

Znaczko-Jaworski, Igor

Z historii odkrycia sztucznego cementu hydraulicznego

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 5/2, 205-223

1960

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Igor L. Znaczko-Jaworski

Z HISTORII ODKRYCIA SZTUCZNEGO CEMENTU HYDRAULICZNEGO*

Do połowy XVIII w. zgodnie z odziedziczoną z czasów rzymskich tradycją i bez uwzględniania miejscowych warunków surowcowych stosowano najczęściej jako materiał wiążący mieszankę, składającą się z czystego, białego wapna i dodatku hydraulicznego. Na długi czas odsunęło się w ten sposób wynalezienie i wprowadzenie nowych rodzajów materiałów wiążących — hydraulicznego wapna i cementu. Poszczególne przypadki, a nieraz i praktyka świadomego stosowania naturalnego wapna hydraulicznego (a nawet i cementu romańskiego) z uwzględnieniem jego właściwości, co zostało ustalone eksperymentalnie przez autora na terytorium ZSRR, na podstawie próbek pochodzących z IV w. d.e. i okresów późniejszych (Olbia, Bospór, Chersonesz, Charaks, Kijów, Baczysaraj, Teodozja, północne wybrzeże Morza Czarnego na Kaukazie, zachodnia Gruzja, Ryga, Tallin, Petersburg) a przez badaczy obcych w innych krajach — nie zmieniły sytuacji ogólnej.

Decydujący przełom o powszechnym znaczeniu nastąpił dopiero w drugiej połowie XVIII w. w Anglii w związku ze wzrastającym zapotrzebowaniem na wodoodporne materiały wiążące i brakiem dostatecznych zasobów dodatków hydraulicznych przy posiadaniu złóż wapieni gliniastych. Inicjatorem tego przełomu stał się sławny budowniczy Eddystońskiej latarni morskiej John Smeaton. Początkowo był on zwolennikiem odziedziczonej po rzymianach błędnej

* Artykuł jest specjalnie dla „Kwartalnika” opracowaną wersją referatu wygłoszonego przez autora — kandydata nauk technicznych i starszego pracownika naukowego Leningradzkiego Oddziału Instytutu Historii Przyrodoznawstwa i Techniki Akademii Nauk ZSRR — na Konferencji radzieckich historyków przyrodoznawstwa i techniki, która odbyła się w Moskwie w dniach 27 maja — 1 czerwca 1959 r. Artykuł tłumaczyła Helena Olszewska.

zasady, lecz następnie w wyniku przeprowadzonych doświadczeń w 1756 r. wykrył i wyjaśnił specyficzne właściwości naturalnego wapna hydraulicznego oraz wysunął zagadnienie wytwarzania sztucznego wapna hydraulicznego (water lime). W latach następnych angielski technolog James Parker (1796 r.) oraz francuski inżynier wojskowy Lesage (1802 r.) odkryli i upowszechnili w Anglii i Francji naturalny cement romański. Berliński profesor chemii Johan Fryderyk John oraz w szczególności wybitny inżynier francuski, członek Akademii, Louis Joseph Vicat w swych pracach (1815—1819) zapoczątkowali teorię i praktykę wytwarzania różnego rodzaju sztucznego wapna hydraulicznego.

Stwierdziwszy słusznie, że wypalanie mieszanki wapienno-gliniastej prowadzi do powstawania nowych związków i odróżniając tego rodzaju produkt od cementu wapienno-gliniastego (pucolanowego) zarówno John jak i Vicat unikali jednak wprowadzenia dużej ilości składnika gliniastego i wypalania mieszanki aż do spiekania, obawiając się, aby produkt nie utracił swej zdolności gaszenia się. Stworzywszy zasadnicze przesłanki dla produkcji cementów hydraulicznych, w tej liczbie również współczesnego cementu portlandzkiego oraz uwzględniając w swych badaniach również i te cementy, Vicat mimo to przez długi czas sceptycznie odnosił się do cementów, nigdy ich nie produkując i zawsze na pierwszym miejscu stawiając lekko wypalone wapno hydrauliczne. Zmniejszenie przy tym zużycia paliwa potrzebnego dla wypału surowca oraz zastąpienie kosztownego kruszenia produktu przez gaszenie go na proszek Vicat uważał za ważne czynniki obniżenia kosztów produkcji. Podobnie jak legendarny czarodziej, którego napawał strachem powołany przezeń do życia dżin, ten stanowczy, obdarzony silną wolą i szybką decyzją człowiek obawiał się cementu portlandzkiego i wskutek tego w znacznym stopniu opóźnił rozwój jego produkcji zarówno we Francji jak i w Rosji. Dopiero syn Vicata, Józef, zbudował w 1853 r. we Francji pierwsze w świecie piece doświadczalne dla wytwarzania sztucznego cementu portlandzkiego, Jan Ciechanowski zaś założył w 1857 r. pierwszą w cesarstwie rosyjskim fabrykę cementu portlandzkiego, która pracuje w Polsce po dzień dzisiejszy i której stulecie obchodzono trzy lata temu.

Nad zagadnieniem tym pracowali w tym lub innym stopniu, głównie w pierwszym ćwierćwieczu XIX stulecia także inni badacze, w tej liczbie współczesny Vicatowi generał korpusu inżynierów C. L. Treussart we Francji, członek Akademii Monachijskiej i czło-

nek rzeczywisty Petersburskiego Towarzystwa Mineralogicznego I. N. Fuchs, członek Towarzystwa Królewskiego inżynier-general C. W. Pasley w Anglii, profesorowie Instytutu Komunikacji w Petersburgu i członkowie korespondenci Petersburskiej Akademii Nauk A. Raucourt de Charleville, G. Lamé, B. P. É. Clapeyron oraz inżynier-pułkownik N. I. Bogdanow. Do wynalazców i twórców różnych odmian nowych materiałów wiążących należą w tym okresie: Anglicy E. Dobbs, J. A. Tickell, Atkinson i J. Frost oraz Francuz M. de Saint-Léger.

