

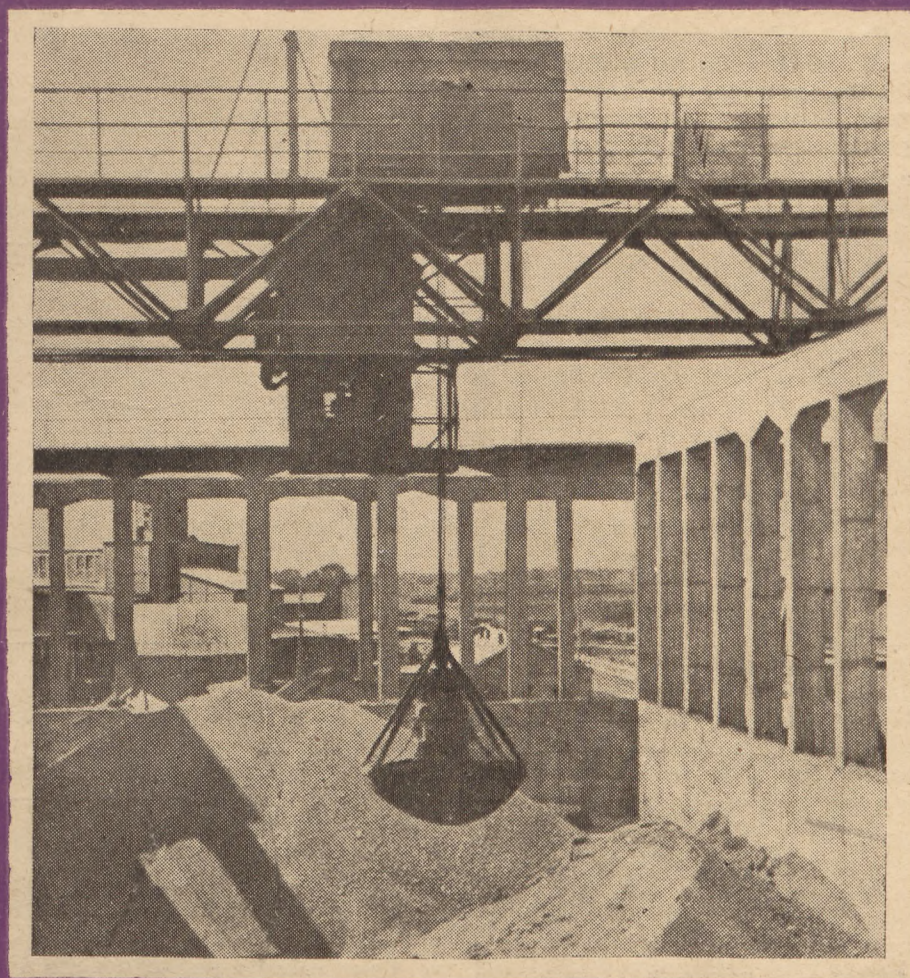
# CEMENT WAPNO GIPS

MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY ZAGADNIENIOM PRZEMYSŁU MATERIAŁÓW WIĄŻĄCYCH

Rok IX/XVIII

WRZESIEŃ 1953 R.

Nr 9



WYDAWCA: PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

## TREŚĆ

	Str.
Kopernik — twórca nowoczesnej astronomii — J. Mietelski . . . . .	137
Technologiczne podstawy wielozłożowej eksploatacji selektywnej surowca cementowego z zastosowaniem rachunku krakowianowego — dr inż. A. Trembecki . . . . .	139
Wydajność ciepła pieca obrotowego — mgr M. Musialik . . . . .	147
Piec obrotowy w przemyśle wapienniczym — mgr inż. Wł. Zieliński . . . . .	152
Przemysł materiałów wiążących w piątym pięcioletnim planie rozwoju ZSRR — mgr J. Bolkowski . . . . .	154
Kilka uwag o chemizmie wiązania i twardnienia gipsu — mgr W. Kozielski . . . . .	157
Biuletyn Instytutu Technologii Krzemianów	

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Коперник — создатель современной астрономии — Я. Метельски . . . . .	137
Технологические основы селективной эксплуатации цементного сырья с применением краковянского исчисления — Др. А. Трэмбеcki . . . . .	139
Термическая производительность вращающейся печи — Мгр. М. Мусялик . . . . .	147
Вращающаяся печь в известковой промышленности — Инж В. Зелиньски . . . . .	152
Промышленность вяжущих веществ в пятом пятилетнем плане развития СССР — Мгр. Г. Больковски . . . . .	154
Химия схватывания и твердения гипса — Инж. В. Козельски . . . . .	157
Бюллетень Института Технологии Силикатов	

## CONTENTS

	Page
Kopernik — Creator of the Modern Astronomy — J. Mietelski . . . . .	137
Technological Principles the Selective Exploitation of Cement Raw Material with the Application of „Cracovian“ Calculation — A. Trembecki dr . . . . .	139
Thermal Efficiency of a Rotary Kiln — M. Musialik M. Sc. . . . .	147
Rotary Kiln in the Lime Industry — W. Zieliński M. Sc. . . . .	152
The Industry of Cement, Lime and Plaster in the Fifth 5-years Plane of the Development of USSR — J. Bolkowski M. Sc. . . . .	154
Some Notes about Chemistry of the Setting and Hardening of Plaster — W. Kozielski M. Sc. . . . .	157
Bulletin of Institute of Silicate Technology	

Fotografia na okładce: Hala klinkru w cementowni „Groszowice“

### KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny: mgr Lucjan Mazurkiewicz — Sekretarz redakcji: Irena Socjuszowa  
Redaktorzy działowi:  
mgr inż. Roman Andrzejewski, mgr inż. Walery Ciesliński, mgr inż. Jerzy Sulikowski

Adres redakcji: Kraków, ul. Lubicz 25a, tel. 236.91-95  
Adres administracji: Stalinogród, ul. Stawowa 19, tel. 324-44/45  
Kolportaż: PPK „RUCH“ Stalinogród, ul. 3 Maja 16, tel. 375-43  
Warunki prenumeraty: Przedpłata kwartalna normalna 13.50, ulgowa 9'—

**Konto PKO Stalinogród III. 17763/110. Cena zeszytu pojedynczego 4\*50**

Format A4 — Obj. ark. druk. 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> — Nakład 1400 egz. — Papier druk. sat. kl. V 61×86, 60 g  
Numer zamówienia 714 z dnia 29. 10. 53. — M-4-36420 — Druk ukończono 31. 12. 1953  
KRAKOWSKIE ZAKŁADY GRAFICZNE Nr 4 — KRAKÓW, J. SAREGO 7 — TELEF. 560-67

# CEMENT WAPNO GLIPS

MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY ZAGADNIENIOM PRZEMYSŁU MATERIAŁÓW WIĄŻĄCYCH

Rok IX/XVIII

WRZESIEŃ 1953 R.

Nr 9

Jan Mietelski  
Kraków

52:92

## Kopernik-twórca nowoczesnej astronomii

Cały świat kulturalny święci w roku bieżącym pamięć jednego z najwybitniejszych ludzi nauki, twórcy nowożytnej astronomii, Mikołaja Kopernika.

Siedemdziesięcioletni, pracowity żywot tego skromnego kanonika kapituły warmijskiej otwierają i zamykają daty: 1473—1543.

Kopernik urodził się i spędził dzieciństwo w Toruniu jako syn bogatego kupca. Po śmierci ojca zajął się nim i jego rodzeństwem wuj, Łukasz Watzenrode, biskup warmijski. Dzięki jego poparciu materialnemu, genialny Mikołaj i jego brat Andrzej mogli ukończyć studia.

Mikołaj studiował rozmaite nauki kolejno w Krakowie, w Bolonii i w Padwie. Studia jego objęły: astronomię, matematykę, prawo, medycynę — zajmował się także żywo filozofią klasyczną, optyką geometryczną i malarstwem. Doktorat prawa kanonicznego uzyskał w Ferrarze w roku 1503, po czym wrócił do Fromborka na Warmię, gdzie spędził resztę swego życia jako kanonik kapituły i ceniony lekarz przyboczny kilku kolejnych biskupów warmijskich.

W tym czasie pełnił też Kopernik funkcje administracyjne i w ramach ich wykonywania wykazał duży talent organizacyjny, przygotowując Olsztyn do obrony przed najazdem Krzyżaków.

Interesowały Kopernika również problemy monetarne i tu okazał się dobrym ekonomistą; zajmawszy stanowisko polskiej racji stanu, napisał trafną rozprawę na temat podniesienia wartości ówczesnego pieniądza. Sprawę tę poruszał kilkakrotnie na sejmikach pruskich. Kopernik jest odkrywcą tak zwanego „prawa złego pieniądza”, które mówi, że pieniądz zły wypiera z obiegu pieniądź dobry.

Obok tak rozlicznych i pochłaniających go zajęć znajdował czas na dokonywanie obserwacji astronomicznych narzędziami wykonanymi własnoręcznie. Astronomii poświęcił całe życie. Na podstawie materiału obserwacyjnego opracował swoje największe dzieło pt. „De revolutionibus orbium coelestium”.

Dzieło to opublikował po długich namowach ze strony przyjaciół. Wyszło ono spod prasy drukarskiej w Norymbardze, w roku jego śmierci.

W dziele tym Kopernik zawarł dorobek swej twórczej myśli matematycznej, ugruntowany na ścisłych podstawach naukowych, prawdziwy pogląd na budowę układu planetarnego. Jest to znany dziś wszystkim system heliocentryczny, który zapanował w nauce niepodzielnie. System ten, który dziś jest tak bardzo oczywisty, nie był wcale taki — nawet dla umysłów uczonych — wtedy, gdy pojawił się na arenie naukowej, obok królującego od kilkunastu stuleci, zdawałoby się niewzruszonego, systemu geocentrycznego Ptolemeusza.

U podstaw konstrukcji Ptolemeusza leżało aprioryczne założenie o centralnym położeniu nieruchomej Ziemi we Wszechświecie. Założenie to, zgodne zresztą z odnoszonymi przez obserwatorów wrażeniami zmysłowymi, było ponadto przez autora systemu naiwnie uzasadnione „fizycznie” oraz znajdowało poparcie w tekstach biblijnych i w wypowiedziach wielu filozofów starożytnych.

Przyjmując to założenie, wypada traktować wszystkie widziane na sklepieniu nieba ruchy ciał niebieskich, jako odbicie wyłącznie ich własnych ruchów rzeczywistych. System aleksandryjskiego astronoma miał na celu wytłumaczenie wszystkich ruchów Słońca, Księżyca, planet i gwiazd wokół rzekomo nieruchomej Ziemi.

Stosunkowo łatwo dały się przedstawić ruchy Słońca, Księżyca i gwiazd, ale zawiłe pętle dróg planet, zakreślane przez nie na tle gwiazd stałych, sprawiły Ptolemeuszowi więcej trudności. Trzeba było przyjąć, że planety krążą po pewnych kołach-epicyklach, których środki, sunąc po kręgach większych kół-deferensów, obiegają Ziemię.

Dodatkowe komplikacje powstawały przy objaśnianiu ruchów tak zwanych planet dolnych. Należało wyjaśnić też obserwowane nierówności ruchów ciał niebieskich, co wprowadziło do systemu Ptolemeusza epi-

cykle wyższych rzędów i nowe, logicznie nieuzasadnione, szczególnie konstrukcyjne, sprzeczne nieraz z zasadami pierwotnymi.

Ta „Machina Mundi“, uzupełniana w ciągu stuleci przez astronomów, była już za czasów Kopernika tak skomplikowanym mechanizmem, że obliczenie według niego ruchów i położeń ciał niebieskich stawało się trudnym problemem nawet dla wybitnych matematyków.

Ponadto trzeźwo myślące umysły raziło wiele logicznych niekonsekwencji układu. Szczególnie nienaturalnym musiał wydać się system geocentryczny Kopernikowi, którego cechowało poszukiwanie piękna w harmonii proporcji i zamiłowanie do prostych konstrukcji — rysy typowo klasycznego umysłu.

Zrażony karykaturalnym zbiorowiskiem kół i kółek, jakim był „retuszowany“ układ Ptolemeusza, Kopernik szukał innego rozwiązania, które mogłoby zadowolić jego intuicyjne wycucie prawdy w logicznej prostocie budowy. Zapoznawszy się z różnymi hipotezami kosmologicznymi starożytnych, znalazł takie rozwiązanie i pozostała część swego życia poświęcił na jego udowodnienie naukowe.

Celem udostępnienia sobie obserwacji poczynionych przez starożytnych, Kopernik musiał je wszystkie sprowadzić do wspólnej ery; to porządkowanie chronologii historycznej zajęło mu kilkanaście lat czasu. Oprócz tego — sam dokonał wielu fundamentalnych obserwacji astronomicznych.

Wynik tych długoletnich prac naukowych, sześcioksiąż „De revolutionibus“, zawiera nie tylko prawdziwy obraz budowy systemu słonecznego i ruchów w nim zachodzących, odkryty przez tego pierwszego w dziejach nauki relatywistę. Spotykamy w nim także zadziwiająco trafne, intuicyjne uwagi Kopernika, dotyczące fizyki ziemskiej atmosfery i grawitacji powszechnej.

Dla wytłumaczenia niektórych odchyłeń pozycji planet i nieregularności ich ruchów Kopernik był zmuszony zastosować w swoim układzie małe epicykle, które jednak nie odgrywały w nim roli istotnej, jak u Ptolemeusza, lecz były przedstawieniem skomplikowanego ruchu za pomocą złożenia kilku jednostajnych ruchów po kołach. Miały więc znaczenie czysto matematyczne — zastępowały poniekąd, używaną dziś w podobnych wypadkach, analizę Fouriera.

„Zagadkowe pętle planet — głosił Kopernik — są wywołane ruchem Ziemi wokół Słońca“. Jedynym ciałem obiegającym rzeczywiście Ziemię okazał się Księżyc.

To rewelacyjne odkrycie Kopernika wcale jednak nie przekonało umysłów współczesnych mu uczonych — przerastało ich możliwości pojmowania, wyprzedzało epokę.

Argumenty polskiego astronoma trafiły do umysłów zaledwie garstki uczonych.

Tymczasem chrześcijańskie autorytety ówczesnej Europy zaczęły zwalczać nowy, rewolucyjny światopogląd naukowy pod zarzutem niezgodności z Pismem Świętym.

Do akcji rozpoczętej przez przywódców Reformacji Lutra i Melanctona — dołączył się Watykan i nieśmiertelne dzieło matematyczne Kopernika znalazło się w roku 1616 na indeksie ksiąg zakazanych, by pozostać tam do roku 1758. Zwolennicy teorii Kopernika i kontynuatorzy jego dzieła byli krwawo przesładowani przez trybunały Inkwizycji.

Giordano Bruno spłonął żywcem na stosie w roku 1600, po siedmioletnim pobycie w więzieniu.

Wynalazca lunety, Galileusz, którego obserwacje wykazały słusność doktryny Kopernika, jako starzec musiał wyrzec się swych poglądów pod groźbą tortur i śmierci.

Równocześnie z trwającą walką, mnożyły się dowody słusności systemu heliocentrycznego. Dowody zarówno obserwacyjne, jak i teoretyczne.

Rewolucyjna myśl kopernikowska otworzyła nową epokę w dziejach nauki. Stała się sygnałem przewrotu w jej dotychczasowych metodach badawczych i podstawą wiekopomnych prac geniuszów ludzkości. Dzieła Keplera i Newtona zbudowane zostały na Kopernikowych zasadach układu heliocentrycznego. Bez nich nie mogłyby powstać, są ich naturalną kontynuacją, dalszym krokiem nauki w dążeniu do poznania Wszechświata.

Powstający na takim fundamencie gmach nowoczesnej wiedzy przyrodniczej okazał się mocną i logiczną budową, wykazującą w każdym calu słusność swych głównych twierdzeń.

Ostateczny, bezapelacyjny dowód słusności teorii Kopernika stanowi stwierdzenie aberacji światła<sup>1)</sup>, wywołanej ruchem Ziemi oraz odkrycie paralaksy<sup>2)</sup> gwiazd stałych, dokonane na podstawie długotrwałych obserwacji w pierwszej połowie XIX wieku. Dotychczasowy, rzekomy jej brak był jednym z astronomicznych argumentów wysuwanych przeciw teorii Kopernika.

Po liczbowym ujęciu tego ostatniego odkrycia Wszechświat okazał się nadspodziewanie wielki, tak wielki, jak to utrzymywał Kopernik przed trzystu laty, wbrew przekonaniu jego współczesnych.

Mimo naukowych dowodów słusności nowego systemu ciemnota i zacofanie nie ustępowały łatwo. Jeszcze w XIX wieku na niektórych uniwersytetach europejskich i amerykańskich wykładano równolegle i na jednakowych prawach oba systemy budowy świata — Ptolemeusza i Kopernika.

W końcu jednak nadeszła chwila przewidziana przez Kopernika w przedmowie do „Obrotów“ — chwila, która nadejść musiała — triumf prawdy; „gruba mgła niedorzeczności mocą najoczywistszych dowodów“ została usunięta.

Wszecstronna umysłowość Kopernika, oglądana dziś z perspektywy kilku stuleci na tle epoki, która ją zrodziła, jest typowa dla tych wspaniałych postaci Odrodzenia, o których krótko wyraża się Fryderyk Engels zwrotem — „ludzie - olbrzymy“.

1) Aberacja światła — pozorne odchylenie kierunku biegu promienia światła gwiazdy, spowodowane ruchem Ziemi i skończoną prędkością światła.

Dla wyjaśnienia niech posłuży przykład łatwy do wyobrażenia: obserwator, znajdujący się w jadącym wagonie (Ziemia) i badający wewnątrz wagonu bieg pocisków (światła) wystrzelonych prostopadle do toru z karabinu maszynowego znajdującego się przy nasypie w nieruchomej pozycji, zauważy pozorne zboczenie pocisków względem ścian wagonu, czego nie zaobserwowałby w wypadku, gdyby wagon był nieruchomy.

2) Paralaksa — pozorne przesunięcie przedmiotu, wywołane przemieszczeniem obserwatora.

Np.: chodząc wokół stołu (Ziemia wokół Słońca) i patrząc na lampę widzimy jej „podróż“ na tle sufitu jako przedmiotu dalszego. Z wielkości przesunięcia gwiazdy na tle dalszych obiektów można obliczyć jej odległość od Ziemi.

Dr inż. Adam Trembecki  
Kraków

666.94.002.3:519

## Technologiczne podstawy wielozłożowej eksploatacji selektywnej surowca cementowego z zastosowaniem rachunku krakowianowego

Prawidłowa ocena złóż surowcowych jest węzłowym zagadnieniem w eksploatacyjnej i inwestycyjnej działalności naszych przemysłów.

Dokładne określenie zasobów surowca i szczegółowa charakterystyka jego jakości stanowi nieodzowną podstawę, na której dopiero wolno opierać decyzje dotyczące działalności naszych przemysłów.

Sporządzanie dokumentacji geologicznej wymaga odpowiedniej organizacji i wykwalifikowanych kadr i jest czynnością bardzo pracochłonną.

Artykuł poniższy podaje nową metodę oceny złóż opartą o oryginalne osiągnięcia polskiej matematyki i powinien się przyczynić do usprawnienia i ułatwienia pracy geologów, sporządzających dokumentację naszych złóż surowcowych.

Redakcja

**Treść:** Trudności rachunkowe przy obliczeniach namiaru wieloskładnikowego surowca cementowego. Znaczenie obliczenia namiaru. Warunki technologiczne stawiane zestawowi surowców. Sposób obliczenia przy pomocy rachunku krakowianowego zestawu surowca dla z góry założonego składu klinkru. Analiza ekonomiczna kosztu cementu, wyprodukowanego z wieloskładnikowego zestawu surowca, w zależności od rodzaju zużytego węgla. Przykłady obliczeniowe.

Ustawiczny postęp techniki stwarza coraz większą, pilniejszą konieczność uwzględniania szeregu czynników ubocznych, wpływających na wynik procesu technologicznego. Uwzględnianie ich wpływu w obliczeniach powiększa liczbę warunków początkowych, a zatem komplikuje tok obliczeń. Tak np. wykonywanie obliczeń technologicznych zestawu surowców do produkcji cementu ulega bardzo poważnym komplikacjom już przy czterech składnikach. Te trudności w przeprowadzaniu obliczeń hamują postęp technologii mieszanin wieloskładnikowych. Dla pewnych zagadnień, bezpośrednio związanych z technologią cementu, zachodzi konieczność rozwiązywania układów pięcio, a nawet — siedmioskładnikowych.

Układy siedmioskładnikowe występują przy tych procesach technologicznych, przy których otrzymywanie cementu jest wynikiem wykorzystania produktu ubocznego procesu głównego (np. produkcja aluminium itp.). Rozwiązanie tych wieloskładnikowych układów surowców jest ściśle związane z wykorzystywaniem odpadów powstających przy produkcji, co z kolei decyduje o ekonomiczności procesu przemysłowego. Tak więc rozwiązywanie układów wieloskładnikowych może mieć kluczowe znaczenie w technologii poszczególnych procesów przemysłowych.

Trudności rachunkowe, występujące przy obliczeniach technologicznych mieszanin czteroskładnikowych surowca cementowego, potęgują się przy mieszaninach pięcioskładnikowych, zaś przy mieszaninach siedmioskładnikowych są niesłychanie duże. Systematyczne obliczenie mieszanin wieloskładnikowych jest tak żmudne, że najczęściej technolodzy problemy te rozwiązują posługując się intuicyjnym wyczuciem ilościowych stosunków pomiędzy poszczególnymi składnikami. Przy pewnej dozie szczęścia oraz przy dużej wprawie można — po przeprowadzeniu szeregu prób — utrafić właściwy stosunek składników. Sprawdzanie przyjętych stosunków jest względnie proste i z tego też powodu sposób ten jest stosowany przez technolodzy.

