej pompy gazowej¹⁾.

Czytelnik winien wybaczyć nam pewne uchylenie się od głównego tematu i zajęcie się sprawą równomierności ruchu materiałów i gazów w piecu. Chcieliśmy przez tę dygresję podkreślić wagę tej sprawy dla prawidłowego biegu pieca. Konstruktorzy automatycznych pieców także ją zawsze przed oczyma mieć powinni.

b) *Ilość wapniaka, wypalanego na dobę* (rubryka 8 tablicy II), oznaczano bądź to przez stałe ważenie każdego wózka wapniaka (i koksu), tak postępowaliśmy w cukrowni X, bądź to przez oznaczenie z szeregu ważeń przeciętnej wagi wapniaka w wózku i liczenie załadowanych wózków (w Tucznie i w Zbiersku). Podane cyfry dla cukrowni X i Tucznia są przeciętną z 3—4 dni.

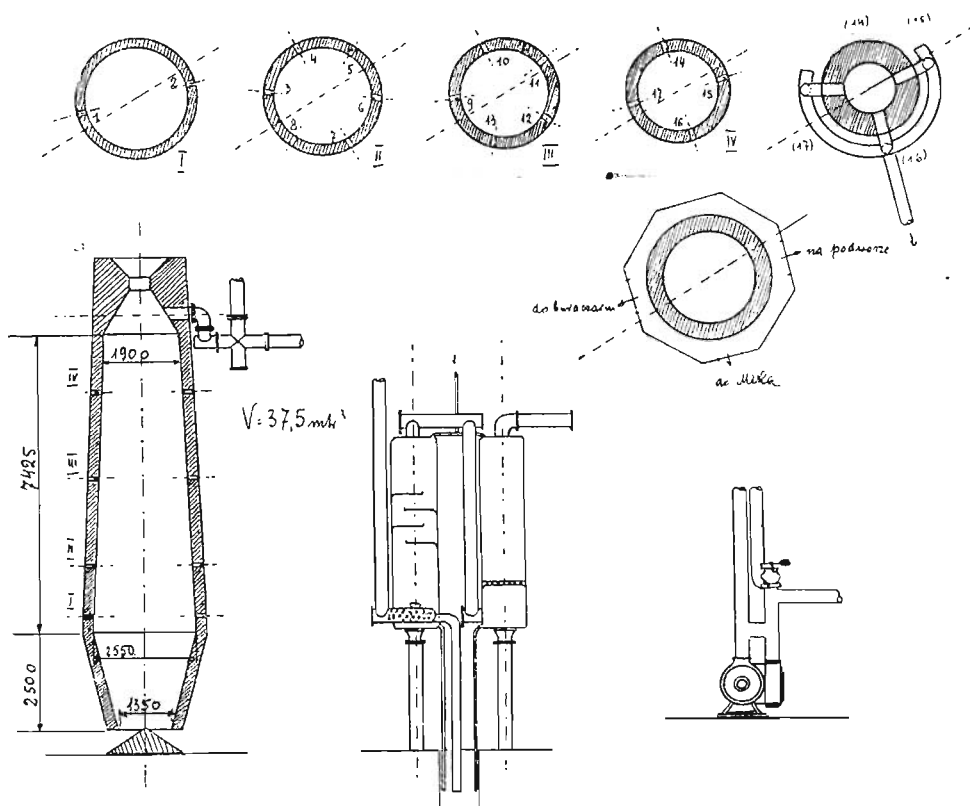
Sprawność pieca najlepiej charakteryzuje ilość wapniaka, wypalanego na dobę przez 1 m^3 pieca (rubryka 9). Ilość ta dla cukr. X i Tucznia wynosi ok. 10 $q = 1000 \text{ kg}$. Daje to, zgrubsza licząc, ok. 500 kg wapna z m^3 pieca na dobę. Cyfra ta odpowiada przeciętnie przyjętej normie. W Zbiersku natomiast ilość wapniaka wynosi ok. 6,6 $q = 660 \text{ kg}$ czyli ok. 330 kg wapna, a więc ok. 65% normalnej. Nie wynika jeszcze z tego, ażeby ta zbyt mała sprawność pieca pochodziła z jego winy. Rubryka 7 wskazuje nam, że podczas kiedy cukrownia X i Tucznia mają pojemność pieców dostosowaną do wielkości przerobu — ok. 6 m^3 pieca na 1000 q buraków na dobę, — Zbiersk (oraz Łubna) posiadają piece wapienne, w przewidywaniu dalszego wzrostu przerobu dobowego, wybudowane „na wyrost”: 9—10 m^3 pieca na 1000 q buraków. Cała ilość potrzebnego dziś wapna wynosi dla tych cukrowni ok. 60—70% normalnej sprawności pieców.

5. Skład chemiczny gazu saturacyjnego.

Tablica III podaje skład gazu saturacyjnego, jako przeciętną z kilkunastu do kilkudziesięciu analiz, wykonanych w czasie prowadzenia badań.

¹⁾ Przy wirowej pompie gazowej pulsacji niema; odbywa się to zapewne niekorzystnie na procesach, zachodzących w piecu wapiennym.

Analizowano gaz, tłoczony przez pompę, przed wejściem do kotłów saturacyjnych¹⁾, a więc gaz, który mógł mieć skład nieco odmienny od gazu, wychodzącego z górnego wylotu pieca. Analizy gazu wykonywano za pomocą biurety Bunt'e'go, z zachowaniem metod i ostrożności, stosowanych przy precyzyjnych analizach gazowych. Cyfry, dotyczące cukrowni Zbiersk, są przeciętną z mniejszej liczby analiz, wykonanych w przeciągu jednej tylko doby.



Rys. 33. Piec wapienny cukrowni X.

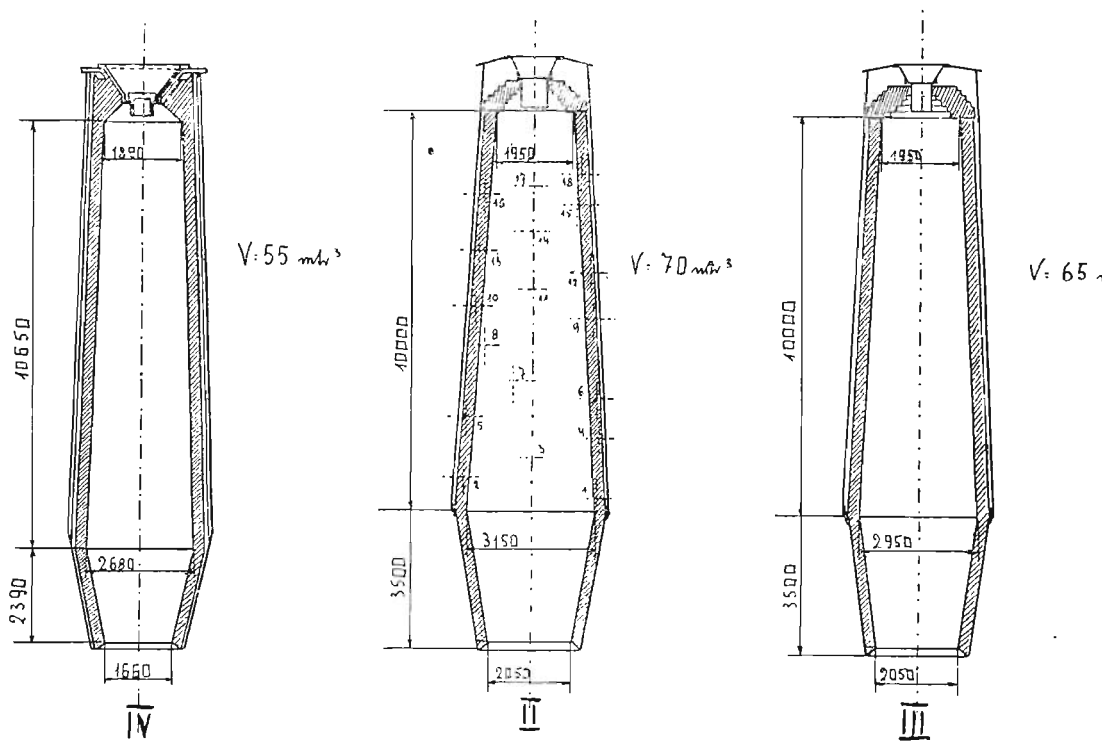
Dodać tu należy, że w cukrowni X, przy wyładowaniu pieca co 3 godziny, mieliśmy największe wahania zawartości CO_2 w gazie, w granicach 14—28% (porównaj wyżej tablicę I); w Tucznie i Zbiersku — mniejsze:

¹⁾ Przy sposobności zwracamy uwagę na pewien szczegół, dotyczący doprowadzenia gazu do laboratorium. W większości cukrowni rurka, doprowadzająca gaz, zakończona jest w laboratorium jednym kurkiem. Chcąc pobrać do analizy próbkę gazu, rzeczywiście odpowiadającą gazowi, który w danej chwili idzie z pieca do kotłów saturacyjnych, należy przed analizą przez pewien czas (1—2 min.) wypuszczać gaz na powietrze. Wypuszczanie większych ilości gazu do atmosfery laboratoryjnej jest rzeczą przykrą dla osób w laboratorium obecnych, wobec tego wypuszczanie gazu często jest zaniedbywane lub wykonywane niedostatecznie, co powoduje błędne analizy. Rurka, doprowadzająca gaz, powinna mieć w laboratorium dwa rozgałęzienia z kurkami: jedno, prowadzące na dwór, do uprzedniego (ewent. stałego) wypuszczania gazu, drugie — w pracowni, do pobierania prób do analizy. Przed kranikami dobrze jest umieścić „odwadniacz”.

w Tucznie przy ręcznym wyładowaniu co 2 godz., od 26—33%, przy mechanicznym wyładowaniu — jeszcze mniejsze, w Zbiersku — od 19 do 23%.

Przeciętny skład gazu jest, jak to widzimy, dla każdej z tych cukrowni odmienny, szczególnie różni się pod tym względem Tucznia od dwóch pozostałych cukrowni.

Całkowita analiza gazu saturacyjnego pozwala, przez wykonanie odpowiednich obliczeń, na wysnucie bardzo ważnych wniosków, dotyczą-



Rys. 34. Profile pieców: II — w Tucznie, III — w Zbiersku, IV — w Łubnej.

cych działania pieca. Według przytoczonych analiz obliczyliśmy: 1) t. zw. współczynnik nadmiaru powietrza, użytego na spalanie koksu, 2) stosunek ilości CO_2 , pochodzącej ze spalania koksu, do ilości CO_2 z rozkładu węglanu wapnia, i 3) w przybliżeniu, ilość węgla (C), przypadającego na 100 cz. rozłożonego CaCO_3 . Sposób wykonania tych obliczeń w ogólnym przypadku został przez jednego z nas podany w artykule p. t. „Obliczenie współczynnika nadmiaru powietrza etc. według analizy gazu saturacyjnego” (Gaz. Cukr. i. 62, s. 161—170, r. 1928 i „Prace” niniejsze, IX). Rezultaty obliczeń podane są w tablicy III (rubr. 3, 4 i 5).

Cukrownia Tucznia doprowadza do pieca ilość powietrza, mało co przewyższającą ilość teoretycznie niezbędną do spalania koksu. Cukrownia X doprowadza dość znaczny nadmiar, cukrownia Zbiersk — bardzo znaczny nadmiar. Ilość powietrza, doprowadzaną do pieca w Tucznie,

Tablica III.

Skład gazu saturacyjnego.

		Cukrownia X	Tuczno	Zbiersk
1) Bezpośrednia analiza gazu:	$CO_2 =$	23,9%	31,3%	21,9
	$O_2 =$	6,0	2,8	7,8
	$CO =$	1,6	2,9	1,5
2) Skład gazu po spaleniu CO :	$CO_2 =$	25,7%	34,7%	23,6%
	$O_2 =$	5,2	1,4	7,1
	$N_2 =$	69,1	63,9	69,3
3) Spółczynnik nadmiaru powietrza,	$m =$	1,39	1,09	1,63
4) CO_2 :	a) ze spalania C	13,2%	15,6%	11,3%
	b) z rozkładu $CaCO_3$	12,5	19,1	12,3%
5) Ilość C spalonego na rozłożony $CaCO_3$		12,6%	9,8%	11,0%

można uznać za prawidłową lub nawet za cokolwiek zbyt niską. Natomiast ilość powietrza w cukrowni X, a tem bardziej w Zbiersku, należy uznać za zbyt znaczną, niepotrzebnie zmniejszającą stężenie CO_2 w gazie oraz zwiększającą stratę ciepła w gazie, wychodzącym z pieca.

Co dotyczy ilości C , spalanego na 100 cz. rozłożonego $CaCO_3$, to w jednym z dalszych rozdziałów porównamy obliczone w ten sposób ilości C z faktycznie użytymi. Tu zaś zauważymy jeszcze tylko: 1) że cyfry, znalezione dla Zbierska, są dla przyczyny wyżej wskazanej mniej pewne, niż dla cukr. X i Tuczna, i 2) że znalezione ilości C odpowiadają zużyciu nie na 100 cz. wapienika, lecz na 100 cz. $CaCO_3$ przytem nie całkowitego, lecz rozłożonego faktycznie na CaO i CO_2 . (W cukrowni X, jak zobaczymy dalej, znaczna część $CaCO_3$ pozostawała nierozłożoną).

Zawartość CO w gazie. We wszystkich 3 cukrowniach przeciętna analiza gazu podaje pewną zawartość CO , pomimo, że jednocześnie gaz zawiera wolny tlen.

Dla cukrowni Tuczno zawartość tlenu w gazie wynosi 2,8%, a obok tego mamy 2,9% CO . Dane, któremi rozporządza literatura, dotycząca składu gazów z pieca wapiennego, prowadzą do wniosku, że przy zawartości tlenu w gazie nie przekraczającej 1—2%, w gazie stale obecny jest CO w ilości od 0,5% do 1—1,5%. Tłumaczymy sobie możliwość takiego współistnienia w następujący sposób, uzgodniony z danymi bezpośrednich doświadczeń, dotyczących spalania węgla lub koksu. Szybkość reakcji spalania tlenu węgla: $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ zależy: od temperatury (wzrastając ze wzrostem temperatury), od stężenia CO i O_2 w mieszaninie gazowej (wzrastając ze wzrostem tych stężeń), od szybkości mieszania się części układu gazowego, zawierających większą ilość niespalonego CO z częściami, zawierającymi większą ilość wolnego tlenu. W normalnych warunkach pracy pieca wapiennego czynniki, wyznaczające szybkość spalania CO , prowadzą do wskazanej wyżej zależności współistnienia CO i O_2 . Przytoczone cyfry nie mogą posiadać absolutnego znaczenia: w warunkach, nie sprzyjających spalaniu CO , może on po-

zostać w spalinach nawet przy 5—7% O_2 (taką zależność mamy często dla spalin z pod kotłów parowych).

Obecność CO i O_2 w gazie piecowym w Tucznie możemy wytłumaczyć w ten podany tu zwykły sposób. Natomiast w gazie cukrowni X i Zbierska mamy tlenek węgla (ok. 1,5%) obok bardzo znacznej, jak dla pieców wapiennych, zawartości O_2 , wynoszącej 6,0%, a nawet (w Zbiersku) — 7,8%. Zjawisko takie musimy uważać już za nienormalne i dla wytłumaczenia tej nienormalności szukać innych przyczyn. Zauważymy przede wszystkim, że przytoczony skład gazu jest przeciętną z licznych szeregu poszczególnych analiz. Taką przeciętną może wykazać CO obok wysokiej zawartości O_2 . Oto np. przeciętna z dwóch analiz gazu (faktyczne analizy z cukrowni X)

	CO_2	O_2	CO
I anal.	28,0%	1,5%	3,5%
II anal.	14,1%	10,7	0,0
Przeciętna:	21,0	6,1	1,7%

Przeciętna daje 1,7% CO obok 6,1% O_2 , sumuje się zaś z dwóch analiz, które mogą być uznane za odpowiadające jeszcze normalnym warunkom. Jednakże takie tłumaczenie nie wystarcza, mamy bowiem w tej samej cukrowni także poszczególne analizy, w których CO występuje obok większej zawartości O_2 ; np.: 22,0% CO_2 , 6,2% O_2 i 2,5% CO, lub 28,0% CO_2 , 4,2% O_2 i 2,5% CO, a obok tego normalne analizy: 26,4% CO_2 , 4,4% O_2 i 0,0% CO, lub 19,0% CO_2 , 8,5% O_2 i 0,0% CO. Przyczyny, powodujące zawartość CO w gazie obok większej zawartości O_2 (znacznego nadmiaru powietrza), mogą być różnorodne, ale zawsze świadczą o niezupełnie normalnym biegu pieca. Wymienimy tu niektóre z nich. Przede wszystkim, nadmiar powietrza może trafiać do gazu w takim miejscu jego drogi, gdzie już CO zawarty w gazie nie może ulec spalaniu z powodu zbyt niskiej temperatury. W samym piecu będzie to przestrzeń powyżej pasa o temperaturze ok. 500°: poniżej 500°C spalanie CO (przy małym stężeniu O_2 w mieszaninie gazowej) już nie zachodzi lub zachodzi tak powoli, że nie zdąży się zbyttno naprzód posunąć. Powietrze, trafiające do pieca w górnej jego części, przez otwory zwierne, przez nieszczelności obmurowania i płaszcza, wreszcie przy otwieraniu górnego wylotu lub przez nieszczelne przymknięcie pokryw, nie może już być zużyte na spalanie CO. To samo dotyczy, oczywiście, powietrza, trafiającego przez nieszczelności do przewodów gazowych lub do pompy w jej części ssącej. Drugą przyczyną — może być nierównomierny rozkład i nierównomierne schodzenie w przestrzeni piecowej materiałów stałych (wapniaka i koksu) lub też (albo „oraz”) nierównomierny rozkład i nierównomierne wznoszenie się w piecu powietrza i gazów. Sądzimy, że jest to częsta przyczyna nienormalnego składu gazu: zawartości CO obok większej ilości O_2 . W cukrowni X wykryliśmy (o czym patrz dalej!) nierównomierny bieg pieca w przekroju: piec idzie energiczniej z jednego boku niż z pozostałych. Przyczyną tego zjawiska był, jak się nam zdaje, nierównomierny rozkład ciągu z różnych stron pieca. Gdyby przypuszczenie to było słusznem, wtedy z jednego boku pieca szłyby gazy o znacznym nadmiarze powietrza (tlenu), nie zawierające CO, z drugiego zaś — gazy bez nadmiaru powietrza lub ze zbyt małym nadmiarem, nie zawierające O_2 i zawierające znaczniejszą ilość CO. Te różne gazy spotykać się z sobą mogą w takim dopiero miejscu pieca, gdzie CO nie może już reagować z O_2 .