Przedmiotem prac tych uczonych i wynalazców było przede wszystkim różnego rodzaju sztuczne wapno hydrauliczne, a także naturalne i następnie sztuczne cementy romańskie. Charleville, będący kontynuatorem Vicata, pod pojęciem cementów rozumiał gaszące się wapna hydrauliczne (naturalne i sztuczne) oraz mieszanki wapienno-pucolanowe.

W pierwszej ćwierci XIX stulecia zarówno w Anglii, gdzie nastąpił przewrót w przemyśle, jak i w pańszczyźnianej Rosji w związku z nieustannie wzrastającym zapotrzebowaniem na materiały wiążące (budowa kanałów żeglugowych i portów w Anglii, odbudowa Moskwy po pożarze w 1812 r. oraz wznoszenie budowli wodnych w Rosji), a także pod wpływem rozwoju sił wytwórczych w tym samym czasie i niezależnie od siebie powstała konieczność rozwiązania nowego zadania, a mianowicie stworzenia cementu hydraulicznego (nie gaszącego się w odróżnieniu od wapna hydraulicznego) wytwarzanego ze sztucznie dobieranej i następnie wypalanej mieszanki wapienno-gliniastej. Istotę swych wynalazków dokonanych w przeciągu jednego roku (1824—1825) ujęli: murarz Joseph Aspdin z Leedsu¹ w patencie, a kierownik oddziałów warsztatowych drugiego stopnia brygady wojskowo-robotniczej Komisji Budowlanej w Moskwie Jegor Gierasimowicz Czelijew — w książce (rys. 1—3)².

¹ Patent nr 5022 z 15 grudnia 1824 r. wydany na wynalazek J. Aspdina *Udoskonalenie sposobów produkcji sztucznego kamienia*, który został przez niego nazwany cementem portlandzkim.

² Pełny rosyjski tytuł książki pokazuje rys. 1. W tłumaczeniu brzmi on: *Pełna instrukcja o tym, jak wytwarzać tanią i najlepszą zaprawę murarską albo inaczej niezwykle trwałą cement dla budowli podwodnych, takich jak: kanały, mosty, baseny, tamy, sutereny, piwnice oraz do tynkowania budowli kamiennych i drewnianych*. Wydana na podstawie przeprowadzonych doświadczeń na budowlach przez kierownika Moskiewskiej brygady wojskowo-robotniczej oddziałów warsztatowych 2 stopnia, 6 grupy kawalera Czelijewa. Moskwa. Drukowane w niezależnej drukarni Ponomariewa, 1825.

Rysunki 3—8 publikowane są po raz pierwszy (zdjęcia autora).

Jeśli porównać patent Aspdina z pracą Czelijew, staje się oczywiste, że ten ostatni dał znacznie lepsze rozwiązanie. Nie znający chemii empiryk Aspdin nie podaje wyjściowego zestawu surowców



Rys. 1. Karta tytułowa książki J. G. Czelijew

Рис. 1. Титульный лист книги Е. Челиева

Fig. 1. The title-page of J. G. Tshelieff book

(„bioreę odpowiednią ilość”), szczegółów zaś wynalazku nie ujawnia nawet przed własnymi robotnikami. Natomiast Czelijew daje dokładny skład zestawów wyjściowych i szczegółowy opis procesów produkcyjnych, wyjaśniając je z punktu widzenia chemii. Obaj

zgodnie przyznają ważne znaczenie dokładnej homogenizacji materiałów wyjściowych, lecz zasadnicza różnica między nimi polega na tym, że Aspdin ogranicza wypał surowca do momentu wydzielania się dwutlenku węgla (900—1000°) i starannie unika spiekania, odrzucając jako brak przypadkowo wyprażone kawałki, tj. właściwy klinkier portlandzki, podczas gdy Czelijew zaleca wypalanie surowca „do białości” (1100—1200°), dając w ten sposób możliwość zachodzenia reakcji między wapnem i składnikami gliny. Z chemicznego punktu widzenia argumentuje on użyteczność „wytapiania zawartych w glinie tlenków metali od prażenia do zeszkliwienia”. Dlatego właśnie Czelijew (w odróżnieniu od Aspdina) zrobił olbrzymi krok naprzód na drodze od wapna hydraulicznego i cementu romańskiego (wypalanych w temperaturze 900—1000°) do prawdziwego cementu portlandzkiego.

Będąc człowiekiem o wszechstronnym wykształceniu J. G. Czelijew w swej niewielkiej (28-stronicowej) książeczce pozostawił praktyczną encyklopedię wiedzy w dziedzinie teorii i praktyki wytwarzania i stosowania cementu hydraulicznego ze sztucznie dobranej mieszanki surowców. Jego książka pod względem poziomu znacznie przewyższa opis Aspdina zawarty w jego patencie i nacechowany empiryzmem i niedomówieniami³. Tym niemniej w społeczno-ekonomicznych warunkach ówczesnej Rosji wynalazek Czelijewa nie był należycie upowszechniony. Życie wynalazcy ułożyło się bardzo niefortunnie, on sam zaś pomimo uznania zasług został wkrótce zapomniany. Aspdin natomiast zapoczątkował przemysłową produkcję cementu, rozwiniętą jeszcze bardziej przez jego synów i następców oraz został uznany powszechnie za wynalazcę cementu portlandzkiego, nazywanego tak zgodnie z tradycją, lecz będącego w gruncie rzeczy sztucznym cementem romańskim.

Przeprowadzone przez autora artykułu przy współudziale kandydatów nauk docenta J. G. Bielika i starszego pracownika naukowego W. T. Illimińskiej badania chemiczne i mineralogiczno-petrograficzne cementu Czelijewa pozwoliły ustalić, że jest to sztuczny małowapny cement hydrauliczny, którego skład chemiczny jest zbliżony do współczesnego cementu romańskiego, co potwierdza

³ Autorowi nie udało się zapoznać z broszurą wydaną przez firmę „Aspdin, Ord and Co”, *A concise Account of Portland Cement*, 1854. Broszura ta ukazała się na rok przed zgonem Aspdina.

teoretyczne wywody wynalazcy zawarte w jego książce. Produkt odznacza się brakiem wolnego wapna i wysoką zawartością gipsu.