Podstawowe znaczenie, jakim dla technologii jest ustalanie namiaru surowców, stwarza dążenie do opracowania ścisłych metod, niezależniących przemysł od subiektywnego wyczucia poszczególnych technolodzy.

Proponowana metoda krakowianowa, przez uproszczenie i usystematyzowanie obliczeń, daje możliwość opanowania trudności rachunkowych nie tylko technolodzy.

Skomplikowane obliczenia, teraz, dzięki uproszczonej metodzie krakowianowej, mogą być wykonywane przez siły pomocnicze. Odciążą to znacznie technolodzy, pozwalając im na większe skupienie uwagi na samym procesie produkcyjnym.

Krakowianem nazywamy zbiór liczb uporządkowanych w formie tabeli. Liczby w krakowianie są nazywane elementami i są uporządkowane w kolumnach i wierszach.

$$(A) = \begin{pmatrix} a_{11}, & a_{21}, & a_{31}, & a_{41} \\ a_{12}, & a_{22}, & a_{32}, & a_{42} \\ a_{13}, & a_{23}, & a_{33}, & a_{43} \\ a_{14}, & a_{24}, & a_{34}, & a_{44} \end{pmatrix}$$

Przykład:

$$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 5 \end{pmatrix} \{5, -4\} \begin{pmatrix} 0, 0 \\ 0, 0 \\ 0, 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5, 6 \\ 8, 30 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3, 4, 2, 8 \\ 0, 1, 7, 2 \\ 0, 0, 3, 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1, 0, 0 \\ 0, 1, 0 \\ 0, 0, 1 \end{pmatrix}$$

Na krakowianach, podobnie jak na liczbach, można wykonywać działania. Umiejętność wykonywania tych działań jest przedmiotem rachunku krakowianowego. Twórcą rachunku krakowianowego jest polski matematyk i astronom prof. Tadeusz Banachiewicz. Metoda rachunku krakowianowego jest w dalszym ciągu udoskonalana przez prof. Banachiewicza oraz przez jego uczniów, między innymi przez prof. Tadeusza Kochmańskiego, z którego pracy pt. „Zarys rachunku krakowianowego“ można uzyskać elementarne wiadomości o rachunku krakowianowym.

Rachunek krakowianowy jest dostosowany do liczenia maszynowego (arytmometrami). W wyniku dostosowania rachunku krakowianowego do techniki liczenia na maszynie zdefiniowano działania wykonywane na krakowianach, które na ogół wykazują odmienne własności niż działania wykonywane na liczbach; stąd też posługujący się krakowianami — szczególnie początkujący — mogą mieć pewne trudności w ich zastosowaniu.

Praktyczne stosowanie rachunku krakowianowego bez opanowania techniki liczenia na maszynie mijają się z celem.

Warunki technologiczne, stawiane surowcom skalnym przez przemysły wykorzystujące ich skład chemiczny, mogą być maksymalne i optymalne.

Warunki maksymalne są wtedy, gdy jeden z minerałów skałotwórczych jest poszukiwany, zaś pozostałe są traktowane jako domieszki.

O warunkach optymalnych mówimy, gdy proces technologiczny zachodzi najsprawniej przy ściśle określonym składzie chemicznym i gdy zarówno wzrost jak i obniżenie zawartości składników mieszaniny komplikują proces technologiczny, zmieniając jakość produkcji i podwyższając koszty.

W niniejszej pracy zajmę się zagadnieniem warunków optymalnych. Poruszane zagadnienie jest problemem ogólnym, mogącym mieć zastosowanie w wielu przemysłach. Zagadnienie to występuje obecnie szczególnie wyraźnie w przemyśle cementowym, gdzie jest ono związane bezpośrednio z celowością jego produkcji.

Nie wdając się w przewidywania, który z przemysłów zagadnienia te w przyszłości rozbuduje dla własnych celów, wywody swoje oparłem na technologii cementu.

Czytelnik jednak powinien zdać sobie sprawę, że zmiana warunków technicznych (przy zachowaniu ich optymalnego charakteru) nie zmieni metody, zmieniając jedynie te części wyprowadzonych wzorów, które są odzwierciedleniem warunków technologicznych produkcji cementu.

Dla dobitniejszego podkreślenia tego stanu rzeczy nadmienię, że przy produkcji materiałów ogniotrwałych spotykamy się z zakładaniem z góry składu chemicznego niamiaru surowcowego, przy czym warunki technologiczne są oczywiście odmienne niż w cementownictwie. W tym przypadku mamy również do czynienia z warunkami optymalnymi, gdyż zbyt duża ilość topnika obniża ogniotrwałość, zbyt mała — obniża spiekalność.

Obliczenie niamiaru surowców jest ważne nie tylko dla technologów, lecz również dla górników prowadzących eksploatację selektywną pod kątem wymagań technologicznych.

Obliczenie niamiaru surowców jest podstawą określenia zdolności produkcyjnej poszczególnych kamieniołomów włączonych w cykl produkcji, podstawą planu produkcji, planu eksploatacji, oraz podstawą sporządzania bilansów surowcowych. Znaczny procentowy udział eksploatacji surowca cementowego w ogólnym wydobyciu kamienia nadaje zagadnieniu eksploatacji selektywnej wagę ogólnopaństwową. W pracy tej poruszam zaledwie fragment problemów związanych z tą eksploatacją.

Przy warunkach technologicznych optymalnych, żądania stawiane niamiarowi surowców sprowadzają się z punktu widzenia chemii do:

- a) określenia składu chemicznego mieszaniny surowej,
- b) liczbowego określenia stosunków, zachodzących pomiędzy poszczególnymi tlenkami i ich grupami; liczby te w technologii nazywamy modułami.

Ponieważ liczby te nie określają jednoznacznie składu chemicznego mieszaniny surowców, przeto dla jego sprecyzowania konieczne jest uczynienie dodatkowego założenia, mianowicie, że suma składników mieszaniny daje 100%.

W technologii cementu warunek stałości składu

chemicznego spełniony jest przez określenie składu petrograficznego klinkru jak  $C_3S$ ;  $C_2S$ ;  $C_3$ ;  $C_4AF$ ; co jest jednoznaczne z wyznaczeniem zawartości C, S, A, F, w klinkrze. (Objaśnienie znaków patrz strona 141). Warunek ten sprowadza się do ustalenia czterech żądań stawianych klinkrowi cementowemu. Zadośćuczynienie warunkowi modułów sprowadza się w cementownictwie do ustalenia modułu nasycenia  $HK$ , modułu silikatowego  $p$  i modułu glinowego  $n$ . Dodając do tych warunków technologicznych warunek obliczeniowy (suma składników 100%) otrzymamy również cztery warunki, które muszą być spełnione przez namiar surowców. Niezależnie zatem od tego, który z warunków cementu przyjmiemy (skład chemiczny klinkru czy moduły) zaspakajamy cztery żądania dotyczące niamiaru surowca.

Projektowanie odpowiedniego zestawu surowców polega na takim dobraniu naturalnych składników, by przy uwzględnieniu zawartości popiołu biorącego udział w reakcji — zostały spełnione powyższe warunki procesowi technologicznemu.

W zależności od charakteru złóż, otrzymanie odpowiedniej mieszaniny może nastąpić przez eksploatację jednej, dwóch, trzech lub czterech baz surowcowych. Wprawdzie z zasady dąży się do jak najmniejszej liczby baz, jednak nie zawsze udaje się to osiągnąć, tak, że w praktyce dość często zachodzi konieczność uruchomienia czterech baz surowcowych.

Obliczenie zestawu surowca dla jednej lub dwóch baz surowcowych jest pojęciowo i rachunkowo proste i nie stwarza technologom trudności. Pojawiają się one dopiero przy mieszaninach trójskładnikowych, zaś przy mieszaninach czteroskładnikowych są bardzo duże i wymagają szeregu bardzo żmudnych obliczeń.

Trudności rachunkowe starano się ominąć różnymi sposobami. Jednym z nich jest nieuwzględnianie przy obliczeniach wpływu węgla. Innym sposobem jest dwukrotne przeprowadzenie obliczeń: przy pierwszym obliczeniu nie uwzględniamy węgla, lecz ustalamy stosunki składników, przy drugim obliczeniu łączymy dwa składniki w jeden (według uprzednio obliczonego stosunku) i dla tak zredukowanych składników wykonujemy powtórne obliczenie.

Pierwsza metoda odznacza się obniżeniem dokładności, druga — nadmierną pracochłonnością.

Uczynienie zadość czterem warunkom z punktu widzenia algebry sprowadza się do układu czterech równań liniowych; wyrazy wolne tych równań obliczamy ze składu chemicznego i absorpcji popiołu.

Rozwiązywanie układu czterech równań liniowych jest czynnością żmudną tym bardziej, że metoda wyznacznikowa nie daje dostatecznego uproszczenia rachunku. Zagadnienie sprawnego rozwiązywania układu wielu równań liniowych zostało rozwiązane przez prof. Banachiewicza rachunkiem krakowianowym. Wprawdzie arkany rachunku krakowianowego są skomplikowane, to jednak dla korzystania z niego w pewnych określonych przypadkach wystarczy znać kilka prostych prawideł<sup>1)</sup>.

Punktem wyjściowym dla rozważań technologicznych niniejszego artykułu jest książka Okorokowa: „Obliczenie niamiaru surowcowego portland-cementu<sup>2)</sup>).

1) T. Kochmański — „Zarys rachunku krakowianowego“ Warszawa 1948.

2) S. D. Okorokow — „Rasciot portlandcimentnoj syrewoj szychty“ — Moskwa — 1947.

do którego to dzieła odsyłam czytelnika nie obznajomionego z technologią cementu. Przykłady liczbowe zostały zaczerpnięte z danych uzyskanych w polskich cementowniach i opracowanych w Biurze Projektów Przemysłu Materiałów Budowlanych w Krakowie.

W niniejszych wyprowadzeniach uwzględniono następujące oznaczenia:

**OZNACZENIA UŻYTE W OBLICZENIACH**  
Oznaczenia chemiczne

Skrót	C	S	A	F
Skład chemiczny	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ciężar molowy	56,08	60,06	101,84	159,68

Skrót	C <sub>1</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Skład chemiczny	3CaO · SiO <sub>2</sub>	2CaO · SiO <sub>2</sub>	3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ciężar molowy	228,30	172,22	270,08	485,84

Poszczególne tlenki oznaczone w skrócie C, S, A, F występują w każdym ze składników surowca cementowego. W zależności od tego, do którego składnika się odnoszą, otrzymują odpowiedni indeks (0÷5). Np. dla C otrzymujemy:

**Wskaźniki**

- C<sub>0</sub> — zawartość CaO w klinkrze
- C<sub>1</sub> — zawartość CaO w I składniku
- C<sub>2</sub> — zawartość CaO w II składniku
- C<sub>3</sub> — zawartość CaO w III składniku
- C<sub>4</sub> — zawartość CaO w IV składniku
- C<sub>5</sub> — zawartość CaO w V składniku (w popiele)

Analogicznie dla S, A, F

**Oznaczenia popiołu i węgla**

$$q = \frac{P \cdot A \cdot W}{100 \cdot 100}$$

gdzie:

- A — absorpcja popiołu w ‰
- P — jednostkowe zużycie paliwa w ‰
- W — średnia zawartość popiołu w węglu w ‰
- P =  $\frac{\text{zapotrzebowanie ciepła kkal/kg klinkru}}{\text{kaloryczność węgla kkal/kg węgla}}$

**Moduły**

Moduł kłada	$\frac{C - (1,65 A + 0,35 F)}{2,8 S}$	KH
„ silikatowy	$\frac{S}{A + F}$	n
„ glinowy	$\frac{A}{F}$	p

**Niewiadome**

- x — ilość pierwszego składnika w ‰ (wagowo)
- y — ilość drugiego składnika w ‰ (wagowo)
- z — ilość trzeciego składnika w ‰ (wagowo)
- t — ilość czwartego składnika w ‰ (wagowo)
- q — ilość zaabsorbowanego do klinkru popiołu w procentach

Podstawą wszelkich obliczeń jest znajomość składu chemicznego poszczególnych składników. Znajomość tę uzyskujemy w wyniku jakościowej charakterystyki złoża. Analizy poszczególnych składników zestawiamy w tabelarycznej (krakowianowej) formie.

Tak więc otrzymamy krakowian surowca suchego:

$$\{a\} = \begin{pmatrix} S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, S'_5 \\ A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5 \\ F'_1, F'_2, F'_3, F'_4, F'_5 \\ C'_1, C'_2, C'_3, C'_4, C'_5 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} \quad [1]$$

gdzie poszczególne kolumny oznaczają składniki, zaś wiersze — poszczególne tlenki z analiz. Pierwszy z zakropkowanych wierszy oznacza pozycję analizy „inne“, drugi — „stratę żarzenia“. Analizy w poszczególnych kolumnach zamykają się na 100%. Z powyższego krakowianu, eliminując straty żarzenia, otrzymujemy krakowian surowca wyprażonego:

$$\{a'\} = \begin{pmatrix} S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 \\ A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 \\ F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 \\ C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 \end{pmatrix} \quad [2]$$

Z powyższego krakowianu przez proste przekształcenia otrzymamy krakowian współczynników (patrz niżej).

Wyprowadzenie równań dla określenia namiaru surowca dla założonego z góry składu klinkru Dane: — skład petrograficzny klinkru



skąd obliczymy zawartość C, S, A, F w klinkrze opierając się na ciężarach molowych. Ponadto znany jest skład chemiczny poszczególnych składników mieszanki. Dane te można ująć analitycznie:

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{x C_1 + y C_2 + z C_3 + t C_4 + q C_5}{x + y + z + t + q} \\ S_0 &= \frac{x S_1 + y S_2 + z S_3 + t S_4 + q S_5}{x + y + z + t + q} \\ A_0 &= \frac{x A_1 + y A_2 + z A_3 + t A_4 + q A_5}{x + y + z + t + q} \\ F_0 &= \frac{x F_1 + y F_2 + z F_3 + t F_4 + q F_5}{x + y + z + t + q} \end{aligned} \quad [3]$$

Po uporządkowaniu tych równań według x, y, z, t, q otrzymamy

$$\begin{cases} x(C_0 - C_1) + y(C_0 - C_2) + z(C_0 - C_3) + t(C_0 - C_4) = q(C_5 - C_0) \\ x(S_0 - S_1) + y(S_0 - S_2) + z(S_0 - S_3) + t(S_0 - S_4) = q(S_5 - S_0) \\ x(A_0 - A_1) + y(A_0 - A_2) + z(A_0 - A_3) + t(A_0 - A_4) = q(A_5 - A_0) \\ x(F_0 - F_1) + y(F_0 - F_2) + z(F_0 - F_3) + t(F_0 - F_4) = q(F_5 - F_0) \end{cases} \quad [4]$$

Wprowadzając oznaczenie na współczynniki otrzymamy ostatecznie układ równań

$$\begin{cases} x a_1 + y b_1 + z c_1 + t d_1 = e_1 \\ x a_2 + y b_2 + z c_2 + t d_2 = e_2 \\ x a_3 + y b_3 + z c_3 + t d_3 = e_3 \\ x a_4 + y b_4 + z c_4 + t d_4 = e_4 \end{cases} \quad [5]$$

Współczynniki a, b, c, d, e, są znane, zatem rozwiązując układ równań (5) otrzymujemy procentowe zawartość x, y, z, t.

Wzór na współczynniki można wyrazić w formie krakowianowej: <sup>1)</sup>

$$\{w\} = \begin{pmatrix} a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 \\ a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 \\ a_3, b_3, c_3, d_3, e_3 \\ a_4, b_4, c_4, d_4, e_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (C_0 - C_1), (C_0 - C_2), (C_0 - C_3), (C_0 - C_4), q(C_5 - C_0) \\ (S_0 - S_1), (S_0 - S_2), (S_0 - S_3), (S_0 - S_4), q(S_5 - S_0) \\ (A_0 - A_1), (A_0 - A_2), (A_0 - A_3), (A_0 - A_4), q(A_5 - A_0) \\ (F_0 - F_1), (F_0 - F_2), (F_0 - F_3), (F_0 - F_4), q(F_5 - F_0) \end{pmatrix} \quad [6]$$

<sup>1)</sup> Krakowian {w} można otrzymać drogą odejmowania krakowianów.

Wyrowadzenie równań do określenia namiaru surowca dla klinkru o założonych modułach:

$KH$  — nasycenia

$n$  — silikowaty

$p$  — glinowy

przy znanym składzie chemicznym poszczególnych składników mieszaniny.

Ponieważ stosunki względne nie oznaczają, w sposób jednoznaczny wielkości, czynimy jeszcze jedno założenie:

$$x + y + z + t + q = 100\% \quad [7]$$

Rozumowanie zaczynamy od układu równań (3).

W układzie tym wielkości  $C_0$ ,  $S_0$ ,  $A_0$ ,  $F_0$ , są nieznane, przeto rugujemy, wstawiając je do założonych (stałych) wartości modułów:

$$KH = \frac{C_0 - (1,65 A_0 + 0,35 F_0)}{2,8 S_0} \quad [8]$$

$$n = \frac{S_0}{A_0 + F_0} \quad [9]$$

$$p = \frac{A_0}{F_0} \quad [10]$$

Po wykonaniu tych podstawień i uporządkowaniu równań według niewiadomych, otrzymamy układ równań liniowych (5). Poszczególne współczynniki równań (5) przybierają postać:

Z warunku I (określenie absorpcji popiołu w sumie sprowadzonej do 100%)

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 \\ b_1 &= 1 \\ c_1 &= 1 \\ d_1 &= 1 \\ e_1 &= 100 - q \end{aligned} \quad [11]$$

Z warunku II (ustalenie modułu  $KH$ )

$$\begin{aligned} a_2 &= (2,8 \cdot KH \cdot S_1 + 1,65 \cdot A_1 + 0,35 \cdot F_1) - C_1 \\ b_2 &= (2,8 \cdot KH \cdot S_2 + 1,65 \cdot A_2 + 0,35 \cdot F_2) - C_2 \\ c_2 &= (2,8 \cdot KH \cdot S_3 + 1,65 \cdot A_3 + 0,35 \cdot F_3) - C_3 \\ d_2 &= (2,8 \cdot KH \cdot S_4 + 1,65 \cdot A_4 + 0,35 \cdot F_4) - C_4 \\ e_2 &= q [C_5 - (2,8 \cdot KH \cdot S_5 + 1,65 A_5 + 0,35 F_5)] \end{aligned} \quad [12]$$

Z warunku III (ustalenie modułu  $n$ )

$$\begin{aligned} a_3 &= n (A_1 + F_1) - S_1 \\ b_3 &= n (A_2 + F_2) - S_2 \\ c_3 &= n (A_3 + F_3) - S_3 \\ d_3 &= n (A_4 + F_4) - S_4 \\ e_3 &= q [S_5 - n (A_5 + F_5)] \end{aligned} \quad [13]$$

Z warunku IV (ustalenie modułu  $p$ )

$$\begin{aligned} a_4 &= p \cdot F_1 - A_1 \\ b_4 &= p \cdot F_2 - A_2 \\ c_4 &= p \cdot F_3 - A_3 \\ d_4 &= p \cdot F_4 - A_4 \\ e_4 &= q (A_5 - p F_5) \end{aligned} \quad [14]$$

Wypisywanie powyższych wzorów na współczynniki jest żmudne i łatwo przez przeoczenie przy obliczeniach popełnić błąd, który spowoduje konieczność liczenia od nowa. Tę niedogodność usuwa rachunek krakowianowy.

Oznaczmy przez  $\{A\}$  krakowian podstawowy utworzony z krakowianu  $\{a\}$  w następujący sposób:

$$\{A\} = \begin{pmatrix} 1, & 1, & 1, & 1, & 100 - q \\ S_1, & S_2, & S_3, & S_4 - S_5 \cdot q \\ A_1, & A_2, & A_3, & A_4 - A_5 \cdot q \\ F_1, & F_2, & F_3, & F_4 - F_5 \cdot q \\ C_1, & C_2, & C_3, & C_4 - C_5 \cdot q \end{pmatrix} \begin{matrix} \approx \\ \approx S \\ \approx A \\ \approx F \\ \approx C \end{matrix} \quad [15]$$

Krakowian współczynników  $\{W\}$ , charakteryzujący się tym, że zawiera tak uszeregowane stałe, jak występują one w układzie równań, otrzymamy przez mnożenie krakowianowe:

$$\{W\} = \{A\} \cdot \{B\} \quad [16]$$

gdzie  $\{B\}$  jest krakowianem modułów, gdyż skupia w sobie wszystkie założenia odnośnie jakości klinkru. Z równości (11), (12), (13), (14) wynika, że:

$$\{B\} = \begin{pmatrix} 1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & +2,8 \cdot KH, & -1, & 0 \\ 0, & +1,65, & 4, & -1 \\ 0, & +0,35, & 4, & +p \\ 0, & -1, & 0, & 0 \end{pmatrix} \quad [17]$$

Wzór (16) jest najbardziej zwięzłą formą określenia współczynników szukanego układu równań.

Reasumując dotychczasowe wywody należy stwierdzić: Obliczenie wieloskładnikowego namiaru surowca cementowego może być uczynione przy jednym z założeń: — założenie składu chemicznego, — założenie modułów klinkru.

Różnica pomiędzy dwoma tymi metodami polega na odmiennym wyznaczeniu krakowianu współczynników  $\{W\}$ .

Współczynniki przy założonym składzie chemicznym wyznacza wzór (6). Współczynniki przy założonych modułach wyznacza wzór (15), (16), (17).

Następnym etapem obliczania zestawu surowcowego jest takie przekształcenie krakowianu współczynników  $\{W\}$ , by dostać rozwiązanie układu równań.

Przy metodzie dzielenia krakowianowego przekształcenie to polega na:

- 1) Rozkładzie krakowianu współczynników i wyrazów wolnych na jego czynniki kanoniczne.
- 2) Podzieleniu ostatniej kolumny pierwszego czynnika przez krakowian złożony z poprzednich kolumn tego czynnika<sup>1)</sup>.