W Zbiersku — przy wyładowaniu wapna ruchomą tarczą obrotową — prawdopodobnem jest szybsze schodzenie materiałów w środku pieca, gdzie dopływ powietrza jest mniejszy.

Obecność cokolwiek większych ilości CO w gazie piecowym prowadzi do *strat ciepła spalania C*, a więc do użycia zbyt znacznej ilości koksu. Straty te są znaczne, jak to pokażemy na przykładzie Tucznia. Gaz saturacyjny po spaleniu CO na CO_2 zawierałby 34,7% CO_2 , w tej liczbie: 2,9% ze spalania CO. Ilość CO_2 , pochodząca ze spalania C, wynosi, jak obliczyliśmy wyżej, 15,6% CO_2 , a w tem: 12,7% CO_2 z C spalonego na CO_2 i 2,9% z C spalonego na CO. Ze 100 więc części C (koksu), spalonego w piecu, mamy: 81,4% C spalonego do końca na CO_2 i 18,6% C spalonego tylko do CO. Przy spalaniu 1 kg C na CO_2 uzyskujemy 8080 Cal, przy spalaniu zaś na CO — tylko 2473 Cal. Gdyby wszystek C spalony był na CO_2 , wtedy zamiast 100 części C wystarczyłoby użyć:

$$81,4 + 18,6 \times \frac{2\,473}{8\,080} = 87 \text{ cz.}$$

Oszczędność węgla wyniosłaby 13% użytej ilości. Przy użyciu ok. 10% C na wapniak, jak to miało miejsce w Tucznie, oszczędność C wyniosłaby 1,3% C na wapniak, t. j. do wypalania wapna wystarczyłoby 8,7% C.

W czasie najbliższej kampanji zajmiemy się specjalnie badaniem przyczyn, powodujących obecność CO w gazie piecowym.

We wszystkich trzech cukrowniach (a także i w wielu innych) wykryliśmy w gazie obecność *siarkowodoru*¹⁾. Niewątpliwie, przyczyny istnienia w gazie H_2S obok tlenu są naogół te same, co istnienia CO obok O_2 ; sprawa ta zresztą mniej jeszcze była badana. W wapnie, szczególnie w cukrowni Tucznie, wykryliśmy obecność siarczków, prawdopodobnie CaS (ewent. FeS); znaczną ilość siarczków zawierał, jak już wspominaliśmy, „żwirek” od lasowania wapna. O szkodliwym działaniu H_2S , zawartego w gazie, i CaS, zawartego w mleku wapiennym, na oczyszczanie soków — wspominaliśmy już wyżej.

6. Skład chemiczny wapniaków, koksu, wapna i mleka wapiennego.

a) *Wapniaki*. Tablica IV podaje nam skład chemiczny wapniaków, używanych przez omawiane cukrownie do wypalania wapna. Analizowano, według zwykłych metod, średnie próbki, starannie zebrane w przeciągu paru dni z materiału, który szedł do pieca w czasie prowadzenia badań. Dla Tucznia, oprócz tej przeciętnej próby, analizowano jeszcze próbki, wybrane z kupy na oko, jako nienormalnie zabarwione: jedne — żółte, drugie — szare. Kawalki takie, według obserwacji personelu technicznego, dawały gorsze wapno. Wapniaki, stosowane przez cukrownię X i Zbiersk, pochodzą z okolic Częstochowy, przez Tucznie — z Piechcina pod Inowrocławiem. Analizy wykonane zostały przez p. inż. J. Zaleskiego.

Wapniaki, stosowane przez cukrownie Tucznie i Zbiersk o zawartości $CaCO_3$: 97,0% i 96,1% należy uznać za zupełnie dobre. Natomiast wapniak, stosowany przez cukrownię X, zawierający tylko 91,4% $CaCO_3$, a obok tego 6,3% SiO_2 — za pośredni, dający gorsze, bardziej chude wapno. Kawalki, wybrane w Tucznie, jako podejrzone, okazały się, rzeczywiście, gorszym materiałem: żółte, jako zawierające 6,6% $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ i 89,6% $CaCO_3$, szare — 91,3% $CaCO_3$ obok 5,6% SiO_2 .

Oprócz składu chemicznego dla oceny wapniaka posiada ważne znaczenie jego *struktura fizyczna*, od której zależy mniejsza lub większa łatwość (szybkość) wypalania. Wyniki odpowiednich badań podane będą do druku oddzielnie.

b) *Koksy*. Tablica V podaje wyniki analizy koksów. Próby koksu pobrane były w taki sam sposób, jak próby wapniaków, i przechowywane w zalutowanych puszkach. Zawartość wilgoci jest, jak widzimy, dość znaczna. Pochodzi ona częściowo z wody, którą gasi się koks przy wyładowaniu z pieców, częściowo z wilgoci, którą koks przyciąga z powietrza,

¹⁾ Zapomocą papierka, zwilżonego roztworem octanu ołowiu. Lepiej używać octanu ołowiu zwykłego, obojętnego lub nawet zakwaszonego kwasem octowym, gdyż zasadowy octan ołowiu daje jednocześnie biały osad $PbCO_3$, maskujący nieznaczne ilości PbS .

oraz z wody deszczowej, o ile koks przechowywany jest na wolnym powietrzu ¹⁾).

Zawartość C obliczono, odejmując od 100: zawartość wilgoci + popiół + siarka + 2%, te 2% odpowiadają przeciętnej zawartości w koksie nieoznaczonych składników: O + N + H.

Jak widzimy, zawartość C, od którego prawie jedynie zależy wartość opałowa koksu, wynosi w koksie wilgotnym faktycznie 76—80%, a nie 85—87%, jak to często bywa przyjmowane przy obliczeniach.

Wartość opałowa (po odliczeniu ciepła odparowania wody, zawartej jako wilgoć) wilgotnego koksu wynosi 6 100 — 6 500 Cal, a nie 7 000 Cal, jak to zwykle bywa przyjmowane ²⁾).

Koks cukrowni X jest koksem z gazowni. Co do kokсів z Tucznia i Zbierska — to nie otrzymaliśmy dokładnej wskazówki o ich pochodzeniu i nie wiemy, czy koksy te pochodziły z gazowni, czy też z koksowni. Koks z koksowni, t. zw. koks hutniczy, różni się od koksu z gazowni bardziej ścisłą, mniej porowatą strukturą, wyższym ciężarem właściwym zarówno pozornym, jak rzeczywistym, i większą wytrzymałością mechaniczną. Wa-

Tablica IV. *Analizy wapniaków.*

Cukrownia		X	Tuczno, próba przeciętna	Zbiersk	Tuczno, wybrany gorszy, żółty	Tuczno, wybrany gorszy, szary
Wilgoć		1.86	0.43	5.23	2.05	0.85
Na suchy wapniak	CaO	51.21	54.37	53.86	50.21	51.22
	MgO	0.80	0.37	0.94	0.92	1.09
	CO ₂	41.01	43.06	43.32	40.61	41.37
	SiO ₂	6.30	1.89	1.49	1.52	5.63
	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	0.57	0.27	0.15	6.57	0.36
	SO ₃	0.06	0.06	0.03	0.05	0.11
	Nieoznaczone	+ 0.05	— 0.02	+ 0.21	+ 0.12	+ 0.22
	CaCO ₃	91.37	97.01	96.14	89.60	91.31

¹⁾ Wobec dżdżystej pogody, jaką zwykle mamy we wrześniu—grudniu, i znacznej zdolności koksu do pobierania wody możnaby doradzać przechowywanie koksu „pod dachem”.

²⁾ Zawartość C—85—87%, i wartość opałowa 7 000 Cal odpowiadają, jak to wiadać z tablicy V, suchemu koksowi.

Tablica V. *Analizy koksów.*

Nr		Cukrownia X	Tuczno	Zbiersk
1	Wilgość	9,10%	12,94%	6,24%
2	Popiół	11,02	8,24	10,98
3	Siarka	0,81	0,69	0,67
4	C (z obliczenia)	77,01	76,13	80,11
5	Wartość opałowa (użyteczna)	6,252 Cal	6,089	6 502
a w 100 cz. suchego koks:				
1	Popiołu	12,12	9,47	11,71
2	Siarki	0,89	0,79	0,72
3	C (z obliczenia)	84,7	87,4	85,4
4	Wartość opałowa	6 939	7 082	6 972

zną różnicą, stojącą w związku z już wymienionemi, jest też mniejsza szybkość spalania koks hutniczego.

Szybkość spalania koks jest ważną jego cechą, od której zależy w pewnej mierze położenie pasa wypalania w piecu oraz skutek użyteczny paliwa. Rozpoczynamy doświadczenia nad oznaczaniem własności fizycznych koksów w związku z szybkością ich spalania.

c) *Wapno i mleko wapienne.* Już obserwacje, poczynione na miejscu, wskazywały, że wapno z pieca wapiennego w cukrowni X jest znacznie gorsze, niż w cukrowniach Tuczno (przy biegu pieca z ręcznem wyładowaniem) i Zbiersk. Pierwsze—dawało dużo niedopału i żwirku, wyrzucanych z aparatu Mika, lasowało się powoli, dając chude wapno. Dwa drugie lasowały się szybko, dając tłuste wapno; pozostawiały bardzo mało niedopału i żwirku z Mika. Analizie chemicznej poddano średnie próbki wapna, przygotowane w ten sposób, że przy upuszcie pieca odbierano pewną liczbę kawałków, zaraz na miejscu rozbijano młotem na mniejsze kawałki,

Tablica VI. *Analizy wapna.*

Nr.		Cukrownia X	Tuczno
1	CaO (ogólne)	81,0%	93,21%
2	MgO	1,05	0,57
3	SiO ₂ + (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	11,50	3,50
4	SO ₃	0,25	0,30
5	CO ₂ i inne	6,20	2,42
		100,00	100,00

z których odbierano przeciętną próbę w ilości ok. 5 kg. Próby przechowywano w zalutowanych naczyniach. W Laboratorium przygotowano z tych prób, szybko wykonywując wszystkie manipulacje, nową średnią próbę składającą się z ziarenek wielkości grochu, którą przechowywano w szczelnie zamkniętym naczyniu. Odważki do analizy brano dostatecznie duże, ażeby być pewniejszym przeciętnego składu. Tablica VI podaje wyniki całkowitej analizy wapna z cukrowni X i Tucznno.

Wapno z cukrowni X zawiera zaledwie 81,0% ogólnego (t. j. wolnego i związanego) CaO , podczas kiedy Tuczniańskie — 93,2%. Tak niska zawartość ogólnego CaO w wapnie z cukrowni X znajduje dostateczne wytłumaczenie już w niskiej jakości wypalanego wapniaka, który zawiera zaledwie 91,4% CaCO_3 obok 6,87% SiO_2 i Al_2O_3 . Wapno z takiego wapniaka z natury rzeczy zawiera dużo SiO_2 i Al_2O_3 (11,5%). Prócz tego wapno to zawiera znaczną ilość nierozłożonego CaCO_3 . Bezpośrednie oznaczenia w wapnie: straty przy prażeniu ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) oraz CO_2 (metodą Freseniusa) dały następujące wyniki:

	Cukr. „X“	Tucznno
Strata przy prażeniu.	6,43%	2,51%
CO_2	6,0%	2,20%
Skąd: CaCO_3 (oblicz. z ilości CO_2)	13,6%	5,0%
CaO w postaci CaCO_3	7,6%	2,8%

Potrącając z ilości ogólnego CaO , zawartego w wapnie, ilość CaO , zawartą w wapnie w postaci CaCO_3 , znajdziemy ilość CaO , którą, jak to się zwykle przyjmuje, moglibyśmy uważać za „wolne” wapno. Ilość obliczonego w ten sposób „wolnego” wapna wyniosłaby:

73,4% dla wapna z cukrowni X
i 90,4% „ Tucznna

Jednakże ilość t. zw. „wolnego” CaO , obliczona w ten sposób, jest w wielu przypadkach (gorsze, chude wapno) znacznie wyższa, niż ilość rzeczywiście wolnego (czylnego) CaO . Ta ostatnia ilość może być oznaczona fenolową (respect. „cukrzanową”) metodą. Nie podając tu odpowiednich oznaczeń dla samego wapna (gdyż oznaczenia te z powodu trudności w przygotowaniu rzeczywiście średniej próbki wapna i dla innych przyczyn budzą w nas jeszcze pewne wątpliwości), zwracamy uwagę na przytoczone nieco dalej analizy mleka wapiennego.

Chcąc się przekonać dokładnie, jakie mleko wapienne da chude wapno cukrowni X w porównaniu z tłustym wapnem Tuczniańskim, poddaliśmy lasowaniu większe (zważone) porcje wapna¹⁾. Przy lasowaniu mogliśmy raz jeszcze stwierdzić, że wapno z cukr. X lasuje się powoli, słabo rozgrzewając się, daje mleko wapienne o grubej zawieszynie (gruzelkowate), wapno zaś Tuczniańskie lasuje się szybko, silnie się rozgrzewa i daje mleko wapienne o konsystencji śmietany.

Wapno z cukrowni X pozostawia przytem niektóre kawałki zupełnie

¹⁾ Porównaj: K. Smoleński, „Szybka ocena dobroci wapna”, Gaz. Cukr., t. 61, str. 935, (1927 r.) i „Prace” niniejsze, XII.

niezlasowane; jest to zwykły niedopał, czyli niewypalony wapniak. Już na miejscu w cukrowni można było stwierdzić, że pewna część wapna, wychodzącego z pieca, zawiera wewnątrz kawałków nielasujący się niedopał. Ilość niedopału przy próbnym lasowaniu oznaczono wagowo; wyniosła ona dla wapna z cukrowni X ok. 17%, dla Tuczniańskiego — tylko 2,1%. Analiza wapna z cukrowni X (przez oznaczenie straty przy prażeniu i zawartości CO_2) dała ilość nierozłożonego CaCO_3 równą 13,6%. Jeżeli uwzględnimy, że w nielasującym się niedopale oprócz CaCO_3 zawarte są inne składniki wapniaka (SiO_2 etc.), a także pewna ilość wypalonego CaO , to zgodność analitycznego oznaczenia ze znalezioną przy lasowaniu ilością niedopału może być uznana za dostateczną.

Otrzymane mleko wapienne rozcieńczono do określonej objętości (~ 120 gr. zlasowanego wapna w 1 Lt.) i poddano analizie. Oznaczono: a) ogólną zawartość CaO , b) wolny CaO metodą fenolową i c) wolne wapno metodą „cukrzanową” (zastępując 5%-owy roztwór fenolu 10%-owym roztworem cukru). Wszystkie te oznaczenia wykonano według metod, opisanych w „Przepisach do kontroli” [str. 24—25].

Oto wyniki wielokrotnie powtórzonych i zgodnych ze sobą analiz:

Mleko wapienne, 100 cz. zlasowanego wapna zawiera:

	<i>Cukr. X</i>	<i>Cukr. Tuczo</i>
a) ogólnego CaO	92,8%	94,2%
b) wolnego CaO , metodą fenolową . .	77,0%	90,2%
b) „ „ „ „cukrzanową”	70,0%	87,0%

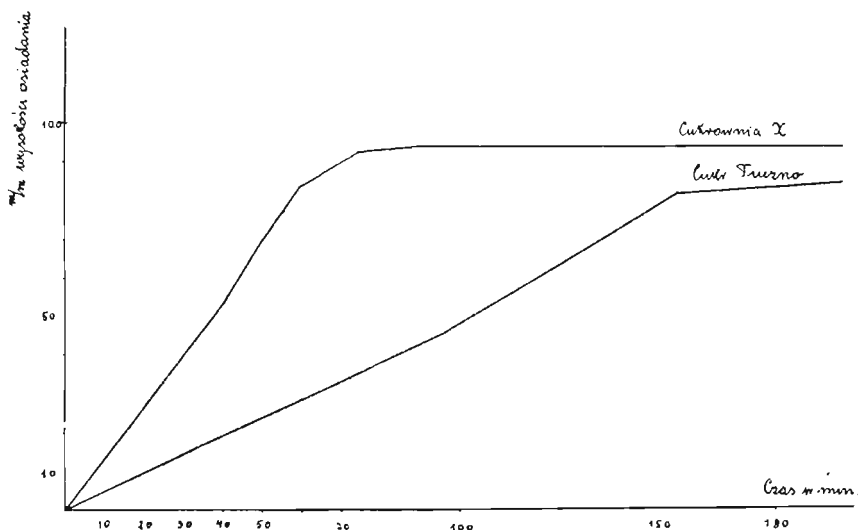
Te analizy mleka wapiennego wskazują, że w dobrym mleku Tuczniańskim zawartość wolnego CaO (metodą fenolową) wynosi ok. 96% ogólnej zawartości CaO , natomiast w chudym mleku cukrowni X zawartość wolnego CaO wynosi zaledwie 83% ogólnego CaO . Ponieważ ilość niedopału (CaCO_3) w mleku z cukrowni X okazała się nieznaczna (ok. 2,5% CaO), więc znaczną różnicę między ogólną zawartością CaO i wolnym CaO , wynoszącą ok. 16%, należy położyć na karb tej części CaO , która weszła przy wypalaniu w związek z SiO_2 (ewent. z Al_2O_3). Wapno z cukrowni X, zawierające znaczną ilość $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (11,5%), z natury rzeczy usposobione było do tworzenia krzemianów (ewent. glinianów).