Skład chemiczny stwardniałej zaprawy Czelijewa i wyodrębnionego zeń materiału wiążącego pokazany jest na tablicy 1.

Ogólny skład chemiczny zaprawy oraz skład chemiczny jego pozostałości nierozpuszczalnej pokazują tablice 2 i 3.

W celu osiągnięcia maksymalnej trwałości wytwarzanego produktu oraz jego odporności na działania atmosferyczne Czelijew wprowadza zarówno do mieszanki surowców jako też do zarabianego cementu „silnie wypalony gips” rozproszony wodą. Równomierne dodanie gipsu do mieszanki surowców, której wypał kończy się w temperaturze 1100—1200°, widocznie warunkuje powstawanie w składzie wypalanej zaprawy gipsu jastrychowego. Zarobienie zaś zaprawy za pomocą wody gipsowej sprzyja aktywizacji twardniejącego materiału wiążącego, co przy wysokiej zawartości gipsu prowadzi do powstawania swego rodzaju gipsowego cementu romańskiego. Oba te zabiegi również według współczesnych pojęć całkowicie odpowiadają postawionym celom.

Możliwie racjonalny skład chemiczny stwardniałego materiału wiążącego wyrażony w postaci związków, tj. ustalony teoretycznie jego skład mineralogiczny, obliczony na podstawie składu chemicznego próbki, która została poddana działaniu 5% HCl⁴ z uwzględnieniem kolejności łączenia się tlenku wapnia z innymi tlenkami przedstawia się następująco (w stosunku procentowym):

CaSO ₄	CaCO ₃	MgCO ₃	CaO · Al ₂ O ₃	2CaO · Fe ₂ O ₃	1,12CaO · SiO ₂	Woda hydra- towa	Suma
41,30	26,34	0,94	10,81	3,35	10,77	6,39	99,89

Według modułu wapienno-magnezjowego materiał wiążący Czelijewa należy zaliczyć do małomagnezjowych. Odnośnie do jego podstawowego modułu obliczenia wykazały, że w zależności od warunków surowcowych i produkcyjnych teoretycznie może on wahać się w granicach od 1,79 do 0,73, przy czym średnia wartość obliczeniowa wynosi 1,26. Praktycznie biorąc ze względu na ówczesną niedoskonałość przemiału, mieszania i wypału surowców należy sądzić, że podstawowy moduł cementu Czelijewa zbliżał się do 1,0.

Do zarabiania cementu Czelijew stosował wodę (gipsową lub zwykłą) bezpośrednio bez dodawania piasku. Rolę wypełniaczy w twardniejącej zaprawie (formalnie — cieście) Czelijewa spełniały

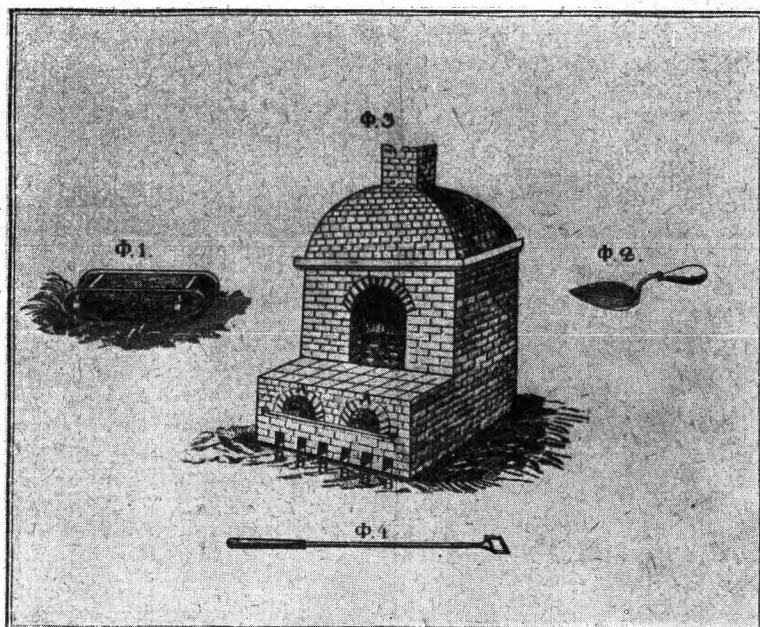
⁴ Por. drugi wiersz tabl. 1.

Skład chemiczny zaprawy Czelijewa oraz jej materiału wiążącego

Pozostałość nierozpuszczalna	Straty przy wyżarzeniu do:		Składniki rozpuszczalne w 5% HCl					Suma	CaO poza siarczanem	
	500°	900°	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO			SO ₃
Stwardniała zaprawa (stosunek procentowy do suchego materiału próbki wyjściowej)										
55,31	3,03	5,12	2,37	3,05	0,86	18,80	0,20	10,65	99,39	11,35
Stwardniały materiał wiążący (stosunek procentowy do suchego materiału rozpuszczalnego w 5% HCl składnika próbki)										
—	6,88	11,58	6,26	6,98	1,97	42,48	0,45	24,29	99,88	25,48
Wyjściowy materiał wiążący (stosunek procentowy do wyrażonego materiału rozpuszczalnego w 5% HCl składnika próbki)										
—	—	—	6,45	8,56	2,42	52,09	0,55	29,71	99,78	31,25