Zastosowanie rachunku krakowianowego do obliczenia zestawu surowca nie tylko upraszcza obliczenie zestawu, lecz również otwiera nowe perspektywy dla obliczeń technologicznych.

Stosując zasadę nieoznaczonego rozwiązania układu równań, możemy z kanonicznego rozkładu krakowianu współczynników na czynniki obliczyć krakowian, przy pomocy którego możemy w bardzo łatwy sposób obliczyć zestaw surowca dla niezmiennych warunków złożowych i technologicznych przy zastosowaniu różnych węgla. Umożliwia to bardzo dobitne skrócenie analizy ekonomicznego stosowania węgla do wypału cementu. Jak wykazały moje szczegółowe prace, można w naszych warunkach uzyskać olbrzymie oszczędności wyrażające się w milionach złotych rocznie, dla cementowni średniej wielkości, przez stosowanie odpowiednich węgla.

Jest rzeczą oczywistą, że przy zachowaniu stałych warunków technologicznych klinkru cementowego, zmiana rodzaju węgla spowoduje zazwyczaj zmianę wielkości eksploatacji poszczególnych baz surowcowych, przy czym wahania te mogą być tak duże, że w praktyce nie można przejść nad nimi do porządku dziennego.

Przeprowadzenie analizy ekonomicznej kosztu cementu sporządzanego z zestawu wielosurowcowego w zależności od rodzaju węgla, bez rachunku krako-

<sup>1)</sup> Dokładniej o tej metodzie: T. Kochmański „Zarys rachunku krakowianowego“ str. 13 § 11.



wianowego nie jest w praktyce do przeprowadzenia, ze względu na żmudność rachunków.

Dla powyższego celu najodpowiedniejsza jest metoda nieoznaczonego rozwiązania układu równań. Metoda ta polega na mnożeniu krakowianu wyrazów wolnych {L} przez krakowianowy mnożnik <sup>1)</sup> {M}

$$\{L\} \cdot \{M\} = \{X\} \quad [18]$$

Krakowian {L} otrzymujemy w przypadku założonego składu chemicznego klinkru

$$\begin{Bmatrix} C_0 \\ S_0 \\ A_0 \\ F_0 \end{Bmatrix} \quad [19]$$

i znanego węgla stosowanego do wypału

$$\begin{Bmatrix} C' & C'' & C''' \\ S' & S'' & S''' \\ A' & A'' & A''' \\ F' & F'' & F''' \end{Bmatrix} \quad [20]$$

z równości:

$$\{L\} = \begin{Bmatrix} (C' - C_0) q', (C'' - C_0) q'', (C''' - C_0) q''' \\ (S' - S_0) q', (S'' - S_0) q'', (S''' - S_0) q''' \\ (A' - A_0) q', (A'' - A_0) q'', (A''' - A_0) q''' \\ (F' - F_0) q', (F'' - F_0) q'', (F''' - F_0) q''' \end{Bmatrix} \quad [21]$$

Krakowian {L} w przypadku założenia modułów:

$$\{L\} = \{P\} \cdot \{B\} \quad [22]$$

gdzie:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} 100 - q', 100 - q'', 100 - q''' \\ -q' S', -q'' S'', -q''' S''' \\ -q' A', -q'' A'', -q''' A''' \\ -q' F', -q'' F'', -q''' F''' \\ -q' C', -q'' C'', -q''' C''' \end{Bmatrix} \quad [23]$$

zaś krakowian {B} patrz (17)

Ostatecznie zatem otrzymamy

$$\{L\} \{M\} = \{X\} \quad [18]$$

$$\{L\} = \{P\} \{B\} \quad [22]$$

$$\{P\} \cdot \{B\} \cdot \{M\} = \{X\} \quad [24]$$

Powyższy wzór jest wygodny przy obliczeniu mniej niż czterech różnych węgli. Dla większej liczby węgli korzystniej jest wzór ten przekształcić. Po zastosowaniu prawa łączności otrzymamy:

$$\{P\} \cdot \{M\} \cdot \{B\} = \{X\} \quad [25]$$

Oznaczmy wartość w nawiasie krakowianem {C}

$$\{C\} = \{M\} \cdot \{B\} \quad [26]$$

Krakowian {C} skupia w sobie warunki złożowe i technologiczne i nie zależy od składu popiołu. Po tym oznaczeniu równość (25) przyjmie postać

$$\{P\} \cdot \{C\} = \{X\} \quad [27]$$

Krakowian {P} zależy od składu chemicznego popiołu, zapotrzebowania ciepła do wypalania klinkru, kaloryczności węgla, zawartości popiołu i charakteryzuje proces spalania.

Krakowian {X} jest krakowianem wynikowym, w którym kolumny wyrażają odmienne węgle przyjęte do obliczeń, zaś poszczególne składniki w zestawie surowcowym wyrażone są wierszami tego krakowianu.

Załączone przykłady są ilustracją numerycznego wykonywania obliczeń.

Powyższe rozważania są przeprowadzone dla najbardziej licznego zestawu surowca mającego zastosowanie w praktyce; gdyby jednak zaszła konieczność uwzględnienia nowego warunku technologicznego, wówczas można to uczynić, powiększając odpowiednio krakowian współczynników i dodając jeszcze składnik mieszaniny.

Również dla mniejszej ilości współczynników, co odpowiada mniejszej liczbie warunków, możemy przez odpowiedni dobór stałych zmniejszyć rząd krakowianu współczynników.

Metoda niniejsza jest najogólniejsza ze wszystkich znanych metod, gdyż zawiera w sobie wszystkie metody dotychczasowe.

Korzyści rachunku krakowianowego dobitnie uwiadczniają się w zacytowanych przykładach.

### PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

Dla łatwiejszego zrozumienia korzyści wynikających z zastosowania rachunku krakowianowego do obliczeń technologicznych cementu — przytaczam następujące przykłady.

#### PRZYKŁAD I

**Rozwiązanie układu równań liniowych dla trójskładnikowego zestawu surowca z uwzględnieniem popiołu.**

Dla większej przejrzystości podano w tym przykładzie tylko sam tok rozwiązywania układu równań liniowych metodą krakowianową, bez obliczenia współczynników oraz bez wyciągnięcia wniosków z zestawu surowca.

Przykład ten ułatwia opanowanie metody krakowianowego rozwiązywania układu równań liniowych. Rozwiązywanie tego układu równań liniowych jest podstawą rozważań technologicznych namiaru surowca cementowego. Dla zrozumienia tego przykładu konieczna jest znajomość rachunku krakowianowego. Nie znających tego rachunku odsyłam do książki: T. Kochmański „Zarys rachunku krakowianowego”, wydanej przez Główny Urząd Pomiaru Kraju — Warszawa, 1948, a w szczególności do str. 32 § 11.

Tablica 1  
Krakowian współczynników układu równań

+ 1	+ 1	+ 1	+ 96,50	+ 99,50
-16,95	+79,87	+105,61	-584,57	-416,04
+ 1,18	- 8,22	+ 94,96	+ 12,50	+100,42
+14,77	+72,65	+201,57	-475,57	-216,12

Tablica 2 i 3  
Rozwiązanie układu równań liniowych

+1	+1	+3,2686	107,3629
+1	+1	+1	+ 96,50
0	+1	+1,2658	+ 10,8562
0	0	+1	0,0067
85,6456	10,8477	0,0067	+ 3,5
			100,00%

1	-16,95	+ 1,18	- 14,77
0	+96,82	- 9,40	+ 87,42
0	0	+105,6786	-105,6786

<sup>1)</sup> Mnożnik ten otrzymujemy z rozkładu kanonicznego krakowianu {W} patrz T. Kochmański „Zarys rachunku krakowianowego”.

**PRZYKŁAD II**

**Obliczenie technologiczne cementu z czteroskładnikowej mieszanki surowców z uwzględnieniem wpływu popiołu.**

W przykładzie tym podano pełny tok obliczenia technologicznego mieszanki czteroskładnikowej z uwzględnieniem wpływu popiołu.

Obliczenie przeprowadzone metodą krakowianową składa się z następujących etapów:

1. Zestawienie analiz chemicznych surowca suchego. (tabl. 4)

Tablica 4

**Surowiec w stanie suchym**

Składnik	1°		2°		3°		4°		5°		Σ
	x	y	z	t	q						
SiO <sub>2</sub>	5,02	15,92	27,76	27,90	—						76,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28	1,87	10,87	5,90	—						19,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,66	1,88	3,01	60,30	—						65,85
CaO	51,55	44,00	30,12	0,40	—						126,07
inne	0,73	0,93	1,89	0,90	—						4,45
straty	40,76	35,40	26,35	4,60	—						107,11
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	—						400,00

2. Analizy surowca wyprażonego. (tabl. 5).

Tablica 5

**Surowiec wyprażony**

S	8,47	24,64	37,69	29,25	50,43	150,48
A	2,16	2,89	4,76	6,18	25,11	51,10
F	1,12	2,92	4,09	63,21	13,46	84,80
C	87,02	68,11	40,89	0,42	6,20	202,64
inne	1,23	1,44	2,57	0,94	4,80	10,98
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	500,00

3. Obliczenie współczynników przy określeniu klinkru cementowego modułami. (tabl. 6)
4. Rozwiązanie układu czterech równań zestawu technologicznego metodą krakowianową. (tabl. 7)
5. Obliczenie składu chemicznego oraz składu petrograficznego klinkru. (tabl. 8 i 9)
6. Obliczenie składu chemicznego oraz namiaru mieszanki surowca. (tabl. 10)

Etapy 1, 2, 5, 6, nie różnią się od dotychczasowego sposobu obliczeń technologicznych. (Dokładniej o tej metodzie mówi książka Okorokowa, przytoczona poprzednio).

**Obliczenie współczynników**

Tablica 6

1	1	1	1	+ 96,50	100,50
8,47	24,64	37,69	29,25	-176,50	-79,45
2,16	2,89	14,76	6,18	-87,88	-61,89
1,12	2,92	4,09	63,21	-47,11	+24,23
87,02	68,11	40,89	0,42	-21,70	+174,74

+1	0	0	0	1
0	+2,52	-1	0	1,52
0	-1,65	+2,7	-1	3,35
0	+0,35	+2,7	+1,2	4,25
0	-1	0	0	-1

1	1	1	1	+ 96,50	-100,50
-61,73	-0,23	+79,87	+105,61	-584,57	-461,05
+0,39	-8,96	+13,20	+158,10	-187,95	-25,22
-0,82	+0,61	-9,85	+69,67	+31,33	+90,94
-61,16	-7,58	+84,22	+334,38	-644,69	-294,83

$$\{W\} = \{A\} \cdot \{B\}$$

Warunki technologiczne  
 KH = 0,9 — moduł nasycenia  
 n = 2,7 — moduł silikatowy  
 p = 1,2 — moduł glinowy

Etapy 3, 4 obliczono rachunkiem krakowianowym. Przy obliczeniu etapu 3 (obliczenia współczynników przy założonym składzie klinkru) oparto się na modułach. Obliczenie to wykonano według wzoru (15), (16) i (17).

Tablica 7

**Krakowianowe rozwiązanie układu równań liniowych**

x	y	z	t	q <sub>0</sub> = 3,5	
+1	+1	+1	+1	96,50	+100,50
-61,73	-0,23	+79,87	+105,61	-584,57	-461,05
+0,39	-8,96	+13,20	+158,10	-187,95	-25,22
-0,82	+0,61	+9,85	+69,67	+31,33	+91,00
-61,16	-7,58	+84,22	+334,38	-644,69	-294,77

+1	2	4,3024	10,0547	+202,5526	
+1	+1	+1	+1	+96,50	+100,50
0	+1	+2,3024	2,7209	+87,3556	+93,3789
0	0	+1	+5,3338	+17,2170	+23,5508
0	0	0	+1	+1,4800	+2,4800
23,8336	61,8634	+9,3230	+1,4800	3,5000	100,0000%

+1	-61,73	+0,39	-0,82	-61,16
0	+61,50	-9,35	+1,46	+53,33
0	0	+34,3375	-12,3915	+21,9460
0	0	0	+132,6113	132,6113

Tablica 8

**Obliczanie składu chemicznego klinkru**

Składnik	1°		2°		3°		4°		5°		klinkier
	x	y	z	t	q						
SiO <sub>2</sub>	2,02	15,24	3,51	0,43	1,76						22,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,51	1,79	1,38	0,09	0,88						4,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	1,81	0,38	0,93	0,47						3,86
CaO	20,75	42,13	3,81	0,01	0,22						66,93
inne	0,29	0,89	0,24	0,01	0,17						1,60
Σ	23,84	61,86	9,32	1,48	3,50						100,00

Obliczenie współczynników (etap 4) nie różni się niczym istotnym od sposobu rozwiązywania równań przykładu I z tym, że krakowian współczynników jest powiększony o jedną kolumnę i jeden wiersz. Tak więc zwiększenie ilości niewiadomych w układzie

równań liniowych rozwiązywanym metodą krakowianową tylko w nieznacznym stopniu zwiększa pracochłonność obliczeń, nie zmieniając tego toku w swej zasadzie. Właściwość ta jest jedną z głównych zalet rachunku krakowianowego, którego dodatnie cechy występują tym wyraźniej, im większa jest liczba niewiadomych w układzie równań.

Tablica 9

Obliczenie składu petrograficznego klinkru

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO		skład chemiczny klinkru
22,96	4,65	3,86	66,93	%	
0,3788	0,045 6	0,0241	1,1930	mol	
0,2745			0,8235	C <sub>2</sub> S	62,67
0,1043			0,2086	C <sub>2</sub> S	17,96
	0,0215		0,0645	C <sub>3</sub> A	5,81
	0,0241	0,0241	0,0964	C <sub>4</sub> A,F	11,71
			1,0321	Δ	98,15

Sprawdzenie modułów

$$KH = \frac{66,93 - (1,65 \cdot 4,65 + 0,35 \cdot 3,86)}{2,80 \cdot 22,96} = 0,90$$

$$n = \frac{22,96}{4,65 + 3,86} = 2,70$$

$$p = \frac{4,65}{3,86} = 1,20$$

Tablica 10

Obliczanie namiaru i składu chemicznego oraz surowców

składnik	I <sup>o</sup> 2 <sup>o</sup> 3 <sup>o</sup> 4 <sup>o</sup>				M
	x	y	z	t	
%	23,84	61,87	9,32	1,48	—
1 — str / 100	0,5924	0,6460	0,7365	0,9540	—
	40,24	95,77	12,65	1,50	150,16
x 100 / 150,60	26,79	63,78	8,42	1,01	100,00
SiO <sub>2</sub>	1,34	10,15	2,34	0,28	14,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34	1,19	0,91	0,06	2,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	1,20	0,25	0,61	2,24
CaO	13,81	28,07	2,54	—	44,42
inne	0,20	0,59	0,16	0,01	0,96
straty	10,92	22,58	2,22	0,05	35,77
kg <sup>*</sup> )	417	993	131	16	1557
naturalna wilgotność, %	5	7	10	2	—
1 — w	0,95	0,93	0,9	0,98	—
kg <sup>**</sup> )	438	1068	146	16	1668

\*) — namiar suchy w kg

\*\*\*) — namiar z wilgotnością naturalną w kg

PRZYKŁAD III

Obliczenie zestawu czteroskładnikowego w zależności od różnych gatunków węgla.

W przykładzie tym obliczono, jak będzie zmieniał się namiar surowcowy (dla uzyskania klinkru założonego w przykładzie II z surowców również wziętych z tego przykładu) przy zmianie węgla. Zagadnienie to jest bardzo ważne z punktu widzenia ekonomii technologii wypału cementu, gdyż przez właści-

wy wybór rodzaju węgla można osiągnąć olbrzymie oszczędności sięgające milionów złotych rocznie dla jednej cementowni. Rozwiązanie tego zagadnienia bez rachunku krakowianowego dotychczasowymi metodami wymagałoby wielokrotnego rozwiązywania układu czterech równań i byłoby tak żmudne, że praktyczne stosowanie tych obliczeń byłoby mocno skomplikowane. Wprowadzenie rachunku krakowianowego, a w szczególności obliczenie nieoznaczonego rozwiązania, umożliwia obliczenie zestawów surowcowych dla różnych węgla drogą mnożenia krakowianowego. Obliczenie to przeprowadza się w następujących etapach:

1. Charakterystyka węgla przyjętych do obliczeń zestawu surowca. (tabl. 11)
2. Przeliczenie składu chemicznego popiołu bez straty żarowej. (tabl. 12)
3. Obliczenie nieoznaczonego rozwiązania układu równań liniowych metodą rachunku krakowianowego. Obliczenie to sprowadza się do obliczenia odwrotności krakowianu współczynników układu równań. Odwrotność krakowianu pełnej rangi otrzymujemy przy pomocy dzielenia krakowianowego (patrz T. Hochmański „Zarys rachunku krakowianowego“ str. 29, § 9/2).
4. Obliczenie namiaru surowcowego przy użyciu różnych węgla. Obliczenia te przeprowadzamy mnożąc trzy krakowiany przez siebie. Obliczenie to wykonano dwoma sposobami:

— przy kolejnym mnożeniu (wzór 24),

— przy zastosowaniu prawa łączności (wz. 27)

Sposób drugi jest szczególnie dogodny przy dużej ilości węgla branych do obliczeń (powyżej czterech węgla) i wówczas odznacza się mniejszą ilością działań.

Tablica 11

Charakterystyka węgla przyjętych do obliczeń zestawu surowca  
Zapotrzebowanie ciepła na 1 kg klinkru — 1'00 kkal. Ilość zaabsorbowanego popiołu — 60%

węgiel 4 <sup>o</sup>	węgiel 3 <sup>o</sup>	węgiel 2 <sup>o</sup>	węgiel 1 <sup>o</sup>		popioł
50,40	49,53	47,27	47,20	SiO <sub>2</sub>	
21,60	22,15	23,77	23,50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
5,30	8,46	15,10	12,60	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
12,30	8,54	5,17	5,80	CaO	
3,40	3,90	6,96	4,50	inne	
7,00	7,42	1,73	6,40	strata	
100,00	100,00	100,00	100,00	M	
5300	5200	5100	5000	kaloryczność węgla	
32	33	33	34	jednostkowy wychód palnika w %	
9,00	11,54	15,10	17,30	wychód popiołu w %	
1,73	2,28	2,99	3,50	q	

Tablica 12

Skład popiołu węgla przeliczony bez straty żarowej

54,19	53,51	48,10	50,43	S = SiO <sub>2</sub>
23,22	23,92	24,19	25,11	A = Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
5,70	9,14	15,37	13,46	F = Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
13,23	9,22	5,26	6,20	C = CaO
3,66	4,21	7,08	4,80	inne
100,00	100,00	100,00	100,00	M

1	0	0	0
-1	1	0	0
+1,3024	-2,3024	1	0
-5,2258	+9,5598	-5,3338	1

+0,2361	-0,0117	+0,0236	-0,0396
+0,5874	+0,0083	-0,0410	+0,0720
+0,1528	+0,0031	+0,0146	-0,0402
+0,0236	+0,0003	+0,0028	+0,0075
0,9999	-0,0001	0,0000	0,0003

 $\{M\} =$ 

+I	-61,73	+0,39	-0,82
+0	+61,50	-9,35	+1,46
+0	+0	+34,3375	-12,3915
+0	+0	+0	+132,6113

Tablica 13, 14, 15, 16  
Obliczenie nieoznaczonego rozwiązania układu równań liniowych

 $\{C\} = \{P\} \cdot \{B\}$ 

98,27	97,72	97,01	96,50
-93,75	-122,00	-143,82	-176,50
-40,17	-54,54	-72,33	-87,88
-9,86	-20,84	-45,96	-47,11
-22,89	-21,02	-15,73	-21,70

 $\times$ 

1	0	0	0
0	2,52	1,00	0
0	1,65	+2,7	-1
0	+0,35	+2,7	+1,2
0	-1	0	0

 $\{X\} = \{C\} \cdot \{M\}$ 

98,27	97,72	97,01	96,50
-283,10	-383,71	-482,13	-584,57
-41,34	-81,53	-175,57	-187,95
+28,33	+29,53	+17,18	+31,33

 $\times$ 

0,2361	+0,5874	+0,1528	+0,0236
-0,0117	+0,0083	+0,0031	+0,0003
+0,0236	-0,0410	+0,0146	+0,0028
-0,0395	+0,0721	-0,0401	+0,0075

24,43	24,48	23,73	23,96
59,11	59,69	61,41	61,80
12,40	11,37	10,08	8,93
2,33	2,18	1,79	1,81
1,73	2,28	2,99	3,50
100,00	100,00	100,00	100,00

x	składnik 1°
u	składnik 2°
z	składnik 3°
t	składnik 4°
q	popiół
M	

Obliczenie nmiaru surowcowego dla różnych węgli przy zastosowaniu kolejnego mnożenia

+0,2361	+0,5874	+0,1528	+0,0236
-0,0117	+0,0083	+0,0031	+0,0003
+0,0236	-0,0410	+0,0146	+0,0028
-0,0395	+0,0721	-0,0401	+0,0075

 $\times$ 

1	0	0	0	0
0	+2,52	+1,65	+0,35	-1
0	-1	+2,7	+2,7	0
0	0	-1	1,2	0

98,27	97,72	97,01	96,50
-93,75	-122,00	-143,82	-176,50
-40,17	-54,54	-72,33	-87,88
-9,86	-20,84	-45,96	-47,11
-22,89	-21,02	-15,73	-21,70

+0,2361	+0,5874	+0,1528	+0,0236
-0,0530	+0,0619	-0,0068	-0,0021
+0,0839	-0,1692	+0,0846	+0,0006
+0,0122	-0,0214	-0,0076	+0,0167
+0,0017	-0,0083	-0,0031	-0,0003

24,64	24,67	23,87	24,15
59,12	59,70	61,43	61,82
12,40	11,37	10,08	8,94
2,33	2,19	1,78	1,74
1,73	2,28	2,99	3,50
100,22	100,21	100,15	100,15

I składnik
II składnik
III składnik
IV składnik
popiół adsorbowany
M

Węgiel 4°
Węgiel 3°
Węgiel 2°
Węgiel 1°

Obliczenie nmiaru surowcowego dla różnych węgli przy zastosowaniu prawa łączności

Mgr Mieczysław Musialik

Sosnowiec

666.94.041.57:662.614.004.67

## Wydajność ciepła pieca obrotowego

Piec obrotowy jest aparatem technologicznym o ruchu ciągłym, a jego równowaga termiczna, warunkująca rytmiczną i wydajną produkcję klinkru, zależy od wielu parametrów.

