

MARTA KRZYŻANOWSKA
Instytut Prahistorii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Studia Lednickie XIII (2014)

(Re)Konstrukcja¹ rzymskiego pieca do wytopu szkła

Abstrakt: Pozostałości pieców do wytopu szkła znajdowane są na terenie byłego imperium rzymskiego a ich pozostałości są szczątkowe. Wiedzę na temat ich możliwego wyglądu możemy czerpać z wykopalisk oraz znalezisk ikonograficznych. W artykule opisano próbę (re)konstrukcji pieca na podstawie dostępnej wiedzy. Wyniki z wykonanej (re)konstrukcji pozwalają na dalsze ewentualne eksperymenty prowadzące do zrozumienia technologii opanowanej przez antycznych rzemieślników.

Słowa kluczowe: archeologia eksperymentalna, piec szklarski, lampki oliwne, glina, piaskowiec, pirometr

Abstract: In the area of the former Roman Empire the remains of glass melting furnaces are sometimes found but they are indeed fragmentary. Knowledge on their possible appearance, however, can be gained from excavations and iconographic finds. An attempt at the (re)construction of a furnace on the basis of available knowledge has been described in the article. The results of the performed (re)construction allow for further potential experiments. This should lead to a better understanding of the technology mastered by ancient artisans.

Keywords: experimental archaeology, glass melting furnace, olive lamps, clay, sandstone, pyrometer

¹ Zapis zgodny z zaproponowanym przez P.J. Reynoldsa [1999].

Wstęp

Piece do wytopu szkła znajdowane są na terenie niemal całego terenu imperium rzymskiego [HENDERSON 2000]. Niestety, ich pozostałości są dosyć szczątkowe — najczęściej ograniczają się tylko do komory ogniowej oraz prowadzącego do niej wejścia. Z tego powodu można określić jedynie kształt podstawy znajdującego się tam wcześniej pieca. Do rzadkości należą natomiast fragmenty górnych części. Niektórzy autorzy opracowań starają się przedstawić całościowy wygląd, jednak są to przedstawienia schematyczne, które niekoniecznie odzwierciedlają rzeczywistość. Przygotowując (re)konstrukcję tego typu obiektu, nie należy opierać się tylko i wyłącznie na pozostałościach archeologicznych; do problemu warto podejść szerzej, posiłkując się wszystkimi możliwymi do uzyskania informacjami. Niewątpliwą pomocą stanowić wówczas mogą źródła ikonograficzne, jak też wcześniej wykonane tego typu eksperymenty. Niestety wygląd rzymskich pieców szklarskich nie został opisany w źródłach takich jak np. *Naturalis historia* Pliniusza Starszego [PLINY 1962]. Późniejszy, już średniowieczny opis można odnaleźć u Teofila Prezbitera [2009], jednak scharakteryzowany przez niego obiekt nie może być użyty do (re)konstrukcji wcześniejszych pieców.

Opisywana w niniejszym opracowaniu (re)konstrukcja rzymskiego pieca do wytopu szkła oraz eksperyment związany z jego użytkowaniem przeprowadzone zostały na terenie Rezerwatu Archeologicznego Gród w Grzybowie, oddziału Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy.

Metodologia

Podczas projektowania, budowy oraz użytkowania pieca szklarskiego zastosowano zasady obowiązujące w archeologii eksperymentalnej rozumianej zgodnie z definicją przedstawioną przez J.R. Mathieu [2002]. Skorzystano ze schematu postępowania zaproponowanego przez J. Colesa [1977; 1997, więcej tamże].

Pytania badawcze

Postawione pytania badawcze można podzielić na trzy grupy:

- 1) konstrukcja i budowa pieca,
- 2) temperatura pieca,
- 3) paliwo użyte podczas eksperymentu.

Podstawa (re)konstrukcji pieca

(Re)Konstrukcję rzymskiego pieca oparto na trzech typach źródeł: archeologicznych, ikonograficznych oraz na wcześniejszych (re)konstrukcjach tego typu.