Ogólny skład chemiczny zaprawy Czelijewa

Woda hydratowa gipsu	Straty przy wyżarzeniu do:		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Suma	CaO poza siarczanem
	500°	900°								
Stwardniała zaprawa (stosunek procentowy do suchego materiału próbki wyjściowej)										
5,87	3,03	5,04	46,45	5,38	2,33	20,29	0,68	11,50	100,57	12,24
Wyjściowa (wypalona) zaprawa (stosunek procentowy do wyjściowego materiału wyżarzonego)										
—	—	—	53,97	6,25	2,71	23,57	0,79	13,36	100,65	14,22

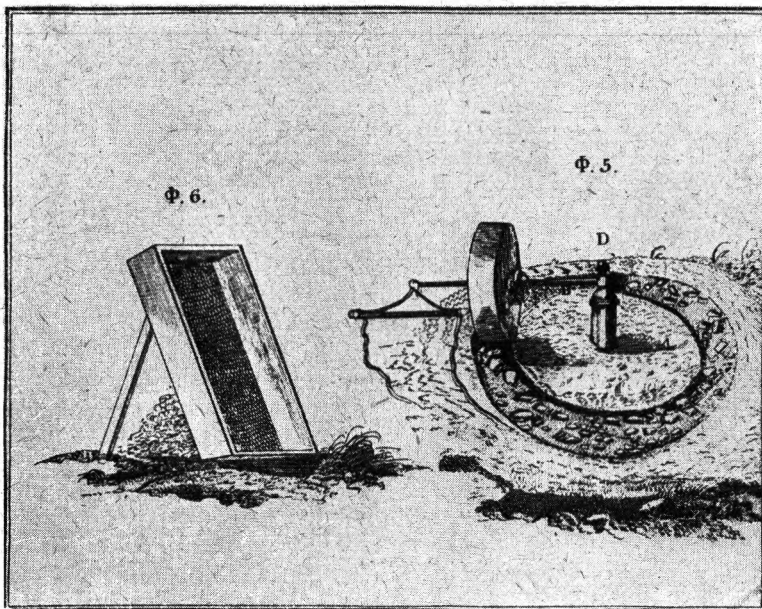


Rys. 2. Urządzenie do formowania i wypalania cementowej mieszanki surowcowej wg szkicu I w książce Czelijszewa
 Рис. 2. Оборудование для формования и обжига цементной сырьевой смеси по чертежу I книги Челиева
 Fig. 2. Installation for the formation and burning of raw cement mixture after the sketch I in Tshelieff book

ziarna kwarcu, mikroklinu, kwaśnych plagioglazów oraz w mniejszym stopniu ziarna piroksenu i biotyту, które dostawały się do surowców używanych do produkcji cementu w postaci gruboziarnistego piasku balastowego, będącego domieszką składnika gliniastego mieszanki surowcowej. Ponadto liczne są ziarna „cemianki”⁵, wyżarzonego materiału gliniastego, który nie został przyswojony przez wapno w czasie wypału. Stwardniała zaprawa składa się w 70% z poliminerального materiału wiążącego i w 30% z takich właśnie wypełniaczy (rys. 4 i 5).

Wyniki badań petrograficzno-mineralogicznych zaprawy Czelijszewa całkowicie pokrywają się z wynikami badania chemicznego oraz z danymi samego wynalazcy.

⁵ „Cemianka” — wypełniacz z tłuczonej cegły o wybitnych cechach dodatku hydraulicznego (przyp. tłum.).



Rys. 3. Urządzenie do kruszenia i przesiewania klinkieru cementowego wg szkicu II w książce Czelijewa

Рис. 3. Оборудование для измельчения и просеивания цементного клинкера по чертежу II книги Челиева

Fig. 3. Installation for crushing and screening of cement clinker after the sketch II in Tshelieff book

Na tablicy 4 znajduje się porównanie cementu Czelijewa pod względem jego składu chemicznego z różnymi materiałami wiążącymi, stworzonymi przez innych wynalazców i zbadanymi przez autora i innych badaczy, a pochodzącymi z budowli poczynając od IV w. d.e. do czasów najnowszych.

Таблица 3

Skład chemiczny nierozpuszczalnej pozostałości zaprawy Czelijewa (stosunek procentowy do materiału suchego pozostałości nierozpuszczalnej próbki wyjściowej)

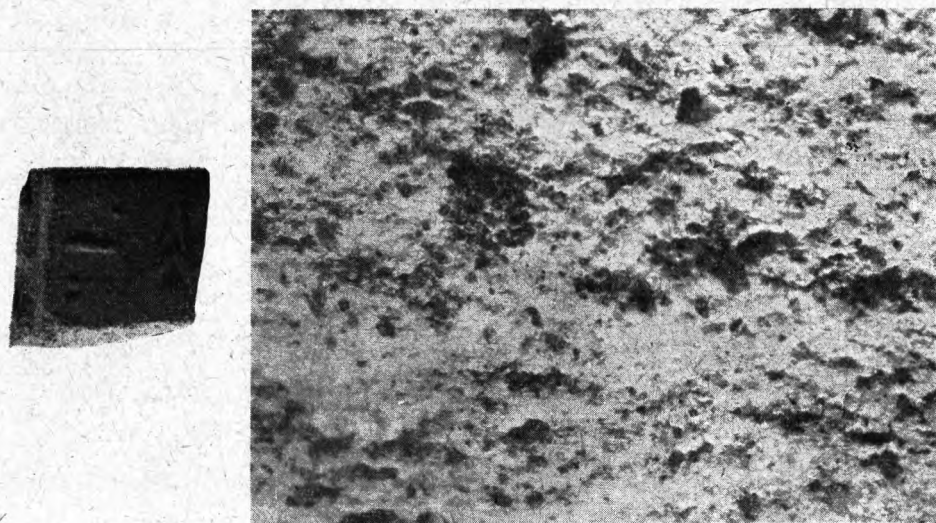
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Ph ₂ O	Suma	CaO poza siarczanem
88,77	5,02	1,50	0,40	1,68	0,58	0,75	1,76	100,46	1,16

Zasługi Czelijewa i Aspdina polegają nie tylko na tym, że udoskonalili oni produkcję cementu rzymskiego i rozszerzyli bazę surow-