Tworzenie się krzemianów z CaO i SiO_2 (o ile SiO_2 jest subtelnie rozproszona w masie CaCO_3 wapniaka) następuje już w temperaturach około 1000° , jeżeli składniki te działają na siebie przez czas dostatecznie długi (np. 24 godz.), w temperaturze zaś ok. 1200° —już nawet w przeciągu krótkiego czasu (np. 1 godz.). Mamy więc w piecu wapiennym warunki, w których mogą się utworzyć większe ilości krzemianów wapnia.

Obecność większej ilości krzemianów wapnia daje t. zw. chude, powoli i trudno lasujące się wapno, albo nawet t. zw. martwe, przepalone wapno¹⁾, które w zwykłych warunkach nie ulega lasowaniu.

¹⁾ Istotną przyczyną, powodującą t. zw. „przepalenie” wapna, nie jest jeszcze dokładnie ustalona. Przyjmuje się zwykle, że przepalenie spowodowane jest utworzeniem się krzemianów ewent. glinianów wapnia. Możliwe jest jednak, że nawet czysty CaO , poddany w przeciągu dłuższego czasu działaniu zbyt wysokiej temperatury, ulega „przepaleniu” przez zmianę budowy chemicznej lub fizycznej.

Z wykonanych analiz wapniaków, koksów, wapna i mleka wapiennego wolno wyprowadzić wniosek, że analizy te rzucają dużo światła na wyniki pracy pieca wapiennego. Wykonywanie tych analiz należy uznać za wysoce pożyteczne i obowiązkowe dla każdej cukrowni. Oznaczać należy chociażby: CaCO_3 w wapniaku, wilgoć i popiół w koksie (wartość opałową pozostałej suchej organicznej substancji koksu można przyjąć za równą 7 900 Cal.), oraz czyny CaO (metodą fenolową) w wapnie i mleku wapiennym.



Rys. 35. Szybkość osiadania mleka wapiennego.

Miarą tłustości mleka wapiennego może być stopień rozproszenia zawiesiny Ca(OH)_2 ; im stopień subtelności tej zawiesiny jest większy, tem lepsze, bardziej tłuste będzie mleko wapienne. Ta subtelność zależy przede wszystkim i głównie od jakości, czystości wapna, częściowo także od warunków lasowania i przechowywania mleka wapiennego.

Subtelność zawiesiny może być rozpoznana z szybkości jej osiadania (sedymantacji); im ta szybkość jest większa tem zawiesina jest grubsza²⁾.

Dla mleka wapiennego cukr. X i Tuczo, o jednakowem stężeniu (ok. 120 gr w 1 Lt.) oznaczono szybkość osiadania przez mierzenie wysokości sklarowanej warstwy wody wapiennej nad osiadającą warstwą wapna.

Wykres (Rys. 35) zdaje sprawę z tych doświadczeń. Wapno Tuczańskie osiada znacznie wolniej, niż z cukrowni X: 10 mm osiadania osiągnięto dla pierwszego wapna po 20 min., dla drugiego — po 7,5 min.

7. Wielkość kawałków wapniaka i koksu.

Szybkość wypalania wapniaka zależy w wysokim stopniu od wymiarów kawałków wapniaka, podawanych do pieca. Im mniejsze są te ka-

²⁾ Porównaj też: E. Piekarski i W. Janikowski „Oznaczanie wartości technicznej wapna”, Gaz. Cukr., t. 60, str. 771—777, 1927 r.

wałki, im większą jest ich powierzchnia właściwa (powierzchnia przypadająca na jednostkę objętości), tem szybciej — przy pozostałych równych warunkach — zachodzić będzie wypalanie.

Szybkość spalania koksu w podobny sposób zależy od wymiarów kawałków. Drobniejszy koks spala się szybciej od grubszego. Od szybkości spalania się koksu zależy w wysokim stopniu bieg pieca, a specjalnie ilość koksu, potrzebnego do wypalania wapna.

Wapniak nie może być zbyt drobny, ażeby nie stawiać zbyt wielu przeszkód ruchowi gazów w piecu, nie powinien też być zbyt gruby, ażeby nie zmniejszać sprawności pieca przez zmniejszenie szybkości wypalania. Wapniaki łatwiej wypalające się mogą być ładowane w grubszych kawałkach, aniżeli wolno wypalające się. Nie należy ładować do pieca kawałków o zbyt różnych wymiarach, bardzo grubych i drobnych, otrzymamy bowiem albo część wapna (z grubych kawałków) niedopalonego albo, przy powolnym biegu pieca, część wapna (z drobnych kawałków) przepalonego.

Jeszcze ważniejszą jest sprawa należytego uregulowania wielkości kawałków koksu, która musi być dostosowana do pozostałych czynników biegu pieca (między innemi, do wielkości kawałków wapniaka). Zbyt drobne kawałki koksu spalają się przedwcześnie, w sferze, która normalnie pracuje, jako pas podgrzewania; przez to pas wypalania zostaje przeniesiony zbyt wysoko, gazy odchodzą z pieca o zbyt wysokiej temperaturze, rozchód koksu musi być zwiększony. Zbyt grube kawałki pozostają niespalone po przejściu przez pas wypalania wapniaka, spalanie kończy się w pasie, który normalnie jest już pasem chłodzenia.

Tablica VII. *Wielkość kawałków wapniaka i koksu.*

CUKROWNIA X:

Rodzaj	W a p n i a k			K o k s		
	wymiar cm	waga 1 kawałka kg	% wagow.	wymiar cm.	waga 1 kawałka kg.	% wagow.
Duże	22×15×10	7.1	71	9×7×6	0.30	32
Średnie	12× 8× 6	1.3	22	7×4×3	0.08	23
Drobne	—	0.08	7	4×2×1	—	45

TUCZNO:

Rodzaj	W a p n i a k			K o k s		
	wymiar cm.	waga 1 kawałka kg.	% wagow.	wymiar cm.	waga 1 kawałka kg.	% wagow.
Duże	17×11× 8	3.0	37	—	—	—
Średnie	12× 8× 5	1.0	52	7×3×2	0.051	100
Drobne	7× 5× 3	0.22	11	—	—	—

ZBIERSK:

Wapniak: Dosyć grube kawały *Koks:* Dosyć grube kawałki.

Tablica VII podaje wyniki pomiarów wielkości kawałków wapniaka i koksu, stosowanych w cukr. X i w Tucznie. Większą ilość wapniaka lub koksu ważono, poczem rozdzielano na oko na duże, średnie i drobne kawałki, ważono każdy gatunek i obliczano w nim liczbę kawałków, stąd wyliczano przeciętną wagę 1 kawałka w danym gatunku; wreszcie w każdym gatunku dla kilkunastu kawałków wymierzano trzy podstawowe wymiary.

Z tablicy widzimy, że cukrownia X stosowała wapniak gruby, aczkolwiek nie można go nazwać jeszcze nadmiernie grubym. Gatunek średni o wadze ok. 6 razy mniejszej od grubych kawałków będzie się wypalał ok. 2 razy szybciej, niż gruby. Cukrownia Tucznio stosuje wapniak raczej średni, różnica zaś między dużymi i średnimi kawałkami jest mniejsza.

Koks, stosowany przez cukrownię X, jest koksem niesortowanym, od którego odsiano tylko drobny miął. Wymiary kawałków wahają się w szerokich granicach. Wysoka zawartość drobnych kawałków (ok. 45%) będzie powodować przedwczesne spalanie się koksu w górnym pasie pieca wraz z następstwami, które zjawisko to pociąga za sobą, a które były dopiero co wskazane.

Tucznio posiada koks sortowany o średniej wielkości kawałków. Należy tę okoliczność uznać za sprzyjającą prawidłowemu biegowi pieca.

8. Rozchód koksu na wypalanie wapniaka (Tablica VIII).

W cukrowniach X i Tucznio rozchód koksu został przez nas oznaczony dokładnie przez oznaczanie wagi jednego kosza koksu i stałą kontrolę ilości dodawanych koszy. W Zbiersku, gdzie byliśmy zaledwie przez dobę, kontroli takiej przeprowadzić nie mogliśmy; podana w tablicy cyfra wypośredkowana została z podanej przez personel techniczny (zbyt niskiej, jak się nam wydało) cyfry 9,0% i znacznie wyższej cyfry, wynikającej ze składu gazu saturacyjnego (porównaj wyżej: rozdział 5, Tablica III). Dla lepszego porównania zużycia paliwa przez poszczególne cukrownie przeliczamy zużycie „koksu na wapniak” na zużycie „C (węgla) na rzeczywiście rozłożony CaCO_3 ”. W tym celu musimy obrachować przedewszystkiem

Tablica VIII. *Rozchód koksu na wypalanie wapniaka.*

Nr.		Cukrownia X	Tucznio	Zbiersk
1	Użyto koksu na 100 kg. wapniaka . .	12,3%	12,5%	10,0% (?)
2	Użyto C na 100 kg. rozłożonego CaCO_3	11,8%	10,1%	9,0% (?)
3	Termiczny skutek użyteczny pieca . .	44,8%	52,3%	58,4% (?)

wydajność wapna ze 100 kg wapniaka. Odpowiednie obliczenie dla cukrowni X przedstawia się jak następuje. Zawartość CaCO_3 w wilgotnym wapniaku (jaki szedł do pieca) — 89,7%, co odpowiada 50,2% CaO . W 100 cz. gotowego wapna zawarte jest (według analizy, podanej w rozdziale 6, c) — 13,6% CaCO_3 nierozłożonego, co odpowiada 15,0% nierozłożonego wapniaka, oraz 85,0% gotowego wapna (całkowicie wypalonego). Ze 100 cz. wapniaka przy całkowitem wypaleniu otrzymać się winno wapna:

$$50,2\% \text{ (ilość CaO)} + (100 - 89,7 - 1,9) = 58,6\%.$$

↓ ↓
 CaCO_3 ; wilgoć

Ażeby otrzymać 85 części całkowicie wypalonego wapna trzeba użyć $\frac{100 \times 85}{58,6} = 145$ cz. wapniaka. Wtedy, ażeby otrzymać 100 cz. wapna niedopalonego o składzie, jaki rzeczywiście posiadało wapno cukrowni X (15% nierozłożonego wapniaka i 85% całkowicie wypalonego wapna) trzeba użyć: $145 + 15 = 160$ cz. wapniaka. A więc ze 100 cz. pierwotnego wapniaka otrzymywała cukrownia X: $\frac{100 \times 100}{160} = 62,5\%$ wapna. W 100 cz. tego

wapna zawarte było $13,6\%$ CaCO_3 , a więc w 62,5 cz. — $\frac{13,6 \times 62,5}{100} = 8,5\%$ CaCO_3 . Z $89,7\%$ CaCO_3 zawartego w pierwotnym wapniaku, nie uległo rozkładowi $8,5\%$ CaCO_3 , a więc zostało rozłożone: $89,7 - 8,5 = 81,2\%$ CaCO_3 . W ten sposób znajdujemy, że ze 100 cz. wapniaka uległo rozkładowi:

	Cukr. X	Tuczno	Zbiersk
% CaCO_3 . . .	81,2 ⁰ / ₀	93,7 ⁰ / ₀	89,4 ⁰ / ₀

Odpowiednie obliczenia, uwzględniające zawartość C w koksach (Tablica V), prowadzą teraz do wniosku, że na 100 kg rozłożonego CaCO_3 użyto C:

	Cukr. X	Tuczno	Zbiersk
% C	11,8%	10,1%	9,0% (?)

Wyżej, w rozdziale 5 (Tablica II f), drogą czysto rachunkową, wychodząc ze składu gazu saturacyjnego, znaleźliśmy, że na 100 cz. rozłożonego CaCO_3 zużyto C:

	Cukr. X	Tuczno	Zbiersk
% C	12,6%	9,8%	11,0% (?)

Dla cukrowni X i Tuczno znajdujemy dość dobrą zgodność między ilością, obliczoną ze składu gazu i faktycznie użytą, co dobrze świadczy zarówno o dokładności wykonanych przez nas pomiarów, jako też o możliwości zastosowania użytej przez nas metody obliczania ilości użytego C ze składu chemicznego gazu. Cyfry dla Zbierska są zbyt rozbieżne, co świadczy albo o nieścisłości cyfry, przyjętej jako rozchód koksu, albo o niezgodności przyjętej przeciętnej składu gazu z rzeczywistą przeciętną.

Posiadane cyfry pozwalają nam też obliczyć termiczny skutek użyteczny pieców wapiennych. Skutkiem użytecznym nazywamy tu, zgodnie z przyjętą terminologią, wyrażony w %-ach stosunek ilości ciepła, zużytej na rozkład (dysocjację) CaCO_3 w wapniaku do ilości ciepła, otrzymanej ze spalania koksu. Uwzględniając, że na rozkład 1 kg CaCO_3 zużywa się 425 Cal. i przyjmując wartości opałowe koksu, przytoczone w tablicy V, oraz %-ty rozłożonego CaCO_3 , obliczone wyżej, znajdziemy następujące skutki użyteczne:

	Cukr. X	Tuczno	Zbiersk
Termiczny skutek użyteczny pieca	44,8%	52,3%	58,4% (?)

Pozostała do 100%-tów ilość ciepła znajduje się: w gazach, opuszczających piec, w wapnie oraz tworzy straty ciepła, oddawanego przez piec otaczającemu środowisku (powietrze). Do sprawy strat ciepła w odcho-
dzącym z pieca gazie powrócimy jeszcze w dalszym ciągu pracy niniejszej, w rozdziale 12.

9. Sprawność pomp gazowych (Tablica IX).

We wszystkich trzech cukrowniach („X“, Tuczo i Zbiersk) działały pompy gazowe firmy „Orthwein i Karasiński“, suwakowe, z wyrównaniem ciśnienia.

We wszystkich trzech cukrowniach pompy sprzężone są bezpośrednio z ogólną maszyną parową, posiadają więc stałą liczbę skoków (liczbę obrotów), przez co stałą również musi być objętość gazu, wciągane-
go przez pompę. Jeżeli uprzytomnimy sobie, że pompa gazowa jest „płucami“ pieca wapiennego, którego tempo biegu przedewszystkiem od działania tych płuc jest zależne, to zrozumiemy, że niemożność regulowa-
nia ilości gazu wyciąganego z pieca utrudnia lub czyni niemożliwem pra-
widłowe uregulowanie biegu pieca przy jakichkolwiek zmianach w jego
pracy, np. przy zmniejszeniu odciągu wapna, zmianie ilości dodanego kok-
su. Przy odciąganiu przez pompę stałej ilości gazu piec może iść zupełnie
prawidłowo tylko w pewnych ściśle określonych warunkach, każde uchyle-
nie od nich powoduje większą lub mniejszą nieprawidłowość biegu. Nie
wrócimy już, oczywiście, do pomp, zaopatrzonych we własną maszynę pa-
rową, przez zmianę liczby obrotów której moglibyśmy regulować ilość
gazu, odciąganego przez pompę. Musimy więc obmyśleć inne urządzenia,
któreby nam pozwoliły na regulowanie ilości odciąganego gazu niezależnie
od stałej liczby obrotów maszyny parowej. Urządzenia takie, o ile mają
naprawdę przynosić korzyść przy obsłudze pieca, winnyby posiadać na-
stępujące cechy: 1) prostotę i pewność konstrukcji, 2) możność regulowa-
nia ilości gazu w dosyć szerokich granicach, np. o 25% powyżej i poniżej
„normalnego“ biegu, 3) winny dawać możność dostatecznie ścisłego regu-
lowania na potrzebną określoną sprawność, np. na 80%, 90% lub 110%,
120% — „normalnej“ sprawności; sprawność ta winna być przez takie
urządzenie wyraźnie ujawniana; wszelkie regulowanie „na oko“, „od ręki“,
czyli, inaczej mówiąc, na czyjeś „widzimisię“ zamiast pożytku może przy-
nieść raczej szkodę; urządzenie to winno być zamknięte na klucz i prawo
do regulowania powinna posiadać jedna z osób personelu technicznego,
odpowiedzialna za sprawność pompy; dla kontroli regulowania sprawności
pompy na przewodzie gazowym przed pompą należałoby ustawić gazomierz
(np. diafragmowy), ażeby w każdym czasie wiedzieć dokładnie, jaka ob-
jętość gazu dochodzi do pompy.