Decydujący wpływ na ruch pieca wywierają liczne i złożone zjawiska cieplne zachodzące w płomienicy pieca, których opanowanie i celowe wykorzystanie możliwe jest tylko przy ich dokładnej znajomości.

Artykuł poniższy, podając w łatwo dostępnej formie metody analizy procesów cieplnych, stanowiących istotę pracy pieca obrotowego, przyczyni się niewątpliwie do rozszerzenia i pogłębienia wiedzy technicznej personelu inżynieryjno-technicznego naszych fabryk i stworzy podstawy do świadomego podnoszenia ekonomii wypału klinkru.

Redakcja

**Treść:** Wstęp. Straty ciepłe. Promieniowanie. Ciepło oddawane przez gazy. Transport ciepła w strefie spiekania. Promieniowanie gazów. Wpływ składu materiału na warunki wypalania. Zakończenie.

Jednym z najważniejszych zagadnień, którego pomysłowe rozwiązanie musi być zadaniem naszego przemysłu cementowego — jest sprawa maksymalnego wykorzystania ciepła dostarczanego do pieców obrotowych. Wiadomą jest przecież rzeczą, że koszt paliwa stanowi 30÷50% kosztów własnych każdej cementowni. W zależności od stosowanej metody wypału i wydajności pieca, na wypalenie 1 kg klinkru potrzeba 850÷2400 kkal, podczas gdy teoretycznie wystarczyłoby 450 kkal. Jak widać z podanych liczb ilość wykorzystanego ciepła w piecu obrotowym stanowi zaledwie 17÷53% ciepła dostarczonego. Z tych też względów zarówno konstruktorzy pieców jak i kierownicy zakładów produkcyjnych poświęcają wiele uwagi temu zagadnieniu, które sprowadzić można do trzech zasadniczych punktów:

1. Straty energii cieplnej.
2. Przenoszenie energii cieplnej.
3. Zużycie ciepła do wypału klinkru.

### STRATY ENERGII CIEPLNEJ

Możemy wyodrębnić tutaj trzy główne źródła strat, a mianowicie unoszenie ciepła przez gazy odlotowe, unoszenie przez gorący klinkier oraz promieniowanie ciepła przez ściany pieca.

Najznaczniejsze są straty spowodowane promieniowaniem ciepła poprzez ściany pieca; stanowią one 60% całości strat i zachodzą przede wszystkim w strefie spiekania. Udział promieniowania w ogólnej sumie strat rośnie w miarę zmniejszania się procentu wykorzystywanego ciepła, wytwarzanego przez wprowadzane do pieca paliwo.

Istnieją dwie drogi zapobieżenia temu zjawisku, a mianowicie przez zahamowanie strat albo też przez wprowadzenie wypromieniowanego ciepła z powrotem do procesu piecowego. Próby zmniejszenia promieniowania ciepła przez ściany w wyniku instalowania warstwy izolacyjnej nie dały dotychczas rezultatu. Pozostaje więc druga droga, to jest wykorzystanie ciepła wypromieniowanego przez ściany na przykład do podgrzewania powietrza pierwotnego, które stanowi 30% całkowitej ilości powietrza, zużywanego przy wypale klinkru.

Z przykładu opartego na danych z pracy H. Gygi wyliczymy, ile kalorii tracimy przez promieniowanie ciepła w strefie spiekania.

Piec posiadający rozszerzoną strefę spiekania — na długości 20 m ma średnicę 3,20 m. Blacha płaszczka pieca ma grubość 2 cm, warstwa ogniotrwałej wymu-

rowki — 12 cm, a na niej warstwa skorupy (szlaki) także 12 cm grubości. Temperatura płaszczka pieca (zewnątrzna) wynosi 300 °C, a temperatura wewnętrznej powierzchni szlaki 1300 °C.

Ilość ciepła wypromieniowaną przez ściany strefy spiekania pieca, możemy obliczyć z następującego wzoru:

$$Q = \frac{(t_1 - t_2) L}{2 \cdot \left( \frac{1}{\lambda} \ln \frac{R_1}{R_2} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{R_2'}{R_2} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{R_2''}{R_2'} \right)} \quad [1]$$

gdzie

- $Q$  — straty ciepłe strefy spiekania przez promieniowanie — kkal/h,  
 $L$  — długość rozszerzonej strefy spiekania — m,  
 $t_1$  — średnia temperatura wymurówki wewnętrznej powierzchni szlaki — 1300 °C,  
 $t_2$  — średnia temperatura zewnętrznej powierzchni płaszczka pieca — 300 °C,  
 $\lambda$  — przewodnictwo cieplne szlaki — około 1,5 kkal/m.°C.h,  
 $\lambda_1$  — przewodnictwo cieplne wymurówki „Radex” około 3,5 kkal/m.°C.h,  
 $\lambda_2$  — przewodnictwo cieplne płaszczka — około 40 kkal/m.°C.h,  
 $R_1$  — wewnętrzny promień pieca do skorupy — 1,34 m,  
 $R_2$  — wewnętrzny promień pieca do wymurówki — 1,46 m,  
 $R_2'$  — wewnętrzny promień pieca do blachy — 1,58 m,  
 $R_2''$  — promień pieca do zewnętrznej powierzchni płaszczka — 1,60 m.

Po wstawieniu danych do wyżej podanego wzoru otrzymamy

$$Q = \frac{(1300 - 300) \cdot 20}{2 \cdot 3,14 \left( \frac{1}{1,5} \ln \frac{1,46}{1,34} + \frac{1}{3,5} \ln \frac{1,58}{1,46} + \frac{1}{40} \ln \frac{1,60}{1,58} \right)} \approx 1250000 \text{ kkal/h}$$

Taką ilość ciepła wypromieniowuje omawiana strefa spiekania w ciągu każdej godziny. W przeliczeniu na węgiel o wartości opałowej 70000 kkal — w każdej godzinie tracimy 179 kg węgla, co w stosunku rocznym (300 dni pracy pieca) wyniesie około 32 wagonów 40-tonowych.

Wypromieniowaną przez strefę spiekania ilość ciepła można by ogrzać do 300 °C około 13000 Nm<sup>3</sup>

powietrza w ciągu godziny. Część tej ilości powietrza podgrzanego może być użyta jako powietrze pierwotne a pozostałą ilość można by użyć do suszenia węgla lub żużla.

Podwyższenie temperatury powietrza pierwotnego o 68 °C pozwala na zaoszczędzenie dla omawianego pieca 7,8% paliwa lub takie samo zwiększenie jego cieplnej wydajności. Ogrzewanie powietrza przez powierzchnię strefy spiekania można by przeprowadzić budując dodatkowy płaszcz wzdłuż całej strefy spiekania. Tego rodzaju płaszcz utrudniałby jednak obserwację właściwego płaszcza, a w przypadku przepalenia tego ostatniego stwarzałyby nowe trudności w przeprowadzaniu remontu.

Straty spowodowane unoszeniem ciepła przez klinkier opuszczający piec można zmniejszyć do minimum przez zastosowanie chłodników rusztowych.

Następną poważną pozycją strat jest ciepło unoszone przez gazy odlotowe. Ogólnie możemy wyrazić ilość ciepła zabieranego przez nie następującym wzorem:

$$Q = \alpha F \Delta t \quad [2]$$

w którym

$\alpha$  — współczynnik przenikania ciepła — kkal/m<sup>2</sup>·°C·h

$F$  — powierzchnia ciała ogrzewanego — m<sup>2</sup>

$\Delta t$  — różnica temperatur — °C

Największy wpływ na wysokość temperatury gazów odlotowych mają procesy zachodzące w strefie suszenia. Transport ciepła w tej strefie odbywa się przede wszystkim przez konwekcję i dla tego rodzaju transportu należy obliczać współczynnik przenikania ciepła. A. Schack podaje następujący wzór na obliczenie tego współczynnika wyrażonego w kkal/m<sup>2</sup>·°C·h.

$$\alpha = 20,9 \cdot C_p^{0,77} \cdot \lambda^{0,23} \cdot \frac{W_0^{0,75}}{d^{0,25}} \quad [3]$$

w którym

$C_p$  — ciepło właściwe gazów kkal/m<sup>3</sup>·°C,

$\lambda$  — współczynnik przewodzenia ciepła gazu — kkal/m<sup>3</sup>·°C·h,

$W_0$  — prędkość gazów przeliczona dla temperatury 0 °C i dla ciśnienia 760 mm Hg — m/h,

$d$  — średnica strefy suszenia (rury) — m.

Z równania (2) wynika, że ilość ciepła oddana przez gazy zależy od powierzchni ciepła ogrzewanego, a więc także od ilości zawieszonych łańcuchów i od współczynnika przenikania ciepła  $\alpha$ . Współczynnik  $\alpha$  jest wprost proporcjonalny do szybkości przelotu gazów, a odwrotnie proporcjonalny do średnicy pieca. Dla zwiększenia współczynnika  $\alpha$ , stosownie do równania (3), należałoby zmniejszyć średnicę strefy suszenia; powiększy się wtedy szybkość gazów, ale zmniejszy powierzchnia ciała ogrzewanego  $F$  z wzoru (2). Najkorzystniej byłoby zwiększyć zarówno powierzchnię  $F$  i współczynnik  $\alpha$ , co dałoby się przeprowadzić przez powiększenie średnicy strefy suszenia z jednoczesnym zwiększeniem ilości łańcuchów, tak aby powierzchnia prześwitu zmniejszyła się (zmniejszy się  $d$  — średnica obliczeniowa wolnego prześwitu dla gazów).

Innym źródłem mogącym zapewnić zmniejszenie zużycia energii cieplnej w tej strefie jest obniżenie procentu zawartości wody w szlamie. To zagadnienie należy już do chemii koloidów, poświęcę mu więc tu

tylko kilka uwag. W roztworze koloidalnym każda cząsteczka zawieszona, otoczona jest podwójną warstwą, kondensacyjną i dyfuzyjną. Dodatek do szlamu elektrolitu zmienia wielkość pH, a w następstwie jego wiskozę. Dalszym czynnikiem zmniejszającym wiskozę szlamu jest dodatek do szlamu kationu jednowartościowego, który rozładowuje jony wodorotlenowe, zaabsorbowane na powierzchni cząsteczek gliny.

Należy przy tym pamiętać, ażeby ośrodek dyspersyjny (woda) zawierał zawsze mały nadmiar jonów wodorotlenowych i tym samym odznaczał się słabą alkalnością.

Przez obniżenie zawartości wody w szlamie zmniejszy się, co prawda, zużycie ciepła na jej odparowanie, ale — dla tych samych warunków wypalania — wzrośnie temperatura gazów odlotowych a jednocześnie powstanie niebezpieczeństwo spalania łańcuchów. W przypadku więc zmniejszenia zawartości wody w szlamie i utrzymania tych samych warunków palenia, musimy powiększyć średnicę strefy suszenia i ilość łańcuchów, a wtedy możemy liczyć na wzrost wydajności pieca bez zwiększenia strat ciepła.

### PRZENOSZENIE ENERGII CIEPLNEJ

Energia cieplna, niezbędna do wypalania klinkru w piecu obrotowym, wywiązuje się w strefie palenia. Strefa spiekania jest tą częścią pieca, w której odbywa się właściwy proces przemian chemicznych. W wyniku tych przemian powstają minerały klinkru cementowego, które charakteryzują jakość cementu. Intensywność procesów technologicznych zachodzących w tej strefie określa wydajność całego pieca. Chcąc uzyskać maksymalną oszczędność paliwa, tutaj właśnie powinno się wytwarzać największe ilości ciepła dla uzyskania w tej części pieca najwyższej temperatury.

Należy przy tym stwierdzić, że wydajność pieca obrotowego jest nie tylko funkcją strat cieplnych (ściany pieca, klinkier, gazy odlotowe), ale zależy w równej mierze, a może nawet w większym jeszcze stopniu, od termicznych i fizyko-chemicznych procesów zachodzących wewnątrz pieca. Analiza tych procesów może doprowadzić do lepszego wykorzystania ciepła w piecach.

Podstawową zasadą, którą powinniśmy się kierować w tego rodzaju rozważaniach, jest stworzenie takich warunków palenia, ażeby w jednostce czasu przemieść maksimum ciepła o najwyższym potencjale termicznym, zachowując jednocześnie optymalne warunki palenia dla stosowanego paliwa.

Strefę palenia charakteryzuje długość płomienia, który niesie rozżarzone cząstki węgla. Transport ciepła w strefie spiekania odbywa się przez promieniowanie płomienia i gazów i tym rodzajem przenoszenia ciepła będziemy się dalej zajmowali.

Energia cieplna płomienia zostaje wypromieniowana na ściany pieca i materiał. Temperatura ścian jest zawsze wyższa od temperatury materiału, a więc ciepło ściany, z chwilą pokrycia jej materiałem podczas ruchu obrotowego pieca, przekazywane jest drogą przewodnictwa temu materiałowi. Również gazy drogą konwekcji przekazują część swego ciepła ścianom i materiałowi. Ciepło, przekazywane materiałowi wspomnianymi drogami, jest znacznie mniejsze od ciepła wypromieniowanego przez płomień.

Do obliczenia ciepła promieniowania płomienia istnieje bardzo prosty wzór Stefana-Boltzmana

$$Q = C \cdot F \left( \frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right) \quad [4]$$

Wzór ten ma bardzo prostą budowę; trudność jego stosowania stanowi wybór odpowiedniego współczynnika  $C$  i obecność takich czynników jak para wodna,  $CO_2$  oraz cząsteczki pyłu. Współczynnik  $C$  dla ciała doskonale czarnego wynosi 4,96, natomiast Gygi w swej pracy przyjął wartość 4,70.

Płomień pyłu węglowego składa się — jak wyżej zaznaczyłem — z rozżarzonych cząsteczek węgla, które promieniują energię cieplną, a więc jej ilość będzie zależała od powierzchni wszystkich rozżarzonych cząsteczek węgla w płomieniu. Powierzchnię tę oznaczamy symbolem  $F$  i wyrażamy ją w  $m^2/kg$ . Spalający się węgiel tworzy parę wodną i  $CO_2$ , które absorbują część ciepła płomienia. Straty, spowodowane obecnością wspomnianych gazów, uwzględnimy przez wprowadzenie do wzoru Stefana - Boltzmana współczynnika, który obliczamy korzystając z wzoru Wohlenberga:

$$\rho = \frac{q_{czarne} - (q_{CO_2} + q_{H_2O})}{q_{czarne}} \quad [5]$$

Współczynnik  $\rho$  zależny jest od temperatury, przy czym symbole  $q$  oznaczają obliczone ilości ciepła wypromieniowanego przez ciało doskonale czarne, dwutlenek węgla i parę wodną w danej temperaturze.

Energia promieniowania płomienia w swej drodze do ściany lub też do materiału napotyka na inne cząsteczki węgla, które również zmniejszają ilość ciepła docierającą do otaczającej powierzchni.

H. Gygi w obliczeniach wspomnianych strat, posługuje się sposobem podanym przez Nusselt'a i wprowadza do wzoru (4) nowy współczynnik  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{1}{4\pi} \int_0^{4\pi} e^{-a\psi} d\omega \quad [6]$$

przy czym

$$a = \ln \frac{1}{\psi} \quad [7]$$

$\psi$  jest funkcją uwzględniającą ilość cząsteczek węgla (pylinek) i odległości między nimi.

Ostatecznie H. Gygi dochodzi do następującego wzoru na obliczenie energii promieniowania płomienia pyłu węglowego:

$$Q = \varphi \cdot C \cdot F \left[ \left( \frac{T_{pl}}{100} \right)^4 \rho_{pl} - \left( \frac{T_{śc}}{100} \right)^4 \rho_{śc} \right] \Phi_{śc} \quad [8]$$

w którym

$F$  — powierzchnia wszystkich pylinek węgla znajdujących się w całej długości płomienia —  $m^2$ ,

$T_{pl}$  — temperatura płomienia w  $^{\circ}K$ ,

$T_{śc}$  — temperatura ściany w  $^{\circ}K$ ,

$\rho_{pl}$  — współczynnik uwzględniający absorpcję ciepła przez  $CO_2$  i  $H_2O$  w temperaturze płomienia,

$\rho_{śc}$  — obliczony jak poprzednio, lecz dla temperatury ściany,

$\Phi_{śc}$  — wielkość uwzględniająca powierzchnię ściany lub materiału wystawioną na działanie promieniowania.

Analizując powyższy wzór widzimy, że dla zwiększenia energii promieniowania płomienia najbardziej celowe byłoby zwiększenie różnicy temperatur płomienia oraz ściany. Różnicę tę możemy zwiększyć tylko przez podwyższenie temperatury płomienia, ponieważ obniżenie temperatury ściany, a tym samym i materiału mogłoby uniemożliwić przebieg reakcji chemicznych w tej strefie.

Podwyższenie temperatury płomienia jest jednak ograniczone przez temperaturę dysocjacji  $CO_2$  i  $H_2O$ .

Ciepło dysocjacji jest dość znaczne a sama dysocjacja komplikowałaby palenie.

Drugą wielkością wpływającą na to, że wzrost promieniowania płomienia wzrasta, jest powierzchnia właściwa pyłu węglowego. Powierzchnię tę możemy zwiększyć przez drobniejsze zmielenie węgla, ale i tutaj ograniczeni jesteśmy przez szybkość spalania pyłu; przy zbyt drobnym zmieleniu szybkość spalania mogłaby przewyższyć szybkość wylotu pyłu i palenie mogłoby się przenieść do palnika a nawet do zbiornika. Górna granica stopnia zmielenia jest więc zależna od rodzaju palnika i węgla.

Trzecim parametrem, wpływającym na wydajność strefy spiekania, jest wielkość jej powierzchni ( $\Phi$ ). Powierzchnię tej strefy możemy powiększyć przez jej rozszerzenie (powiększenie średnicy) lub przez przedłużenie długości płomienia. Przy powiększeniu powierzchni strefy spiekania wzrośnie ilość energii cieplnej przekazywanej jej przez płomień, ale tylko do pewnej granicy, natomiast ilość kalorii przypadająca na jeden metr kwadratowy będzie malała. W tym stanie rzeczy w miarę powiększania średnicy pieca będzie także spadała temperatura ściany i materiału (temperatura panująca w odległości  $R$  od źródła promieniowania jest odwrotnie proporcjonalna do  $R^2$ ).

Poważny udział w transporcie ciepła w tej strefie biorą także gazy. Praktycznie uwzględniamy tylko promieniowanie ciepła dwutlenku węgla i pary wodnej, ponieważ te gazy posiadają absorpcyjne części widma w podczerwieni i wskutek tego posiadają znaczną zdolność promieniowania cieplnego. Natomiast azot i tlen są bierne w obszarze podczerwieni i ich promieniowanie we wszystkich temperaturach wynosi zero.

Dla orientacyjnego obliczenia ciepła promieniowania gazów  $CO_2$  i  $H_2O$  w  $kcal/m^2 \cdot h$ . A. Schack podaje następujące wzory:

$$q_{CO_2} = 3,5 \cdot \varepsilon \sqrt{p \cdot s} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^{3,5} - \left( \frac{T_2}{100} \right)^{3,5} \right] \quad [9]$$

$$q_{H_2O} = 3,5 \cdot \varepsilon \cdot \rho^{0,8} \cdot s^{0,6} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^3 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^3 \right] \quad [10]$$

w których:

$\varepsilon$  — współczynnik emisji ciała odbierającego promieniowanie,

$p$  — ciśnienie cząstkowe gazu ( $CO_2$  lub  $H_2O$  —  $kg/m^2$ ,

$s$  — grubość warstwy —  $m$ ,

$T_1$  — temperatura gazu —  $^{\circ}K$ ,

$T_2$  — temperatura ściany lub materiału —  $^{\circ}K$ .

Istnieją inne dokładniejsze wzory na obliczanie ciepła promieniowania omawianych gazów, ale dla przedyskutowania roli tych gazów w transporcie ciepła w piecu, równania podane wyżej są łatwiejsze i bardziej zrozumiałe a doprowadzą nas do tych samych

wniosków. Dla zmuszenia gazów do wypromieniowania jak największej ilości zawartej w nich energii cieplnej należałoby znów zwiększyć różnicę temperatur; przypadek podobny został omówiony przy dyskusji równania (8).

Z drugiej strony temperatura gazów pozostaje w ścisłej zależności od temperatury płomienia, zostaje więc nam tylko do rozważania wpływ parametrów  $p$ ,  $s$ .

Ciśnienie cząstkowe  $p$  wyraża się stosunkiem objętości  $\text{CO}_2$  lub  $\text{H}_2\text{O}$  do objętości wszystkich gazów.

Największą objętość w gazach spalinowych strefy spiekania zajmuje azot (80% objętości powietrza), który z powodu bierności w podczerwieni jest po prostu balastem niepotrzebnie ogrzewanym. Zmniejszenie zawartości azotu, a zwiększenie koncentracji dwutlenku węgla i pary wodnej wpłynęłoby korzystnie na wzrost wydajności cieplnej pieca. Z tych też powodów staramy się pracować z możliwie najmniejszym nadmiarem powietrza.

Teoretycznie nasuwa się możliwość wyeliminowania azotu przez zastąpienie powietrza tlenem. Najłatwiej dałoby się zastąpić tlenem powietrze pierwotne. Objętość tlenu dla tej samej ilości paliwa wyniosłaby około 20% objętości powietrza, wskutek czego zmniejszyłaby się, dla niezmiennego palnika, szybkość gazu, a tym samym ilość wydmuchiwanego pyłu węglowego. Biorąc następnie pod uwagę wzrost temperatury przy spalaniu w czystym tlenie oraz zwiększoną szybkość spalania pyłu węglowego w tlenie, zastąpienie powietrza pierwotnego tlenem wymagałoby daleko idących zmian w konstrukcji samego palnika.