Chemiczna charakterystyka cementu Czelijewa i innych hydraulicznych materiałów wiążących
(od IV w. d. e. do czasów najnowszych)

Materiał wiążący		Wapno silnie hydrauliczne																			
		Olbia IV w. d. e.	Bosporos III w. d. e. — III w. n. e.	Rzymian w Niem-czech I w.	Chersonesz pocz. n. e.	Bakczysaraj XVI w.	Zachodnia Gruzja III — VII w. w.	Kijów VI w.	Starożytna Rusz XI — XVII w.	Talin XIII w.	Ryga XIII—XVI w.	Sobór Petropa-wiowski w Peters-burgu 1712—1733 r.	Boleszj Gostynj w Petersburgu 1791—1795 r.	Sobór Isakjewski w Petersburgu 1796 — 1820 r.	Smeatona 1756 r.	Współczesne gra-nice spotykane w praktyce					
% CaO Moduł podsta- wowy	64	71	49,67	58	63	78	79	70,76	78,42	35	71	50	56,48	69,79	51	49	81	—	31*		
	2,04	4,1	2,5	2,2	1,8	2,1	4,2	4,3	2,8	3,5	2,5	4,3	2,5	4,6	3	2,9	4,3	5	1,7	1,3—1,0	
Materiał wiążący		Cement romański														Cement portlandzki					
		Rzymian w Rumu-nii I w.	Rzymian w Niem-czech I w.	Starożytna Rusz XII w.	Parkera 1796 r. (analiza z 1822 r.)	Lesage'a 1802 r.	Aspdina 1824 r. (analiza z 1849 r.)	Czelijewa 1825 r. (analiza z 1957 r.)	Rocheta (analiza z r. 1862—1869	Medina cement (analiza z 1871 r.)	Współczesne gra-nice spotykane w praktyce	Johnsona 1844 r.	Ryski 1868 r.	Rosyjski, angielski, niemiecki 1850—1880 r.	Współczesne gra-nice spotykane w praktyce						
% CaO Moduł podsta- wowy*	59	57	58	39	44	55	55	54	3*	36	45	46	41	63	54	56	—	—	—		
	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	1,3	1,2	1,6	1,3	1,0	1,8	6,1	1,3	1,7	1,2	1,5	1,6	1,5	2,3	1,6	2,4

* Prócz tego istnieje 21% CaO związanego z siarczanem wapnia



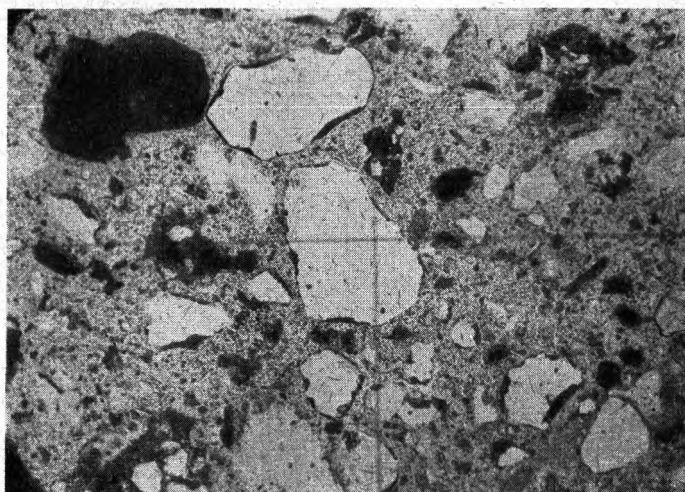
Rys. 4. Widok zewnętrzny (x 1) oraz makrostruktura (x 1) stwardniałego cementu Czeliiewa

Рис. 4. Внешний вид (x 1) и макроструктура (x 10) отвердевшего цемента Челиева

Fig. 4. External view (x 1) and macrostructure (x 1) of Tshelieff hardened cement

cową dzięki zastosowaniu sztucznej mieszanki surowców. Znacznie ważniejsze znaczenie posiada fakt, że stworzony przez nich produkt stał się podstawowym ogniwem w nieprzerwanym łańcuchu stałego ulepszania hydraulicznego spoiwa, co następnie pozwoliło I. C. Johnsonowi z Anglii (1844 r.) wyprodukować prawdziwy cement portlandzki — obecnie podstawowy materiał wiążący. Nieocenioną zasługą tego Matuszalema naszych czasów, który zmarł w wieku stu lat w 1911 r. do końca zachowując pełnię sił twórczych, należy uważać to, że ustalił bezwzględnie obowiązującą zasadę wypalania klinkieru aż do spiekania. Ta zasadnicza reguła, którą stosuje się obecnie przy wytwarzaniu współczesnego cementu portlandzkiego według zdania Aspdina była niedopuszczalnym naruszeniem technologii, prowadzącym niechybnie do powstawania braku. Czeliiew natomiast uważał za pożyteczne częściowe zeszkliwienie materiału, które nawiasem mówiąc można wyraźnie zaobserwować w jego stwardniałej zaprawie przy pomocy mikroskopu.

Porównanie prac Czelijewa z pracami ówczesnych wybitnych uczonych, takich jak John, Fuchs, Vicat, Charleville, M. S. Wołkow, J. A. Dwigubski, W. M. Siewiergin, F. A. Denisow oraz P. A. Iljenkow, pozwala pojąć, jakie miejsce zajmował on wśród nich i jakie znaczenie posiadają jego prace dla ogólnego rozwoju produkcji cementu. Pozwala ono również pojąć oryginalność jego wynalazku

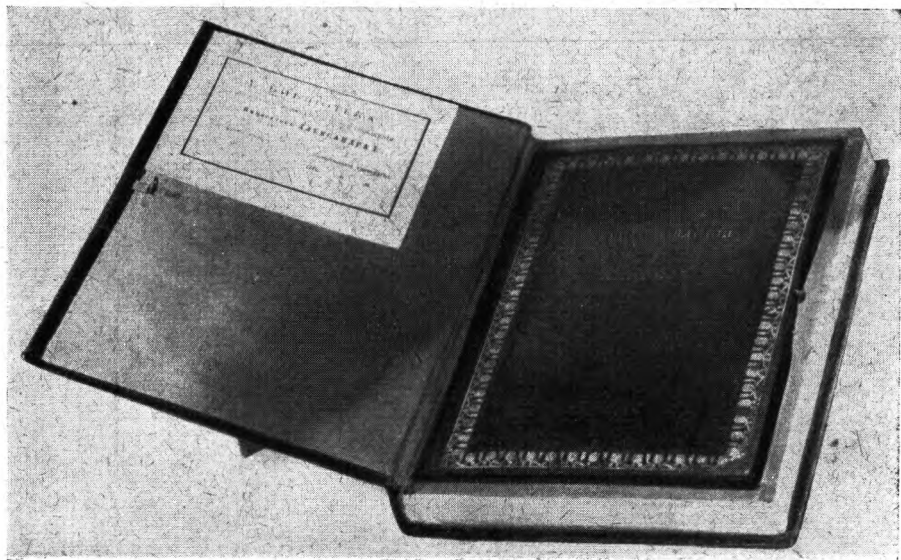


Rys. 5. Mikrostruktura stwardniałego cementu Czelijewa — psamitowa, nierównomiernie ziarnista o wiązaniu bazaltowym. Białe miejsca u góry z prawej strony — są to ziarna kwarcu i skaleni. Z lewej strony u dołu oraz z prawej u góry — agregatowe ziarna „cemianki”. x 136. Bez analizatora

Рис. 5. Макроструктура отвердевшего цемента Челиева — псаммитовая, неравномернозернистая с базальным характером связки. Белое угловатое — зерна кварца и полевых шпатов. Внизу слева и вверху справа агрегатные зерна цемianки. (x 136). Без анализатора

Fig. 5. A macrostructure of Tshelieff hardened cement unevenly grained of basalt bond. White spots at the top right are grains of quartz and rock. Left bottom and right top are aggregate grains of „Cemianka”, x 136 No analyzer

i jego poglądów, niejednokrotnie wręcz przeciwstawnych wysuwanych podówczas tezom. W szczególności najwybitniejsi uczeni technolodzy, tacy jak Dwigubski, Siewiergin, Denisow i inni, w swych uniwersyteckich wykładach (1807—1828) trzymali się odwiecznych



Rys. 6. Futerał z książką Czelijskaja

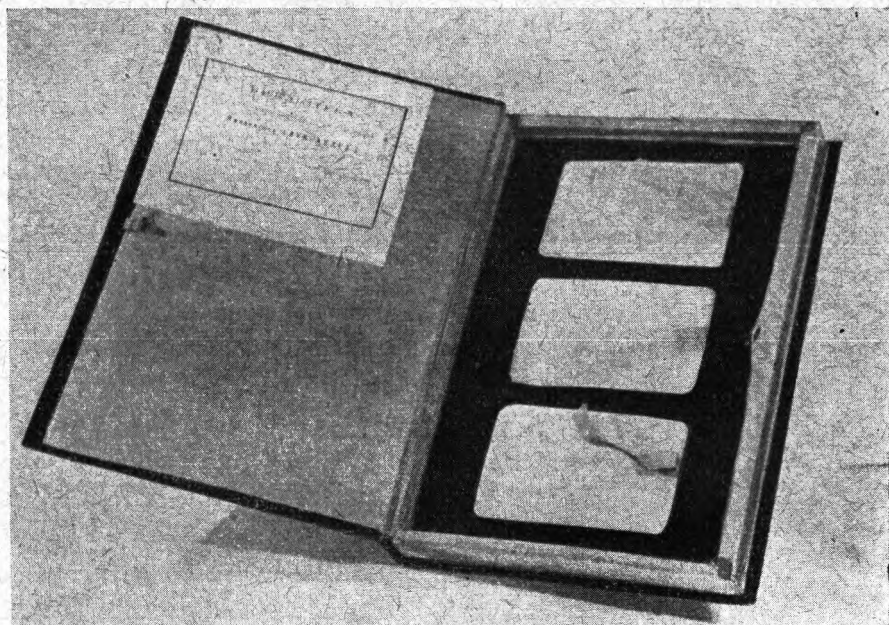
Рис. 6. Футляр с книгой Челиева

Fig 6. A shaeth with Tshelieff book

rzymskich kanonów, opartych o mieszanki wapienno-pucolanowe, jakkolwiek Denisow był cenzorem książki Czelijskiej. Nawet wybitny uczyony Iljenkow w swych wykładach w r. 1851 nie posunął się poza sztuczne wapna hydrauliczne Vicata o stosunku wapno:gлина 4:1.

Znalezione przez autora artykułu oraz przez B. S. Lewmana i S. Szneersona nieopublikowane materiały archiwalne rzucają światło na wysokie uznanie, jakie zyskały sobie wynalazki i cała działalność Czelijskiej wśród sfer inżynierskich ówczesnej Rosji. Naczelnny zarządca komunikacji książę A. Wirtemberski na wniosek Rady Korpusu Komunikacji polecił w r. 1826 rozesłać 200 egzemplarzy pracy Czelijskiej wśród inżynierów komunikacji w celu zastosowania nowego cementu przy wznoszeniu budowli wodnych oraz skierować 10 egzemplarzy tej książki do biblioteki Instytutu Komunikacji. Właśnie jedna z tych książek zachowała się po dzień dzisiejszy wraz z załączonymi do niej próbkami zaprawy Czelijskiej, co dało możliwość zapoznania się z jego pracą i zbadania jego zaprawy (rys. 6 i 7).

Komisja budowlana w Moskwie w 1827 r. oficjalnie poleciła stosowanie cementu Czelijskiej do budowy samospływowego kanału

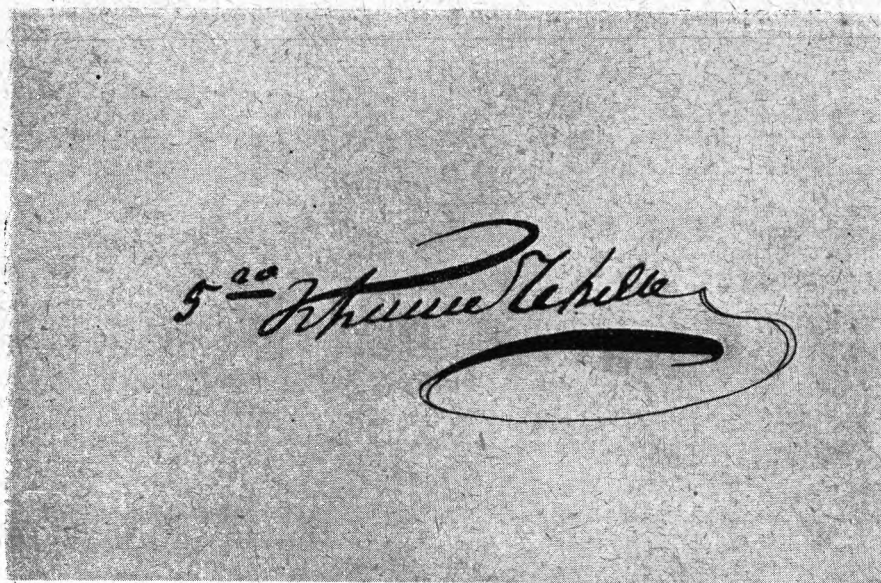


Rys. 7. Futerał opatrzony wgłębieniami (pod książką) dla próbek cementów Czelijewa

Рис. 7. Футляр с гнездами (под книгой) для образцов цементов Челиева
Fig. 7. A sheath with cuts below the book to hold samples of Tshelieff cement

wodociągowego określając przy tym, że da to oszczędność dochodzącą do 20%. Według obliczeń Czelijewa na skutek braku odpowiednich urządzeń przemiałowych 75% kosztów hydraulicznej zaprawy wapienno-cemiankowej przypada na mąkę ceglana („cemiankę” — dodatek hydrauliczny), która wypada trzy razy drożej aniżeli wypalone wapno.

W początkach 1830 r. Główny Zarząd Komunikacji akceptował wysuniętą przez Czelijewa propozycję zainstalowania rur wodociągowych wykonanych z wynalezionej przez niego masy bazaltowej zamiast stosowanych dotychczas rur drewnianych i ceglanych. Wykonywane z masy bazaltowej (głina z domieszkami) rury po ich wypaleniu w wysokiej temperaturze odznaczały się dużą trwałością i odpornością na działanie wody. Łączenie rur na styk miało się dokonywać przy pomocy tej samej masy bazaltowej z dodatkiem cementu Czelijewa. Przewidywany koszt tych rur miał być dwu-



Rys. 8. Podpis J. Czeliwewa na dokumentacji do projektu rur wodociągowych z masy bazaltowej

Рис. 8. Подпись Е. Челиева на документации к проекту водопроводных труб из базальтовой массы

Fig. 8. Tshelieff signature on documents concerning his design of water pipes made of basalt mass

krotnie mniejszy od rur z cegły. Podpisana przez Czeliwewa dokumentacja (rys. 8) zawiera opis urządzenia do produkcji tych rur oraz kosztorys porównawczy.

Jednakże cała praca Czeliwewa i jego osiągnięcia pozostały zupełnie niezauważone przez ówczesną Akademię Nauk i wybitnych uczonych.

Materiały archiwalne dają możliwość w znacznym stopniu odtworzyć elementy biografii Czeliwewa — wszechstronnego specjalisty i nowatora nie tylko w dziedzinie cementu, który został niesłusznie zapomniany i był na nowo odkryty dopiero stosunkowo niedawno przez F. I. Iwanowa, a następnie przez innych badaczy. Czeliwew był synem emerytowanego wojskowego pochodzącego z gruzińskiej szlachty. Urodził się w 1771 r. i poczynając od 1787 r. był podporucznikiem w stanie spoczynku. Pracował kolejno jako powiatowy geometra i urzędnik Zarządu Państwowego w Saratowie oraz jako

mierniczy i główny geometra I stopnia w Moskwie. W latach 1817—1829 wchodził w skład Moskiewskiej Komisji Budowlanej w charakterze dyrektora kreślarni, następnie — kierownika oddziałów warsztatowych brygady wojskowo-robotniczej. Wiele uwagi poświęcił budownictwu wodnemu.

Jakkolwiek Czelijew nie otrzymał specjalnego wykształcenia „zna arytmetykę, geometrię, sztukę artyleryjską i fortyfikacyjną, fizykę doświadczalną, chemię, mechanikę, malarstwo, rzeźbę oraz architekturę miast... obcymi językami nie włada... ma duże zdolności umysłowe...” (fragment formularza służbowego ze stycznia 1825 r.). Prócz książki o cemencie Czelijew napisał i wydał kilka innych prac: *Projektowany plan miasta stołecznego Moskwy* (1818—19), *Eksplikacja do projektowanego planu miasta stołecznego Moskwy* (1818, 1819, 1824—25, 1839) oraz *Opis historyczny początków stołecznego miasta Moskwy jego rozbudowy i chwały* (1824).

Za swą czynną i wielostronną czterdziestoletnią działalność Czelijew był odznaczony trzema orderami, medalem, otrzymał awans służbowy, pochlebną opinię i nagrody pieniężne. 29 lat swej twórczej pracy poświęcił on sprawie budownictwa Moskwy, lecz w 1829 r. owocna działalność Czelijewa została przerwana. Padł on ofiarą przypadkowego zbiegu okoliczności i w wieku 58 lat został odsunięty od pracy w Komisji Budowlanej w Moskwie. O dalszych jego losach brak na razie jakichkolwiek wiadomości.

Jegor Czelijew powinien otrzymać miano współtwórcy i współodkrywcy sztucznego cementu hydraulicznego, który poprzedził współczesny cement portlandzki i zająć należne mu miejsce na równi z J. Aspdinem z Leedsu.

К ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЦЕМЕНТА

До середины XVIII в. основным гидравлическим вяжущим повсеместно оставалась унаследованная от римлян смесь воздушной извести с гидравлическими (также органическими и др.) добавками. Случаи применения естественных вяжущих, впоследствии названных гидравлической известью и романцементом, не изменили общего положения. Прогресс в этом отно-

шении был вызван последующим развитием научных знаний, производительных сил и ростом потребностей.

Во второй половине XVIII в., — начале XIX в. Смитон и Паркер в Англии и затем Лесаж во Франции открыли и начали внедрять в практику естественные вяжущие, гидравлическую известь и романцемент.

В первой четверти XIX в. Ион в Германии и, особенно, Вика во Франции обосновали теорию и практику производства искусственных гидравлических извести. В это время Аспдин в Англии и Челиев в России предложили гидравлический цемент из искусственно составляемой и обжигаемой сырьевой смеси. Новый цемент, в отличие от гидравлической извести, не гасился, а производство его не зависело от ограниченных запасов сырья, требуемого для естественного романцемента.

Оба изобретатели, независимо друг от друга, решили одну и ту же задачу. Однако решение Челиева было более совершенным. Аспдин обжигал сырье до выделения углекислого газа (900—1000°), избегая спекания и отбрасывая как брак спекшиеся куски, т.е. собственно портландцементный клинкер. Челиев обжигал сырье „до бела” (1100—1200°), способствуя взаимодействию извести с глиной, и считал полезным частичное остеклование продукта.

Таким образом Челиев (в отличие от Аспдина) сделал значительный шаг от гидравлической извести и романцемента к подлинному портландцементу.

Исследованный нами цемент Челиева представляет собой искусственный гидравлический мало магнезиальный цемент, по составу приближающийся (как и цемент Аспдина) к современному романцементу. В нем отсутствует свободная известь, содержится много гипса и обнаруживается частичное образование стекла.

Цементы Челиева и Аспдина сопоставлены нами по химической характеристике с гидравлическими вяжущими от древних времен до современности. Созданный ими продукт — очень существенное звено в неразрывной цепи улучшений гидравлического вяжущего, приведших в 1844 г. Джонсона в Англии к подлинному портландцементу — основному вяжущему наших времен.

Несмотря на высокую оценку деятельности Челиева прогрессивными инженерскими кругами России того времени, его изобретение не получило надлежащего применения, а сам он был предан забвению. Аспдин получил всемирное признание как изобретатель и основатель производства портландцемента, именуемого так по традиции, а по существу — искусственного романцемента.

Московский строитель Е. Г. Челиев по справедливости должен разделять высокую честь открытия искусственного гидравлического цемента со своим современником Д. Аспдином, каменщиком из Лидса.

A CONTRIBUTION TO THE HISTORY OF ARTIFICIAL HYDRAULIC CEMENT INVENTION

Till the middle of the XVIII century the chief binding material in general use was a mixture of aerial limestone with hydraulic additions (organic and other matters were used also) inherited from Roman times. Sporadic cases when natural binding materials were applied that later got the name of hydraulic lime or Roman cement, did nothing to change the general situation. A progress was made only in connection with the advance of knowledge, of productive forces and with the rise in demand for binding materials.

In the second half of the XVIII and in the beginning of the XIX century John Smeaton and James Parker of England and next Lesage in France invented and initiated a practical application of natural hydraulic lime and Roman cement. In the first quarter of the XIX century I. F. John in Germany and especially, Louis J. Vicat in France laid theoretical foundations for the production of various sorts of hydraulic lime and advocated its general use. Simultaneously Joseph Aspdin in England and Egor Tshelieff in Russia suggested the use of hydraulic cement produced from artificial mixture of selected materials, which subsequently underwent the process of burning. This new cement, in contradiction to hydraulic cement has not been slaked and its production has been dependent upon the limited stock of raw materials that were necessary for the production of natural Roman cement.

Both inventors independently solved the same problem. But the solution proposed by Tshelieff was much superior. While Aspdin recommended burning of raw material till carbon dioxide began to dissociate ($900-1000^{\circ}$) avoiding scorching and considering scorched material defective (in reality it was the real portland cement), Tshelieff burnt raw material till it became „white” ($1100-1200^{\circ}$) and contributed in this way to a mutual reaction of lime and clay and considered a partial vitrifying of this product desirable. In such manner Tshelieff (in contradiction to Aspdin) made a big step forward from hydraulic lime and Roman cement to real portland cement.

Investigations carried by the author of this article in collaboration with other scientific workers have established Tshelieff cement as an artificial hydraulic cement with little magnesium content whose chemical composition (similar to the Aspdin cement composition) is similar to the contemporary Roman cement. It has no free lime having instead much gypsum and showing a partial vitrification.

Tshelieff and Aspdin cements have been compared with respect to their chemical composition with hydraulic binding materials from ancient times and with other cements from recent production. The product created by these two inventors is a very important link in an uninterrupted chain of processes that were improving the production of hydraulic binding materials. It enabled Johnson of England to invent subsequently the real portland cement, which at present is the basic binding material.

Although the Tshelieff invention was appraised most favourably by engineering circles of contemporary Russia his invention was not sufficiently utilized and diffused. He himself and his invention passed soon into oblivion. Quite another lot befell to Aspidin. He was universally recognised as inventor and creator of portland cement, so named according to tradition, but which in reality is no other than an artificial Roman cement.

There is not the slightest doubt that the Moscow architect Tshelieff should be recognised as co-inventor and co-creator of artificial hydraulic cement at least in the same degree as his contemporary Leeds mason J. Aspidin.