Jakie dadzą się pomyśleć możliwości dla takich urządzeń regulujących? Ponieważ
w istocie rzeczy chodzi tu o uregulowanie ilości powietrza, jaka wchodzi do pieca wa-
piennego, przeto sprawność pompy może być zmieniona bez zmiany *objętości* wsysa-
nego przez nią gazu. Może to być osiągnięte przez zmianę: a) ogólnego ciśnienia p ,
z jakim gaz wchodzi do pompy; b) temperatury t tego gazu lub c) cząstkowego ciśnie-
nia p , jakie posiada właściwy suchy gaz saturacyjny. Ciśnienie p możnaby regu-
lować albo przez zasuwy, regulujące dopływ powietrza do pieca (przy belgijskich pie-
cach szybowych zwykłej konstrukcji jest to niemożliwe), albo przez zasuwy, ustawione

w przewodach między piecem a pompą, wtedy już chyba najlepiej tuż przed pompą. To ostatnie urządzenie mogłoby posiadać cechy dodatnie, któreśmy wyżej wymienili, ale posiadałoby też ważną cechę ujemną: przy regulowaniu ilości gazu w szerszych granicach w szerokich też granicach wahałaby się ilość energii, potrzebnej dla pracy pompy, a przy znacznym obniżeniu p (znacznym zmniejszeniu ilości powietrza, wychodzącego do pieca) praca pompy znacznieby wzrastała. Regulowanie temperatury gazu przed pompą, aczkolwiek teoretycznie biorąc dałoby się skutecznie np. przez zmianę ilości wody, idącej na płóczkę gazową, w praktyce nastęrczałoby trudności, szczególnie przy znacznym zmniejszaniu ilości gazu, które wymagałoby zbyt wysokiej temperatury gazu, powodującej zagrzewanie się pompy. Co do zmiany ostatniego ze wskazanych wyżej czynników, t. j. cząstkowego ciśnienia właściwego gazu, to może ono być wykonane w rozmaity sposób. Najprościej — przez dopuszczanie gazu obcego (np. powietrza) do przewodu ssącego przed pompą. Sposób ostatni (dopuszczanie powietrza) z różnych względów należy uznać za nieodpowiedni. Zmiana temperatury gazu, wychodzącego z płóczki, a więc i zmiana temperatury gazu przed pompą, powoduje (oprócz zwykłej zmiany ogólnej objętości gazu) także zmianę udziału (ciśnienia cząstkowego) właściwego suchego gazu przez zmianę ciśnienia cząstkowego pary wodnej, nasycającej gaz przy wyjściu z płóczki. Wreszcie ilość świeżego gazu, zabieranego przez pompę, może być zmieniana (zmniejszana) przez dopuszczanie do przewodu ssącego większej lub mniejszej ilości gazu z przewodu tłoczącego. Urządzenie do wykonania tego sposobu w postaci wentyla lub kranu, łączącego przewód ssący przy pompie z przewodem tłoczącym, istnieje w większości cukrowni przy pompach gazowych, tam szczególnie, gdzie pompę ustawiono zbyt silną, na zapas, w przewidywaniu zwiększenia przerobu, postawienia większego pieca wapiennego i t. p. Były też takie krany regulujące w tych trzech cukrowniach, w których prowadziliśmy swe badania. W czasie doświadczeń naszych krany te były zamknięte. Zresztą w czasie zwykłym krany te, według udzielonych nam informacji, także są zamknięte. Osobiście uważamy, że regulowanie sprawności pompy, a przez to biegu pieca, zapomocą takich kranów, aczkolwiek niezbyt dokładne, mogłoby znaleźć praktyczne zastosowanie, o ile nie stanie temu na przeszkodzie zagrzewanie się pompy. Przy dopuszczaniu do przewodu nieco większej ilości gazu sprężonego występuje stopniowe podwyższanie temperatury gazu ssanego (gaz sprężony ma przez pobranie ciepła kompresji wyższą temperaturę, niż pierwotny, np. według naszych pomiarów: 72° — 75° przy temperaturze gazu ssanego 40° — 45°), a przez to—zagrzanie się pompy.

Opisane sposoby regulowania ilości gazu pozostawiają bez zmiany objętość wssanego gazu, zmieniają zaś jego temperaturę lub ciśnienie, ogólne czy cząstkowe. Drugą grupę urządzeń będą tworzyły urządzenia, które pozwalają zmieniać i regulować objętość wssanego gazu. Objętość ta może ulegać zmianie albo przez zmianę liczby skoków na minutę, albo przez zmianę długości skoku lub średnicy tłoka, lub też wreszcie przez zmianę stopnia napełnienia cylindra pompy gazowej. Regulowanie długości skoku ani tem bardziej średnicy tłoka (a więc i cylindra) praktycznego zastosowania mieć nie może. Zmiana liczby skoków tłoka w cylindrze gazowym przy niezmienniej liczbie skoków w cylindrze parowym wymagałaby zarzucenia bezpośredniego połączenia trzona maszyny parowej z trzonem pompy gazowej i urządzenia między nimi połączenia zapomocą przekładni o zmiennym stosunku. Przekładnia ta dla pewności ruchu pompy winnaby być nie pasową, lecz trybową, ekscentrykową lub t. p. Stopień napełnienia mógłby być regulowany przez odpowiednie, łatwo dające się zmieniać, ustawianie szybra (czy szybrów).

Mówiliśmy tu cały czas o pompie gazowej, prowadzonej przez maszynę parową. Pompa gazowa, tłokowa czy wirowa, może być też prowadzona przez silnik elektryczny. Wtedy zastosowanie silnika elektrycznego o zmiennej liczbie obrotów, dającej się w pewnych granicach regulować, najprościej może rozwiązywałoby sprawę ilości gazu, odciganego z pieca.

Przepraszając czytelnika za zbyt długi ustęp, traktujący o sprawie regulowania ilości gazu, odciganego z pieca, dodać musimy na częściowe swoje usprawiedliwienie, że sprawa ta jest, zdaniem naszym, jedną z ważniejszych dla prawidłowego prowadzenia pieców. Obserwacje, poczynione przez nas w czasie ostatnich dwóch kampanij w kilkunastu cukrowniach, prowadzą nas do wniosku, że niedopasowanie spraw-

ności pompy do biegu pieca i niemożność regulowania tej sprawności jest częstą przyczyną nieprawidłowego działania pieców wapiennych.

Tablica IX podaje nam przedewszystkiem podstawowe wymiary pomp i liczbę obrotów. Ta ostatnia liczba była przez nas w każdej cukrowni sprawdzona i w granicach 1—2 obrotów zgadza się z podaną w tablicy. Dalej mamy obliczoną geometryczną objętość V gazu, równą objętości opisanej przez tłok pompy, w $m^3/1'$, oraz taką objętość, przeliczoną: a) na 1000 q buraków, przerabianych na dobę; znajdujemy tu niezbyt znaczną różnicę dla poszczególnych cukrowni, Tuczo i Łubna ma najmniejszą objętość pompy na przerób; b) na m^3 pieca, znajdujemy tu większe różnice: Tuczo i jeszcze bardziej Zbiersk i Łubna posiadają znacznie mniejszą objętość pompy na m^3 pieca, niż cukrownia X; c) na 1 q faktycznie w czasie kampanji 1926,27 r. wypalane go wapienka; tu znów mamy dużą różnicę między Tucznem, które posiada najmniejszą objętość, a cukrownią X i Zbierskiem.

Ażeby obliczyć rzeczywistą sprawność pompy gazowej, należy obliczyć rzeczywistą objętość wessanego gazu w $m^3/1'$ dla gazu suchego o temperaturze 0° i ciśnieniu 1 atm. Jeżeli gaz wchodzący do cylindra gazowego ma ciśnienie p atm. oraz temperaturę t° , której odpowiada ciśnienie b atm. nasyconej pary wodnej, to objętość suchego gazu, sprowadzonego do normalnych warunków, wyrazi się wzorem:

$$V_1 = V \times \frac{273}{(t + 273)} \times \frac{(p - b)}{1} = \frac{273 V (p - b)}{(t + 273)}$$

Rzeczywistą zaś objętość V_{rz} gazu, wessanego przez pompę, znajdziemy, mnożąc V_1 przez współczynnik η_v , t. zw. współczynnik wolumetryczny pompy. Współczynnik ten dla pomp gazowych suwakowych z wyrównaniem ciśnień, o ile suwak jest prawidłowo ustawiony, a pompa w dobrym stanie i dobrze utrzymana, może być przyjęty, jako $\eta_v = 0,95$. Rubryka 7 tablicy podaje V_1 dla pompy w cukrowni X i w Tucznie, dla których dane wielokrotnie powtórzonych pomiarów dały, jako przeciętne, wielkości: t i p , podane w rubryce 6. Rubryka 8 tablicy podaje V_{rz} , obliczone we wskazany sposób dla pomp cukrowni X i Tuczo. Dla pompy w Zbiersku, dla której brakuje nam pomiarów, potrzebnych do obliczenia V_1 , podajemy V_{rz} , obliczoną z geometrycznej V ($55 m^3/1'$), pomnożonej przez ogólny współczynnik η_{og} , który przyjęto za równy 0,80. [Pompa jest zupełnie nowa i zupełnie dobrze ustawiona, jak to widzieliśmy z wykresu wskaźnikowego, zdjętego na kilka dni przed naszym przyjazdem]. Rubryka 10 podaje rzeczywistą objętość gazu, wessanego przez pompę na 1 q faktycznie wypalonego wapienka, zaś rubryka 11 taką objętość gazu, obliczoną teoretycznie z następujących danych: skład wapienka, koksu i wapna, ilość koksu użytego oraz skład chemiczny gazu.

Obliczenie to wykonano w sposób następujący (dla cukrowni X).

Ze 100 kg wapienka uległo rozkładowi (według rozdziału 7) 81,2 kg $CaCO_3$, co odpowiada 0,812 Moli $CaCO_3$ i daje 0,812 Mol. CO_2 .

Na 100 kg wapienka użyto 9,4 kg C ($12,3 \times 0,77$), czyli $\frac{9,4}{12} = 0,783$ At. C, które dały 0,783 Mol. CO_2 . Razem ze 100 kg wapienka z koksem otrzymano: $0,812 + 0,783 = 1,595$ Mol. CO_2 .

Tablica IX. *Sprawność pomp gazowych.*

C u k r o w n i a	Cukrownia X	Tuczno	Zbiersk	Łubna
1) Wymiary pompy <i>D</i>	700 mm	700 mm	750 mm	500 mm
<i>s</i>	700 mm	700 mm	700 mm	700 mm
<i>n</i>	90 obr./1'	125	100	125
2) <i>V</i> pompy, m ³ /1'	48 m ³	67 m ³	55 m ³	34,0 m ³
3) <i>V</i> na 1000 q buraków na dobę, m ³ /1'	7,4 m ³	6,4 m ³	7,9 m ³	6,2 m ³
4) <i>V</i> na m ³ pieca, m ³ /1'	1,28 m ³	0,96	0,85	0,62
5) <i>V</i> na 1 q wapniaka	190 m ³	143 m ³	180 m ³	—
6) Gaz posiada przed pompą: <i>t</i> — temper. <i>c</i> — ciąg, mm, sł. H ₂ O. <i>p</i> — ciśnienie	41° 820 mm 0,918 atm.	24° 1 000 mm 0,900 atm.		
7) <i>V</i> ₁ pompy, obliczone na gaz suchy, 0° i 1 atm., m ³ /1' . . .	35,5 m ³	53,6 m ³		
8) <i>V</i> _{rz.} rzeczywista objęt. gazu suchego, 0° i 1 atm. przy <i>γ_v</i> = 0,95	33,7 m ³	50,9 m ³	44,0 m ³	
9) $\gamma_{og} = \left[\frac{V_{rz}}{V} \right]$	0,70	0,76	0,80 (?)	
10) <i>V</i> _{rz.} na 1 q wapniaka	131 m ³	108 m ³	147 m ³	
11) <i>V</i> _{rz.} na 1 q wapniaka obliczo- na z danych doświadczalnych	137 m ³	113 m ³	144 m ³	

Na spalenie 0,783 At. C z teoretyczną ilością powietrza użyto: 0,783 Mol. O₂
i $0,783 \times \frac{79}{21} = 2,944$ Mol. N₂ ;

Przy spalaniu koksu z teoretyczną ilością powietrza otrzymanoby więc ogółem gazu:
1,595 + 2,944 = 4,539 Mol., czyli: $22,4 \times 4,539 = 101,7$ m³, w tem 1,595 Mol. CO₂. Zawar-
tość CO₂ w takim gazie wyniosłaby: $\frac{1,595 \times 100}{4,539} = 35,2\%$ CO₂. Rzeczywista zawartość CO₂
w gazie (po spaleniu CO, patrz tablicę III) wynosiła 25,7% CO₂. Rzeczywista więc obję-
tość gazu ze 100 kg (1 q) wapniaka, przy spalaniu koksu z nadmiarem powietrza, wy-
nosiła: $101,7 \times \frac{35,2}{25,7} = 139$ m³.

Cyfra ta powinna ulec pewnej poprawce wobec tego, że rzeczywisty gaz zawierał
pewną nieznaczną ilość niespalonego CO. Ze 100 objętości gazu pierwotnego, zawierał

jącego 1,6% CO, po spaleniu CO na CO₂ powstaje: $100 - \frac{CO}{2} = 99,2$ objętości $\left[\frac{CO}{2}\right]$ jest to objętość tlenu, który poszedł na spalanie CO: $2 CO + O_2 = 2 CO_2$. A więc 139 m³ gazu, otrzymanego po spaleniu CO, odpowiada $139 \times \frac{100}{99,2} = 140$ m³ pierwotnego gazu.

Ilość gazu, otrzymanego przy wypalaniu 1 q wapniaka możemy obliczyć także nieco inaczej, posilując się współczynnikami *m* nadmiaru powietrza, obliczonymi wyżej (rozdział 5, tablica III) z całkowitej analizy gazu.

Współczynnik ten dla cukrowni X wyniósł: *m* = 1,39. Wtedy ilość gazów z 1 q wapniaka wyniesie: CO₂, jak wyżej, 1,595 Mol.; N₂ przy *m* = 1,39 — 2,944 × 1,39 O₂ z nadmiaru powietrza: 0,783 × 0,39. Razem: 5,992 Mol. czyli 134,2 m³, a z poprawką na niespalony CO (j. w.) — 135,4 m³.

Niezupełna zgodność w wynikach obliczeń według pierwszej i drugiej metody wynika oczywiście z tego, że za podstawę obliczeń przy drugiej metodzie wzięto całkowitą analizę gazową, podczas kiedy przy pierwszej metodzie tylko zawartość CO₂.

Objętość gazu, rzeczywiście pobranego przez pompę, licząc na 1 q wypalonego wapniaka, wynosi przy 370 q wapniaka na dobę i *V_{rz}* pompy: $33,7 \text{ m}^3/1' - 33,7 : \frac{370}{1440} = 131 \text{ m}^3$.

Cyfry, znalezione z obliczeń: 140 m³ ewent. 135,4 m³, zbliżają się bardzo dobrze do rzeczywistej sprawności pompy, co dobrze świadczy o dokładności wykonanych przez nas różnych pomiarów.

Obliczenia, wykonane w ten sam sposób dla Tucznia i Zbierska, dały następujące wyniki:

	<i>Cukr. X</i>	<i>Tuczno</i>	<i>Zbiersk</i>
<i>V_{rz}</i> pompy na 1 q wapniaka.	131 m ³	108 m ³	147 m ³
<i>V_{rz}</i> gazów na 1 q wapniaka, obliczone:			
a) według 1-ej metody	140 m ³	114 m ³	155 m ³
b) według 2-ej metody	135,4 m ³	113 m ³	134 m ³
Przeciętna	137,7 m ³	113,5 m ³	144,5 m ³ (?)

Dla Tucznia i cukrowni X mamy znów dostateczną zgodność między rzeczywistą sprawnością pompy i obliczoną objętością gazu. Dla Zbierska mamy znaczną różnicę między objętością gazu, obliczoną według 1-ej i 2-ej metody, co raz jeszcze świadczy o tem, że dane dla Zbierska są niezupełnie pewne.

Rzeczywista objętość gazów, odciąganych przy wypalaniu 1 q wapniaka, jest dla badanych pieców, jak widzimy, bardzo różna: od 108 m³ do 147 m³. Zależy ona głównie od wielkości nadmiaru powietrza, a poza tem od szeregu innych czynników: ilości C (koks) użytego na wapniak, zawartości CaCO₃ w wapniaku, stopnia rozkładu CaCO₃ i t. d. Od ilości i temperatury odchodzących z pieca gazów (a także od ich składu chemicznego) zależy wysokość strat ciepła w tych gazach. Próbę obliczenia tych strat podamy dalej w rozdziale 12.

10. Rozkład temperatur i ciągu w piecu.

Do mierzenia temperatur w piecu używano pirometru optycznego „Pyro”, którego opis p. inż. W. Reicher podał już w Gaz. Cukr.¹⁾ Jak każdy pirometr optyczny, „Pyro” daje możliwość mierzenia temperatury tylko rozżarzonego (świecącego) ciała stałego, w naszym przypadku kawałków wapniaka (ewent. wapna) i koks. Temperatura gazów, nie posiadających świecącego płomienia (od rozżarzonych cząstek sadzy ewent. pyłu innych ciał), pirometrem tym oznaczona być nie może. Ponieważ gazy, wytwarzające się przy paleniu koks, są nieświecące, więc temperatura tych gazów w naszych pomiarach oznaczona być nie mogła.

¹⁾ Gaz. Cukr., t. 60, s. 570, r. 1927 i „Prace” niniejsze XXXIII.