Jako podstawę archeologiczną przeprowadzonego projektu wykorzystano plany pieca odkrytego na stanowisku Hambach Forst [GATZSCH I IN. 2003]. Na stanowisku

tym badacze wyróżnili trzy typy pieców: piec wannowy, w którym otrzymywano tak zwane surowe szkło, piec donicowy i piec do odprężania. Zdecydowano się z(re)konstruować piec typu donicowego, ze względu na jego najliczniejszą reprezentację na stanowisku. Za podstawę (re)konstrukcji przyjęto piec II z Ha 132. Dzięki danym archeologicznym ustalono wielkość podstawy i głębokość wkopu fundamentowego. Szczątki pieca zawierały w sobie piaskowiec, dachówki oraz przepaloną glinę.

Za źródło ikonograficzne posłużyły lampki oliwne z wizerunkiem pieca szklarzkiego. Znane są obecnie trzy lampki, które zostały znalezione w Spodnje Škofije (Słowenia), Voghenzie (Włochy), Asserii (współcześnie Podgrade w Chorwacji) [BALDONI 1987; LAZAR 2006]. Na lampkach widać bardzo wyraźnie podział pieca na dwie sekcje: część dolną, w której znajduje się komora ogniowa, oraz część górną, gdzie znajdować się mogły donice. Część górna posiada schematycznie przedstawione otwory [dokładniejszy opis patrz: BALDONI 1987; LAZAR 2006].

Istotny punkt odniesienia do prowadzonych prac stanowiły także eksperymentalne (re)konstrukcje przeprowadzone przez M. Taylora i D. Hilla. W roku 2005 z(re)konstruowali oni dwa piece: 1) duży piec kilkudonicowy oraz 2) piec wannowy połączony z piecem do odprężania. W roku następnym zastąpili oni piec nr 2 dwoma piecami: mniejszym, mieszczącym jedną donicę oraz oddzielnym piecem do odprężania. Swoje (re)konstrukcje oparli oni także na wynikach z badań archeologicznych oraz znaleziskach lampek oliwnych (więcej informacji patrz: TAYLOR, HILL 2008 oraz <http://www.romanglassmakers.co.uk>).

Wygląd pieca

Zaprojektowany oraz zbudowany przez autorkę piec był kopułowy, dwupoziomowy. Podstawa całości wynosiła 1 m i została zagłębiona w ziemię na głębokość 0,45 m. Komora ogniowa miała szerokość 0,7 m, a ściany były grubości 0,15 m. Kanał prowadzący do komory pieca został pochylony pod kątem 15 stopni w stosunku do wejścia do gardzieli pieca. Został on wyłożony dachówkami, które pozostały po budowie pieca. Gardziel pieca została zbudowana w kształcie odwróconej litery D. Komora ogniowa została zbudowana z dachówek (wykonanych specjalnie na potrzeby tego eksperymentu) oraz piaskowca ułożonych naprzemiennie. Otwór znajdujący się w półce pieca (która jednocześnie zamykała komorę dolną) był wielkości 0,1 m. Całkowita wysokość komory dolnej wynosiła ok. 0,44 m. Komora górna pieca została wybudowana z gliny połączonej z siewką oraz piaskiem. Do jej konstrukcji nie wykorzystano żadnego stelaża. Wysokość pieca od poziomu gruntu wynosiła 0,7 m. Była to optymalna wysokość dla tego typu konstrukcji. Trzy z czterech otworów w piecu zostały rozplanowane na podstawie lampek oliwnych. U szczytu kopuły znajdował się otwór o wielkości 0,1 m. Następne dwa otwory, przez które można było się dostać do komory wytopiskowej, były wielkości 0,3×0,2 i 0,16×0,15 m. Pod każdym z nich znajdowała się półka, na której opierano zamknięcia do nich. Ostatni otwór umieszczono pod otworem na szczycie kopuły, zamykano go korkiem, korek taki został znaleziony m.in. w Hambach Forst (Ha 382).

W trakcie budowy jeden fragment ściany komory górnej został wzniesiony pod zbyt dużym kątem w stosunku do reszty ścian. Spowodowało to problemy w trakcie przeprowadzania reszty eksperymentu.

Opis użytkowania i pierwsze wnioski

Eksperyment związany z użytkowaniem tak zbudowanego pieca szklarskiego przeprowadzono w dniach 17–20 sierpnia 2012 roku. Do środka komory wytopiskowej, jedynie w celach poglądowych, zostały włożone dwie donice zawierające stłuczkę szklaną — chciano zobaczyć, czy uda się ją przetopić.