Moim zdaniem łatwiej dałoby się zwiększyć stopień zużytkowania ciepła wytwarzanego w piecu przez zastosowanie dodatkowej dyszy, doprowadzającej tani gaz wodno-generatorowy. Zmiana taka ułatwiłaby rozpalanie pieca, regulowanie i osiąganie wyższej temperatury, niezależnie od czasowych zmian jakości węgla.

Zwiększenie drugiego parametru, to jest grubości warstwy  $s$  łączy się ściśle z omówioną poprzednio (wzór 8) powierzchnią ogrzewaną strefy spiekania  $\Phi$  i związaną z nią średnicą. Teraz zrozumiałe jest dla czego konstruktorzy pieców, zamiast przedłużać strefę spiekania, woleli ją rozszerzyć. Dzięki temu bowiem zwiększyli nie tylko powierzchnię ogrzewania, ale i grubość warstwy czynnych termicznie gazów.

Przejdziemy teraz do strefy odkwaszania. W tej strefie transport ciepła odbywa się także przede wszystkim przez promieniowanie gazów i płomienia, a ponadto przez konwekcję oraz — w niewielkim stopniu — przez przewodnictwo. Promieniowanie ciepłe płomienia sięga poza strefę spiekania, obejmując swym zasięgiem prawie całą strefę odkwaszania. Ilość tego ciepła przypadająca na  $1 \text{ m}^2$  jest mniejsza niż w strefie spiekania i zmniejsza się w miarę wzrostu odległości od płomienia.

Poważny udział w transporcie ciepła przez promieniowanie biorą wspomniane wyżej gazy, a mianowicie dwutlenek węgla i para wodna (wzory 9,10). W strefie tej ulegają rozkładowi węglany, wskutek czego wzrasta koncentracja  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Jednakże gazy nie powstają jako produkt spalania a w wyniku dysocjacji i wskutek tego nie mają większego wpływu na wzrost promieniowania ciepła.

W celu zapewnienia odpowiedniej ilości ciepła na jednostkę masy wypalanej o odpowiedniej temperatu-

rze, średnica tej strefy, a tym samym i jej powierzchnia jest mniejsza. W rezultacie wzrasta ilość kalorii przypadająca na jednostkę powierzchni. Zmniejszenie średnicy tej strefy spowoduje również wzrost szybkości gazów i, zgodnie z wzorem (3), wzrośnie współczynnik przenikania ciepła przez konwekcję  $\alpha$ , a tym samym wzrośnie ilość ciepła oddawana przez gazy.

Omawiając wzór (8), zajmowaliśmy się ciepłem promieniowania na ściany pieca i materiał, natomiast pominieliśmy zupełnie tę ilość ciepła, która zostaje wypromieniowana wzdłuż osi pieca, w kierunku strefy łańcuchowej i strefy chłodzenia. Ciepło to jest stracone, ponieważ zbytne ogrzewanie głowicy pieca i wypadającego klinkru oraz przegrzewanie łańcuchów strefy suszenia mija się z celem.

Wydawałoby się, że dla zwiększenia wydajności pieca, wystarczyłoby powiększenie powierzchni pieca, a więc jego średnicy i długości, i przystosowanie odpowiedniego palnika. Tymczasem okazuje się, że aby piece posiadały większą wydajność — buduje się je dłuższe, nie zmniejszając przy tym zbyt ich średnicy. Jedną z przyczyn, dla której buduje się tego rodzaju piece — pomimo większych kosztów ich budowy i eksploatacji — jest właśnie promieniowanie ciepła z płomienia na strefę łańcuchową. Dla zapobieżenia temu szkodliwemu działaniu i niepotrzebnemu przegrzewaniu łańcuchów, niektórzy autorzy (Jaspers) proponują wybudowanie zamykających strefę spiekania (i częściowo odkwaszania), zwierciadeł ceramicznych, które odbijałyby promieniowanie ciepłe z powrotem do strefy spiekania, podobnie jak zwykle zwierciadła odbijają światło. Tego rodzaju innowacje pozwoliłyby na powiększenie wydajności pieca bez jego przedłużania.

#### ZUŻYCIE CIEPŁA DO WYPAŁU KLINKRU

W piecowych procesach fizyko-chemicznych bardzo ważny udział ma również sam rodzaj wypalnego materiału. Wypalany materiał jest mieszaniną związków wapnia i glino-krzemianów, jest to więc układ heterogeniczny składający się z wielu faz, z których jedna jest ciekła. Reakcje chemiczne zachodzące w piecu muszą przebiegać także między fazami stałymi. Szybkość reakcji między fazami stałymi określa nam równanie J. A. Hedval'a:

$$V = A \cdot e - \frac{q}{RT} \quad [11]$$

w którym

$V$  — szybkość reakcji,

$A$  — stała charakterystyczna dla danego materiału, (struktura, homogenizacja itp.),

$e$  — zasada logarytmów naturalnych,

$R$  — stała gazowa,

$T$  — temperatura reakcji w  $^{\circ}\text{K}$ ,

$q$  — energia wiązań wewnętrznych międzycząsteczkowych (funkcja powierzchni właściwej)

Aczkolwiek równanie to nie znalazło zastosowania praktycznego w przemyśle, warto jednak będzie zastanowić się nad jedną rzeczą, a mianowicie przez zmianę których parametrów możemy wpłynąć na wzrost szybkości reakcji. Spośród dwóch zmiennych parametrów omówiliśmy wpływ i ograniczenie temperatury i doszliśmy do wniosku, że najkorzystniej jest pracować na górnej granicy temperatury.

Nowym parametrem jest wielkość  $q$  — energia wiązań międzycząsteczkowych. Zmniejszyć tę energię



możemy przez rozbicie jak największej ilości wiązań międzycząsteczkowych, co uzyskujemy przez mielenie w młynach, przez rozwijanie powierzchni właściwej. Mielenie w przemyśle cementowym jest jednak jednym z najmniej ekonomicznych procesów, nasuwa się więc konieczność zastąpienia mechanicznego mielenia innym sposobem rozdrabniania, np. na drodze fizycznej.

W przyszłości być może uda się nam drogie mielenie wyrugować rozbijaniem wielkich cząstek na drobiny za pomocą drgań (fal) o dobranej amplitudzie i długości fali, z uwzględnieniem efektu rezonansowego. Przy tego rodzaju rozdrabnianiu następowałyby prawdopodobnie natychmiast reakcje chemiczne, a przebieg ich w żądanym kierunku skuteczniałoby się przez utrzymanie temperatury 1450 °C i w ten sposób, w jednym procesie rozdrabniania zamknęlibyśmy i mielenie i wypalanie. Narazie trudności są prawie nie do przewyciężenia; brak nam odpowiednio silnych generatorów drgań, a z drugiej strony — niełada problemem będzie wybór materiału do budowy ścian pomieszczenia, w którym odbywać się będzie takie mielenie, nie ulegającego działaniu tych drgań.

Wróćmy jednak do dzisiejszej rzeczywistości. W procesie wypalania w temperaturze około 1340 °C powstaje faza ciekła. Obecność tej fazy ogromnie przyspiesza i ułatwia reakcje między fazami stałymi i to tym bardziej im jest jej więcej. Ilość fazy ciekłej zależy od wzajemnego stosunku  $C_4AF$  do  $C_3A$ , który powinien zawierać się w granicach 1,5÷2,0, a oblicza się według następującego wzoru:

$$\% \text{ fazy ciekłej} = 2,95 \cdot \% \text{ Al}_2\text{O}_3 + 2,2 \cdot \% \text{ Fe}_2\text{O}_3 + \% (\text{MgO} + \text{alkalia})$$

Dla dalszego ułatwienia przebiegu reakcji chemicznej jest bardzo wskazane, ażeby faza ciekła, ze zrozumiałych powodów, miała możliwie najmniejszą wiskozę.

#### ZAKOŃCZENIE

W artykule swym starałem się przedstawić zagadnienie termicznych i fizyko-chemicznych procesów

piecowych w sposób możliwie najbardziej prosty i przystępny dla najszerszych warstw czytelników, ażeby im ułatwić samodzielną analizę pracy pieca, jak również wyjaśnić przyczynę różnic w konstrukcji spotykanych pieców.

Najczęściej każda taka różnica ma głębokie uzasadnienie w przebiegu ogólnie omówionych tutaj procesów. Każde dobre usprawnienie musi uwzględnić możliwie największą ilość czynników potęgujących się wzajemnie dla osiągnięcia założonego efektu końcowego.

Na podstawie powyższych wywodów jasną staje się rzecz, że podwyższenie temperatury ogromnie korzystnie wpływa zarówno na wzrost ilości użytkowanego ciepła w piecu jak i na szybkość zachodzących w nim reakcji chemicznych. Zdawać by się mogło, że wystarczy dążyć do uzyskania jak najwyższej temperatury, aby osiągnąć maksymalną wydajność pieca. Tymczasem przekroczenie temperatury dysocjacji pary wodnej i dwutlenku węgla spowoduje wręcz odwrotny skutek.

Najważniejszym celem, który mną kierował w pisaniu tego artykułu, była chęć przyjscia z pomocą naszym racjonalizatorom w ich pracy nad usprawnieniem procesu wypału. Mam nadzieję, że tego rodzaju artykuł, aczkolwiek bardzo ogólny i schematyczny, może być dużą pomocą przy rozwiązywaniu wąskich odcinkowych trudności na terenie zakładu.

#### LITERATURA

- J. M. Jaspers — „Über die thermische Leistungsfähigkeit des Zementrotierofens.“ „Radex-Rdsch“. 1951, Nr 1, str. 3—8, Nr 2, str. 35—41, Nr 3, str. 77—82.
- H. Gygi — „Wärmetechnische Untersuchungen des Drehofens zur Herstellung von Portlandcementklinker“ 1937.
- W. Heiligenstadt — „Obliczenia ciepłne pieców przemysłowych“ — 1952.
- T. Hobler — „Ruch ciepła i wymienniki“.
- J. d'Ans — „Taschenbuch f. Chemiker u. Physiker“. 1943.
- W. N. Jung — „Osnovy Technologii Wjażuszczich Wieszczestw“ — 1951.
- E. I. Chodorow — „Pieczy Cementnoj Promyslennosti“ — 1951.

## U NASZYCH SĄSIADÓW

### Zgon Akademika D. S. Bieliankina

Dnia 20 czerwca 1953 roku zmarł Akademik Dymitr Stiepanowicz Bieliankin, wielki uczony radziecki w dziedzinie mineralogii, petrografii i chemii krzemianów; twórca nowej gałęzi wiedzy — petrografii technicznej.

Osiągnięcia zmarłego uczonego w zakresie badań procesów krystalizacji klinkru portlandzkiego i glinowego znane są polskiemu czytelnikowi z licznych dzieł i publikacji.

D. S. Bieliankin dał ponadto duży wkład do naszej wiedzy o odwadnianiu gipsu i rozszerzył znajomość otrzymywanych produktów odwodnienia.

Ogromne znaczenie mają także jego prace dotyczące zmian struktury i zachowania się materiałów ogniotrwałych w czasie ich pracy w piecach przemysłowych.

Pod kierunkiem D. S. Bieliankina opracowane były i zastosowane w przemyśle petrograficzne metody kontroli produkcji cementu i materiałów ogniotrwałych.

W okresie przedwojennym zmarły uczony był profesorem geochemii i chemii krzemianów na wydziale chemicznym Leningradzkiego Instytutu Technologicznego im. Lensowiet, a od 1936 roku stał kolejno na czele Oddziału Petrografii Technicznej Instytutu Petrograficznego, Instytutu Nauk Geologicznych i wreszcie od roku 1949 Oddziału Nauk Geologiczno-Geograficznych Akademii Nauk ZSRR.

Władza Radziecka wysoko oceniła zasługi D. S. Bieliankina nagradzając go dwoma orderami Lenina, orderem Czerwonego Sztandaru Pracy i licznymi medalami.

J. S.

## Produkcja cementu w NRD

Przemysł cementowy w NRD dostarczał krajowi w roku 1952 około 1990 000 ton cementu, co w porównaniu z 1 631 000 tonami cementu wyprodukowanymi w roku 1951 stanowi wzrost produkcji o 22%.

Według przewidywań Pięcioletniego Narodowego Planu Gospodarczego produkcja cementu w NRD wzrośnie w ciągu najbliższych dwóch lat o 100%, osiągając w roku 1955 400 000 000 ton.

Mgr inż. Włodzimierz Zieliński  
Kraków

66.041.57:666.912

## Piec obrotowy w przemyśle wapienniczym

Znaczenie przemysłu wapienniczego jako producenta wapna i kamienia wapiennego wzrasta z każdym rokiem. Zapowiadany w długofalowych planach państwowych rozwój tego przemysłu zmusza do ustalenia dla niego wytycznych rozwojowych zakładających stały wzrost wskaźników techniczno-ekonomicznych i unowocześnienie strony aparatury przemysłu wapienniczego.

Piec obrotowy, pomimo swoich stron ujemnych, znajduje coraz szersze zastosowanie w światowym przemyśle wapienniczym, a korzyści płynące z jego instalowania wpływają dodatnio także na wskaźniki techniczno-ekonomiczne kamieniołomu, rozładowując w znacznym stopniu trudne zagadnienie hańdowania odpadów wapienia.

Artykuł poniższy zamieszczamy w nadziei, że spowoduje on dalsze wypowiedzi na ten temat i przyczyni się do wyjaśnienia roli jaką piec obrotowy powinien grać w planach rozwoju przemysłu wapienniczego.

Redakcja

**Treść:** Wstęp. Piec kręgowy i szybowy. Piec obrotowy. Metody produkcji wapna w piecu obrotowym. Szybkość wypalania wapna. Wypalanie wapna w piecu obrotowym i straty ciepłn. Doświadczenia radzieckie. Konieczność budowy wapienniczych pieców obrotowych.

Wapno palone otrzymujemy przez wypalanie kamienia wapiennego w powszechnie znanych piecach wapienniczych kręgowych, szybowych lub jeszcze gdzieśgdzie spotykanych — już jako historyczny przeżytek — piecach polowych. Rzut oka na historię przemysłu wapienniczego w naszym kraju wskazuje, że właściwie niewiele się zmieniło od czasu wprowadzenia po raz pierwszy do produkcji wapna pieca skonstruowanego przez Hoffmana. Piec kręgowy w swej pierwotnej postaci, poza nielicznymi uzupełnieniami, pozostał w zasadzie bez zmian od r. 1858. Wymaga on, z uwagi na swoistą technologię prowadzenia wypału, określonej wielkości kamienia, charakteryzuje go dość duża pracochłonność takich zasadniczych czynności technologicznych jak układanie kamienia w komorach do wypału i wybieranie wypalonego wapna.

Te bardzo uciążliwe czynności dotychczas nie zostały zmechanizowane i powodują w każdym zakładzie poważne trudności organizacyjne.

Piece szybowe różnych typów, stosowane w naszym przemyśle obok pieców kręgowych, stanowią bardzo poważne ulepszenie wypału wapna. Wymagają one również wsadu kamienia o określonej granulacji, z nieprzekraczalną dolną granicą wielkości kawałków — określoną na 50 mm. Piece te posiadają lepsze współczynniki ekonomiczne, są mniej pracochłonne, a wydajności ich są większe od wydajności pieców kręgowych; stanowią one poważny krok w rozwoju przemysłu wapienniczego.

Oba powyższe typy pieców posiadają wspólne zasadnicze wady, którymi są: 1) mała wydajność produkcji na jednostkę czasu, 2) niskie współczynniki ekonomiczne z powodu niemożności wykorzystywania drobniejszych frakcji surowca. Wprawdzie w fabrykach wapna posiadających piece kręgowe starano się wykorzystać drobniejsze frakcje przez wybudowanie dodatkowo pieców szybowych jako urządzeń ekonomiczniejszych, ale mimo to poważna część produkcji kamieniołomów (30%, a nawet w poszczególnych wypadkach 40%) zostawała wywożona na zwaly, jako nie nadający się do wypału odpad.

Te dwa problemy zwiększenia wydajności urządzeń wypalowych oraz wykorzystanie odpadów, stały się myślą przewodnią, która spowodowała, że zakłady wa-

piennicze zastosowały do produkcji wapna piece obrotowe.

W piecu obrotowym, w przeciwieństwie do pieca szybowego, można wypalać surowiec o granulacji mniejszej od 50 mm i o małej wytrzymałości, ponieważ nie ma obawy rozgniataania go; piec obrotowy jest więc urządzeniem, w którym można wypalać materiał drobny i miękki.

Po raz pierwszy w roku 1906 w fabryce wapna Lime C<sup>o</sup>, w Nowym Jorku, wybudowano piec obrotowy do wypału wapna o wymiarach 2,80×30 m. Próba dała bardzo dobre wyniki produkcyjne pod względem ilości i jakości, tak że od roku 1910 piec obrotowy znalazł już szerokie zastosowanie w przemyśle wapienniczym USA. Warto tu nadmienić, że jeden z największych zakładów — Eastern Potash C<sup>o</sup> — posiadający dobową wydajność 1000 ton wapna palonego (niegaszonego), produkuje wapno w 10 piecach obrotowych typu „Vulcan“, każdy o długości 37,5 m i średnicy 2,40 m.

Piec obrotowy do wypału wapna w zasadzie niczym się nie różni od pieca stosowanego w przemyśle cementowym do wypału klinkru, jakkolwiek procesy produkcji zachodzące przy wypale kamienia wapiennego są nieco odmienne.

Znane i stosowane są dziś dwie metody produkcji wapna w piecach obrotowych:

1. Metoda sucha, polegająca na tym, że do wypału użyty jest drobny, rozsortowany kamień wapienny, zawierający naturalną wilgoć złożową.
2. Metoda mokra, polegająca na przygotowywaniu wapienia do wypału w postaci szlamu, podobnie jak przy produkcji cementu.

Nadmienić należy, że w tej samej fabryce, przy użyciu tych samych pieców obrotowych i urządzeń pomocniczych można stosować i stosuje się obie metody — pozwalające wypalać, zależnie od okoliczności, kamień drobny o określonych granulacjach lub szlam z kamienia wapiennego, co pozwala całkowicie wykorzystać wszystkie dotychczas nieużyteczne odpady.

Z przykładu wyżej podanego wynika, że dzięki zastosowaniu pieców obrotowych w fabrykach wapna, uzyskano poważne zwiększenie wydajności urządzeń wypalowych. Tłumaczy się to tym, że proces wypału wprowadzony jest przy podawaniu do pieca drobnego materiału posiadającego większą powierzchnię właści-

wą — a więc większą powierzchnię biorącą udział w zachodzącej przy wypale reakcji chemicznej rozkładu węglanu wapnia, dokonującej się w czasie wypału wapna. Z badań i doświadczeń uzyskanych z praktyki wiadomo, że wapień o wymiarach 300 mm potrzebuje na podgrzanie, wypalenie i ochłodzenie do 113 godzin, wapień o wymiarach 130 mm — na ten sam proces potrzebuje tylko 39 godzin, wapień o wymiarach 50 mm — 13 godzin, a wapień o wymiarach 20 mm — 3 godziny.

Inny przykład: 500 g węgla kawałkowego potrzebuje do spalania 30 min czasu, zaś 500 g pyłu węglowego — tylko 0,4 sek, czyli 4500 razy mniej.

Przykłady powyższe ilustrują jasno, jak duży wpływ ma wielkość kawałków wapienia na szybkość reakcji wypału; wskazują one jednocześnie prawidłowe drogi skrócenia czasu wypału, prowadzące do znacznego zwiększenia wydajności. Jasne jest, że z uwagi na stosowane metody wypału wapna w piecach obrotowych, wydajność pieców jest mniejsza aniżeli w przemyśle cementowym. Załadunek drobnego kamienia wapiennego do pieca obrotowego w wapienniku odbywa się urządzeniami dość prostymi, bo przy pomocy elewatora wiaderkowego i podawacza lejowego. Te proste urządzenia są bardzo ekonomiczne w porównaniu do urządzeń nadających wsad do nowoczesnego pieca bębnowego.

Temperatura wypału w piecu obrotowym waha się około 1200 °C i — według danych uzyskanych z praktyki wieloletniej — wapień wypalany w piecu obrotowym powinien mieć granulację 50 ÷ 40 mm; ale nie mniejszą niż 35 mm. Wynika stąd konieczność rozsortowywania kamienia na poszczególne frakcje oraz nadawanie ich oddzielnie do pieca, przy zastosowaniu pewnej kolejności w wypalaniu poszczególnych asortymentów. Doświadczenia wykazały, że domieszka kamienia drobnego, wielkości 5 mm i mniejszej, powoduje mniej niedopałów aniżeli przy takim samym wsadzie wypalany w piecach szybowych.

Wapno otrzymane z pieca obrotowego jest lepszej jakości w porównaniu do wapna otrzymanego z innych pieców; tłumaczy się to tym, że wypał prowadzony jest przy ruchu obrotowym pieca powodującym równomierne mieszanie materiału, przy równoczesnym jego ruchu postępowym w dół pieca, czego nie ma w innych typach pieców przemysłowych, stosowanych dotychczas w wapiennictwie.

Stwierdzić należy, że pod względem zużycia paliwa piec obrotowy, w porównaniu do pieców szybowych, pracuje niekorzystnie, a na specjalną uwagę zasługuje fakt, że gazy odlotowe z pieca obrotowego posiadają dość wysoką temperaturę dochodzącą do 500 ÷ 700 °C

Z bilansu cieplnego pieca obrotowego wynika, że tylko 27% ciepła otrzymanego z paliwa zostaje zużytkowane przy procesie wypału kamienia na wapno, pozostałe zaś 73% ciepła unoszone jest przez gazy wylotowe, czyli stanowi straty.