Gazy te w pasie wypalania i powyżej tego pasa posiadają temperaturę wyższą od temperatury wapniaka, poniżej zaś, w pasie chłodzenia, — niższą od temperatury wapna. Optycznym pirometrem, z natury rzeczy, mogliśmy mierzyć przez okienka wizerne tylko temperaturę kawałków wapniaka i koksu, bezpośrednio przylegających do ścianki pieca. Te kawałki posiadają, oczywiście, temperaturę niższą, niż kawałki wewnątrz (w środku) pieca, narażone są bowiem w większym stopniu na ochładzanie przez stratę ciepła nazewnątrz. Ta strata ciepła przez obmurowanie i płaszcz pieca zależna jest od wielu czynników (grubość cegły, grubość warstwy izolacyjnej i t. d.), wśród których niepoślednią rolę odgrywa temperatura powietrza, otaczającego piec, ewentualnie — inne warunki atmosferyczne. Cukrownia X posiada piec, znajdujący się całkowicie w obmurowanym budynku: mierzone przez nas temperatury powietrza w odległości 20 cm od płaszcza, wynosiły na wysokości pasa palenia 30° — 40° ; temperatury powierzchni płaszcza na tej samej wysokości — 90° — 130° . Piec w Tucznie i w Zbiersku stoi na otwartym powietrzu (za wyjątkiem dolnej części pieca, znajdującej się w budynku). Piec taki narażony jest na chłodzące działanie zimnego powietrza, spotęgowane przez działanie wiatru, ewentualnie deszczu lub śniegu. W piecu takim zewnętrzna warstwa wapniaka ochłodzona jest niewątpliwie silniej, niż w piecu obmurowanym. Różnica między temperaturami zewnętrznych kawałków wapniaka i znajdujących się w środku pieca wynosi w pasie wypalania, prawdopodobnie, ok. 100° , a nawet może do 150° . Była jeszcze jedna przyczyna, która dawała nam zbyt niskie wyniki przy mierzeniu temperatur w piecu: w celu zmierzenia temperatury trzeba było przede wszystkim na pewien, możliwie krótki, czas otworzyć całe okienko, ażeby oczyścić kanał w obmurowaniu od zimnych kawałków wapniaka, które tam trafiały. Po zamknięciu okienka czekaliśmy przez czas pewien, potem otwieraliśmy „oczko” w pokrywie okienka i przez to „oczko” mierzyliśmy temperaturę. Wykonywaliśmy szybko jeden po drugim kilka pomiarów. Niekiedy, dla wykonania pomiarów trzeba było otwierać całe okienko. W każdym zaś razie, w czasie wykonywania pomiaru przez otwarte oczko czy okienko wpadał do pieca prąd zimnego powietrza, który obniżał temperaturę kawałków wapniaka. To obniżenie szczególnie było znaczne przy piecach, ustawionych na otwartym powietrzu, a najbardziej dawało się odczuwać ze strony nawietrznej, z której i bez tego temperatura pieca, jak już mówiliśmy, jest niższa. Była wreszcie jeszcze jedna przyczyna, która pojedynczy pomiar czyniła niepewnym. Wynik pomiaru zależał od tego, na jaki kawałek (bliżej lub dalej położony) trafiała oś optyczna pirometru, wahania dla kawałków wapniaka wynosiły często do 100° . Jeżeli zaś w pole widzenia trafił kawałek żarzącego się koksu (czego staraliśmy się unikać), to dawał on temperaturę znacznie wyższą od temperatury wapniaka. Dla wyrównania tych przypadkowych różnic wykonywaliśmy kilka (3—5) pomiarów. Dla wymienionych przyczyn oznaczone przez nas temperatury nie posiadają wartości absolutnej (np. nie pozwalają sądzić o tem, jakie były rzeczywiste najwyższe temperatury w piecu). Natomiast, jako wartości względne, nadają się do wyciągania niektórych wniosków. Pozwalają np. oznaczyć w przybliżeniu położenie pasa wypalania, jako pasa najwyższych temperatur. Pozwalają też, przez wykonanie pomiarów na tej samej wysokości

z różnych stron pieca, sądzić o tem, czy piec idzie równomiernie ze wszystkich stron, czy też nie.

Cukrownia X. Piec wapienny posiada cztery piętra okienek wierzynych, których rozmieszczenie w przekroju pionowym oraz w przekrojach poziomych pieca uwidocznione jest na rys. 33. Pomiary temperatury wykonywano tylko na III (5 okienek, Nr.Nr. 9—13) i IV (4 okienka, Nr.Nr. 14—17) piętrach, gdyż już na II piętrze temperatury były zbyt niskie, ażeby je można było mierzyć optycznym pirometrem.

Tablica X — I podaje rozkład temperatur na IV (górnem) piętrze, w okienkach: 14, 15, 16 i 17; pomiary wykonywano co 20 min. w okresie między ukończeniem załadowania pieca, a początkiem upustu. Z tablicy widzimy: 1) że temperatura w piecu ze strony okienka Nr. 16 jest znacznie wyższa, niż z pozostałych trzech stron; 2) że w okienku Nr. 16 obserwujemy stopniowy (w czasie) wzrost temperatur — od 780° aż do 1123° , podczas kiedy w pozostałych okienkach temperatury przez cały czas pozostają mniej więcej na tym samym poziomie, ok. 700° .

Tablica X — II podaje rozkład temperatur na III i IV piętrach, w kilku momentach biegu pieca, w tej liczbie przed samym upustem pieca. W tablicy tej widzimy znów najwyższe temperatury ze strony okienka Nr. 16, najniższe ze strony okienka Nr. 14. Przed samym upustem temperatury podnoszą się i bardziej zbliżają.

Tablica X. *Rozkład temperatur w piecu. Cukrownia X.*

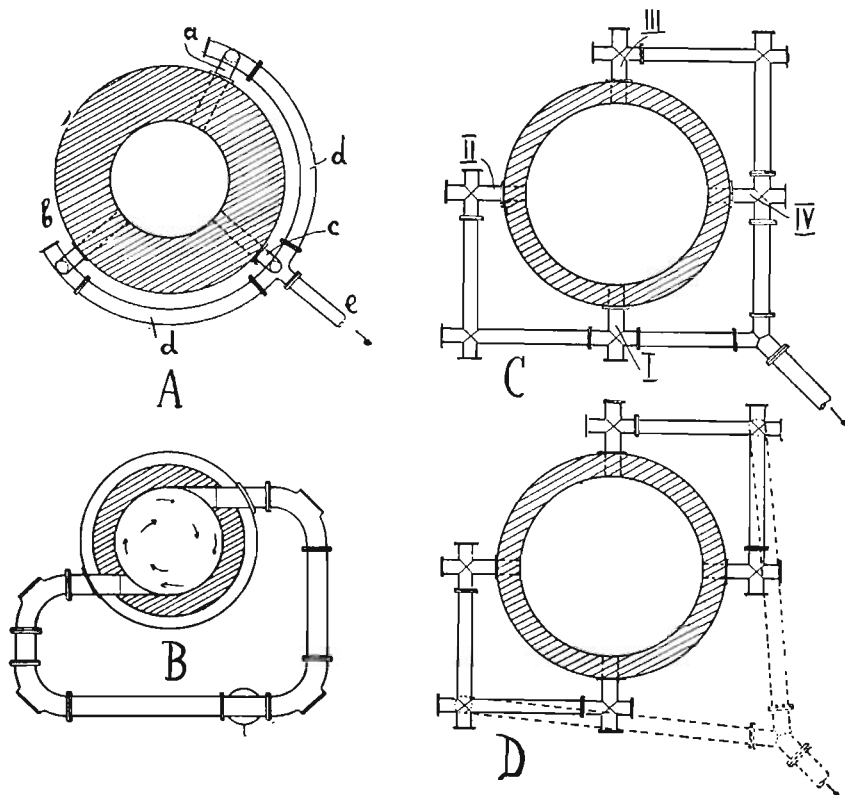
I.

Okienka	Nr 14	Nr 15	Nr 16	Nr 17
godz. 11 ⁰⁰	675 ⁰	700 ⁰	780 ⁰	720 ⁰
" 11 ²⁰	605 ⁰	625 ⁰	820 ⁰	600 ⁰
" 11 ³⁵	720 ⁰	665 ⁰	880 ⁰	700 ⁰
" 11 ⁵⁰	660 ⁰	705 ⁰	973 ⁰	650 ⁰
" 12 ¹⁰	770 ⁰	685 ⁰	1 040 ⁰	790 ⁰
" 12 ³⁰	763 ⁰	690 ⁰	1 067 ⁰	700 ⁰
" 12 ⁵⁰	730 ⁰	675 ⁰	1 125 ⁰	676 ⁰
Przeciętna	704 ⁰	677 ⁰	955 ⁰	691 ⁰

II.

		Nr 14	Nr 10	Nr 15	—	Nr 16	Nr 12	Nr 17	Nr 13
					Nr 11				
godz. 11 ⁰⁰	IV piętro	757 ⁰		840 ⁰		837 ⁰		700 ⁰	
	III piętro		550 ⁰		820 ⁰		—		650 ⁰
godz. 12 ⁰⁰	IV piętro	590 ⁰		840 ⁰		1 035 ⁰		840 ⁰	
	III piętro		600 ⁰		—		790 ⁰		807 ⁰
godz. 13 ⁰⁰ (przed upustem)	IV piętro	873 ⁰		953 ⁰		1 150 ⁰		800 ⁰	

Doszukując się przyczyn, dla których temperatury z jednej strony pieca (okien. Nr. 16) są znacznie wyższe, niż z przeciwległej strony (okienko Nr. 14) możemy ich znaleźć dwie. Pierwszą, stale działającą, może być nierównomierny ciąg w piecu, spowodowany przez nieprawidłowe *umieszczenie rur wylotowych z pieca*. Rys. 36—A wskazuje, że piec posiada trzy rury wylotowe: *a*, *b* i *c*, złączone rurą łączną *d—d*, od której zaczyna się główny przewód gazowy *e*. Ten ostatni umieszczony jest nawprost rury wylotowej *c*, przypadającej ponad okienkiem Nr. 16 (porównaj rys. 33). Łatwo zrozumieć, że ciąg ze strony otworu wylotowego *c* będzie najsil-



Rys. 36. Układ rur wylotowych.

niejszy, ze strony wylotów *a* i *b* — słabszy, ze strony zaś przeciwległej wylotowi *c*, ponad okienkiem Nr. 14, gdzie niema wylotu, ciąg będzie naj-słabszy. Silniejszy ciąg powoduje szybsze, energiczniejsze spalanie koksu, powodując wzrost temperatury przy jednoczesnem skróceniu się pasa palenia; ciąg słabszy daje powolniejsze spalanie i obniżenie temperatury przy wydłużeniu pasa palenia. Przyczyną drugą może być upuszczanie większej ilości wapna ze strony okienka Nr. 16, co wywołane być może z jednej strony tem, że robotnicy zauważyli, iż wapno prędzej wypala się z tej strony, z drugiej zaś tem, że z tej strony pieca znajduje się aparat Mika, do którego wapno trzeba odnosić ręcznie. Silniejsze upuszczanie pieca z jednej strony, a przez to większa stagnacja ze strony przeciwległej, powodować może jednostronne palenie się koksu w piecu.

Na rys. 36 — B podajemy polecany przez B. Block'a układ rur wylotowych z pieca przy niezbyt znacznej średnicy górnej. Kanały wylotowe umieszczone są po stycznej do obwodu, przez co w przekroju pieca powstają wiry, wyrównyujące ciąg w całym przekroju. Dla wyrównania ciągu jest też rzeczą pożyteczną niedoładowywanie pieca do samej góry, lecz pozostawienie niezapełnionej wapniakiem przestrzeni u góry pieca, np. na ok. 0,5—1 m poniżej rur wylotowych.

W cukrowni Tuczo piec posiada 18 okienek wziernych, umieszczonych po linii śrubowej (porów. rys. 34). Takı sposób umieszczenia okienek należy uznać za niefortunny, nie pozwala on bowiem wykryć czy piec idzie równo ze wszystkich stron czy też nie.

Tablica XI podaje rozkład temperatur w różnych momentach w czasie ręcznego wyładowywania pieca. Przy rozpatrywaniu tych danych należy pamiętać o uwagach, poczynionych na wstępie do niniejszego rozdziału i uwzględnić, że piec stoi na otwartem powietrzu. Najwyższa temperatura (wapniaka przy ścianie pieca) wynosi tu ok. 900° i jest o jakie 200° niższa, niż w cukrowni X.

Tablica XI.

*Rozkład temperatur w piecu cukrowni Tuczo.
(Przy ręcznem wyładowaniu).*

Okienka Nr.	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Zaraz po upuszcie .	650°	650°	690°	675°	760°	880°	820°	750°	700°		
W czasie ładowania .	—	—	580°	540°	646°	750°	800°	635°	680°	590°	540°

Piec w Tuczie, mający górną średnicę równą 1950 mm, posiada cztery rury wylotowe: I, II, III i IV (patrz rys. 36 — C), złączone po dwie z głównym przewodem. Urządzenie takie można uznać za bardziej prawidłowe, niż zastosowane w cukrowni X; jednakże i tu ciąg ze strony wylotów I i IV będzie silniejszy, niż ze strony wylotów II i III. Czy nie lepiej byłoby przy 4-ch rurach wylotowych zastosować połączenie ich z głównym przewodem, wskazane na rys. 36—D (linje kropkowane)?

Pas wypalania. Jedną z bardzo ważnych cech, charakteryzujących bieg pieca, jest położenie oraz długość (raczej szerokość) pasa wypalania (zwanego też pasem lub strefą „rozkładającą”). Położenie tego pasa w piecach generatorowych jest dosyć stałe, mianowicie, z natury rzeczy zaczyna się on, licząc od dołu pieca, tuż powyżej kanałów, doprowadzających gaz z generatorów. W piecach belgijskich położenie tego pasa jest zmienne i zależne od całego szeregu czynników. Niestety, poglądy na wpływ, jaki wywierają te zmienne czynniki na położenie i szerokość pasa wypalania, nie są dostatecznie ustalone, co wpływa z trudności poczynienia w praktyce odpowiednich doświadczeń, t. j. takich, w których zmieniano by po kolei jeden z czynników, pozostawiając inne bez zmiany.

Zauważyć też należy, że samo pojęcie „pas wypalania” nie jest bynajmniej tak ściśle zdefiniowane, jakby się wydawało, nie jest dokładnie odgraniczone od dwóch innych pojęć: „pas palenia się koksu” i „pas najwyższych temperatur”. Te trzy pojęcia zgrubsza odpowiadają temu samemu pasowi pieca, nie są jednak ściśle biorąc identyczne. Wobec tego, że o tem, co się faktycznie dzieje z kawałkami wapniaka w tem czy innem miejscu pieca, czy zachodzi w nich (już lub jeszcze) rozkład CaCO_3 , czy też nie, trudno jest nam przekonać się w jakiś praktycznie łatwy sposób,— mówiąc o pasie wypalania, mamy właściwie na myśli pas najwyższych temperatur, który łatwiej jest oznaczyć. Za temperatury, w których zachodzi rozkład wapniaka w piecu, uważamy temperatury od 800° — 850° wzwyż, zwykle do 1000° — 1100° ; mamy tu na myśli temperaturę kawałków wapniaka, a nie gazów, ta ostatnia w pasie właściwego wypalania jest wyższa zapewne o jakie 100° — 150° .

Głównymi czynnikami, wpływającymi na położenie i szerokość pasa wypalania, są czynniki następujące: 1) czas (szybkość) przechodzenia materiałów przez piec, 2) stosunek ilości C (koksu) do ilości CaCO_3 , 3) współczynnik nadmiaru powietrza, 4) wielkość kawałków koksu i gatunek koksu, 5) wielkość kawałków wapniaka i jego rodzaj. Rozpatrzenie wpływu każdego z tych czynników z osobna jest zadaniem trudnem. Próbę rozwiązania tego zadania podamy w części drugiej naszych studiów.

Ustalenie położenia pasa wypalania na zasadzie pomiarów temperatury w piecu, wykonanych przez okienka wzierne pirometrem optycznym, jest rzeczą niepewną, jak to już wyżej wskazywaliśmy, szczególnie wtedy, kiedy bieg pieca jest jednostronny (co miało napewno miejsce w cukrowni X, a być może, iż w mniejszym stopniu zachodziło też w Tucznie) lub też — inny w środku, a inny na obwodzie pieca.

Przeglądając tablice X i XI, zauważymy, że pas najwyższych temperatur (powyżej 600°) rozpoczyna się w piecach cukrowni X i Tucznie mniej więcej na połowie wysokości pieca i ciągnie się wzwyż tak wysoko, że pas podgrzewający wynosi nie więcej, niż 1 — 1,5 m czyli ok. 10 — 15% wysokości pieca. Takie położenie pasa palenia się koksu i wypalania wapniaka przyjęte jest uważać za nienormalne, mianowicie za zbyt wysokie.

Mierzenie ciągu na różnych wysokościach pieca wykonano przez okienka wzierne zapomocą ciążomierza o rurce pochyłej, pozwalającego mierzyć ciąg z dokładnością do 0,5 mm słupa wody. Tablice XII i XIII podają rezultaty pomiarów ciągu w piecach cukrowni X i Tucznie. Jako „wskazanie ciążomierza” podany jest bezpośredni rezultat pomiaru, czyli różnica ciśnień zewnętrznego powietrza i gazów wewnątrz pieca, obydwóch na tej samej wysokości (na wysokości danego okienka). Chcąc obliczyć rzeczywisty „ciąg”, czyli różnicę ciśnień: zewnętrznego powietrza na wysokości wlotu powietrza do pieca i gazów wewnątrz pieca na danej wysokości, należy do wskazania ciążomierza dodać ciśnienie słupa powietrza o wysokości równej różnicy poziomów danego okienka i wlotu powietrza do pieca. Ciśnienie to, mierzone w mm słupa wody, równa się w przybliżeniu: $1,29 h$, gdzie h oznacza wskazaną różnicę poziomów, wyrażoną w metrach.