Metodyka

Podczas przeprowadzania eksperymentu prowadzono pomiary temperatury oraz ilości zużytego drewna. Do wykonania pomiarów temperatury użyto pirometru ST672 Pirometr -32 + 1300°C, 30:1, 10-MEM SENTRY. Pirometr mierzy temperaturę punktowo. Pomiarów dokonywano co godzinę, na czterech wcześniej ustalonych punktach: palenisko, komora górna, donica, szkło. Wyniki zapisywano na specjalnie przygotowanej karcie.

Każdorazowo przed włożeniem drewna do komory ogniowej polana ważono, a wyniki zapisywano na specjalnej karcie.

W trakcie trwania eksperymentu tworzona była dokumentacja fotograficzna oraz filmowa.

Przebieg eksperymentu

Pierwszego dnia trwania eksperymentu w odległości ok. 1 m od pieca rozpalono cztery ogniska. Miały one na celu jego powolne ogrzanie i ostateczne osuszenie. W przeciągu 24 godzin powoli przysuwano ogniska w stronę pieca. Trzy z nich zostawiono w odległości ok. 0,5 m od niego, a ostatnie, znajdujące się w kanale prowadzącym do komory ogniowej, wprowadzono do jej środka. W chwili wprowadzenia paleniska do środka komora ogrzana była do temperatury 95°C. Wartość ta wzrosła po wprowadzeniu paleniska do 538°C. W trakcie trwania eksperymentu jako paliwa używano drewna dębu oraz brzozy. Drewno dębu ma wyższą temperaturę spalania, dlatego wykorzystywano je do podnoszenia temperatury w piecu, natomiast drewno brzozy — do jej stabilizowania. W piecu palono nieprzerwanie w dzień i w nocy, przez co po trzech dniach konieczne było wyjęcie zalegającego w komorze ogniowej popiołu oraz fragmentów przepalonego drewna. Temperatura w piecu obniżyła się po wykonaniu tej czynności, jednak szybko udało się ją podwyższyć do poprzedniej wartości.

Najwyższe zanotowane wartości temperatury w piecu (reszta pomiarów temperatury — patrz tab. 1):

- palenisko: 19.08: 924°C
- komora górna: 20.08: 754,5°C
- donica: 20.08: 715,6°C
- szkło: 20.08: 757°C

Tabela 1. Wyniki pomiarów wartości temperatury

Table 1. Results of temperature measurements

Wartość temperatury Temperature					
dzień day	godzina hour	palenisko hearth	górną komora upper chamber	donica main chamber	szkło glass
18.08.2012	20:15	93,4	45,3	39,8	39,3
	21:45	538	70	37,8	51,9
	22:45	648	59,8	39,1	53,7
	23:45	752	101	63,6	99,3
19.08.2012	00:45	823	120	90	140
	01:45	830	140	121	181,3
	02:45	880	179,1	144	215,3
	03:45	850,1	167,1	146,1	157
	04:45	863,1	173,2	161	207,5
	05:45	781,3	203,3	147,1	237,3
	06:45	684	200,6	192,3	215,5
	07:45	820,4	261,9	211,2	274,4
	08:45	761	331	227	268
	09:45	724	350	283	384
	10:45	850	300	285	390
	11:45	752,4	400	318,8	433
	13:00	876,8	388	325,2	416,3
	13:45	657,8	437,5	313,7	422,4
	14:45	850	461,3	348	447,3
	15:45	823	442	339	439,2
	16:45	886	504,7	387	504
	17:45	857	481	355,5	458
	18:45	734	507	387	479
	19:45	924	543	404,9	557,3
	20:45	827,9	586,4	556,7	609,5
	21:35	897	562	611	630
	22:45	827,3	583	592	604
23:45	868	583	587	606	
20.08.2012	00:45	753,6	547,4	582,7	611
	01:45	786	538,6	525,5	626,1
	02:45	744	611	619	658,8
	03:45	917	567	520,5	595,3
	04:45	622,1	635,4	606,7	651
	05:45	655,8	547,4	559,1	633
	06:45	849,6	591,6	579,9	610
	07:45	842,4	530,1	541,5	609,5
	08:45	768,5	543,1	595,4	629
	09:45	814	576,3	596,5	627,8
	10:45	763,4	681,6	621,4	653,6
	11:45	829,5	585,6	618,8	643,1
	12:45	877,5	635,5	639,8	669
	13:45	872	589,6	584,6	632,1
	14:45	730	653	712,7	757
	15:45	838,1	754,5	704,3	726,7
	16:45	836,5	744,7	657	701,8
	17:45	805	688	715,6	725
18:27	859,1	479,7	635,7	671	

Źródło: opracowanie własne.