Niska efektywność gospodarki cieplnej pieca obrotowego tłumaczy się przede wszystkim bardzo niekorzystnymi warunkami przekazywania ciepła gazów materiałowi wypalanemu. Powierzchnia materiału wypalanego w piecu obrotowym stanowi znikomą część tej powierzchni, z jaką stykają się gorące gazy np. w piecu szybowym, natomiast czas potrzebny do przejścia drogi wypału w piecu obrotowym stanowi 1/12

część czasu tego samego procesu przebiegającego w piecu szybowym.

Z analizy pracy pieca obrotowego wynika, że w przeciwieństwie do pieca szybowego, gazy przepływające przez piec odznaczają się stosunkowo niskim stopniem ruchu turbulentnego, wskutek czego tylko bardzo nieznaczna część ich strumienia oddaje swoje ciepło wypalonemu materiałowi.

W piecach obrotowych przemysłu cementowego strefa podgrzewania uzbrojona jest łańcuchami w celu stworzenia większej powierzchni zetknięcia gazów ze szlamem. Tego rodzaju urządzenia nie zastosowano w piecach do wypału wapna, ale tę część pieca, w której następuje nadawanie kamienia, uzbrojono w urządzenie służące do wstępnego podsuszenia kamienia przy pomocy gazów odlotowych. Takie urządzenia podsuszające wpływają korzystnie nie tylko na sam proces wypału, ale równocześnie umożliwiają skrócenie długości pieca obrotowego przez skrócenie strefy podgrzewania. Ciepło, które niósł gazy odlotowe, może być z powodzeniem zużytkowane do podgrzewania wody w kotłowni zlokalizowanej w pobliżu pieca, może być również doskonale zużyte w suszarniach kamienia wapiennego przed zmieleniem go na mączkę kamienną lub do innych celów.

W Związku Radzieckim piec obrotowy do wypału wapna znalazł również szerokie zastosowanie, przy czym pierwsze piece wybudowano przy fabryce papieru. Zmontowano tam 3 piece obrotowe o wymia-

rach  $2,1 \times 40$  m i stosunku  $\frac{L}{D} = 19$ , z chłodnikami

$\varnothing 1 \times 16$  m, przystosowane do wypalania szlamu wapiennego oraz drobnego kamienia. Chłodzenie wypalonego wapna dokonuje się w chłodnikach zraszanych wodą. Piece opalane są gazem generatorowym, wytwarzanym z odpadków drzewnych. Wartość opałowa gazów wynosi 1600 kal/m<sup>3</sup>. Piece zaopatrzone są w urządzenia do sztucznego ciągu, ze wspólnym kominem, o średnicy u wlotu 2,35 m i wysokości 50 m.

Zawartość wody w szlamie waha się w granicach 35 ÷ 40%. Kamień wypalany jest w trzech różnych frakcjach:

1. 70 ÷ 40 mm, 2. 40 ÷ 18 mm, 3. 18 ÷ 5 mm.

Początkowa wilgotność wapienia 7%. Każdą frakcję wypala się oddzielnie. Objętość pieca 138 m<sup>3</sup>, temperatura gazów odlotowych 477 °C, wydajność na dobę 430 kg wapna.

Pomyślne wyniki uzyskane przy wypale w wyżej opisaną fabryce sprawiły, że w ZSRR zbudowano szereg dalszych fabryk wapna, w których zastosowano piece obrotowe. Jeśli uświadomimy sobie, że dyrektywy XIX Zjazdu Partii przewidują dwu-trzykrotny wzrost produkcji wapna do roku 1955, wówczas przed naszymi oczyma wyraźnie zarysowuje się olbrzymi rozwój budownictwa nowych zakładów wapienniczych w Kraju Rad.

W Anglii stosuje się również piece obrotowe do wypału wapna: między innymi zastosowano tam piece obrotowe o długości 55 m i średnicach 2,5 m i 2,83 m w strefie wypału. Wykładzinę pieca stanowi cegła szamotowa, przy czym w strefie wypału grubość jej dochodzi do 230 mm, a więc jest ona równa grubości wykładki stosowanej w cementowych piecach obrotowych bądź też nawet kręgowych. Tygodniowa wydajność pieca wynosi 610 ÷ 710 t przy 24 godzin-

nej pracy i opalaniu pyłem węglowym. Zużycie paliwa 16 ton na dobę.

I u nas również szybko postępuje uprzemysłowienie kraju, a związany z tym wzrost budownictwa pociąga za sobą konieczność odpowiedniego rozwoju przemysłu materiałów budowlanych.

Według wstępnych danych orientacyjnych na koniec zbliżającego się 5-letniego okresu planowania (1956—1960) przewiduje się dwukrotny wzrost pro-

dukcji wapna, co wskazuje, że i w naszym kraju należy się liczyć z ogromnym rozwojem przemysłu wapienniczego. Szybko i stale rosnące zapotrzebowanie wyprzedza zwykle okres budowy zakładów, dlatego słuszne wydaje się założenie, by budować wielkie jednostki produkcyjne, wyposażone w piece o dużych wydajnościach. Tylko tego typu zakłady zdołają szybko wyrównać narastające niedobory wapna.

**Mgr Jerzy Bolkowski**

Warszawa

666.8/9(47:66.013.1:338

## Przemysł materiałów wiążących w piątym pięcioletnim planie rozwoju ZSRR

**Treść:** Wskaźniki wzrostu produkcji przemysłowej ZSRR na tle zadań piątej pięcioletki. Rozwój przemysłu cementowego. Zadania przemysłu wapienniczego i gipsowego. Przemysł wyrobów azbestowocementowych. Przemysł żelbetowy. Inne przemysły. Dyrektywy XIX Zjazdu Partii ZSRR jako wzór dla określenia dróg rozwojowych polskiego przemysłu i budownictwa.

Dyrektywy XIX Zjazdu Partii w sprawie piątego pięcioletniego planu rozwoju ZSRR wskazują na postępujący wspaniały rozwój Związku Radzieckiego, stawiając równocześnie przed przemysłem materiałów budowlanych ogromne i niezwykle odpowiedzialne zadania.

Ogólne rozmiary państwowego budownictwa inwestycyjnego, które w latach 1951—1955 ulegają zwiększeniu w porównaniu z czwartą pięcioletką o około 90% dają wyobrażenie o roli, jaka przypadła przemysłowi materiałów budowlanych ZSRR, który stworzyć musi potężną bazę materiałową, umożliwiającą wykonanie zadań przemysłu, rolnictwa, obrotu towarowego, komunikacji, budownictwa mieszkaniowego oraz urządzeń kulturalnych i socjalnych.

Zanim przystąpię do szczegółowego omówienia wskaźników planu pięcioletniego przemysłu materiałów wiążących — przypomnę czytelnikowi zasadnicze proporcje piątej Pięcioletki Stalinowskiej, a zwłaszcza podkreślę te wszystkie wskaźniki, które najbardziej rzutują na rozmiary przemysłu materiałów budowlanych, kształtując tym samym jego rozwój.

Przeciętne roczne tempo wzrostu globalnej produkcji przemysłowej w ciągu pięcioletki określa się na 13%, tak, iż wskaźnik wzrostu tej produkcji w roku 1955 wyniesie 170 w stosunku do roku 1950 przyjętego za 100.

Podstawę rozwoju gospodarczego stanowiąc będzie przemysł hutniczy. Dyrektywy ustalają zwiększenie wytopu surówki w 1955 r. o 76% w porównaniu z rokiem 1950, stali o 62%, miedzi rafinowanej o 90%, cyny o 80%, ołowiu o 170%, aluminium o 160%, i cynku o 150%.

Osiągnięcie wielkiego wzrostu produkcji przemysłowej umożliwi potężna rozbudowa bazy energetycznej, wyrażająca się wzrostem produkcji energii elektrycznej w 1955 r. o 80% w stosunku do roku 1950.

Rozbudowa elektrowni realizowana będzie w dwóch kierunkach: powstaną elektrownie wodne i ciepłe. Łączna moc elektrowni wzrośnie w okresie planu mniej więcej dwukrotnie, podczas gdy elektrowni wodnych — trzykrotnie.

Ta ze wszech miar słuszna dążność do wykorzystania energii wodnej ma poważne znaczenie dla roz-

woju przemysłu materiałów budowlanych, a zwłaszcza dla przemysłu cementowego.

Wśród najważniejszych obiektów energetycznych należy wymienić w pierwszej kolejności elektrownię Kujbyszewską i Stalingradzką na Wołdze oraz Kałchowską na Dnieprze. Ponadto w planie pięcioletnim oddane będą do użytku potężne elektrownie wodne: Kamska, Gorkowska, Ust.-Kamieniogórska, Bucharmińska i inne. Rozpoczęte będą także prace nad budową obiektu energetycznego na rzece Angarze, w celu wykorzystania taniej energii wodnej dla miejscowego przemysłu.

Wzrost o 85% wydobycia ropy naftowej idzie w parze z dwukrotnym wzrostem mocy rafinerii i powiększeniem wydobycia gazu ziemnego o 80% w stosunku do 1950 roku.

Konieczne powiększenie bazy energetycznej dla przemysłu znajdzie swój wyraz we wzroście wydobycia węgla o 43%, co osiągnięte zostanie poprzez uruchomienie mocy produkcyjnej kopalń węglowych o 33% większej, aniżeli w czwartej pięcioletce.

Bardzo ważnym warunkiem realizacji nakreślonego tempa rozwoju produkcji i postępu technicznego jest odpowiedni rozwój przemysłu budowy maszyn. Dyrektywy piątej pięcioletki przewidują dwukrotny wzrost tego przemysłu. Szybkie tempo rozwojowe osiągnięte będzie w przemyśle drzewnym i chemicznym, a zwłaszcza w produkcji sody (75%), kauczuku syntetycznego (82%), nawozów sztucznych (88%), a także kwasu siarkowego, amoniaku itd.

Niezależnie od rozwoju przemysłu środków wytwarzania, będzie można w piątej pięcioletce przystąpić do dalszej rozbudowy przemysłów konsumpcyjnych na bazie przemysłu ciężkiego i zwiększonych zasobów surowców rolniczych. Budowa wielkiej ilości zakładów przemysłu lekkiego i spożywczego pozwoli uzyskać wzrost produkcji tych przemysłów co najmniej o 70% w stosunku do ubiegłej pięcioletki.

Niezależnie od zadań jakie stawia przed przemysłem materiałów budowlanych nakreślony program rozwoju budownictwa przemysłowego zaznaczy się proporcjonalny rozwój wszystkich dziedzin budownictwa, a więc w zakresie rolnictwa, komunikacji,

obrotu, inwestycji mieszkaniowych, kulturalnych i społecznych.

Wykonanie pięcioletniego planu rozwoju gospodarczego wymaga wielkiego wysiłku, ponieważ opiera się na realizacji gigantycznego programu budownictwa inwestycyjnego, które — jak powiedział w swym referacie na XIX Zjeździe Partii Przewodniczący Państwowej Komisji Planowania — Saburow: „było u nas zawsze i pozostaje nadal podstawowym środkiem rozwiązywania najważniejszych perspektywicznych zadań gospodarczych wysuwanych przez partię komunistyczną, niezwykle ważnym czynnikiem określającym tempo i kierunek rozwoju poszczególnych gałęzi gospodarki narodowej“.

W celu omówienia piątego 5-letniego planu rozwoju gospodarczego ZSRR w zakresie przemysłu materiałów budowlanych należy chociaż pokrótce wspomnieć o osiągnięciach tego przemysłu w okresie poprzedniej pięcioletki.

Ostatni rok pierwszej powojennej pięcioletki przyniósł w stosunku do r. 1940 następujące wskaźniki wzrostu:

cement	— 180%
cegła	— 140%
dachówka	— 220%
płytki podłogowe ceramiczne	— 160%
rury eternitowe	— 280%
domy gotowe	— 510%

Aby sprostać zadaniom rozwijającego się z rozmachem budownictwa w okresie piątej pięcioletki (1951—1955) przemysł materiałów wiążących, zgodnie z dyrektywami XIX Zjazdu Partii, powinien uzyskać następujące zasadnicze wskaźniki wzrostu w stosunku do roku 1950:

cement	— 220%
wapno	— 180%
gips budowlany	— 200%

Dyrektywy XIX Zjazdu Partii kładą silny nacisk na produkcję takich materiałów budowlanych, które umożliwiają wykonywanie budów systemem przemysłowym, to znaczy przede wszystkim prefabrykowanych elementów i konstrukcji betonowych, żelbetonowych i gipsowych.

Ważnym zadaniem jest również produkcja wysokowartościowych elementów okładzinowych z ceramiki. Stosowanie tych wszystkich elementów wpłynie na znaczną obniżkę kosztów budownictwa oraz na poprawę jakości wznoszonych budynków.

Industrializacja budownictwa stawia wysokie zadania przed przemysłem gipsowym, od którego oczekuje się masowej produkcji elementów ściennych, płyt na ścianki działowe i suchej wyprawy w arkuszach.

Przeprowadzone obliczenia wskazują, że wskutek racjonalnego stosowania tych elementów, budownictwo radzieckie będzie mogło zaoszczędzić w okresie piątej pięcioletki około 5 milionów rubli i wyeliminować ponad 20 milionów robotniko-dniówek.

Planowane podwyższenie wydajności pracy i zwiększenie rozmiarów produkcji pozwoli na obniżenie kosztów własnych tak, że ceny sprzedaży materiałów budowlanych będą obniżone do końca pięcioletki co najmniej o 25÷30%.

Roboty inwestycyjne dla przemysłu materiałów budowlanych wykonane w piątej pięcioletce będą trzykrotnie wyższe niż w pierwszej powojennej pięcioletce. Do produkcji zostanie oddanych 600 zakładów,

bądź to nowozbudowanych, bądź po przebudowie i modernizacji.

Jeżeli chodzi o przestrzenne rozmieszczenie przyrostu produkcji materiałów budowlanych, to będzie on specjalnie wysoki na Uralu, Powołżu, Syberii, Dalekim Wschodzie i w Środkowej Azji.

Zgodnie z wypowiedzią wiceministra ZSRR I. Gwozdariewa, przewiduje się w okresie planu pięcioletniego poważny wzrost produkcji we wszystkich gałęziach przem. mat. bud.

#### PRZEMYSŁ CEMENTOWY

Wielkie i jednocześnie odpowiedzialne zadania jakie stawiają przed przemysłem cementowym dyrektywy XIX Zjazdu będą wykonane przede wszystkim dzięki wprowadzeniu do produkcji nowych mocy. Nowe te zakłady to radziecki typ fabryk cementu, gdzie nowoczesne urządzenia pozwolą na osiągnięcie wysokich wskaźników wydajności. Zainstalowane w tych zakładach piece obrotowe o długości 150 metrów posiadają wydajności wynoszące 27÷28 ton klinkru na godzinę. Ich urządzenia przemiałowe mogą osiągnąć wydajność ponad 30 ton cementu na godzinę.

Niezależnie od uruchamiania nowych fabryk odbywa się nieprzerwanie modernizacja starych zakładów. Przede wszystkim w kamieniołomach wapienia stosuje się jak najdalej idącą mechanizację prac ciężkich i pracochłonnych. Radzieckie maszyny do urabiania i transportu surowca pozwolą na zmechanizowanie 99% prac w kamieniołomie.

Rekonstrukcja starych pieców, połączona z zastosowaniem sztucznego chłodzenia płaszczy, podwyższy o przeszło 30% ich godzinową wydajność. Zainstalowanie indywidualnych dla każdego zakładu susząco-mielących urządzeń węglowych sprzężonych bezpośrednio z piecami obrotowymi usprawni gospodarkę paliwem i wyeliminuje szkodliwe zapylenie oddziału węglowego.

Postęp w przemyśle cementowym to nie tylko większa ilość i wyższa wydajność. Wzrastające zapotrzebowanie budownictwa wymaga produkcji specjalnych gatunków cementu. W okresie piątej pięcioletki powiększona zostanie produkcja specjalnego cementu służącego do zamykania wody w otworach wiertniczych, tak zwanego cementu tamponażowego, cementu glinowego, cementu o wysokich wytrzymałościach początkowych oraz cementów dekoracyjnych — białego i kolorowego.

Oprócz tego powstanie masowa produkcja cementu ekspansywnego, cementu odpornego na działanie siarczanów, cementu o dużej wodoszczelności i innych.

Ogólnie biorąc, w roku 1955 w porównaniu z rokiem 1950, produkcja cementu odpornego na działanie siarczanów wzrośnie 13 razy, ekspansywnego 33 razy, białego i kolorowego 2,5 raza.

#### PRZEMYSŁ WAPIENNICZY I GIPSOWY

W stosunku do roku 1950 produkcja wapna budowlanego wzrośnie w roku 1955 około 1,8 raza. Powyższy wskaźnik zostanie osiągnięty dzięki intensyfikacji procesów technologicznych i zwiększeniu wykorzystania mocy produkcyjnej. Oprócz zwykłego wapna budowlanego szereg zakładów produkować będzie wapno palone mielone i wapno hydrauliczne oraz specjalne mieszanki do wypraw.

Produkcja gipsu budowlanego wzrośnie w r. 1955 w stosunku do 1950 roku prawie dwa razy. Poza tym

najważniejszym zadaniem przemysłu gipsowego będzie powiększenie 14-krotne produkcji płyt gipsowych do suchych wypraw aż do osiągnięcia w 1955 roku 39 milionów metrów kwadratowych. Podobnie produkcja gipsowych bloków, płyt i innych gotowych elementów oraz izolacji termicznej i dźwiękowej z piany i gazogipsów wzrosnie 20-krotnie, osiągając w roku 1955 łącznie 3,6 miliona metrów kwadratowych.

Charakterystyczną cechą piątej pięciolatki w dziedzinie przemysłu gipsowego jest ogromny wzrost produkcji prefabrykowanych budowlanych elementów gipsowych w stosunku do produkcji zwykłego gipsu budowlanego. Przy końcu piątej pięciolatki 60% gipsu będzie dostarczone na budowy w postaci gotowych elementów. Dla porównania należy przytoczyć, że przy końcu poprzedniej pięciolatki około 90% ogólnej produkcji gipsu kierowane było na budowy w stanie nieprzerobionym.

### PRZEMYSŁ

#### WYROBÓW AZBESTOWO-CEMENTOWYCH

Bogata baza surowcowa umożliwiła wspaniałą rozwój tego przemysłu w Związku Radzieckim, stawiając go na pierwszym miejscu w świecie. Coraz większe żądania budownictwa stawiają przed przemysłem azbestowo-cementowym zadanie powiększenia liczby produkowanych asortymentów. Przede wszystkim dotyczy to dużych płyt do krycia dachów budynków przemysłowych i licowania budynków mieszkalnych, zwłaszcza wysokościowców oraz elementów do budowy metro. W zakładach eternitowych następuje rekonstrukcja prac i poprawa technologii drogą przyspieszenia twardnienia masy, przez stosowanie ciepłej wody, lub parowanie wyrobów.

Produkcja roku 1952 przewyższyła poziom 1940 roku: w płytach eternitowych — czterokrotnie a w rurach eternitowych — pięciokrotnie.

#### PRZEMYSŁ ŻELBETOWY

Masowe wytwarzanie budowlanych elementów żelbetowych nie było dotychczas w Związku Radzieckim skoncentrowane w organizacji typu przemysłowego. Poszczególne zakłady pracowały w ramach organizacji wykonawstwa budowlanego jako produkcja pomocnicza. W tej chwili tworzy się potężny zmechanizowany przemysł, który dostarczać będzie żelbetowych elementów i konstrukcji dla budownictwa. Trzydzieści nowych zakładów pozwoli na 16,5-krotne zwiększenie produkcji w roku 1956 w stosunku do roku 1950.

Produkcja ta zabezpieczy wybudowanie metodami przemysłowymi 5 milionów metrów kwadratowych powierzchni mieszkalnej i przemysłowej.

Rozwój produkcji elementów żelbetowych możliwy jest na bazie nowej techniki. Wytypowano wielkość

nowych zakładów o produkcji 30, 60 i 120 tysięcy metrów sześciennych żelbetów rocznie, zależnie od potrzeb. Rozmiary tych zakładów wybitnie przewyższają moce dotychczas istniejących.

W pierwszym rządzie wejdą do produkcji dwa zakłady-giganty, wytwarzające po 120 000 m<sup>3</sup> rocznie. Zakłady te obliczone są na dostarczanie wielkich płyt ściennych i dachowych oraz części szkieleto- dla 8-14 piętrowych domów mieszkalnych. Oprócz tego zakłady te między innymi produkować będą ciśnieniowe i bezciśnieniowe rury żelbetowe, podkłady kolejowe, gotowe biegi schodowe, podesty wagi do pięciu ton itp.

Rozwój przemysłu elementów żelbetowych posiada dla gospodarki radzieckiej olbrzymie znaczenie ze względu na to, że umożliwi wprowadzenie w budownictwie przemysłowych metod pracy, które wpływają na przyspieszenie tempa robót budowlanych, zmniejszenie ich pracochłonności i obniżenie kosztów budowy.

#### INNE PRZEMYSŁY

W ciągu piątej pięciolatki zostanie silnie rozwinięta racjonalna eksploatacja żużli metalurgicznych. Produkcja bloków z żużlobetonu wzrosnie dwukrotnie.

Kamieniołomy produkujące kruszywo oraz żwirowanie i piaskownie będą kompleksowo zmechanizowane.

Produkcja papy wzrosnie 1,6 raza.

Proporcje rozwojowe radzieckiego przemysłu materiałów budowlanych, stopień mechanizacji robót ciężkich i pracochłonnych, nowe wyroby i tworzywa, stosowanie postępowych metod pracy — oto wskazania, które stanowią wzór dla naszego przemysłu.

Rzecz oczywista, że warunki naszego kraju, a zwłaszcza baza surowcowa, wyznaczają inne nleco tempa rozwoju w Polsce. Pomimo jednak wielu odrębności, ogólne kierunki rozwojowe kształtują się podobnie i gospodarka nasza korzysta w coraz to większym zakresie z dorobku pierwszego państwa socjalistycznego.