Tablica XII.

Rozkład ciągu w piecu wapiennym cukrowni X.

Piętro okienek	I		II						III					IV			
Nr. Nr. okienek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
W czasie ładowania pieca:																	
a) wskazanie ciągo- mierza	3	3	3	3	4	3	3	3	8,5	8,0	9,0	9,0	8,5	17,5	19,5	20,0	21,5
b) ciąg w mm słupa wody	7	7	8	8	9	8	8	8	16,5	16,5	17,0	17,0	16,5	27,5	29,5	30,0	31,5
Przed samym upustem																	
ciąg w mm sł. w. .														40,7	41,3	44,0	43,0

Tablica XIII.

Rozkład ciągu w piecu wapiennym cukrowni Tuczo (przy ręcznem wyładowaniu).

Nr. Nr. okienek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a) wskazanie ciągomierza	8	9	9	9	11	13	13	14	16	17	18	19	20	20,5	25	26	26	26
b) ciąg w mm sł. wody .	13	14,5	15,5	16,0	18,5	21,5	22,0	23,5	26,0	28,0	29,5	31,0	33,0	34,0	39,0	41,0	41,5	42

Dla różnicy poziomów np. 10 m poprawka ta wyniesie ok. 13 mm słupa wody.

Tablice wskazują stopniowy wzrost ciągu ku górze pieca.

Ciąg u góry pieca wynosi ok. 30 — 40 mm słupa wody, przy wysokości pieców 10 — 13,5 m, przy użyciu dość grubego wapniaka i przy współczynniku nadmiaru powietrza $m = 1,1 — 1,4$. Ponieważ, jak to dalej zobaczymy, ciąg przed samą pompą wynosi ok. 800—1000 mm słupa wody, więc ciąg, potrzebny na przepływ gazów przez piec, stanowi zaledwie drobną część ogólnego ciągu $\left(\frac{1}{20} - \frac{1}{25}\right)$, główną zaś — straty ciśnienia w płócce i w przewodach gazowych.

Dla pieca w cukrowni X znajdujemy na tym samym poziomie IV piętra ciąg w okienkach Nr.Nr. 16 i 17 wyższy niż w Nr.Nr. 14 i 15, co zgadza się z wyrażonem wyżej przypuszczeniem o przyczynach jednostronnego rozkładu żaru w piecu. W końcu okresu, przed samym upustem, ciąg wzrasta, wynosząc 43—44 mm sł. wody zamiast 30—31 mm w okresie ładowania, co wytłumaczyć sobie należy wzrostem objętości gazu, spowodowanym przez wzrost temperatury wychodzącego z pieca gazu (porównaj tablicę I) w końcu okresu, i wynikającym stąd zwiększeniem szybkości przepływu gazu przez przekrój pieca.

11. Rozkład temperatur i ciągu w przewodach gazowych.

Tablice XIV i XV podają rezultaty odpowiednich pomiarów, wykonanych w cukrowni X i w Tucznie, w czasie ręcznego wyładowania. W cukrowni X nie udało się oznaczyć ciągu i temperatury gazów u samego wylotu z pieca z powodu nieznośnego gorąca, jakie tu panowało (piec obmurowa-

Tablica XIV.

Rozkład temperatur i ciągu w komunikacji gazowej. Cukrownia X.

U wylotu pieca	Nie można było zmierzyć; ok. 600°			Porównaj także tablicę I.
	9-XI—18 ⁰⁰	10-XI—11 ⁵⁰		
Przed płóczką	$t=540^0$	525°		
	$c=218\text{ mm}$	170 mm sł. wody		
Za płóczką	$t = 46^0$	48°		
	$c = 680\text{ mm}$	750° mm sł. w.		
Przed pompą	$t = 44^0$	46°		
	$c = 877\text{ mm}$	800 mm sł. w.		

Przed pompą, pomiary, wykonywane co 10 minut w przeciągu 2 godzin.

Nr. pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t =$	37°	37°	37,5	38	39	40	43	43,5	43,5	45	45	45
$c =$	788	761	790	795	800	805	805	808	810	815	830	835 mm sł. w.

ny!); w końcu okresu rury wylotowe rozżarzały się do czerwoności: przeciętna temperatura gazu wynosiła zapewne ok. 600°. Pomiar, wykonane w Tucznie, wobec nieprawidłowego umieszczenia otworów do mierzenia temperatury przy wylocie z pieca, są niepewne. Przeciętna temperatura gazu wynosiła zapewne ok. 400°. Ciąg—przed płóczką, za płóczką, ewent. za łapaczem, i przed pompą—mierzone bądź zapomocą ciążomierza *u*—rurkowego, napełnionego zafarbowaną wodą, ewent. rtęcią, bądź zapomocą długiej ($> 1\text{ m}$) pionowej rurki, zanurzonej w naczyniu z wodą. Dokładności pomiaru przeszkadza periodyczne wahanie się poziomu wody, związane ze zmianą kierunku ruchu tłoka pompy gazowej¹⁾.

Tablica XV.

Rozkład temperatur i ciągu w komunikacji gazowej.

Cukrownia Tuczo.

Przed płóczką: $t = 150^{\circ} - 300^{\circ}$, patrz wykres Rys. 1.
 $c = 50 - 70\text{ mm}$ sł. wody.

Za płóczką: $t = 16^{\circ} - 18^{\circ}$
 $c = 330 - 420\text{ mm}$.

Za łapaczem: $t = 16^{\circ}$
 $c = 480 - 520\text{ mm}$.

Przed pompą: $t = 24^{\circ} - 25^{\circ}$
 $c = 1000 - 1020\text{ mm}$ sł. w.

W cukrowni *X* mamy, w związku z wysoką temperaturą gazów u wylotu pieca, bardzo wysokie temperatury także *przed płóczką*, np. 525—540°. W różnym czasie po załadowaniu pieca zarówno temperatura, jak i ciąg zmienia się (patrz wyżej w rozdziale 1, tablicę I), stopniowo wzrastając: zaraz po załadowaniu—325° i 140 mm sł. wody, przed upustem— $> 550^{\circ}$ i 190 mm sł. w. Wzrost ciągu przed upustem wywołany jest przez zwiększenie objętości gazu wraz ze wzrostem jego temperatury; wzrost temperatury gazu przed płóczką zachodzi wraz ze wzrostem temperatury gazów u wylotu, wywołanym przez stopniowe ogrzewanie się załadowanego materiału, a także przez podnoszenie się pasa palenia i słabszy rozkład CaCO_3 ; że rozkład ten w końcu okresu (nadmiernie długiego, bo wynoszącego 3 godziny) jest słaby, to widać z podanej wyżej w tablicy I zawartości CO_2 w gazie, która po ukończeniu ładowania wynosi 26—27%, zaś przed upustem już tylko 18%. W Tucznie zarówno ciąg, jak i temperatura przed płóczką są znacznie niższe niż w cukrowni *X*: ciąg 50—70 mm, temp. 150°—300°. Temperatura i tu w każdym okresie od załadowania do upustu wzrasta, co ilustruje wykres rys. 25 (rozdział 1).

Wobec zbyt wysokiej temperatury gazów, wchodzących do płóczki, i znacznej ich ilości (spółczynnik nadmiaru powietrza $m = 1,4$) płóczka w cukrowni *X* nie może należycie ochłodzić gazów i temperatura ich *za płóczką* wynosi 46°—48°, ciąg też jest dosyć znaczny, wynosząc 700—

¹⁾ Dla większej dokładności pomiaru należy na rurce gumowej, łączącej ciążomierz z przewodem, umieścić zacisk śrubowy i w momencie pomiaru zacisnąć go (zlekka, nie do końca).

750 mm sł. w.; opór stawiany ruchowi gazów w płócznie wynosi tu około 500 mm. W Tucznie płóczka dostatecznie chłodzi gaz (do temp. 16°—18°). Ciąg za płóczką wynosi ok. 400 mm sł. w., skąd strata ciągu w płócznie ok. 350 mm. Za łapaczem ciąg ok. 500 mm, skąd sumaryczna strata ciągu w płócznie i w łapaczu — ok. 450 mm.

Przed pompą gaz w cukrowni X jest zbyt gorący (40—45°), ciąg wynosi ok. 800—900 mm, skąd strata ciągu w przewodach między płóczką i pompą—ok. 150°—200 mm. W Tucznie temperatura przed płóczką normalna (24°—25°, gaz ogrzał się w pomieszczeniu fabrycznym); ciąg—ok. 1 000 mm sł. w., strata ciągu w przewodach od łapacza do pompy—ok. 500 mm—musi być uznana za wysoką, tłumaczy się ona długością przewodów i znaczną liczbą kolanek [ok. 60 m przewodów o $\phi = 250$ mm i 12 kolan 90°-owych].

W tablicy XIV mamy też uwidocznioną dla cukrowni X zmianę temperatury i ciągu przed pompą w czasie okresu: widzimy tu, iż zarówno ciąg, jak i temperatura w miarę zbliżania się do upustu pieca wzrastają, przez co, jak wiemy, stopniowo spada rzeczywista sprawność pompy.

12. Straty ciepła w gazach, wychodzących z pieca.

Straty te obliczono, przyjmując za podstawę: objętość rzeczywistą suchego gazu, zabieraną przez pompę gazową, odpowiadającą 100 kg wypalonego wapniaka (porównaj tablicę IX, rubr. 10) oraz skład chemiczny gazu, podany w tablicy III, rubr. 1. Jako temperaturę przeciętną gazów przyjęto: dla cukrowni X—600°, dla Tucznia—400°. Rachunek wykonano według Molowego systemu, opisanego np. w pracy prof. Cz. Grabowskiego, Gaz. Cukr., t. 55, s. 550, r. 1923.

Znaleziono na 100 kg wypalonego wapniaka straty ciepła w gazie:

w cukrowni X	27 621 Cal.
Tucznie	15 100 Cal.

Uwzględniając ilość koksu, użytego na 100 kg wapniaka oraz jego wartość opałową (tablica VIII oraz V), oraz przyjmując termiczny skutek użyteczny, obliczony wyżej (tablica VIII), znajdziemy następujący:

Bilans cieplny pieców wapiennych:

	Cukr. X	Tuczno
Na rozkład CaCO_3	44,8%	52,3%
Straty w gazie	35,9%	19,8%
Inne straty	19,3%	27,9%

Bilans uwidocznia przyczynę niskiego skutku użytecznego pieca w cukrowni X: jest nią zbyt wysoka temperatura i zbyt znaczna ilość gazów (zbyt znaczny nadmiar powietrza). „Inne straty” obejmują głównie bezużyteczną stratę ciepła przez powierzchnię pieca. Strata ta jest znacznie większa w Tucznie, niż w cukrowni X, co tłumaczyć sobie należy głównie tem, że piec w Tucznie stoi na otwartem powietrzu, zaś w cukrowni X—w murowanym budynku. Różnica tych strat, wynosząca ok. 8%, odpowiada ok. 1 kg koksu na 100 kg wapniaka. Dla cukrowni w Tucznie odpowiada to ok. 50 t koksu przez kampanję.

13. Bieg pieca Tuczniańskiego przy automatycznym wyładowaniu.

Przekonawszy się przez 4-dniową obserwację biegu pieca w Tucznie, że piec ten przy ręcznym wyładowaniu pracuje na ogół sprawnie i dobrze, spróbowaliśmy w dniu 23/XI uruchomić tarczę wyładującą i w przeciągu 4 dni prowadziliśmy piec z mechanicznym wyładowaniem. Poczynione w czasie tej próby spostrzeżenia podajemy poniżej w postaci „dziennika”, ułożonego z całym obiektywizmem, na jaki nas stać było.

1) *Pierwszy dzień biegu pieca.* 23/XI. Uruchomiono tarczę o godz. 9. Zmierzono czas jednego obrotu tarczy; wyniósł on 7 m. 15 sek. Ponieważ tarcza nie posiada zmiennej przekładni do regulowania liczby obrotów, przystąpiliśmy do unormowania ilości odciganego wapna przez regulowanie wysokości okienek, służących do wyładowania wapna (porównaj rozdział 2, rys. 30 i 31). Obserwując przez czas pewien wyładowanie wapna przez te okienka w czasie biegu tarczy, doszliśmy do przekonania, że przy jednakowej wysokości okienek wapno wychodzi z okienka Nr. 1, położonego bezpośrednio za przegrodą wyładującą d , w ilości większej, aniżeli z okienek następnych. Tarcza przed okienkiem Nr. 1 wolna jest od wapna, przy okienkach zaś Nr. 2, 3 i 4 coraz to pełniejsza, co przeszkadza wychodzeniu wapna, tem bardziej, że obwód tarczy, przyjmujący wapno, jest, jak się nam zdaje, zbyt wąski i płytki. Wobec tego zregulowaliśmy wysokość h okienek (kierując się wskazówkami majstra piecowego), jak następuje:

N ^o 4	23 cm	
N ^o 3	22 cm	Szerokość okienek—45 cm
N ^o 2	21 cm	
N ^o 1	13 cm	

Oczywiście takie regulowanie „na oko” ilości odciganego wapna należy uznać za dowolne, nie gwarantujące równomiernego odcigania wapna ze wszystkich boków pieca. Po upływie doby przekonaliśmy się, że przy wskazanej wysokości okienek piec przepuścił ok. 500 g, czyli ok. $\frac{3}{4}$ tej ilości wapniaka, którą wypalono z powodzeniem przy ręcznym wyładowaniu, a którą należy uznać za normalną dla pieca tej pojemności. Ponieważ byliśmy uprzedzeni, że przy poprzednich próbach uruchomienia tarczy musiano ją za każdym razem po krótkotrwałem działaniu zatrzymywać głównie z tej racji, że tarcza się „zaгрzewała”, więc zwróciliśmy od początku baczną uwagę na temperaturę obwodu tarczy, sądząc o jej wysokości „na rękę”. Już o godz. 15 (a więc w 6 godzin po uruchomieniu tarczy) tarcza, która przy ręcznym wyładowaniu była stale zimna, stała się „letnią”, a o godz. 20-tej — gorącą. Ażeby dokładniej sądzić o stopniu „gorączki”, do jakiego dochodziła tarcza, wywierciliśmy otwór w obwodzie tarczy, do którego wstawiony został termometr. Temperatura wynosiła o godz. 21 — 65°—70°. Przypuszczając, że jedną z przyczyn zaгрzewania się tarczy jest znaczne tarcie bardzo prymitywnie skonstruowanego łożyska (porównaj rozdział 2, rys. 30), zaczęliśmy obficie smarować to łożysko. Po pewnym czasie tarcza — dla tych, czy innych powodów — ochłodziła się. Obserwacje i pomiary, dotyczące biegu pieca, prowadziły do wniosku, że piec

na wskazaną wyżej zmniejszoną ilość wapna, szedł na ogół prawidłowo.

2) *Drugi dzień biegu pieca*, 24/XI. Piec, aż do godz. 18, szedł przy wskazanej wyżej wysokości okienek. Tarcza, na ogół chłodna lub tylko letnia, pod wieczór zaczęła się zagrzewać. Ażeby temu zaradzić, zaczęto obficie smarować łożysko, stosując zamiast smaru Tovotte'a ciężki smar maszynowy z domieszką Tovotte'a, a nawet smar cylindrowy. Wreszcie obniżono wysokość okienek wyładowczych o dalsze 2 cm każde; a więc zmniejszono jeszcze bardziej ilość przepuszczanego przez piec wapniaka, prawdopodobnie do ok. $\frac{2}{3}$ normalnej ilości. Temperatura tarczy obniżyła się. Poczyniono tego dnia szereg pomiarów (ciąg i temperatura w piecu, ciąg i temperatura u wylotu pieca¹⁾, — przed płóczką, skład gazu i t. d.), które prowadziły do wniosku, że piec idzie na ogół normalnie. Temperatury gazu przed płóczką ulegały przytem w różnych okresach znacznie mniejszym wahanom, niż przy ręcznym okresowym wyładowaniu, wynosząc ok. 200° — 250° (porównaj wykres Rys. 25, w rozdziale 2). Również skład gazu wahał się w wąskich granicach 28—30% CO₂. Jednakże ku końcowi dnia zauważono nieznaczne zwiększenie się ilości niedopału z Mika, co świadczyło o pewnym (nieznacznym jeszcze) rozstroju biegu pieca.