Source: drawn up by the author.

Po południu 20 sierpnia zauważono, że nie zwiększa się temperatura ani w komorze ogniowej, ani w wytopiskowej. Nie pomagało użycie miechów ani dokładanie większej ilości drewna. Postanowiono więc wyjąć korek znajdujący się w ścianie komory górnej. Spowodowało to jednak zmniejszenie się temperatury, więc otwór ponownie zamknięto. Po kilku godzinach zdecydowano zakończyć eksperyment.

Już w trakcie przeprowadzania eksperymentu zauważono duże różnice temperatury pomiędzy komorą dolną i górną. Różnice te wynosiły nawet 300°C (początkowo, zaraz po wprowadzeniu paleniska do komory ogniowej, ta różnica wynosiła nawet 600°C).

Na powierzchni pieca podczas trwania eksperymentu zaczęły pojawiać się pęknięcia. Część z tych pęknięć widoczna była już przed przystąpieniem do wypału. W trakcie palenia pęknięcia powiększały się z każdą godziną. Zasklepiano je rozwodnioną gliną o konsystencji śmietany (taka mieszanka bardzo szybko wysychała). Najgroźniejsze okazało się pęknięcie, które pojawiło się tuż nad gardzielą komory ogniowej. Przeszło ono przez całą grubość ściany pieca. Kolejne poważne pęknięcie pojawiło się na źle zbudowanym fragmencie ściany pieca, inne pojawiły się również w okolicy półek oraz nad otworami w komorze wytopiskowej.

Po trzech dniach od skończonego eksperymentu przeprowadzono inspekcję. Piec wypalił się, miejsca, w których ogień mocniej go przypalał, zostały osmolone. Największe zniszczenia zauważono w miejscach powstałych pęknięć. Poza wyżej już wymienionymi zaobserwowano mniejsze i mało poważne szczeliny znajdujące się na kopule pieca. Gлина okalająca ściany w komorze ogniowej w dużej części odpadła od budującego ją piaskowca i dachówek. Korek i zamknięcia otworów zachowały się w całości.

Wnioski:

Z przeprowadzonego eksperymentu wyciągnięto następujące wnioski:

- 1) Za mały otwór w ruszcie/półce na donice — jego wielkość, zaprojektowana i wykonana w piecu okazała się niewystarczająca. Powodowało to słaby przepływ ciepłego powietrza pomiędzy komorą ogniową a wytopiskową (widoczne to jest w dużej różnicy temperatur pomiędzy nimi oboma). Jednocześnie nad komorą górną znajdował się otwór kominowy pieca, o dokładnie takiej samej średnicy. Takie ich sprzężenie powodowało, że ciepłe powietrze szło do góry w równej linii i nie zatrzymywało się odpowiednio długo w komorze górnej, by rozgrzać ją do przewidywanej temperatury.
- 2) Błąd ludzki w trakcie budowy — za bardzo pochyły fragment ściany, który jak wspomniano powyżej, powodował powstawanie pęknięć na powierzchni pieca.
- 3) Źle uformowane łuki pieca — również powodowały powstawanie pęknięć. Łuki należy budować spiczaste a nie płasko, jak to zostało zrobione.
- 4) Drewno — użyte przy tego typu projektach musi być sezonowane. Wytwarza wtedy znacznie mniej popiołu i osiąga wyższą temperaturę [TAYLOR, HILL 2008].

Należy również wspomnieć, że duży wpływ na otrzymane wyniki ma sprzęt użyty przy wykonywaniu pomiarów temperatury. Pirometr jest urządzeniem mierzącym temperaturę punktowo. Nie mierzy zatem temperatury np. w całej komorze a w wybranym przez mierzącego punkcie. Przy tego typu eksperymentach lepiej sprawdziłoby się urządzenie mierzące temperaturę w całości komory.