Dzięki pomocy ZSRR zbudowaliśmy potężną i nowoczesną cementownię „Wierzbica“, będącą wyrazem najlepszych osiągnięć inżynierów i techników radzieckich; radzieckie maszyny i urządzenia posłużą do wydobywania i przerobu gipsu w nowym budującym się zakładzie. Wzorując się na doświadczeniach radzieckich stosujemy szybkościowy wypał cegły metodą Duwanowa, produkcję wapna metodą Smirnowa itd.

Radzieckie doświadczenia przemysłowe służą rozkwitowi naszej gospodarki, dając gwarancję wykonania i przekroczenia zadań przemysłu materiałów wiążących i zapewniając tym samym realizację wielkiego programu budownictwa socjalistycznego w Polsce.

## NOWE NORMY

### PN/B-04360 „Gips prażony półwodny. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych

Dnia 19 czerwca 1953 r. Polski Komitet Normalizacyjny ustalił normę PN/B-04360 „Gips prażony półwodny. Badanie cech fizycznych i wytrzymałościowych“. Norma określa metody wykonywania badań następujących cech fizycznych i wytrzymałościowych gipsu: czas wiązania, stopień zmielenia, wytrzymałość

na zginanie, wytrzymałość na ściskanie. W normie podano zestawienie przyrządów niezbędnych do wykonania badań, opis czynności przy poszczególnych badaniach oraz określono sposób obliczenia wyników poszczególnych badań. Przyrządy i metody badań gipsu przyjęto zasadniczo takie same, jak dla cementu.

Norma przewidziana jest do uznania za obowiązującą przez Przewodniczącego PKPG z terminem wprowadzenia w życie w 6 miesięcy od dnia ogłoszenia rozporządzenia.

Mgr Wacław Kozielski

Stalinogród

666.812—11:666.82

## Kilka uwag o chemizmie wiązania i twardnienia gipsu

Gipsowe materiały wiążące są u nas mało znane, a różnorodna receptura produkcji licznych odmian gipsów budowlanych, ich cenne własności i wielorakie możliwości zastosowań nie są jeszcze w dostatecznym stopniu włączone do służby w gospodarce narodowej.

Zrozumienie zjawisk wiązania i twardnienia stanowi podstawę do prawidłowego planowania produkcji i właściwego zastosowania różnych gipsowych materiałów wiążących.

Zjawiska te są na tyle złożone, że pełne ich zobrazowanie niemożliwe jest w skromnych ramach, które miesięcznik nasz stawia do dyspozycji autorów.

Artykuł poniższy traktujemy jako podsumowanie problemów, których pełniejszego wyjaśnienia zainteresowany Czytelnik musi szukać w dziełach specjalnych.

Redakcja

**Treść:** Radziecka i niemiecka klasyfikacja gipsów. Produkty odwodnienia gipsu. Ciepło hydratacji. Wiązanie i twardnienie jako wynik zjawisk rozpuszczania i krystalizacji. Rola zjawisk powierzchniowych. Twardość i wytrzymałość.

Podstawowe zjawiska wiązania i twardnienia gipsowych materiałów wiążących są tak skomplikowane, że pełne ich zobrazowanie przekracza ramy krótkiego artykułu.

Ażeby je uprzytomnić Czytelnikowi, podaję wykaz tych licznych asortymentów gipsu, jakie technika i handel obejmują ogólną nazwą: tworzywo wiążące — gips.

Normy radzieckie („Katalog“ 1947 r. i „Podręcznik Architekta“ 1950 r.) wymieniają:

1. Gips budowlany — trzy gatunki.
2. Gips wysokowytrzymałościowy — pięć gatunków (Odwadnianie w autoklawie przy temperaturze 124 °C i ciśnieniu 1,3 atm. lub suszenie przy 107 °C — pozwala na zmniejszenie stosunku woda/gips).
3. Gips modelarski.
4. Cement gipsoanhydrytowy (anhydrytowy) — cztery gatunki. (Przepalanie naturalnego gipsu w temperaturze 600÷700 °C i przemiał z katalizatorami: kwaśny lub obojętny siarczan sodu, ałuny, zasadowe żuźle).
5. Gips — „estrych“<sup>1)</sup> czyli gips posadzkowy — cztery gatunki. (Prażenie 800÷1000 °C, katalizatory: tlenek wapnia 3÷5%, kwaśny siarczan wapnia 1,5%, gips półwodny 5÷10%).
6. Cement anhydrytowy do robót wykończeniowych typu „ŁOR“ — cztery gatunki. (Prażenie do 350 °C, przepalanie 10% roztworem ałunu i ponowne prażenie w temperaturach 550 do 575 °C).

Normy niemieckie różnią:

1. Gips sztukatorski (Stuckgips) palony w temperaturach 120÷180 °C. Jego podtypami są gipsy formierskie, modelarskie, alabastrowe palone w temperaturach 110 ÷ 150 °C, z surowców czystych i drobniej mielonych.

<sup>1)</sup> Użycie w języku polskim nazw: gips-estrych lub gips jastrychowy — nie wydaje się stosowne. Łaciński wyraz „astaracum“ oznaczał pewien rodzaj posadzki lub klepiska: grubsze części np. kamyki spojone gliną, wapnem lub inną jednolitą masą i ubite. Stąd staropolski wyraz: jastrych lub astrych. Pochodny niemiecki wyraz „Estrich“ doprowadził do nazwy „Estrich Gips“, zgodnie z duchem tego języka. Nazwa „gips posadzkowy“ nawiązuje do typowego w obecnym czasie użytku tego produktu i jest ogólniejsza niż przestarzały „jastrych“. Używane przez niektórych autorów nazwy: gips estrowy lub hydrauliczny zostały już słusznie skrytykowane przez prasę techniczną.

2. Gips tynkarski (Putzgips), palony w temperaturze 180÷700 °C. Wiąże wolniej, ale daje produkt twardszy niż gips sztukatorski. Jego podtypy to:

- a) Gips wstępnie prażony (Vorgebrannter Putzgips) — wstępne prażenie w piecach i wykańczanie w kotłach;
- b) Zwykły gips tynkarski, poprzednio zwany gipsem budowlanym, prażony w piecach przy ograniczonym dostępie powietrza;
- c) Specjalne gipsy tynkarskie (w swoisty sposób palone często z obcymi domieszkami), stanowią raczej marki handlowe, niż grupy racjonalnej klasyfikacji.

Nadmienić należy, że poprzednie normy niemieckie do gipsów tynkarskich zaliczały gipsy palone poniżej 300 °C; produkt prażenia przy 300—320 °C nazywały gipsem martwopalonym, zaś gipsy palone w granicach 320÷780 °C nazywały gipsem budowlanym, rozróżniając przy tym: szybko wiążący anhydryt z temperaturą wypału 320÷480 °C i wolnowiążący anhydryt z temperaturą wypału 480÷780 °C. Podział ten został zaniechany.

Gips posadzkowy (Estrichgips), prażony w temperaturze 800÷1000 °C jest wolniej wiążący, twardniejący w ciągu 6÷20 godzin, o większej wytrzymałości a mniejszej rozpuszczalności w wodzie.

Gips marmurowy jest to gips sztukatorski, palony w temperaturze około 160 °C, nasycony 10% roztworem ałunu przy temperaturze 80 °C i ponownie przepalany przy temperaturze 500÷560 °C. Jest biały, twardy, wytrzymały, ale nieodporny na czynniki atmosferyczne.

Powyższe podziały, mające tylko cele praktyczne, oczywiście nie pretendują do ścisłości. Natomiast naukowo wyodrębniono następujące związki chemiczne, pochodzące bądź od gipsu czyli dwuwodnego siarczanu wapnia  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , bądź od naturalnego anhydrytu czyli bezwodnego siarczanu wapnia  $\text{CaSO}_4$ .

1. Półhydrat —  $\alpha$  —  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ . (Używamy tego powszechnie przyjętego przez techników wzoru, chociaż należałoby pisać  $2 \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). — Otrzymać go można przez nagrzewanie dwuhydratu w wodzie do temperatury nie niższej niż 97 °C lub w parze nasyconej albo też przez wykryształowanie z kwaśnych roztworów.

2. Półhydrat —  $\beta$  —  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  otrzymywany przez nagrzewanie dwuhydrytu do  $100^\circ\text{C}$  w próżni lub w atmosferze pozbawionej pary wodnej.

Oba te półhydraty mają zdolność przyłączania i odszczepiania do 2% wody. Zjawisko to prowadzi do utworzenia nietrwałych związków  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,6 \text{H}_2\text{O}$  i  $\text{CaSO}_4 \cdot 2/3 \text{H}_2\text{O}$ .

Obie formy półhydratów mają różne ciepło hydratacji, ciepło właściwe, ciepło rozpuszczania, ciężar właściwy i zachowują się niejednakowo w reakcjach chemicznych.

Ogólnie można stwierdzić, że formy  $\alpha$  zarówno półhydratów jak i wyprowadzających się od nich anhydrytów powstają przy dehydratacji powolnej i spokojnej, formy zaś  $\beta$  — przy dehydratacji gwałtownej np. w temperaturach wyższych.

3. Anhydryt rozpuszczalny  $\alpha$ , zawierający 0,02 do 0,05% wody, powstaje przez dehydratację półhydratu  $\alpha$  w temperaturze  $110 \div 120^\circ\text{C}$ .

4. Anhydryt rozpuszczalny  $\beta$ , zawierający 0,2% wody nie odszczepiającej się nawet przy  $300^\circ\text{C}$ , otrzymuje się przez nagrzewanie półhydratu  $\beta$  do  $200^\circ\text{C}$ . Oba powyższe rodzaje gipsu bezwodnego tak chciwie pochłaniają wilgoć, że mogą być używane jako środki suszące na równi z chlorkiem wapnia lub z kwasem siarkowym.

Tak przy produkcji gipsów technicznych przez „gotowanie” w kotłach jak i w doświadczeniach laboratoryjnych stwierdzono trzy okresy burzenia się masy w określonych temperaturach, a mianowicie: najpierw rozkład dwuhydrytu, później półhydratu  $\beta$  i wreszcie półhydratu  $\alpha$ .

Stwierdzono, że te trzy procesy są endotermiczne. Odwrotne procesy, egzotermiczne, połączone ze zmianami rozpuszczalności przy zmianach temperatur, są niewątpliwie etapami przy wiązaniu gipsu.

5. Anhydryt nierozpuszczalny: otrzymuje się przez dehydratację gipsu przy  $900^\circ\text{C}$ , chociaż zaczyna się on tworzyć już począwszy od  $200^\circ\text{C}$ .

Głównym składnikiem gipsu budowlanego jest gips półwodny, gipsu posadzkowego — nierozpuszczalny anhydryt, gipsy zaś tynkarskie są mieszaninami gipsów półwodnych i anhydrytów.

Ze wymienione wyżej stopnie dehydratacji są dostatecznie zidentyfikowane, widać to np. z różnych wielkości ciepła hydratacji, które przy przejściu do hydratu dwuwodnego wynosi:

dla półhydratu $\alpha$	4100 kal/mol
dla półhydratu $\beta$	4600 kal/mol
dla anhydrytu rozpuszczalnego $\alpha$	6150 kal/mol
dla anhydrytu rozpuszczalnego	7210 kal/mol
dla anhydrytu nierozpuszczalnego	4030 kal/mol

Z powyższego opisu wynika, że o jakości hydratu lub anhydrytu decyduje nie tylko temperatura, przy której odwodnienie nastąpiło lecz również szereg innych warunków jak środowisko, ciśnienie, czas trwania procesu itd. Stąd i w technice rozróżniamy wiele gatunków gipsu otrzymanych dzięki różnym metodom produkcji. Interesują nas dwa zagadnienia: wiązanie i twardnienie gipsu.

Wiązanie jest zamianą wodnej zawiesiny i wodnego roztworu na ciało stałe, w skład którego wchodzi albo tylko gips (w zaczynach gipsowych) albo również ciała obce np. piasek, żużel (w gipsowych zaprawach).

Spojwa gipsowe powiększają swoją objętość przy wiązaniu okrągło o 1%. Twardnienie gipsu jest procesem dalszym, choć bezpośrednio potem następującym<sup>1)</sup>.

Mimo woli nasuwa się porównanie z wiązaniem i twardnieniem zaczynu cementowego, ale oba wypadki są zasadniczo różne. Wiązanie i twardnienie cementu jest jednym procesem — hydratacją. Im dalej hydratacja jest posunięta, tym cement jest twardszy. Stąd konieczność jak najdłuższego utrzymywania cementu w stanie mokrym. Takie postępowanie z gipsem jest niemożliwe ze względu na jego rozpuszczalność i stosowanie w środowisku suchym.

Rozpatrzmy najpierw kilka zjawisk i stanów prostszych, które składają się na takie zjawisko złożone, jakim jest wiązanie i twardnienie gipsu.

Rozpuszczalność. Gips dwuwodny rozpuszcza się w wodzie przy  $18^\circ\text{C}$  w 0,2016%. Z podwyższeniem temperatury rozpuszczalność rośnie aż do  $42^\circ\text{C}$  a powyżej tej granicy znów maleje. Dane liczbowe pochodzące z różnych źródeł mogą się poważnie różnić, ponieważ gips łatwo daje roztwory przesycone a ponadto rozpuszczalność jego jest różna przy niejednakowym stopniu zmielenia próbki.

W temperaturze zwykłej anhydryt jest bardziej rozpuszczalny niż gips dwuwodny a gips półwodny więcej niż anhydryt. Ogólnie mówiąc formy w danej temperaturze nietrwale rozpuszczają się lepiej od trwałych. (Tak samo np.: roztwór nasycony dla trwałej formy  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  będzie nienasycony dla siarczanu sodu bezwodnego, formy nietrwalej). Stąd strącanie się roztworów (w temperaturach niższych od  $42^\circ\text{C}$ ) dwuwodnego gipsu jako formy trwałej zarówno w przyrodzie jak i w procesach technologicznych.

W temperaturach wyższych rozpuszczalność anhydrytu maleje szybciej niż gipsu dwuwodnego; rozpuszczalność anhydrytu jest mniejsza niż gipsu dwuwodnego (strąca się anhydryt). Tym się tłumaczy powstawanie naturalnych złóż anhydrytu z gorących roztworów soli kuchennej.

Alkaliczność środowiska, wywołana np. przez obecność wapna, zwiększa rozpuszczalność anhydrytu, a zmniejsza rozpuszczalność dwuhydrytu aż do 0,159% (por. rola przyspieszaczy).

Krystalizacja, czyli wydzielenie się kryształów z roztworów nasyconych lub przesyconych, następuje bądź przez zmniejszenie ilości rozpuszczalnika, bądź na skutek jakiegoś bodźca zewnętrznego — jeżeli chodzi o roztwory przesycone, bądź też przez powstanie nowego, mniej rozpuszczalnego hydratu. Wszystkie te wypadki spotykamy w zjawisku wiązania i twardnienia gipsu.

Znane jest zjawisko przyspieszania krystalizacji przez wprowadzanie do roztworu kryształów „zarodkowych”, jakby ośrodków krystalizacyjnych, kryształów tej samej substancji, która właśnie ma z roztworu wykrystalizować. W przypadku wiązania gipsu będą to kryształy dwuhydrytu — w gipsie sztukatorskim i półhydratu (a nawet dwuhydrytu) — w gipsach anhydrytowych. W obu przypadkach te pozostałości z niepełnej hydratacji odgrywają właśnie rolę kryształów „zarodkowych”.

<sup>1)</sup> Nie wyodrębnia tych procesów mgr inż. Sikora, pisząc („Cement-Wapno-Gips” nr 12/1951): Na rekrystalizacji spowodowanej różnicą rozpuszczalności gipsu półwodnego i dwuwodnego polega zjawisko twardnienia zaczynu gipsowego zwane wiązaniem gipsu.



Dla ułatwienia krystalizacji dodawane są również ciała obce, zwane przyspieszaczami lub aktywatorami lub — może niesłusznie — katalizatorami. Próbowano je podzielić na alkaliczne (najczęściej wapno) i siarczanowe, np. siarczan sodu obojętny i kwaśny, siarczan potasu i cynku, aluny.

Zbliżony efekt daje tak zwana arydyzacja, stosowana coraz częściej przy produkcji gipsów półwodnych. Polega ona na wprowadzaniu w stanie stałym lub w roztworze (przez wdmuchiwanie sprężonym powietrzem) związków rozpuszczalnych i hygroskopijnych, np. chlorków, siarczanów, azotanów, fosforanów, wodorotlenków z kationami grupy potasowców lub ziem alkalicznych lub z amonem. Są również używane sole kwasów organicznych np. octowego, winowego, cytrynowego. Związki te obniżają prężność pary, a tym samym i temperaturę powstawania półhydratów, co korzystnie wpływa na powstawanie dwuhydratu podczas wiązania.

Aktywatory, obok zwiększenia twardości, powodują również zwiększenie wytrzymałości. Nie powinny jednak powodować pęcznienia gipsu pod wpływem wilgoci. Z tego względu krzemionka odpadkowa przy produkcji związków glinowych (w literaturze niemieckiej zwany „Si-Stoff“) nie nadaje się jako aktywator, chociaż poważnie zwiększa wytrzymałość.

Aktywatory stosuje się nie tylko do produktów technicznych. Również naturalny mielony anhydryt pod wpływem aktywatorów daje spoiwo o dostatecznej wytrzymałości, nadające się do użytku w budownictwie i zastępujące nawet gips posadzkowy<sup>1)</sup>. Tak zwany „syntetyczny estrich“ radzieckiego prof. Buńnikowa jest naturalnym anhydrytem zmielonym z dodatkiem 5÷10% wapna.

Zjawiska powierzchniowe, zależne od struktury cząsteczek, odgrywają ważną rolę w procesie wiązania gipsu. W miarę wzrostu temperatury prażenia, obraz mikroskopowy wykazuje coraz mniej tabliczek, włókien i igieł oraz staje się coraz więcej ziarnisty, co korzystnie wpływa na wiązanie. Optimum temperatury dla uzyskania budowy drobnoziarnistej wynosi dla gipsu posadzkowego 800÷900 °C, niekiedy 950÷1000 °C, po czym następuje zeszklenie.

Rozwinięta powierzchnia cząsteczek przyspiesza hydratację, jednakże poza pewną granicą zmusza ona do nadmiernego powiększenia stosunku: woda/gips, co niekorzystnie wpływa na wytrzymałość).

Twardość i wytrzymałość. Gips naturalny ma twardość według skali Mohs'a 1,5÷2, anhydryt 3÷4. Stąd wniosek, że pewna ilość nieuodwodnionego anhydrytu nie powinna zmniejszać twardości.

Wytrzymałość gipsu zależy między innymi od temperatury, przy której wiązanie zachodzi. Gips posadzkowy wiążący przy temperaturze 3÷6 °C ma wytrzymałość o 1/3 słabszą niż taki sam gips wiążący przy temperaturze 16 °C. Przy wzroście temperatury do 54 °C wytrzymałość wzrasta, a przy dalszym wzroście znowu maleje.

Jeżeli chodzi o stosunek woda/gips, to najkorzystniejszą wytrzymałość uzyskujemy przy wielkości 0,20 do 0,25.

W świetle powyższego, wiązanie gipsów technicznych polega na zamianie nietrwałych i łatwo rozpuszczalnych form siarczanu wapnia na formę trwałą

i trudno rozpuszczalną, a mianowicie na dwuhydrat. W gipsach sztukatorskich hydratacja jest pełna. Gips prażony przy 140 °C jest całkowicie uwodniony w ciągu 10÷20 minut.

Rola hydratów pośrednich — z ilością wody większą niż w półhydracie a mniejszą niż w dwuhydracie nie jest wyjaśniona.

W gipsie posadzkowym „zarodkami“ krystalizacji są cząsteczki półhydratu lub dwuhydratu, o czym była już mowa wyżej.

Półhydrat w ilości 10% jest jeszcze korzystnym składnikiem. Anhydryt przy uwodnieniu przechodzi od razu w formę trwałą czyli w dwuhydrat, ale przechodzi powoli i niecałkowicie. Gips posadzkowy wiąże:

po 2 dniach	2,2% wody
po 2 tygodniach	5,5% wody
po 11 tygodniach	11,0% wody
po 1 roku	13,5% wody

zamiast teoretycznych 21% wody.

Z tych właśnie powodów obce aktywatory, pożądane w gipsach sztukatorskich, są konieczne w gipsie posadzkowym. O ile w gipsie sztukatorskim wiązanie jest tylko hydratacją a twardnienie tylko wysychaniem, lub połączoną z tym ostatnim jakąś formą dodatkowej krystalizacji, to w gipsie posadzkowym, tak słabo zhydratyzowanym, występują złożone reakcje chemiczne pomiędzy anhydrytem a aktywatorami.

Z tych ostatnich najważniejsze jest wapno. Tworzy się ono przy prażeniu gipsu przez dysocjację siarczanu wapnia  $\text{CaSO}_4$  na tlenek wapnia  $\text{CaO}$  i bezwodnik siarkowy  $\text{SO}_3$ . Z czystego anhydrytu powstaje:

przy 800÷1000 °C	do 0,51% $\text{CaO}$
przy 1200 °C	do 3,91% $\text{CaO}$
przy 1300 °C	do 6,97% $\text{CaO}$

Drobne ilości siarczanu wapnia dysocjują nawet w temperaturach niższych od 800 °C.

Wapno tak wytworzone ma odrębne własności: jest odporne na parę przegrzaną i na dwutlenek węgla czyli nie karbonizuje się. Dlatego przypisuje się mu formę raczej związaną, np. zasadowego siarczanu lub twardego roztworu z siarczanem wapnia. W każdym razie wapno to hydrolizuje, co tu jest istotne.