3) *Trzeci dzień biegu pieca*, 25/XI. Do godz. 10 piec — na wskazany wyżej zmniejszony (do $\frac{2}{3}$?) przerób wapniaka — idzie normalnie: tarcza zimna. Wobec tego i licząc się z tem, że fabryka zaczęła odczuwać brak wapna, zdecydowano się spróbować prowadzić piec z automatycznym wyładowaniem na zwiększony do normalnej wysokości (ok. 680 g na dobę) przerób wapniaka. W tym celu uregulowano wysokość okienek, jak następuje:

Nr. 4	$h = 24$ cm
Nr. 3	20
Nr. 2	19 $\frac{1}{2}$
Nr. 1	17

Ponieważ do godz. 13 nie zauważono zagrzewania się tarczy, zwiększono jeszcze bardziej wysokość okienek wyładowczych, dochodząc do h :

Nr. 4	. . . 29 cm
Nr. 3	. . . 25
Nr. 2	. . . 24
Nr. 1	. . . 17

Po upływie doby przekonano się, że od 6 godz. 25/XI do 6 godz. 26/XI przepuszczono przez piec ogółem 690 g wapniaka, a więc taką samą ilość, jak przy ręcznym wyładowaniu. O godz. 15 zauważono słabe zagrzanie się tarczy (temp. = 35°); o godz. 16 — tarcza gorąca ($t = 85^\circ$). Jednocześnie zauważono w głębi okienek wyładowczych kawałki żarzącego się koksu, a wapniak na obwód tarczy zaczął wychodzić gorący. Wobec tego zmniejszono nieco wysokość okienek: Nr. 1 — 27 cm, Nr. 2 — 23 cm, Nr. 3 — 22 cm, Nr. 4 — 17 cm. Jednakże temperatura tarczy stale wzrasta: o godz. 17 m. 15 — $t = 120^\circ$; łożysko pomimo obfitego smarowania

¹⁾ Temperatura, mierzona w rurach wylotowych I—IV (Rys. 36) wynosiła 300°—370°

zaczyna dymić; o godz. 17 m. 35 — $t = 130^{\circ}$, o godz. 19 m. 15 — $t = 157^{\circ}$, łożysko mocno dymi i zaczyna zgrzytać. Z obawy o pęknięcie tarczy zatrzymano ją na czas pewien, poczem ponownie uruchomiono. W taki też sposób przemęczono się przez noc.

4) *Czwarty dzień biegu pieca*, 26 XI. Piec idzie z automatycznym wyładowaniem, pomimo, że temperatura tarczy wynosi $100^{\circ} - 120^{\circ}$. O godz. 11 m. 30 temper. tarczy wzrasta do 145° , tarcza znów mocno dymi i zgrzyta. Wapno wychodzi z pieca gorące. Po parogodzinnem zatrzymaniu tarczy uruchomiono ją ponownie, temperatura znów dochodzi do 130° , tarcza dymi i zgrzyta. Mimo to nie zatrzymujemy jej aż do godz. 16 m. 30, kiedy wreszcie po dojściu temperatury tarczy do 160° zaczynają się tak piekielne zgrzyty i drżenie tarczy, że z obawy o jej całość zatrzymujemy ją ostatecznie.

W głębi pieca przez okienka wyładowcze widać znów trochę rozżarzonego koksu. Zrobiono wkrótce potem ręczny odciąg, przyczem rozżarzonego wapna nie zauważono.

Wapno, wychodzące z pieca przez pierwsze dwa dni ruchu tarczy, (t. j. wtedy, kiedy ilość wypalonego wapniaka wynosiła 60 — 70% normalnej ilości, którą piec z powodzeniem wypalał przy ręcznym wyładowaniu) — było dobre, lasowało się normalnie i dawało nieznaczłą ilość niedopału. Natomiast w 3-im i 4-ym dniu, kiedy próbowaliśmy prowadzić piec na normalną ilość wapniaka, wapno było źle wypalone i dawało do 20% niedopału.

Na zasadzie tej 4-dniowej próby prowadzenia pieca z automatycznym wyładowaniem wapna, doszliśmy do następujących wniosków, a raczej przypuszczeń:

1) piec firmy H. L ö h n e r t z ruchomą tarczą obrotową może dawać normalnie wypalone wapno przy automatycznym wyładowaniu, jeżeli ilość wypalonego wapniaka nie przekracza 60 — 65% ilości, którą uważamy za normalną dla pieca danych wymiarów. Za normalną ilość uważamy ok. 10 q wapniaka na 1 m³ pojemności pieca przez 24 godziny; piec w Tucznie według tej normy winien wypalać ok. 700 q wapniaka, ilość, którą przy ręcznym wyładowaniu, jak to widzieliśmy, rzeczywiście z łatwością dawał.

2) Przy zbliżaniu się do całkowitej (100%) normalnej sprawności następuje rozstrój biegu: piec zaczyna dawać znaczną ilość niedopału.

3) Jedną z przyczyn rozstroju pieca jest, jak się nam wydaje, trudność należytego uregulowania równomiernego odciągu wapna z czterech stron pieca. Regulowanie odciągu przez różną wysokość okienek wyładowczych jest dowolne, jako oparte na nie dającym się sprawdzić przypuszczeniu i nie podlegające żadnemu ścisłemu prawidłu. Powoduje to, przy błędnem (z konieczności!) ustawieniu zasuw w okienkach, nierówne schożenie wapna z różnych stron pieca i otrzymywanie niedopału.

4) Wielce ujemną stroną tarczy wyładowczej jest nieodpowiednia, zbyt prymitywna konstrukcja łożyska podporowego i urządzenia do jego smarowania, powodujące zagrzewanie się tarczy (szczególniej przy wycho-

dzeniu z pieca gorętszego wapna), a przez to zmuszające do zatrzymywania tarczy, z obawy o połamanie jej.

5) Również za ujemną stronę należy uznać brak zmiennej przekładni, która pozwalałaby puszcząć tarczę z różną szybkością odpowiednio do ilości wypalanego wapna. Ilość odciganego wapna musi być regulowana albo przez zmianę wysokości okienek wyładowczych, albo przez okresowe puszczanie i zatrzymywanie tarczy. Wskazany błąd oczywiście łatwo jest poprawić.

6) Spostrzeżenia i pomiary, poczynione przez pierwsze dwa dni, kiedy piec pracował na 60 — 70% normalnej sprawności, wykazały dodatnie cechy automatycznego wyładowania: zmniejszenie liczby robotników przy wyładowaniu, wystarcza 1 robotnik i to głównie do dozoru; gaz posiada równomierny skład; temperatura gazu przed płóczką waha się w wąskich granicach.

7) Urządzenie do automatycznego ładowania pieca, opisane na początku pracy niniejszej w rozdziale 2, Rys. 29, według opinii personelu technicznego i zgodnych z nią naszych obserwacji, działa bez zarzutu, a jako zaoszczędzające pracę paru robotników może być polecone każdej cukrowni. Nadaje się ono oczywiście także do zwykłych pieców z ręcznym wyładowaniem.

14. Obserwacje, poczynione nad biegiem pieca z automatycznym wyładowaniem w cukrowni Zbiersk.

Z korespondencji, przeprowadzonej przez nas z dyrekcją cukrowni Zbiersk, dowiedzieliśmy się, że ustawiony w tej fabryce przez firmę H. Löhner t piec z automatycznym załadowaniem i wyładowaniem, który w czasie poprzedniej kampanji (1925/26 r.) działał wadliwie, tak, że wyładowywano przeważnie ręcznie, obecnie, po przeróbkach, wykonanych przez firmę, działa sprawnie i idzie z automatycznym wyładowaniem. Piec ten, przy 65 m³ pojemności, wypala ok. 450 q wapniaka na dobę. Dane tej korespondencji potwierdziły wniosek, wyprowadzony przez nas na zasadzie prób, wykonanych w Tucznie: wyładowanie wapna tarczą obrotową nie narusza normalnego biegu pieca póty, póki ilość wypalanego wapniaka nie przekracza 70% normalnej sprawności pieca. Piec o pojemności 65 m³ winien przepuszczać normalnie (przy ręcznym wyładowaniu) ok. 650 q wapniaka, przepuszcza zaś ok. 450 q, czyli 70% tej ilości.

Obserwacje i pomiary, poczynione przez nas na miejscu w Zbiersku, dały co następuje. Piec, po przeróbce w r. 1926, posiada urządzenia do automatycznego ładowania i wyładowania identyczne z urządzeniami, któreśmy badali w Tucznie. Tarcza robi 1 obrót w 10 — 11 minut (a więc chodzi 1,5 razy wolniej niż w Tucznie); od czasu do czasu jest zatrzymywana. Obwód tarczy stale zimny lub zaledwie słabo ciepły. Wapno chłodne lub nieco letnie. Okienka wyładowcze otwarte wszystkie cztery jednakowo: $h = 26$ cm przy szerokości 30 cm. Piec wypalał na dobę 430 q, a więc zaledwie 60%, czyli $\frac{2}{3}$ normalnej sprawności, która przystoi piecowi o 65 m³ pojemności (porównaj dane rozdziału 4 i Tablicy II). Skład chemiczny gazu (CO₂ ok. 20 — 23%) dowodzi, iż piec pracuje ze znacznym nadmiarem powietrza: $m = 1,6$ (porównaj Tablicę III w rozdziale 5). Wapniak, stosowany przez Zbiersk, należy uznać za zupełnie dobry (Ta-

blica IV, rozdział 6), dotyczy to również koksu. Wapno, otrzymywane z pieca, było bardzo dobre, bez niedopału lub przepału, lasowało się normalnie, dając dobre tłuste mleko wapienne. Wapniak dawano do pieca w dosyć grubych kawałach, koks — również dosyć gruby. Rozchodu koksu na wypalanie wapniaka nie udało się całkiem ściśle ustalić, wynosił on prawdopodobnie około 10%, co odpowiadałoby termicznemu skutkowi użytecznemu około 58%. Pompa gazowa nowa, dobrze uregulowana, posiada sprawność zbyt wielką na dzisiejszą ilość wypalanego wapniaka, skąd wysoki współczynnik nadmiaru powietrza (Tablica IX, rozdział 9). Rozkład temperatur w piecu podaje Tablica XVI; pas najwyższych temperatur jest Tablica XVI.

Rozkład temperatur w piecu. Cukrownia Zbiersk, mechaniczne wyładowanie.

O k i e n k o N r .	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
T e m p e r a t u r a	550 ⁰	550 ⁰	600 ⁰	800 ⁰	700 ⁰	880 ⁰	820 ⁰	770 ⁰	—	720 ⁰	—	700 ⁰	

tu niżej położony, niż w Tucznie (porównaj Tablicę XI, rozdział 10). Niektóre dane dotyczące temperatur i ciągu w przewodach gazowych podaje Tablica XVII.

Tablica XVII.

*Rozkład temperatur i ciągu w przewodach gazowych.
Cukrownia Zbiersk.*

U wylotu z pieca:

sztucer Nr. I: $t = 330^0, 335^0, 340^0, 345^0, 340^0$ (co 25 min.)
 „ Nr. II: 320⁰, 325⁰,
 „ Nr. III: 360⁰, 320⁰,
 „ Nr. IV: 300⁰, 300⁰,

Przed płóczką:

ciąg — 100 mm słupa wody.

Za płóczką:

ciąg — 325—340 mm słupa wody.

Reasumując obserwacje i dane, dotyczące pieca z automatycznym wyładowaniem firmy H. L ö h n e r t, postawionego w cukrowni Zbiersk, należy stwierdzić:

1) iż piec ten zupełnie prawidłowo działał przez całą kampanję 1926/27 r.¹⁾, nie sprawiając fabryce żadnego kłopotu i dając równe, normalnie wypalone wapno;

2) piec wypalał około $\frac{2}{3}$ tej ilości wapniaka, którą uznać należy za normalną dla pieca danej pojemności, próby puszczania pieca na większą produkcję wapna nie wykonywano.

Doświadczenie cukrowni Zbiersk potwierdza przypuszczenie, wyrażone przez nas na zasadzie próby, wykonanej w Tucznie: mechaniczne urządzenie do wyładowania firmy H. L ö h n e r t działać może prawidłowo, póki ilość wypalanego wapniaka nie przewyższa około 6,0 — 6,5 g na m³ pojemności pieca na dobę.

¹⁾ A także przez całą następną kampanję 1927/28 r.

Dodać jeszcze należy, że elektryczny podnośnik do automatycznego załadowania wapniaka i koksu, pozostawiony przez firmę H. Löhnert w roku 1926/27 według schematu, wyobrażonego wyżej na Rys. 29 (rozdział 2), działał w Zbiersku, tak samo jak w Tucznie, bez zarzutu²⁾.

15. Wnioski.

Wnioski, które dadzą się wyciągnąć z obszernego materiału opisowego i doświadczalnego, podanego w pracy niniejszej, podzielić można na kilka kategorii. Jedne z nich dotyczą sposobów i szczegółów wykonania kontroli pieca wapiennego. Te, jak sądzimy, czytelnik w razie potrzeby odszuka w odpowiednich rozdziałach bez naszej pomocy. Inne z nich dotyczyć mogą pewnych norm dla prawidłowego biegu pieca. Zbyt mała, tymczasowo, liczba zbadanych pieców, doradza nam odłożyć sformułowanie tych wniosków do czasu ogłoszenia drukiem II-giej części naszych studjów, przy opracowaniu których będziemy się mogli oprzeć na danych, dotyczących dalszych 5 zbadanych pieców. Wyjątek zrobimy dla następującego stwierdzonego przez nas z całą pewnością wniosku: budowane ostatnio piece o dużej pojemności (70—80 m³), a zapewne i piece o znacznie jeszcze większej pojemności, pracować mogą tak samo sprawnie i dobrze, jak budowane dawniej piece o $V = 35 - 40 \text{ m}^3$. Inna kategoria wniosków dotyczy pewnych błędów lub usterek, popełnianych przez nasze cukrownie przy prowadzeniu pieców wapiennych. Wymienimy tu z nich następujące:

1) zły wybór gatunku wapniaka, wynikający z braku analizy: zbyt niska zawartość CaCO_3 (np. 89%) i wysoka zawartość SiO_2 oraz $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (razem np. 7—8%). Wapniak taki daje chude, niskowartościowe wapno i mleko wapienne (np. 77% czynnego wolnego CaO przy 93% ogólnego CaO), których jakość uchodzi uwadze personelu fabrycznego z powodu nieanalizowania tych produktów.

2) Znaczna ilość niedopału i żwirku w wapnie, nie zauważona z powodu braku nadzoru i kontroli pieca.

3) Zbyt wysoki współczynnik nadmiaru powietrza (np. 1,4 — 1,6), wynikający z nieprawidłowego ustosunkowania pompy do pracy pieca (zbyt silna pompa); błąd ten uchodzi często uwadze wobec niewykonywania całkowitych analiz gazu, pozwalających na obliczenie wskazanego współczynnika.

4) Zbyt znaczna zawartość CO w gazie, wynikająca z przyczyn, omówionych w rozdziale 5; i ten błąd pozostaje zwykle niespostrzeżony z powodu braku całkowitych analiz; niekiedy niema też zrozumienia tego, jak znaczne straty ciepła ponoszone są przez niecałkowite spalanie C .

5) Nierównomierny bieg pieca z różnych boków. W liczbie przyczyn, które mogą spowodować to zjawisko, należy wymienić nierównomierność ciągu z różnych boków, jako skutek nieprawidłowego układu rur wylotowych (rys. 36—4).

6) Zbyt znaczna różnica w wymiarach kawałków wapniaka lub wogóle zbyt gruby wapniak.

²⁾ Takie same podnośniki i urządzenia do ładowania wapniaka widzieliśmy w czasie następnej kampanji 1927/28 r. w cukrowniach: Horodenka i Witaszyce, i tu działały one zupełnie dobrze.

7) Używanie niesortowanego koksu o różnych wymiarach kawałków. Użycie zbyt grubego lub zbyt miążkiego koksu.

8) Zbyt wysoka temperatura gazów, wychodzących z pieca, powodująca znaczne straty ciepła.

9) Pochodzące z tych lub innych przyczyn niedostateczne działanie płóczki, powodujące zbyt wysoką temperaturę gazu przed pompą, co zmniejsza rzeczywistą sprawność pompy.

10) Niedostateczna dbałość o racjonalną kontrolę pieca. (Błąd popełniany prawie przez wszystkie cukrownie!).

Ostatnia wreszcie kategoria wniosków dotyczy oceny przydatności dla naszych cukrowni postawionych w ostatnich latach w kilku fabrykach ciągłych pieców firmy H. Löhner z automatycznym ładowaniem i wyładowaniem (tarcza obrotowa). Wnioski te streścimy jak następuje:

1) Wspomniane piece w swem ostatnim wydaniu 1926/27 r.), pomimo, że posiadają jeszcze usterki technologiczne i konstrukcyjne, są wyrazem postępu w dziedzinie pieców wapiennych i po dalszem udoskonaleniu mogłyby spełnić swą rolę w cukrownictwie.

2) Podnośnik elektryczny i urządzenie do automatycznego ładowania wapniaka i koksu już w dzisiejszej swej postaci pracują zupełnie dobrze i mogą być polecane cukrowniom, życzącym sobie zmniejszyć liczbę robotników przy piecu.

3) Tarcza wyładowcza w swej dzisiejszej konstrukcji może pracować dobrze przy sprawności pieca, wynoszącej 6—7 q wapniaka z m^3 przez 24 godz., t. j. przy sprawności, wynoszącej ok. $\frac{2}{3}$ normalnej. Przy zbliżaniu się do całkowitej normy następuje rozstrój pieca (niedopał) oraz zagrzewanie się tarczy, powodujące konieczność zatrzymania ruchu. Zagrzewania się tarczy możnaby uniknąć, jak się nam zdaje, przez bardziej racjonalną konstrukcję łożyska podporowego.

4) Zmechanizowanie wyładowania i przenoszenia wapna do Mika daje dalszą oszczędność robocizny. Do wyładowania i podawania do Mika potrzebny jest 1 robotnik.

5) Między podnośnikiem i Mikiem odczuwa się brak zbiornika (silo-su) do wapna, któryby regulował podawanie wapna do Mika. Przy dzisiejszym urządzeniu każde zapełnienie wapniarki zmusza do zatrzymywania tarczy, przy przypadkowym zaś zatrzymaniu tarczy wapniarka nie otrzymuje wapna lub też musi być ono ładowane ręcznie.

STRESZCZENIE.

Głównym celem „Studjów nad piecami wapiennymi“, których niniejsza praca jest częścią I, podającą wyniki badań, wykonanych w czasie kampanji 1926/27 r., jest ocena przydatności do celów cukrownictwa kilku typów pieców wapiennych o ciągłym ruchu, z automatycznym (mechanicznym) wyładowaniem wapna ewent. również z automatycznym załadowaniem wapniaka i koksu. Do tego głównego celu dołączyła się chęć pogłębienia sprawy kontroli pieca wapiennego oraz zebrania materiałów, dotyczących działania pieców wapiennych, czynnych w polskich cukrowniach.

We wstępie autorzy wskazują na ważność racjonalnego prowadzenia pieców wapiennych, (wymagającego stałej kontroli i opieki nad piecem) ze względu na koszty produkcji wapna oraz ze względu na jakość gazu i wapna, potrzebnych do oczyszczania soku.

W rozdziale 1 omówiona jest sprawa perorydycznego i ciągłego prowadzenia pieca; wytknięta główna cecha ujemna perorydyczności — nierównomierność biegu pieca (tablica I i wykres rys. 25); wyjaśnione zalety ciągłego prowadzenia pieca: większa sprawność pieca, mniejsze zużycie koksu, większa równomierność procesu (równy gaz i wapno), zmniejszenie robocizny i uniezależnienie się od dobrej woli robotnika.

W rozdziale 2 opisane są niektóre automatyczne piece do wypalania wapna: najdawniej znany z nich piec Solvay'a z tarczą obrotową (rys. 26), piec z pasowym przenośnikiem (rys. 27); obszernie omówiony jest automatyczny piec firmy H. Löhner t, ustawiony w kilku naszych cukrowniach i specjalnie badany przez autorów (rys. 28, 29, 30, 31), wreszcie piec zakł. Škody (rys. 32).

Rozdział 3 omawia zakres badań, wykonanych w 1926/27 r.: zbadano zwykły piec w cukrowni X, piec firmy H. Löhner t przy ręcznym i mechanicznym wyładowaniu w cukr. Tuczo, i takież piec w Zbiersku.

Rozdział 4 traktuje o sprawności badanych pieców (tablica II): podane są profile pieców (rys. 33 i 34).

W rozdziale 5 podany jest skład gazu saturacyjnego w cukrowniach: X (zwykły piec), Tuczo (automatyczny piec firmy H. Löhner t, pracujący jednak z ręcznym wyładowaniem) i Zbiersk (piec firmy H. Löhner t, pracujący z mechanicznym wyładowaniem); obliczone są z analizy gazu spólczyniki nadmiaru powietrza oraz ilość C, spalonego na 100 cz. rozłożonego CaCO_3 (tablica III); omówione są przyczyny jednoczesnej zawartości w gazie O_2 i CO; wyliczone straty koksu, wynikające z całkowitego spalania C.

W rozdziale 6 podany jest skład wapniaków, stosowanych przez wskazane cukrownie (tablica IV); analizy koksów (tablica V), których wartość opałowa użytkowa wynosi 6100—6500 Cal (przy zawartości wilgoci 6—13%); podany jest skład chemiczny wapna (tablica VI) w związku ze zdolnością do lasowania i dawania tłustego lub chudego wapna, opisane własności mleka wapiennego w związku ze składem chemicznym; wykres rys. 35 wskazuje szybkość osiadania wapna z chudego i tłustego mleka wapiennego; wytknięta jest konieczność analizowania wapniaka, koksu, wapna i mleka wapiennego.

W rozdziale 7 omówiona jest sprawa wielkości kawałków wapniaka i koksu w związku z szybkością wypalania CaCO_3 i spalania C; przedstawione są dane dla cukrowni X i Tuczo (tablica VII).

W rozdziale 8 podany jest rozchód koksu na 100 kg wapniaka oraz obliczony rozchód C na 100 kg rozłożonego CaCO_3 (tablica VIII); obliczony jest termiczny skutek użyteczny pieców, wynoszący: 44,8%, 52,3% i 58,4%.

Rozdział 9 traktuje o sprawności pomp gazowych; podane są rozważania, dotyczące możliwości zmieniania sprawności tych pomp; tablica IX podaje wymiary pomp, sprawność rzeczywistą pomp w m^3/l

oraz w m^3 na q wapniaka; przytoczona też jest sprawność q wapniaka, obliczona z danych doświadczalnych.

Rozdział 10 zawiera wyniki pomiarów temperatury na różnych wysokościach pieca w cukrowni X i Tucznie (tablice X i XI); w cukrowni X skonstatowano gorętszy bieg pieca z jednego boku w związku z nieprawidłowym układem rur wylotowych z pieca (rys. 36); pas najwyższych temperatur w obydwóch cukrowniach położony jest wyżej, niż to bywa normalnie. Przytoczone są rezultaty pomiarów ciągu na różnych wysokościach pieca (tablice XII i XIII), ciąg u wylotu pieca wynosi ok. 30—40 mm słupa wody.

W rozdziale 11 podane są rezultaty pomiarów temperatury i ciągu w różnych częściach przewodów gazowych: u wylotu pieca, przed płóczką, za płóczką, przed pompą gazową (tablice XIV i XV); w cukrowni X temperaturę gazu i ciąg przed płóczką znaleziono nienormalnie wysokie ($t = \text{ok. } 500^\circ$, $c = 170\text{—}220\text{mm}$); ciąg przed pompą wynosił 800—1000 mm słupa wody.

W rozdziale 12 obliczono straty ciepła w gazach, wychodzących z pieca, oraz zestawiono bilanse cieplne pieców; straty w gazie w cukrowni X są znacznie większe niż w Tucznie (35,9% wobec 19,8%).

W rozdziale 13 opisane są próby prowadzenia pieca w Tucznie z mechanicznym wyładowaniem wapna. W wyniku tych prób okazało się, że przy mechanicznym wyładowaniu piec pracuje dobrze, póki produkcja wapna nie przewyższy 60—70% ilości, którą należy uznać za normalną (10 q wapniaka z m^3 przez 24 godz.), a którą piec z łatwością dawał przy ręcznym wyładowaniu. Przy próbie puszczenia pieca na całkowitą sprawność, piec zaczął dawać znaczną ilość niedopału, a tarczę z powodu źle działającego łożyska trzeba było zatrzymać. Urządzenie do automatycznego ładowania działa zupełnie sprawnie.

Rozdział 14 podaje obserwacje, poczynione nad biegiem pieca z automatycznym wyładowaniem wapna (Löhnert) w cukrowni Zbiersk; piec pracuje przez całą kampanję zupełnie sprawnie, ale przy sprawności równej ok. $\frac{2}{3}$ normalnej.

W rozdziale 15 podane są niektóre wnioski, dotyczące przyczyn wadliwego działania pieców oraz oceny automatycznych pieców firmy H. Löhnert z tarczą obrotową.

Pp. Dyrektorom i personelowi technicznemu cukrowni, w których wykonaliśmy niniejsze studia, p. inż. A. Porzezińskiemu, p. dyr. St. Dobrowolskiemu oraz firmie H. Löhnert składamy niniejszem serdeczne podziękowanie za ich życzliwą pomoc, okazaną nam w naszej pracy.

Prof. K. SMOLEŃSKI i inż. W. REICHER.

Etudes sur les fours à chaux.

Résumé.

Le but principal des „Etudes sur les fours à chaux“ est de donner une appréciation de l'utilité de quelques types de fours à chaux pour la pratique sucrière. Les types des fours à chaux en question sont les fours à chaux

à marche continue, à déchargement automatique (mécanique) de la chaux calcinée et à chargement automatique du calcaire et du coke. L'article présente constitue la première partie des „Etudes“ et contient les résultats des recherches, effectuées par les auteurs pendant la campagne sucrière de l'année 1926—27. Outre le but principal, les auteurs se proposèrent d'approfondir la question du contrôle des fours à chaux et de recueillir des données pratiques sur la marche des fours à chaux, installés dans les sucreries de notre pays.

Les auteurs indiquent dans l'introduction toute l'importance d'un travail rationnel et perfectionné des fours à chaux, la nécessité d'un contrôle incessant et de soins continuels, vu les frais de la production de la chaux et les exigences imposées à la qualité du gaz et de la chaux.

Chapitre 1 discute la question de la marche périodique et de la marche continue des fours à chaux. Le défaut principal de la périodicité — c'est l'inégalité et l'irrégularité de la marche du four (Table I, diagramme sur fig. 25). Les avantages de la marche continue sont: un rendement supérieur du four, l'économie dans la consommation du coke, une plus grande uniformité de la marche (la composition et la quantité de gaz et de chaux plus stables), la réduction de la main d'oeuvre et l'indépendance du procédé de la bonne volonté de l'ouvrier.

Chapitre 2 contient la description de quelques types de fours automatiques servant à la calcination de la chaux. Ces fours sont: le plus ancien — le four de Solvay muni d'un disque rotatif (fig. 26), un four avec un transporteur à bande (fig. 27), le four automatique des Etablissements H. Löhnert, installé dans plusieurs sucreries de notre pays, spécialement étudié et décrit en détail par les auteurs (fig. 28, 29, 30 et 31) et enfin le four des Etablissements Skoda (fig. 32).

Chapitre 3 présente une description des recherches effectuées par les auteurs en 1926—27. Les auteurs étudièrent un four ordinaire dans la sucrerie de X, un four des Etablissements H. Löhnert avec déchargement manuel et déchargement mécanique dans la sucrerie de Tuczno et un four pareil dans la sucrerie de Zbiersk.

Chapitre 4 contient des données sur le rendement des fours étudiés (Table II). Les profils de ces fours y sont représentés. (fig. 33 et fig. 34).

Le contenu du chapitre 5 est: — l'analyse du gaz carbonique dans la sucrerie de X (four ordinaire), dans la sucrerie de Tuczno (four automatique des Etablissements H. Löhnert, travaillant pourtant avec déchargement manuel) et dans la sucrerie de Zbiersk (four H. Löhnert avec déchargement mécanique);

— le calcul des coefficients de l'excès d'air et de la quantité de C brûlée pour la décomposition de 100 kgr. de CaCO_3 (les calculs précédents sont basés sur l'analyse du gaz carbonique) (Table III);

— la discussion des causes d'une présence simultanée de O_2 et de CO dans les gaz;

— le calcul des pertes de coke par suite d'une combustion incomplète du C.

Chapitre 6 contient les analyses des pierres calcaires employées dans les sucreries sus-nommées (Table IV), les analyses des coques (Table V) qui possédaient un pouvoir calorifique de 6100—6500 calories (teneur en

eau de 6 à 13 pour cent), des données sur la composition chimique de la chaux en rapport à sa propriété de s'éteindre plus ou moins facilement et de donner de la chaux grasse ou de la chaux maigre, la description des propriétés du lait de chaux qui dépendent de sa composition chimique. Le diagramme (fig. 35) montre la vitesse, avec laquelle la chaux se dépose dans un lait de chaux gras et dans un lait de chaux maigre. Les auteurs soulignent la nécessité d'analyser le calcaire, le coke, le chaux et le lait de chaux.

Chapitre 7 discute la question de la grosseur des morceaux de calcaire et de coke en rapport à la vitesse de la calcination du CaCO_3 et à la vitesse de la combustion du C. Les dimensions des morceaux sont présentées dans Table VII pour les sucreries de X et de Tuczo.

Chapitre 8 contient les données sur la quantité de coke consommé par 100 kgr. de calcaire et le calcul de la quantité de C brûlé pour décomposer 100 kgr. de CaCO_3 (Table VIII). D'après le calcul — les rendements thermiques des fours sont: 44.8—52.3—58.4 pour cent.

Dans le chapitre 9 les auteurs discutent la question du rendement des pompes à gaz carbonique et les possibilités de changer le rendement utile de ces pompes, Table IX contient des données sur les dimensions des pompes et sur leur rendement réel en mètres cubes par minute et en mètres cubes par 100 kgr. de calcaire. Les auteurs calculent ensuite le rendement des pompes par 100 kgr. de calcaire d'après les données de leurs expériences.

Chapitre 10 présente les résultats des mesurages de la température à différentes hauteurs des fours dans les sucreries de X et de Tuczo (Tables X et XI). Les auteurs constatèrent dans la sucrerie de X une marche plus intense d'un côté du four (les températures y étaient plus élevées) — ce qui résultait d'une disposition défectueuse des tuyaux d'aspiration du gaz (fig. 36). Dans les fours des deux sucreries les zones des températures maximales se trouvaient à des hauteurs plus élevées qu'il ne l'est normalement. Tables XII et XIII contiennent les résultats des mesurages du tirage à différentes hauteurs des fours; le tirage à la sortie des gaz du four était de 30—40 mm. d'eau.

Chapitre 11 présente les résultats des mesurages de la température et du tirage dans les différentes parties des tuyaux d'aspiration: à la sortie du four, à l'entrée dans le laveur, à la sortie du laveur et à l'entrée dans la pompe à gaz (Tables XIV et XV). Les auteurs trouvèrent que dans la sucrerie de X la température du gaz et le tirage à l'entrée dans le laveur étaient plus élevés qu'ils ne le sont normalement (température près de 500° , tirage 170—220 mm), le tirage à l'entrée dans la pompe était de 800—1.000 mm. d'eau.

Chapitre 12. Les auteurs calculent les pertes de chaleur dans les gaz quittant les fours et donnent les balances des calories pour ces fours. Les pertes de chaleur dans les gaz étaient plus considérables dans la sucrerie de X que dans celle de Tuczo (35.9 pour cent comparés à 19.8 pour cent).

Chapitre 13. On essaya de travailler sur le four à chaux de Tuczo en le déchargeant mécaniquement. On reconnût en résultat que le four, déchargé mécaniquement, marchait d'une manière satisfaisante tant que la production de la chaux ne dépassait pas les 60—70 pour cent de la quantité qu'il fallait admettre comme normale—précisément: 1.000 kgr. de calcaire

par mètre cube en 24 heures—une quantité que le four travaillait facilement avec déchargement manuel. Lorsqu'on essaya de mettre le four en pleine marche et de lever son rendement au nominal, le four commença à donner des quantités considérables d'incuits et on fut obligé d'arrêter le disque à cause du fonctionnement défectueux de son coussinet. Le mécanisme de chargement automatique fonctionnait cependant tout à fait bien.

Chapitre 14 contient des observations faites dans la sucrerie de Zbiersk sur la marche du four à chaux (Löhnert) à déchargement mécanique: la marche du four était complètement satisfaisante pendant toute la durée de la campagne, mais son rendement ne dépassait pas $\frac{2}{3}$ du rendement normal.

Dans le chapitre 15 les auteurs donnent quelques conclusions sur les causes d'une marche défectueuse des fours à chaux et font l'appréciation des fours automatiques des Etablissements Löhnert, munis d'un disque rotatif.

LITERATURA, DOTYCZĄCA PIECÓW WAPIENNYCH I POMP GAZOWYCH.

- 1) Berthold Block. Das Kalkbrennen, II wydanie, Lipsk, 1924.
- 2) J. Maciejewicz. Kontrola pieca wapiennego, Warszawa, 1926.
- 3) F. Prokopowski. O piecach wapiennych w cukrownictwie (ref.) G. C., t. 14, s. 360 (1900).
- 4) Nowy piec szybowy do wypalania wapna (ref.) G. C., t. 15, s. 354 (1901).
- 5) Feliks Bogatko. Piece wapienne i pompy gazowe w cukrowniach: G. C., t. 22, s. 5, 26, 45, 69, 89, 113, 137 i 157 (1904).
- 6) Wł. Jankowski. O prowadzeniu belgijskich pieców wapiennych G. C., t. 27, s. 132 (1906).
- 7) J. os. Podhora. Puszczanie w ruch pieca wapiennego po dłuższym przestoju (ref.) G. C., t. 27, s. 467 (1907).
- 8) Fr. Losos. Puszczanie w ruch pieca wapiennego po dłuższym przestoju (ref.) G. C., t. 27, s. 467 (1907).
- 9) I. Dąbrowski. Pompy gazowe G. C., t. 39, s. 10, 21 (1912).
- 10) B. Block. Wypalanie wapna (ref.) G. C., t. 40, s. 401, 441, 461 (1913).
- 11) B. Block. Zużycie opału w piecu wapiennym G. C., t. 41, s. 190 (1913).
- 12) Cz. Grabowski. Materiały do teorii pomp gazowych i powietrznych w cukrowniach: G. C., t. 42, s. 4, 20, 37, 53, 68, 84, 105 (1914), t. 44, s. 176 (1915), t. 50, s. 204 (1918), t. 51, s. 11 (1919).
- 13) Cz. Grabowski. Bilans cieplny pieca belgijskiego do wypalania wapna G. C., t. 55, s. 550 (1923).
- 14) R. Barta. Materiały ogniotrwałe (ref.) G. C., t. 56, s. 77 (1924).
- 15) A. Dumoulin. Rozważania teoretyczne nad ilością dodawanego koksu przy wypalaniu kamienia wapiennego, w celu zwiększenia %-zawartości CO₂ w gazie saturacyjnym (ref.) G. C., t. 57, s. 733 (1925).
- 16) F. Rzewuski. O pewnej przyczynie pozornie wadliwego działania pieca wapiennego G. C., t. 57, s. 854 (1925).
- 17) E. Piekarski i W. Janikowski. Oznaczanie wartości technicznej wapna G. C., t. 60, s. 771 (1927).
- 18) K. Smoleński i W. Reicher. Ciekawy przypadek nieuregulowanego biegu pieca wapiennego G. C., t. 61, s. 904 (1927).
- 19) K. Smoleński. Szybka ocena dobroci wapna G. C., t. 61, s. 935 (1927).
- 20) K. Smoleński. Obliczenie współczynnika nadmiaru powietrza etc. według analizy gazu saturacyjnego. G. C., t. 62, s. 101 (1928).