Sprawdzenie trafności wniosków

W sierpniu 2013 r. postanowiono sprawdzić, czy poczynione wcześniej wnioski są prawdziwe. Dlatego też powiększono otwór znajdujący się w ruszcie pieca do wielkości 0,25 m. Naprawiono i uzupełniono pęknięcia powstałe w piecu po poprzednim jego użytkowaniu. Opróżniono komorę ogniową z popiołu. Wśród wydobytych z pieca kawałków przepalonego drewna znaleziono fragment przepalony i zeszkliwionej gliny, co może oznaczać, że w komorze ogniowej panowała wyższa temperatura niż ta pokazywana przez pirometr w trakcie pomiarów. W trakcie przeprowadzania doświadczenia nie wykonywano pomiarów temperatury.

Tym razem rozpalono ognisko tylko w kanale prowadzącym do gardzieli pieca w celu jego ogrzania. Trwało to ok. 12 godzin, po czym palenisko wprowadzono do komory ogniowej. Palenie w piecu trwało jedynie ok. 24 godzin. Wydaje się, że udało się osiągnąć wymaganą temperaturę, ponieważ stopiła się stłuczka szklana znajdująca się w komorze górnej pieca. W trakcie użytkowania pieca wykorzystano sezonowane drewno dębu i brzozy.

Podsumowanie

Stworzenie dobrego projektu pieca szklarskiego nie należy do prostych zadań. Pod uwagę należy wziąć wiele czynników, które na pierwszy rzut oka sprawiają wrażenie mało istotnych np. poprawne zaprojektowanie i zbudowanie łuków kopuły. Na niepowodzeniu pierwszego eksperymentu zdaniem autorki zaważyły dwa główne czynniki: za mały otwór pomiędzy komorą dolną a górną, jak również niesezonowane drewno, które wytwarzało za niską temperaturę. Kolejnymi detalami, które przyczyniły się do fiaska były niewątpliwie błędy popełnione na etapie konstrukcji pieca (traktowane tu jako „błąd ludzki”) takie jak: ściana zbudowana pod zbyt ostrym kątem oraz źle uformowane łuki znajdujące się nad otworami.

Drugiego wypału w piecu nie można za to traktować jako eksperymentu — nie postawiono bowiem pytań badawczych. Służył on wyłącznie sprawdzeniu trafności wniosków poczynionych po pierwszym wypale. Zabrakło w nim również dokładnych pomiarów temperatury, przez co nie są znane dokładne warunki temperaturowe panujące w piecu.

Zgodnie z postępowaniem w archeologii eksperymentalnej następnym krokiem, jaki powinien być teraz podjęty, jest przygotowanie nowego projektu pieca. Powinien on uwzględniać w sobie wszystkie zdobyte informacje z poprzednich działań. Nowy projekt pieca, tak samo jak poprzedni, będzie tylko i wyłącznie interpretacją poczy-

nioną na podstawie zebranych danych i doświadczeń. Warte rozważenia jest, czy można taki piec z(re)konstruować na podstawie współczesnej wiedzy technicznej, która w znacznym stopniu opiera się na doświadczeniu pokoleń. Efektem takich działań mógłby być np. wspólny projekt z naukowcami z dziedzin technicznych, w którym współczesna wiedza mogłaby pomóc w uniknięciu błędów przy budowie, a wiedza archeologiczna pozwoliłaby na uniknięcie „uwpółcześnienia” konstrukcji.



Ryc. 1. Budowa ścian komory ogniowej; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 1. Construction of the fire chamber walls; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 2. Skończony ruszt pieca; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 2. Completed fire-grate; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 3. Budowa ścian komory ogniowej; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 3. Construction of the fire chamber walls; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 4. Budowa ścian komory górnej oraz znajdujących się w niej otworów;
fot. M. Frankiewicz
Fig. 4. Construction of the upper chamber walls and its openings; photog. M. Frankiewicz



Ryc. 5. Gotowy piec; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 5. Accomplished furnace; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 6. Piec podczas schnięcia; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 6. Drying of the furnace; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 7. Rozpalenie ognisk wokół pieca; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 7. Lighting fires around the furnace; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 8. Wygląd pieca podczas trwania eksperymentu; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 8. Furnace during the experiment; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 9. Wygląd pieca podczas trwania eksperymentu; fot. M. Krzyżanowska
Fig. 9. Furnace during the experiment; photog. M. Krzyżanowska



Ryc. 10. Wygląd pieca po przeprowadzonym eksperymentem w 2012; fot. M. Frankiewicz
Fig. 10. Furnace after the performed experiment in 2012; photog. M. Frankiewicz



Ryc. 11. Wygląd pieca po przeprowadzonym eksperymencie w 2012; fot. M. Frankiewicz
Fig. 11. Furnace after the performed experiment in 2012; photog. M. Frankiewicz



Ryc. 12. Wygląd pieca po przeprowadzonym eksperymencie w 2012; fot. M. Frankiewicz
Fig. 12. Furnace after the performed experiment in 2012; photog. M. Frankiewicz

Bibliografia

BALDONI D.

- 1987 Una lucerna Romana con reffigurazione di officina vetraria: alcune considerazioni Sulla lavorazione del vetro soffiato nell'antichità, JGS, vol. 29, s. 22–29.

COLES J.

- 1977 Archeologia doświadczalna, Warszawa.
1997 Experimental Archaeology [w:] W. Brzeziński, W. Piotrowski (red.). Proceedings of the First International Symposium on Wood Tar and Pitch, Warszawa, s. 307–312.

GAITZSCH I IN. [GAITZSCH W., FÖLLMANN-SCHULZ A.B., HANS WEDEPOHL K., HARTMANN G., TEGTMEIER U.]

- 2003 Spätromische Glashütten im Hambacher Forst — Produktionsort der ECVA Fasskrüge, BJB, 200, s. 83–241.

HENDERSON J.

- 2000 The Science and Archaeology of Materials: an Investigation of Inorganic Materials, London.

LAZAR I.

- 2006 An Oil Lamp from Slovenia Depicting a Roman Glass Furnace, VAPD, 99, s. 227–234.

MATHIEU J.R.

- 2002 Introduction [w:] J.R. Mathieu (ed.), Experimental Archaeology. Replicating Past Objects, Behaviours, and Processes, BAR, s. 1–12.

PLINY

- 1962 Natural History, vol. X, bk. 36–37, with an English translation by D.E. Eichholz, Cambridge, Massachusetts.

REYNOLDS P.J.

- 1999 The Nature of Experiment in Archaeology [w:] A.F. Harding (ed.), Experiment and Design: Archaeological Studies in Honour of John Coles, Oxford, s. 156–162.

STAWIARSKA T.

- 2005 Zagadnienie fryty w szklarstwie starożytnym i średniowiecznym, Acta UNC.A, t. 29, s. 41–73.

TAYLOR M., HILL D.

- 2008 Experiments in the Reconstruction of Roman Wood-Fired Glassworking Furnaces, JGS, vol. 50, s. 249–270.

TEOFIL PREZBITER

- 2009 Diversarum Artium Schedula, Średniowieczny zbiór przepisów o sztukach rozmaitych, tłum. S. Kobielus, Kraków.

WYKAZ STRON INTERNETOWYCH

- <http://www.romanglassmakers.co.uk>, 26.02.2014

(Re)Construction of a Roman Furnace for Glass Melting

Summary

The aim of the paper is to discuss an experiment concerning the (re)construction, structure and use of a Roman glass furnace. In the course of the designing of the experiment, a scheme proposed by Coles was used. The (re)construction was based on three categories of sources: archaeological (a find of a furnace from Hambach Forst), iconographic (olive lamps with depictions of furnaces), as well as earlier experiments of this kind. The feature in question was a two-level cupola furnace. For its construction, specially prepared roofing tiles, sandstone and clay with an admixture of sand and hay were used. Oak and birch wood was used to heat the furnace. Temperature values in the furnace were measured with a pyrometer in four spots. The following conclusions were drawn: it was not possible to achieve the required temperature in the furnace due to a too small opening in the fire-grate and the use of fresh and unseasoned wood. Furthermore, errors were made in the course of the construction of the furnace. These were: an improperly built part of the fire chamber wall and too flat arcs above the openings in the furnace. The validity of these conclusions was checked; the opening in the fire-grate was enlarged; seasoned oak and birch wood was used, and the cracks were fixed and filled up. No accurate temperature measurements were taken in the course of the second firing. However, in all probability a sufficiently high temperature was achieved, as glass cullet in the furnace melted.

[AL:GŻ]