Wytrzymałość anhydrytu wzrasta ze zwiększeniem procentu wapna. Przy dodatku około 3,1% wapna wytrzymałość wynosi 345  $\text{kg/cm}^2$  a przy dodatku wyższym — gwałtownie spada. Zastąpienie całkowite wapna z dysocjacji przez wapno z węglanów okazało się niecelowe, ponieważ to ostatnie jest w stanie pulchnego proszku i łatwo karbonizuje się.

Ogólna ilość wapna w gipsie posadzkowym nie powinna przekraczać 5%.

Dodatek do gipsu gliny, krzemionki, tlenków żelaza obniża temperaturę rozkładu siarczanu wapnia (800 do 1000 °C) i prowadzi do układów:  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  itp., które w drodze hydrolizy dają uwodnione krzemiany i gliniany, będące jednym z czynników twardnienia gipsu posadzkowego.

W tym punkcie analogia z twardnieniem cementu występuje dość wyraźnie. Związany gips posadzkowy stanowi zatem niezhydratyzowany częściowo anhydryt spojony nie tylko cząsteczkami hydratów, ale i dość pokaźnymi ilościami krzemianów i glinianów wapnia.

Natomiast szkodliwy jest w gipsie posadzkowym siarczek wapnia, powstający w atmosferze redukcyjnej. Już 0,07% tego składnika narusza wiązanie, po-

1) „Materiały budowlane“ 1952 zes. III

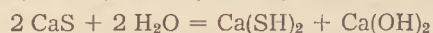
woduje powstawanie szczelin i zmniejsza wytrzymałość.

Racjonalny skład gipsu posadzkowego prawidłowo wiążącego powinien być następujący:

anhydryt nierozpuszczalny	85÷75%
aktywny tlenek wapnia	2÷5%
półhydrat gipsu	8÷15%
glina	5÷10%

Oprócz odpowiedniego dozowania składników niemniej ważny jest dobór właściwej granulacji. Podczas prażenia frakcje drobne oraz powierzchnie frakcji grubych powinny się zdążyć zdysocjować, przy nienaruszalności głównej masy anhydrytu. Optimum temperatury prażenia wynosi 900÷1000 °C. Niemniej skomplikowany jest chemizm wiązania gipsów komponowanych np. wysoce wartościowych hydraulicznych gipsów żuźlowych, w skład których wchodzi na jedną część gipsu półwodnego 0,5÷4 części mączki żuźlowej. W tym wypadku wiązanie i twardnienie, przy jednoczesnym narastaniu wytrzymałości, przebiega według następującego schematu:

1. Hydratacja gipsu półwodnego, dająca szybkie wiązanie i kamieniecie masy.
2. Reakcja chemiczna pomiędzy rozpuszczającym się gipsem a glinianem wapnia z żuźła, prowadząca do trwałego związku: sulfoglinianu wapnia (aktywizacja siarczanowa).
3. Reakcja między krystalicznym siarczkiem wapnia (z żuźła) a wodą według równania:



Wodorotlenek wapnia działa na zeszkłone części żuźła (aktywizacja alkaliczna).

Pod wpływem dwutlenku węgla sulfohydrat wapnia rozkłada się według równania:



Wodorotlenek wapnia i woda dają ze składnikami żuźła krzemian jednowapniowy i glinian dwuwapniowy.

Procesy te następują kolejno. Wytwarzający się najpierw hydratyzowany gips powleka się siarczanoglinianami wapnia a w końcu krzemianami wapnia. Kryształy więc dwuhydratu zabezpieczone są przez powłoki twarde i nierozpuszczalne. Stąd duża wytrzymałość tak komponowanych gipsów i ich hydrauliczność.

## Z PRASY ZAGRANICZNEJ

### PIT AND QUARRY (USA) — T. 46, Nr 1, LIPIEC 1953 R.

Zgodnie z wieloletnią tradycją każdy lipcowy numer tego bogato ilustrowanego miesięcznika poświęcony jest przemysłowi cementowemu. Tegoroczny zeszyt cementowy przynosi kilka interesujących opisów fabryk i daje pogląd na kierunki rozwojowe amerykańskiego przemysłu cementowego.

Na wstępie zwraca uwagę omówienie dwóch pieców obrotowych o jednakowych wymiarach, z których jeden posiada strefę łańcuchową, drugi zaś zaopatrzony jest w filtry szlamowe Oliviera, a oba wykazują jednakowe zużycie paliwa ciekłego.

Opis nowej cementowni na Florydzie ilustrowany jest planami fabryki i niektórych jej oddziałów, z których szczególnie interesujący jest oddział mielenia surowca z młynami pracującymi w cyklu zamkniętym. Fabryka eksploatuje złoża muszli, przy czym materiał czerpie się chwytkiem, a następnie przemycza i odsiewa w dużej instalacji umieszczonej na pływającej barce.

Gipsy te są szczególnie interesujące w naszych warunkach w odczytanie obfitości gipsu, niewyzyskania żuźła i deficytowości cementu.

Jakie korzyści mieć może z nich praktyka budowlana, widać z poniższych przykładów własności betonów produkowanych na gipsie żuźlowym:

Gips wysokowytrzymałościowy	Żużel mielony	Piasek rzeczny	Żwir	Wytrzymałość na ścislenie po 28 dniach kg/cm <sup>2</sup>
0,445	0,555	2,34	5,3	118
0,445	0,555	1,35	3,0	158
0,445	0,555	0,81	1,84	232

Gips wysokowytrzymałościowy w tych gipsowych betonach jest innym tworzywem niż gipsy opisane wyżej według radzieckiego „Katalogu” 1947 r. Jest to mianowicie produkt, otrzymany przez samozaparcie gipsu naturalnego w temperaturze 124 °C (przy 1,3 atm.) i suszenie przy nieprzerwanym dostarczaniu ciepła, a to dla uniknięcia ponownej, wtórnej, choć częściowej hydratacji; składa się on przeważnie z półhydratu α i z odpowiedniego rozpuszczalnego anhydrytu.

Widzimy więc, że wiązanie i twardnienie gipsu jest procesem zawiłym<sup>1)</sup> i w wielu punktach dotychczas nie wyjaśnionym. Na przykład zgoła nie znamy różnicy w składzie chemicznym tak różnych substancji jak alfa i beta odmiany półhydratów i anhydrytów. Obserwacja i doświadczenie gromadzą coraz więcej faktów, coraz bardziej interesujących. Ale ujęcie ich w jedną teorię, teorię dla techniki twórczą i kierowniczą, jest jeszcze kwestią przyszłości.

### LITERATURA

1. „Katalog stroitielnych materialow i izdelij” Rozdział VII Wjąszszczije materialy. Akademia architektury. Moskwa 1947.
2. Wołzenskij — „Estrich-Gips”. Biuro technicznych informacji. Moskwa 1947.
3. Czasopismo „Silikattechnik” — Berlin 1952 zes. III.
4. Stegmann — „Das grosse Baustofflexikon”. — Berlin 1944.
5. R. Wendehorst — „Baustoffkunde” — Lipsk 1944 — Wydanie X.

<sup>1)</sup> Przykładem nieuzasadnionych uproszczeń i zbyt pochopnych uogólnień jest praca inż. Kühla („Materialy Budowlane” 1951/XII, „Gips jako tworzywo wiążące”), oparta zresztą na źródłach już przestarzałych.

Sredniej wielkości cementownia w rejonie Nowego Jorku została ostatnio zmodernizowana i przebudowana z metody suchej na moką.

Duże zapotrzebowanie cementu w Chile szczególnie w rejonie stołecznym stworzyło konieczność wybudowania tam cementowni. Opis tej fabryki jest szczególnie ciekawy z uwagi na omówienie oddziały flotacji surowca, którego zadaniem jest obniżenie zawartości krzemionki.

Wyczerpujący artykuł poświęcony jest programowi rozbudowy siedmiu cementowni kalifornijskich.

Przedstawiciel znanej firmy zbrojeniowej w krótkim artykule powraca do sprawy odstrzeliwania pierścieni w piecu przy pomocy specjalnej armatki i swoje wywody popiera przykładami z praktyki kilku fabryk.

Opis działalności amerykańskiej stanowej służby geologicznej zamyka listę ciekawszych artykułów tego zeszytu, który, jak zwykle, zaopatrzony jest w obszerny materiał reklamowy dotyczący maszyn i urządzeń dla przemysłu mineralnego.

## PRZEGLĄD CZASOPISM ZAGRANICZNYCH

ZEMENT-KALK-GIPS (WIESBADEN), T. 6/42,  
N. 5 — MAJ 1953 R.

Tegoroczny majowy zeszyt poświęcony jest dorocznej naradzie Niemieckiego Związku Cementowego i zawiera 59 stron tekstu oraz obszerny dział ogłoszeń przemysłu maszynowego produkującego urządzenia dla fabryk materiałów wiążących.

Na pierwszym miejscu znajdujemy monograficzny artykuł o betonie napowietrzanym. Wstępne uwagi autora o znaczeniu betonu napowietrzonego i dane dotyczące historii zagadnienia zasługują na bliższe poznanie.

W. Anselm, z właściwą sobie gruntownością, opierając się na licznych danych liczbowych z praktyki, w obszernym streszczeniu swej dużej pracy dokonuje porównania różnych typów pieców obrotowych, uzyskując w wyniku szereg wskaźników, które mogą stanowić podstawę do kontroli pracy pieców.

Zagadnieniu spadku wytrzymałości cementu, spowodowanego niską temperaturą otoczenia w okresie twardnienia, poświęcony jest sumienny artykuł zakończony wnioskami o wpływie stosunku  $C_4AF : C_3A$  na spadek wytrzymałości próbek przechowywanych w niskich temperaturach.

Obszerny opis nowego urządzenia do automatycznego prowadzenia pieca obrotowego świadczy o powściązkiej w świecie dążności do automatyzacji procesów technologicznych. Artykuł inspirowany jest zapewne przez firmę Brown, Boveri Co, która dostarcza omawiane urządzenia.

Dłuższy artykuł dotyczy szczegółów konstruowania nowoczesnych dużych pieców obrotowych. Omówione są w nim zagadnienia spawania płaszcza, montażu pierścieni tocznych, smarowania rolek, uszczelnienia głowicy i wielu innych elementów pieca.

Krótsze notatki dotyczą pomiarów pyłów w cementowniach, nowej odmiany pieca „Lepol“, napełniania młynów i kilku zagadnień z technologii betonu.

Obszernie streszczenia licznych referatów wygłoszonych na konferencji Komisji Techniki Pyłowej VDI odbytej w Essen w marcu 1953 pozwalają zorientować się w dzisiejszym stanie badań w tej dziedzinie.

Sprawozdania ze zjazdu Niemieckiego Związku Betonowego odbytego w kwietniu 1953 w Stuttgarcie i z narady roboczej Austriackiego Związku Betonowego odbytego w Wiedniu w marcu 1953 przynoszą liczne skróty referatów omawiających różne zagadnienia betonowej techniki budowlanej.

REVUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION  
(C). N. 452 MAJ 1953.

Oparty o wieloletnią tradycję i oddawna u nas znany miesięcznik wychodzi w trzech mutacjach. Zeszyty oznaczone literą C poświęcone są materiałom wiążącym oraz zagadnieniom betonu i prefabrykacji.

Na łamach miesięcznika redakcja udziela miejsca autorom licznych krajów, a obok artykułów krótszych, mieszczących się w całości w jednym numerze, umieszczane są także duże, monograficzne opracowania, których rozdziały ukazują się w kilku kolejnych zeszytach.

Numer majowy zawiera wypowiedź znanego badacza termochemii powstawania klinkru — niemieckiego technologa H. Zur Strassen, który polemizuje z teza-

mi dłuższej pracy W. Anselma, zamieszczonej w kilku tegorocznych numerach czasopisma, a dotyczącej rachunkowego ujęcia zjawisk zachodzących w piecu obrotowym.

Powazną część omawianego zeszytu zajmuje czwarty rozdział dużej monografii o strukturze żużla wielkopieczowego, pióra znanego badacza francuskiego J. Clèret de Langavant. Całość opracowania określić należy niewątpliwie jako niezmiernie interesujące i kompletne ujęcie wszystkich zagadnień dotyczących struktury i hydratacji żużla wielkopieczowego.

Chemik nowojorskiego oddziału firmy F. L. Smidth, B. R. Jacobsen, w krótkim, ale interesującym i popartym danymi liczbowymi artykule omawia zagadnienie forsowania pieca obrotowego i zaleca zachowanie równowagi między uzyskiwaniem maksymalnej produkcji a rosnącymi przy tym kosztami ruchu pieca.

Dwaj badacze szwedzcy w niewielkiej notatce omawiają mechanizm wypalania wapna i proponują nową metodę badania aktywności wapna, polegającą na badaniu wzrostu ciężaru próbki, poddawanej działaniu wilgotnego powietrza w specjalnym aparacie.

Problematyka betonu reprezentowana jest w omawianym zeszycie obszerną pracą o granulometrii betonu wibrowanego i artykułem o zastrzykach cementu w zastosowaniu do budowy wielkich zapór wodnych.

Zeszyt zamknięty jest jak zwykle obszernym i wzorowo redagowanym biuletynem dokumentacji, obejmującym wszystkie zagadnienia leżące w profilu miesięcznika.

ZEMENT-KALK-GIPS, T. 6/42, N. 8, SIERPIEN  
1953 R. (WIESBADEN).

Na początku zeszytu zwraca uwagę krótki, ale interesujący artykuł o nowych obserwacjach dotyczących odkrytej przed paru laty odmiany krzemianu dwuwapniowego, nazwanej od nazwiska odkrywcy bredigitem, a określonej jako odmiana alfa prim. Autor informuje, że odmiany tej na szlifie w świetle padającym nie można odróżnić od postaci beta.

Znany konstruktor pieców obrotowych F. Kaminsky w obszernym artykule podaje szczegóły urządzeń do zlikwidowania poosiowego ruchu pieca obrotowego. Druga część artykułu omawia zużycie rolek tocznych pieca i zwraca uwagę na konieczność fachowej opieki nad rolami.

Szwedzki technolog Backman analizuje krytycznie metody oceny wapna palonego, opisuje nowy aparat do oznaczania dwutlenku węgla i dochodzi do przekonania, że laboratoryjne próby gaszenia i określania wydajności wapna na ogół nie dają porównywalnych wyników. Autor zaleca chemiczne metody określania aktywności wapna.

Obszerny, dość chaotycznie napisany i ilustrowany artykuł przynosi zestawienie dotychczasowych prac dotyczących elektrycznego ogrzewania betonu i zawiera sprawozdanie z nowszych badań autora.

Interesujące informacje o nowej, elektrycznej wadze klinkrowej znajdujemy w artykule ilustrowanym licznymi szkicami.

Kilka mniejszych wzmianek z dziedziny technologii betonu zamyka tekstową część zeszytu, który zakończony jest jak zwykle bogatym zbiorem wiadomości o światowym przemyśle cementowym.

### Uwaga, inżynierowie i technicy!

Na podstawie ustawy z dnia 18 lipca 1950 r. w sprawie rejestru inżynierów i techników (Dz. U.R.P. Nr 36 poz. 329) wszyscy absolwenci wyższych i średnich szkół technicznych **obowiązani są** przed upływem 30 dni od chwili uzyskania tytułu inżyniera lub technika **rejestrować się w Naczelnej Organizacji Technicznej**, prowadzącej rejestr.

Obowiązek ten dotyczy również osób wykonujących czynności powierzane zwykle inżynierom lub technikom, bądź też zajmujących stanowiska powierzane zwykle inżynierom lub technikom.

Osoby, które już rejestrowały się bądź w ogólnej rejestracji (w 1950 r.) bądź po dniu zakończenia spisu, obowiązane są zgłaszać zmiany: stopnia zawodo-

wego lub naukowego, miejsca pracy, stanowiska i miejsca zamieszkania przed upływem 30 dni od chwili nastąpienia zmiany.

Kto świadomie lub przez niedbalstwo uchylił się od obowiązków przewidzianych ustawą, podlega karze aresztu i grzywny albo jednej z tych kar, zgodnie z art. ustawy z dnia 18 lipca 1950 r.

Obowiązkowi rejestracji należy dopełnić w Biurze Rejestru Inżynierów i Techników w **Warszawie ul. Czackiego 3/5** lub w **wojewódzkich oddziałach NOT**.

**Zmiany**, poparte dokumentami, należy zgłaszać osobiście lub drogą korespondencji w **Biurze Rejestru Inżynierów i Techników w Warszawie ul. Czackiego 3/5**.

Naczelna Organizacja Techniczna

# Państwowe Wydawnictwa Techniczne

## NOWOŚCI WYDAWNICZE

- BARTOSZEWICZ S., PIECHOWICZ M.: Nawilżanie gliny parą w przemyśle ceramiki budowlanej. 1953, s. 60, zł 3.50
- BESKI W.: Schematy czyszczareń młyńskich. 1953, s. 64, zł 3.90
- BIEŁOW M. W., KARTASZEW I. P.: Mechanizacja pracochłonnych operacji. Tłum. z ros. W. Natanson. 1953, s. 32, zł 1.50
- BOGDANOW S. G.: Metaloznawstwo i obróbka cieplna stali. Tłum. z ros. W. Chitruk. 1953, s. 260, zł 20.— (w oprawie)
- CIBOROWSKI J.: Inżynieria chemiczna. Część 3. 1953, s. 368, zł 45.— (w oprawie)
- CZAJKOWSKA J.: Próbkę geologiczne i rdzenie wiertnicze. 1953, s. 49, zł 3.—
- CZEMPINSKI S.: Roboty zbrojarskie w budownictwie. 1953, s. 83, zł 5.60
- CZYŻ E.: Wzory i przykłady liczbowe obliczeń statycznych. Zeszyt XIV — 1953, s. 70, zł 6.20. Zeszyt XV. 1953, s. 92, zł 7.20
- Cynowanie galwaniczne. Tłum. z ang. K. Tarnowski. 1953, s. 32, zł 2.40
- DRECKI A.: Naparzalnie niskoprężne. 1953, s. 186, zł 14.50
- Elastometry i plastometry. Tom III — Badania i analiza oraz własności w układzie tabelarycznym. Tłum. z ang. zespol. 1953, s. 155, zł 22.—
- GIERDZIEJEWSKI K.: Odlewnictwo. Wyd. 2 poprawione i uzupełnione. 1953, s. 356, zł 11.50
- KARRER P.: Chemia organiczna. Tom I. Część II—IV. Tłum. z niem. zespol. 1953, s. 299, zł 24.50
- RĄDZIAŁKO S.: Fundamentowanie. 1953, s. 166, zł 18.50
- KLIMIENKO R. J.: Sposoby podniesienia wydajności pracy w przemyśle maszynowym ZSRR. Tłum. z ros. E. Koch. 1953, s. 172, zł 10.90
- KORCZAGIN W. N., NIKOLSKI W. S.: Normowanie w kopalni. Tłum. z ros. H. Dębska. 1953, s. 124, zł 12.—
- KOSMACZEW I. G., LEBIEDIEW N. A.: Ostrzarka anodowo-mechaniczna konstrukcji N. A. Lebediewa. Tłum. z ros. Z. Kościółek. 1953, s. 44, zł 2.30
- KOTARSKI Z.: Trzcina i jej zastosowanie w budownictwie. 1953, s. 92, zł 6.50
- KOWALIK J.: Zakłady materiałów budowlanych. 1953, s. 135, zł 9.—
- KOWALSKI F.: Użytkowanie i konserwacja sprzętu pożarniczego. 1953, s. 152, zł 8.70
- KOZŁOWSKI T.: Wytwarzanie i własności lotnych produktów koksowania. 1953, s. 64, zł 4.—
- LEBIEDIEW W. S.: Produkcja płyt stolarskich. Tłum. z ros. A. Zakrzewski. 1953, s. 60, zł 5.—
- MATALIN A. A.: Podstawy wymiarowe i technologiczne. Tłum. z ros. W. Wasiliew. 1953, s. 150, zł 11.90
- MAZUR M.: Elektryczne urządzenia grzejne. 1953, s. 378, zł 36.50 (w oprawie)
- MOISIEJEW S. L.: Mistrz organizator wzorcowego odcinka budowlanego. Tłum. z ros. I. Kołodzki. 1953, s. 26, zł 2.—
- MONES I. M.: Zastosowanie tarcz małej średnicy do budowy miejskich budowli podziemnych. Tłum. z ros. W. Szczek. 1953, s. 234, zł 15.—
- MYRONOWICZ M.: Anodowe wytwarzanie powłok na aluminium. 1953, s. 56, zł 3.50
- POPOWA E. I.: Przenośniki montażowe w przemyśle drzewnym. Tłum. z ros. T. Sawicki. 1953, s. 127, zł 9.80
- PRZEGALIŃSKI S.: Katalog stali konstrukcyjnych. Wyd. 2 poprawione. 1953, s. 124, zł 11.—
- STAPP H.: Podstawy chemii i technologii dla zatrudnionych w przemyśle. Tłum. z niem. Z. Bańkowski. 1953, s. 376, zł 28.50
- SYROMIATNIKOW I. A.: Praca silników asynchronicznych. Tłum. z ros. B. Walentynowicz. 1953, s. 224, zł 23.— (w oprawie)
- SZAREJKO W.: Wielowarstwowe wiązanie murarskie. 1953, s. 106, zł 6.—
- SZPOR S.: Ochrona odgromowa. Tom I. 1953, s. 410, zł 51.50 (w oprawie)
- SMIAŁOWSKI M.: Podstawy chemii fizycznej. 1953, s. 260, zł 12.—
- Taktyka walki z pożarami. Komenda Główna Straży Pożarnych. 1953, s. 170, zł 8.50
- TIERPIGORIEW A. M., DIEMIDOW P. N., PROTODIAKOW M. M.: Maszyny górnicze do wybierania pokładów kopalni użytecznych. Tłum. z ros. L. Ballenstedt i O. Przysiecki. 1953, s. 512, zł 45.20 (w oprawie)
- WALIDUDA A.: Ogólne wiadomości o nafcie. 1953, s. 88, zł 5.50
- WOJCIECHOWSKI W.: Roboty malarskie w budownictwie. 1953, s. 131, zł 6.70

Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki