

Anna Bojeś-Białasik*

 orcid.org/0000-0002-1676-5206

Piece hypokaustyczne w klasztorach Małopolski. Zarys rozwoju techniki ogrzewnictwa i najstarsze odkryte systemy ogrzewania

Hypocaust furnaces in monasteries in Lesser Poland. Technological development of heating and the oldest discovered heating systems

Słowa kluczowe: piec hypokaustyczny, klasztor, ogrzewanie powietrzne, badania architektoniczne

Key words: hypocaust furnace, monastery, air heating systems, archaeological research

Kilkanaście ostatnich lat poświęconych badaniom średniowiecznych klasztorów Małopolski przyniosło obfitość odkryć pozostałości ich dawnego wyposażenia technicznego. Odkryte relikty – trudne do przecenienia zarówno z punktu widzenia ich naukowej, jak i materialnej wartości – zmuszają do refleksji nie tylko nad rodzajem i technicznym zaawansowaniem dawnych urządzeń, ale także ogólnie, nad okolicznościami recepcji wynalazków postępu cywilizacyjnego w specyficznym środowisku, jakim bez wątpienia jest klasztor. Z kolei z punktu widzenia praktyki zawodowej badacza zabytków architektury wiodącym nurtem staje się kwestia ochrony konserwatorskiej tego historycznego wyposażenia, w sposób oczywisty przestarzałego i nieprzydatnego w bieżącym życiu użytkowników klasztoru, którymi wciąż najczęściej są mnisi lub zakonnice. Konieczność zachowania i ochrony dawnych urządzeń technicznych i inżynierskich nie ulega wątpliwości, ale już sposób realizacji tych postulatów przysparza pewnych trudności. Te pozornie „niszowe” i „archaiczne” zagadnienia zyskują ostatnio na aktualności w związku ze wzmożeniem inwestycji architektoniczno-budowlanych realizowanych w klasztorach przy wsparciu finansowym różnych instytucji i środków, zwłaszcza unijnych. Warto więc poświęcić nieco uwagi specyfice i skali tego problemu, koncentrując z jednej strony uwagę

Several years recently devoted to the research on medieval monasteries in Lesser Poland yielded abundant discoveries of relics of their technological equipment. The uncovered relics – whose both scientific and material value cannot be overestimated – provoke reflection not only on the kind and technological advancement of historic appliances, but also in general, on the reception of civilization inventions in such a specific environment as a monastery. From the professional perspective of a specialist doing research on architectural monuments, the leading question is conservation protection of that historic equipment, obviously outdated and useless in the everyday life of the monastery inhabitants who are still mostly monks and nuns. The need to preserve and protect the old technical and engineering appliances is unquestionable, though the implementation of those ideas poses some difficulty. Those seemingly “niche” and “archaic” issues have recently become more relevant as a result of intensified architectonic-building investments in monasteries financed by various, especially EU, institutions and resources. Therefore, it is worth highlighting the specificity and scale of the issue, on the one hand concentrating on the architectonic specificity of the monastery, while on the other, delving into the

* dr inż. arch., Instytut Historii Architektury i Konserwacji Zabytków, Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

* dr inż. arch., *Institute of History of Architecture and Monument Preservation, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology*

Cytowanie / Citation: Bojeś-Białasik A. Hypocaust furnaces in monasteries in Lesser Poland. Technological development of heating and the oldest discovered heating systems. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2019;58:33-43

Otrzymano / Received: 15.11.2018 • **Zaakceptowano / Accepted:** 25.01.2019

doi:10.17425/WK58HEATING

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

na architektonicznej specyfice klasztoru, zaś z drugiej wnikając w ewolucję europejskiego ogrzewnictwa i dokonując ogólnego – i wybiórczego, z racji rozmiarów publikacji – przeglądu odkrytych zabytków¹.

KLASZTOR

Istotnym tłem niniejszych rozważań nad urządzeniami technicznymi jest specyficzne środowisko architektoniczne, w którym są rozpatrywane – klasztor. Jest to miejsce szczególne zważając na fakt, że jego program funkcjonalny i rozplanowanie były przede wszystkim przestrzenną emanacją zasad życia wspólnotowego, realizowanego według założeń przyjętej reguły zakonnej. Był przestrzenią nasyconą symboliką, zbudowaną w oparciu o ideę prostoty i pragmatyzmu, a wszystko, co znalazło w nim swoje miejsce, nie było ani przypadkowe, ani zbyteczne.

Klasztor jako zespół architektoniczny i siedziba zgromadzenia stał się – w drodze doświadczeń i rozwoju – przestrzenią o przejrzystej, racjonalnej funkcjonalności, ukształtowanej na bazie przyjętych norm i zakonnych tradycji budowlanych. W ich myśl kształtowano nie tylko plan i funkcjonalny rozkład pomieszczeń, ale także dobierano środki architektonicznego wyrazu, wystrój oraz wyposażenie. Rodzaj i jakość tego wyposażenia, zwłaszcza technicznego, bardzo rzadko staje się tematem dyskusji naukowej, która koncentruje się raczej na duchowych bądź artystycznych aspektach istnienia klasztoru jako obiektu architektury oraz środowiska życia jego mieszkańców. Tymczasem wynalazki techniki były codziennością również dla tych, którzy zgodnie ze wzniosłym ideałem mieli być „anielskimi ludźmi”. Te interesujące wątki, dotyczące zarówno teoretycznej (prawodawczej), jak i praktycznej recepcji techniki i inżynierii w programach funkcjonalnych klasztorów są ważne nie tylko dla właściwej oceny wartości tego dziedzictwa, ale także dla określenia roli klasztorów w rozwoju cywilizacji i kultury materialnej. Te, jak i pozostałe kwestie, dotyczące m.in. kulturowej proveniencji urządzeń technicznych i dróg ich recepcji, stanowią osobne zagadnienie. Świadomość wagi tej problematyki oraz jej rozległość zdecydowała, że znajdzie ona swoje miejsce w osobnej publikacji.

Obecnie spróbujemy więc spojrzeć na klasztor z innej perspektywy i zaprezentować jego mało znane oblicze, traktowane nie jako odosobnione miejsce realizacji życia konsekrowanego, ale jako architektoniczne ramy życia człowieka w jego najbardziej codziennych, przyziemnych przejawach. Elementami tej codzienności był cały szereg urządzeń i wyposażenia, które ułatwiały życie i czyniły je bardziej cywilizowanym. Pozwala na to warsztat badacza architektury, który odkryte obiekty techniki bada pod kątem ich cech formalnych i walorów użytkowych.

Klasztor funkcjonujący w świadomości społecznej jako miejsce odrębne, tajemnicze i niedostępne miał największe szanse na ocalenie swojej historycznej przestrzeni. Wynikało to z wielu czynników, lecz przede wszystkim ze specyfiki życia monastycznego realizowanego najczęściej w pewnym odosobnieniu. W praktyce

evolution of heating systems in Europe and providing a general yet selective – because of the size of the publication – review of discovered historic objects¹.

MONASTERY

The significant background for these considerations about technological appliances is the specific architectonic environment in which they are analysed – the monastery. It is a specific place considering the fact that its functional programme and design were – primarily – a spatial manifestation of the principles of community life, realised according to the chosen monastic rule. It was the space imbued with symbolism, constructed around the concept of simplicity and pragmatism, and nothing found there was incidental or needless.

The monastery as an architectonic complex and a seat of a religious order became – throughout experiments and development – a clearly and rationally functional space, shaped by the approved standards and monastic building traditions. They not only shaped the plan and the functional layout of rooms, but also determined the architectonic means of expression, décor and furnishings. The type and quality of, especially, the technological equipment rarely becomes the subject of a scientific debate that focuses rather on spiritual or artistic aspects of the monastery as an architectural object and the habitat of its residents. Meanwhile, technological inventions used to be a part of everyday life also for those who, in accordance with the lofty ideal, were supposed to be “angelic people”. Those interesting themes concerning both the theoretical (legislative) and practical reception of technology and engineering in the functional programmes of monasteries are important not only to properly assess the value of that heritage, but also to determine the part monasteries played in developing civilisation and material culture. Those and other questions referring to e.g. the cultural provenance of technological appliances and their reception constitute a separate issue. Realising the importance of the problem and its extent decided that it will be addressed in a separate publication.

Now we will look at the monastery from another perspective, and present it not as a place of solitude and consecrated life, but in its less known aspect of an architectonic framework for human life at its most mundane. The elements of everyday existence included several appliances and equipment that facilitated life and made it more civilised. This is made possible thanks to the skills of an architecture researcher who examines formal features and utility value of discovered technological objects.

The monastery, functioning in the social awareness as a separate, mysterious and inaccessible place, was most likely to preserve its historic space. It was a consequence of several factors, though primarily of the specificity of monastic life most often realised in solitary confinement. In practice it meant materialising the traditional model of a dwelling, but also being re-

oznaczało to materializowanie ograniczonego tradycją modelu siedziby, ale i brak podatności na zmiany. Zachowanie historycznej przestrzeni i wyposażenia wynikało także często paradoksalnie z braku środków finansowych. Szczególny kontekst stworzyły realia Polski Ludowej, w której ograniczenia i represje ze strony państwa zderzały się z potrzebami poszczególnych domów zakonnych i społeczno-kulturowymi zmianami w funkcjonowaniu konwentów. Okres lat 60.–80. XX wieku aż do przełomu lat 90. był czasem spontanicznej, samodzielnej modernizacji funkcjonalnej wielu klasztorów tzw. metodami gospodarczymi. W tajemnicy przed władzami nagminnie prowadzono niezbędne co prawda, ale skomplikowane prace budowlano-modernizacyjne – zakładano instalacje centralnego ogrzewania, budowano własne kotłownie i urządzano łazienki. Szczęśliwie, ze względu na niedobory finansowe i braki materiałów inwestycje te – które pozbawione nadzoru stanowiły potencjalne zagrożenie dla historycznej architektury – były jednak w wielu przypadkach ograniczone. Dzięki temu w wielu klasztorach ocalała część oryginalnej – choć zbędnej – infrastruktury technicznej różnego rodzaju, m.in. dawne urządzenia ogniowe, zwłaszcza piece. Są wśród nich piece grzewcze, piekarskie, paleniska o charakterze rzemieślniczym (małe warsztaty produkcyjne), a także pewna część urządzeń o nieustalonej funkcji. Zabytków z grupy urządzeń ogniowych odkryto podczas badań zdecydowanie najwięcej. Dlatego to właśnie im, a ściślej mówiąc dawnym piecom grzewczym poświęcony został niniejszy tekst.

Relikwy pieców zachowały się w różnym stanie, od prawie kompletnych urządzeń do ledwie czytelnych, dyskretnych śladów okopceń i przepaleń, świadczących o dawnej obecności paleniska. Zachowały się w większości klasztorów – zarówno męskich, jak i żeńskich – niezależnie od ich wieku. Dotychczas zidentyfikowano 22 takie obiekty, które ujawniono podczas badań przeprowadzonych podczas ostatniej dekady w sześciu klasztorach różnych zgromadzeń. Pięć z nich to duże klasztory o średniowiecznej proveniencji, wyrosłe na gruncie średniowiecznej tradycji monastycznej, trwale zakorzenione w historii Kościoła i społeczeństwa, głęboko oddziaływujące na otoczenie w aspekcie religijnym, duszpasterskim i kulturowym: opactwo benedyktynów w Tyńcu, klasztor norbertanek w Krakowie na Zwierzynicy oraz w Imbramowicach, opactwo cystersów w Mogile i klasztor dominikanów w Krakowie. Na tym tle wyróżnia się prawie współczesny klasztor karmelitanek bosych w Krakowie, który kontrastuje z pozostałą grupą nie tylko swym młodym wiekiem, ale także specyfiką oblicza duchowego, ukształtowanego przez potrydenckie prawodawstwo, które ok. poł. XVI w. wpływało na sposób funkcjonowania zgromadzeń, zwłaszcza żeńskich.

PIECE

Wśród historycznych urządzeń służących do ogrzewania pomieszczeń klasztornych odnajdujemy: piece hypocaustyczne, kominki i piece kafłowe. Według subiektywnych zainteresowań autorki najciekawsze z nich to

asystant to change. Paradoxically, preserving the historic space and equipment frequently resulted also from the lack of financial means. A specific reality was created in the Polish People's Republic, in which restrictions and repressions imposed by the state clashed with the needs of particular monastic houses and social-cultural changes in the functioning of convents. The period between the 1960s and the 1980s, until the breakthrough in the 1990s, was the time of spontaneous, unaided functional modernization of monasteries, using the so called 'economical measures'. Generally, the indispensable yet complicated modernisation and construction work – installing central heating, building boiler rooms and adding in bathrooms – was conducted in secret from the authorities. Fortunately, due to financial and material shortages, such investments – which, unsupervised, posed potential danger to the historic architecture – were often limited. Thanks to that, parts of original – though no longer necessary – technological infrastructure of various kind e.g. old heating appliances, especially furnaces, have survived in many monasteries. They include heating furnaces, baker's ovens, artisan's hearths (small production workshops), as well as some appliances serving unidentified purposes. The majority of discovered monuments represented the heating appliances. That is why this text was devoted to them, or more precisely the historic heating furnaces.

Relics of furnaces have been preserved to a varying degree, from almost complete units to barely visible, discrete traces of soot and burn, confirming the existence of a hearth. They have survived in the majority of abbeys – both monasteries and convents – regardless of their age. So far, 22 such objects have been identified and revealed in the course of research conducted in six monasteries of various orders within the last decade. Five of those are large monasteries of medieval provenance, developed according to the medieval monastic tradition, deeply rooted in the history of the Church and society, and having a profound impact on the religious, pastoral and cultural aspect of their surroundings: the Benedictine Abbey in Tyniec, the Norbertine convent in Zwierzyniec in Krakow and in Imbramowice, the Cistercian Abbey in Mogiła, and the Dominican monastery in Krakow. The almost-contemporary convent of Discalced Carmelite nuns in Krakow stands out against this background not only because of its young age, but also because of the specificity of its spiritual image shaped by the post-Trento legislature which, around the mid-16th century, influenced the functioning of female orders in particular.

FURNACES

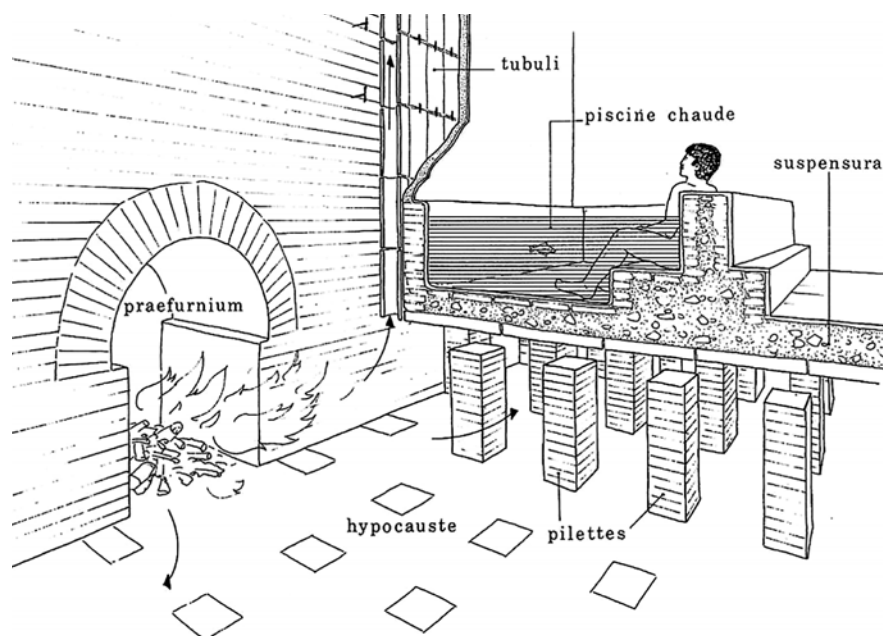
Among historic appliances used for heating rooms in monasteries we can find: hypocaust furnaces, fireplaces and tile stoves. In the subjective opinion of the author, the most interesting of them are the hypocaust furnaces which heated rooms directly by means of hot air emitted by a furnace located under the floor². This

piece hypokaustyczne, których zasada działania polegała na bezpośrednim ogrzewaniu pomieszczeń za pomocą gorącego powietrza, emitowanego przez podpodłogowy piec grzewczy². Koncepcja takiego ogrzewania wywodzi się z antycznych podłogowych systemów grzewczych, stosowanych m.in. w łaźniach i termach, które zwane były filarkowymi lub suspensurowymi. Przymiotnik „filarkowy” odnosi się do konstrukcji podłogi ogrzewanego pomieszczenia, wspartej na gęsto rozmieszczonych niewysokich filarkach, przez którą do pomieszczenia promieniowało ciepło krążące w przestrzeni pomiędzy filarkami. Przestrzeń podpodłogową, wspartą na filarkach zwano piwnicą hypokaustyczną. Gorące powietrze napływało do niej z paleniska (*praefurnium*) usytuowanego poza jej obrębem, które zazwyczaj krótkim kanałem łączyło się z tą piwnicą. System ten zwany był również suspensurowym, od terminu *suspensura*, którym określano podłogę zwieszoną na podporach, budowanych z ujednoliconych płytek ceramicznych lub kamienia. System ten bywał uzupełniany o (występujący także samodzielnie) system odkrywkowy, który polegał na bezpośrednim wpuszczaniu przez zamykany otwór w posadzce ogrzewanego pomieszczenia gorącego powietrza, zgromadzonego w niewielkiej piwnicy hypokaustycznej usytuowanej poniżej. Obydwa systemy uważa się za wynalazek starożytnej Grecji, który w I w. n.e. Rzymianie uzupełnili o zespoły glinianych kanałów ściennych zwanych *tubuli*, umożliwiającymi odprowadzanie dymu i spalin, z jednoczesnym wykorzystaniem ich wysokiej temperatury do bardziej równomiernej dystrybucji ciepła ogrzewającego pomieszczenia³ (ryc. 1).

W późnym antyku ok. II w. n.e. ten klasyczny (i najbardziej kojarzony ze starożytnością) filarkowy system grzewczy zaczął jednak powoli ustępować miejsca tzw. systemom kanałowym, które jako uproszczona forma systemu filarkowego oparowały technikę grzewczą i kontynuowały swój niezależny rozwój, niosąc ze sobą konkretne i wymierne korzyści. Zalicza się do nich zdecydowanie niższy koszt budowy systemu podpodłogowych zamkniętych kanałów (brak konieczności stosowania specjalnych płytek ceramicznych czy kamiennych na filarki, brak „wiszącej” podłogi), dużą pojemność cieplną ich murów oraz wysoką sprawność, wynikającą z dobrego przenikania ciepła, co wpływało na możliwość szybkiej stabilizacji temperatury w pomieszczeniu. System kanałowy był z założenia prosty i wykorzystywany powszechnie nawet w budowlach o konstrukcji

concept of heating derives from the antique subfloor heating systems, applied e.g. in bathhouses and *thermae*, which were also called pillar – or suspensory-systems. The term “pillar” refers to the construction of the floor in the heated room, resting on densely distributed low pillars, through which the heat circulating among the pillars radiated to the room above. The space below the floor supported by pillars was called the hypocaust cellar. Hot air flowed into it from the furnace (*praefurnium*) situated outside it and connected to the cellar by a short channel. The system was also known as suspensory, from the term *suspensura*, used to denote a floor suspended on supports built from ceramic tiles or stone. The system could also be supplemented with a ‘hot-plate’ system (also occurring independently) in which hot air accumulated in a small hypocaust cellar below the floor was let directly into the room to be heated via stoppered vents in that floor. Both systems are regarded as inventions of the ancient Greeks, which in the 1st c. A.D. Romans supplemented with a series of wall pipes called *tubuli*, which allowed smoke and fumes to escape, while simultaneously using their high temperature to distribute the heat warming the rooms more evenly³ (fig. 1).

In the late antiquity, around the 2nd c. A.D., that classical (and most associated with the antiquity) pillar heating system was gradually replaced by the so called pipe systems which, as a simplified form of the pillar system, dominated the heating technology and continued their independent development, bringing tangible benefits. Among the latter there was a much lower cost of building a system of enclosed subfloor flues (no need to use special ceramic or stone tiles for pillars, no “suspended” floor), large heat storage capacity



Ryc. 1. Zasada działania systemu filarkowego w obrębie antycznej łaźni; źródło: J-P. Adam, *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*, Biblioteca di Archeologia, vol.10, fig. 633, s. 293
 Fig. 1. Operating principle of the pillar system in an antique bathhouse; source: J-P. Adam, *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*, Biblioteca di Archeologia, vol. 10, ryc. 633, p. 293

szachulcowej, a w przypadku niewielkich przestrzeni jego działanie można było ograniczyć do zastosowania raz dziennie. Istotną innowacją były wspomniane pionowe ściennie kanały *tubuli*, które odprowadzając spaliny przyczyniały się jednocześnie do ogrzewania powierzchni ścian i utrzymywania korzystniejszych parametrów termicznych. Niezwykłą ekspansję ogrzewania kanałowego w kolejnych stuleciach zaobserwowano zwłaszcza w obrębie architektury mieszkalnej rejonu północnoalpejskiego i Jeziora Bodeńskiego, a okres jego dominacji przypadł na czas od X do XII w.⁴ (ryc. 2). Udoskonalanie tego systemu polegało przede wszystkim na zwiększaniu liczby kanałów oraz różnicowaniu ich kształtów i rozmieszczenia. Kanałowy system grzewczy był spuścizną tradycji antycznych, do których przetrwania przyczynili się zwłaszcza benedyktyni⁵. Dalsza zasadnicza innowacja, będąca wynikiem procesu przemian w obrębie tego systemu polegała na przekształceniu dotychczasowego kanału w rodzaj wydłużonego sklepionego pieca, zakończonego otworami wylotowymi dla gorącego powietrza w ogrzewanym pomieszczeniu. Mury pieca budowano z kamienia uszczelnianego ogniotrwałą gliniastą zaprawą, aby zapewnić odporność na wysoką temperaturę. Palenisko zajmujące całe dno pieca, czyszczono – po spaleniu opału – z resztek żaru i popiołu. Otwarcie wylotów usytuowanych w środkowej partii posadzki ogrzewanego pomieszczenia uruchamiało ciąg gorącego powietrza, które napływało do wnętrza. Ten wariant pojawił się w XI–XIII w. wraz z nowymi wyzwaniami, jakimi były ostrzejsze warunki klimatyczne północnych części Europy, większe powierzchnie do ogrzania oraz nowe technologie budownictwa, a czas występowania kojarzy ogólnie z dobą panowania Hohenstaufów.

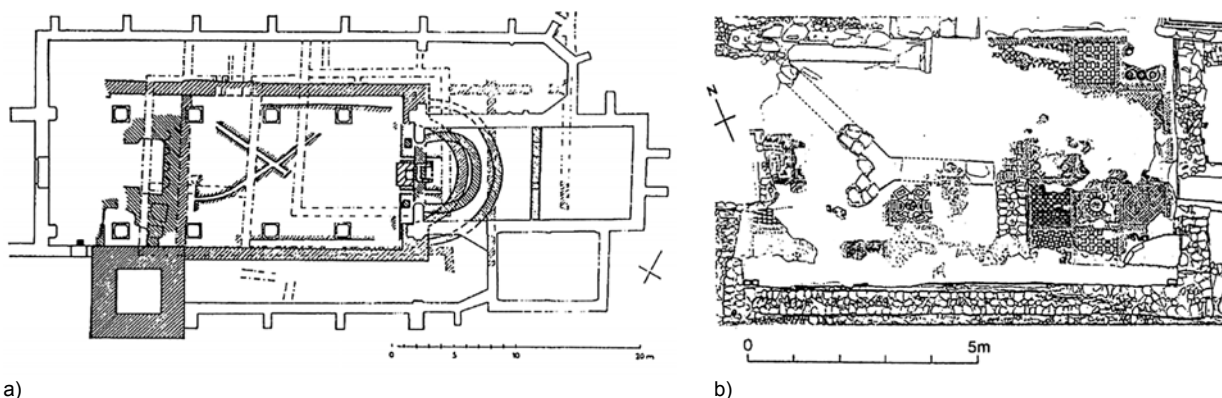
Relikty takiego ogrzewania odkryto w regionie gór Harzu, konkretnie w palatium cesarskim w Goslar, a także w zamku Dankwarderode, w klasztorach dominikanów w Jenie i Budapeszcie (konwent żeński)⁶ (ryc. 3).

Najistotniejszym efektem tej innowacji było powstanie załączka pieca jako niezależnego elementu systemu, który przechodził jeszcze wiele dalszych etapów transformacji technicznych, zanim ukonstytuował się w formie punktowego źródła ciepła. Efektem finalnym ewolucji tego prototypu pieca, który wyewoluował z systemu kanałowego, był późnośredniowieczny piec grzewczy o zaawansowanej dwukomorowej budowie i wysokiej wydajności, uzyskanej dzięki zastosowaniu pakietu kamieni akumulujących ciepło. Ten właśnie typ pieca, który zawładnął europejską techniką ogrzewnictwa na kilka kolejnych stuleci, reprezentuje najkorzystniejszą formę kompresji technologicznej, tworzącej podwaliny systemu współczesnego centralnego ogrzewania. Co ciekawe, stan aktualnej wiedzy wciąż nie pozwala na zdefiniowanie pochodzenia tego najbardziej rozpowszechnionego i wydajnego typu pieca, który stanowił wyposażenie m.in. klasztornych *calefactoriów* (ogrzewalni), zachowanych do dzisiaj w wielu opactwach cysterskich. Impulsy do rozprzestrzenienia się wspomnianego, najbardziej zaawansowanego technologicznie pieca dwukomorowego pochodziły prawdopodobnie

of their walls and high efficiency resulting from good heat radiation, which allowed for a quick stabilisation of temperature in a room. The pipe system was simple by principle and commonly used even in wattle-and-daub buildings, and in the case of smaller spaces it could have been fired only once a day. Significant innovations were the aforementioned *tubuli*, vertical flues in walls, which while letting out fumes contributed to warming the walls and maintaining better temperature. In the following centuries, an unusual expansion of pipe heating could be observed in the residential architecture in the north-Alpine region and Lake Constance, where it was predominant between the 10th and 12th c.⁴ (fig. 2). Improvements in the system mainly involved increasing the number of flues and varying their shape and location. The pipe heating system was a legacy of the antiquity traditions which were preserved mostly thanks to the Benedictines⁵. The next essential innovation, resulting from the transformations within the system, involved converting the former flue into a kind of an elongated vaulted furnace with vents through which hot air rose into the room. The walls of the furnace were built from stone sealed with fireproof clay mortar, so as to make it heat-resistant. After the fuel had burnt, the embers and ash were removed from the hearth which filled the bottom of the furnace. Opening the vents situated in the middle of the floor of the heated room drew the warm air inside it. That version appeared between the 11th–13th c. along with the new challenges like more severe climate conditions in the northern part of Europe, larger spaces to be heated or new building technologies, and the time of their appearance is generally associated with the reign of the Hohenstaufen.

Relics of such heating systems were discovered in the Harz Mountains, actually in the imperial *palatium* in Goslar, the Dankwarderode castle, as well as the Dominican monasteries in Jena and Budapest (a convent)⁶ (fig. 3).

The most significant effect of that innovation was creating the early version of a furnace as an independent element of the system, which underwent many further stages of technological transformation before it became a pointwise source of heat. The final result of the transformation of the prototype that evolved from the pipe system was the late-medieval heating furnace with two chambers, which was highly efficient due to the use of piles of stones storing heat. That type of furnace, which became predominant in the European heating systems for several centuries, represents the most favourable form of technological compression laying foundations for the contemporary central heating system. Interestingly, the current state of knowledge still does not allow for determining the provenance of that most popular and effective type of furnace which used to be installed in e.g. monastic *calefactories* (warming houses), preserved till today in many Cistercian abbeys. The aforementioned, most technologically advanced heat-storage furnace must

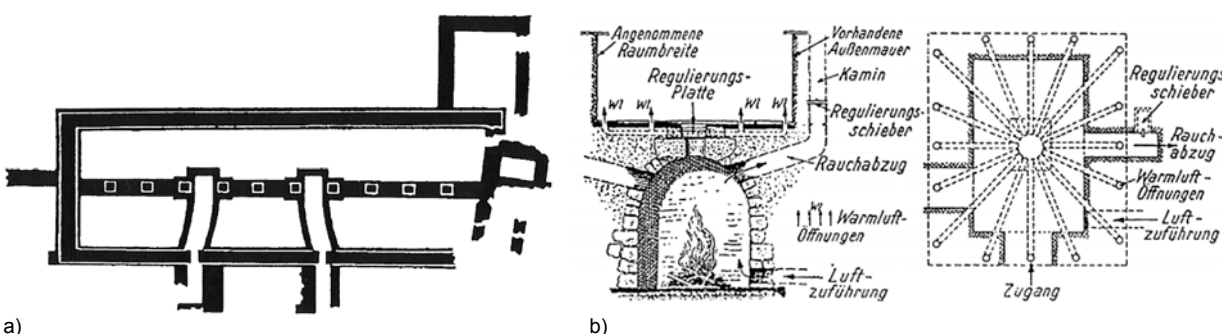


a)

b)

Ryc. 2. Systemy ogrzewania kanałowego: a) Lauriacum, dawny obóz rzymski (Lorch), b) Genewa, rezydencja Biskupia; źródło: K. Bingenheimer, *Die Luftheizungen des Mittelalters*, s. 42–43

Fig. 2. Pipe heating systems: a) Lauriacum, former Roman military camp (Lorch), b) Geneva, a bishop's residence; source: K. Bingenheimer, *Die Luftheizungen des Mittelalters*, p. 42–43



a)

b)

Ryc. 3. Ogrzewanie z zastosowaniem wydłużonego pieca, który wykształcił się z systemu kanałowego: a) zamek Dankwardenrode, b) klasztor dominikanów w Jenie; źródło: K. Bingenheimer, *Die Luftheizungen des Mittelalters*, s. 103, 138

Fig. 3. Heating using the elongated furnace which evolved from the pipe system: a) Dankwardenrode castle, b) Dominican monastery in Jena; source: K. Bingenheimer, *Die Luftheizungen des Mittelalters*, p. 103, 138

z klasztorów, jako pionierów tej technologii, a później także z zamków, przy czym rozwój i kontakty w obrębie wspólnoty hanzeatyckiej i ekspansja zakonów rycerskich również mogły mieć w tym swój udział.

Najważniejszy wniosek płynący z toczących się na arenie międzynarodowej badań nad ogrzewnictwem dotyczy złożoności i nieliniowości procesu ewolucji średniowiecznych technik ogrzewania. Równoległe występowanie różnych systemów, zanikanie jednych i niezależny rozwój innych wariantów, sukcesywne ulepszanie, eksperymentowanie i przebudowywanie jako mechanizm postępu nie pozwala na wyznaczenie prostych linii rozwoju. Nie przytaczając tutaj – ze względu na ograniczoną pojemność tekstu – pokłosa interdyscyplinarnej dyskusji naukowej dotyczącej analizy i prób klasyfikacji⁷ odkrywanych relikwów pieców można skonkludować, że większość systemów grzewczych miała cechy indywidualne, które tylko dzięki występowaniu na pewnym obszarze i zasadniczym podobieństwom można ujmować we wspólne ramy klasyfikacji. Owa dyskusja jasno natomiast wskazuje, że kategorię zabytków odkrywanych w Polsce zaliczyć trzeba do schyłkowej fazy rozwoju średniowiecznego ogrzewnictwa, co – pomimo doniosłości odkryć i ich niekwestionowanej wartości – mocno ogranicza perspektywę naszego spojrzenia.

have been popularised in monasteries, as pioneers in this technology, and later also in castles. Moreover, the development and contacts within the Hanseatic League and expansion of military orders might also have contributed to it.

The essential conclusion drawn from the international research on heating systems concerns the complexity and non-linear character of the evolution of medieval heating technologies. The simultaneous occurrence of various systems, gradual disappearance of some and independent development of other variations, their successive improvement, experimenting and transformation as the mechanism of progress do not allow for determining straight lines of development. Without quoting here – because of the text content limitations – the legacy of the interdisciplinary scientific debate concerning an analysis and attempts at classification⁷ of the discovered furnace relics, it can be concluded that the majority of heating systems developed individual features which can be put within a common classification framework only because they occurred in a certain area and showed basic similarities. Nevertheless, that debate indicates clearly that the historic objects discovered in Poland should be classified as representing the final stage in the development of medieval heating systems, which – despite the im-

Ogrzewanie hypokaustyczne – jako idea lub przynajmniej zasadnicza część systemu – przetrwało stosunkowo długo. Do takich konkluzji zmusza analiza sukcesywnie odkrywanych reliktyw, zaś piec jako serce systemu i emitent gorąca w swojej najwydajniejszej dwukomorowej edycji wciąż nosił w sobie elementy pierwotnych antycznych koncepcji. W średniowieczu najczęściej towarzyszyła mu bezpośrednio nad nim usytuowana posadzka ogrzewanego pomieszczenia, zapatrzona w zamykane pokrywami otwory wylotu gorącego powietrza. Później – jak dowodzą badania – również piec kaflowy lub inny odbiornik ciepła, ustawiany bezpośrednio nad piecem.

Piece hypokaustyczne były obiektami trwałymi, integralnie związanymi z budynkami, wznoszonymi z nimi jednocześnie lub dobudowywanymi później, a lokalizowanymi najczęściej w piwnicach. Wiele z nich nosiło ślady przeróbek i wtórnej przebudowy, której dokonano w imię modernizacji technicznej lub w celu dostosowania do bieżących potrzeb. Najczęstszym budulcem była cegła i kamień (wapień lub piaskowiec), który często łączono z cegłą. Piece składały się z dwóch osobnych pomieszczeń: komory przypiecowej, służącej do obsługi pieca i magazynowania podręcznego zapasu opału, która przybierała postać małej piwniczki oraz właściwego pieca, który – w przeważającej części przypadków – składał się z dwóch komór: dolnej pełniącej rolę paleniska oraz górnej, sklepionej, wypełnionej rzeczonymi otoczkami, które nagrzewając się akumulowały ciepło promieniujące z paleniska. Komory rozdzielał rząd masywnych ceglanych łęków opartych na odsadzkach i tworzących ruszt, na którym zalegał pakiet kamieni. Zapewniał on optymalizację funkcji grzewczych i poprawę jakościową całego systemu. Tym samym w ścianie czołowej takiego pieca znajdowały się najczęściej dwa zamykane otwory: dolny, służący do ładowania opału do paleniska i górny, przez który wkładano pakiet kamieni. Tej technologicznej innowacji wyjątkowo sprzyjał równoległy rozwój budownictwa ceglano (*Backsteinbau*), operującego dobrze wypaloną ogniotrwałą cegłą ceramiczną. Nieodłącznym elementem każdego pieca był komin, który odprowadzał na zewnątrz trujące spaliny powstałe w procesie spalania opału oraz dym. Zarówno z punktu widzenia technologii działania pieca, jak i bezpieczeństwa jego użytkowania był to więc element niezbędny i niezwykle ważny. Najbardziej właściwym rodzajem opału stałego w piecach hypokaustycznych było drewno bogate w związki lotne, najczęściej świerkowe, rzadziej torf. Prawdopodobnie rzadko w piecach stosowano także węgiel drzewny⁸. Podczas badań odnajduje się czasem charakterystyczne kamienne płyty z okrągłymi otworami, którymi gorące powietrze wlatywało do ogrzewanego pomieszczenia. Niektóre z nich odkryto *in situ*, w sklepieniu pieca lub w płaszczyźnie dawnej posadzki, inne w postaci połamanych fragmentów znajdowano np. w zasypie komory pieca. Płyty takie odkuwano z wapienia lub piaskowca otaczając otwory wylotu powietrza wydatnym wrębem, umożliwiającym szczelne zamknięcie pokrywą. Nie w pełni rozpoznany element pieców (ze względów na stan zachowania) są kanały, którymi – w przypadku

portance of such discoveries and their unquestionable value – seriously narrows our perspective.

Hypocaust heating – as an idea or at least a vital part of the system – survived for a fairly long time. Such a conclusion must be drawn from the analysis of successively discovered relics, where the furnace as the heart of the system emitting heat, even in its most efficient two-chamber heat storage version, still bore elements of the original antique concepts. In the medieval period, it was combined with the floor of the room to be heated situated directly above and fitted with stoppered vents letting in warm air; later – according to research – also a tiled stove or another heat receiver was placed directly above the furnace.

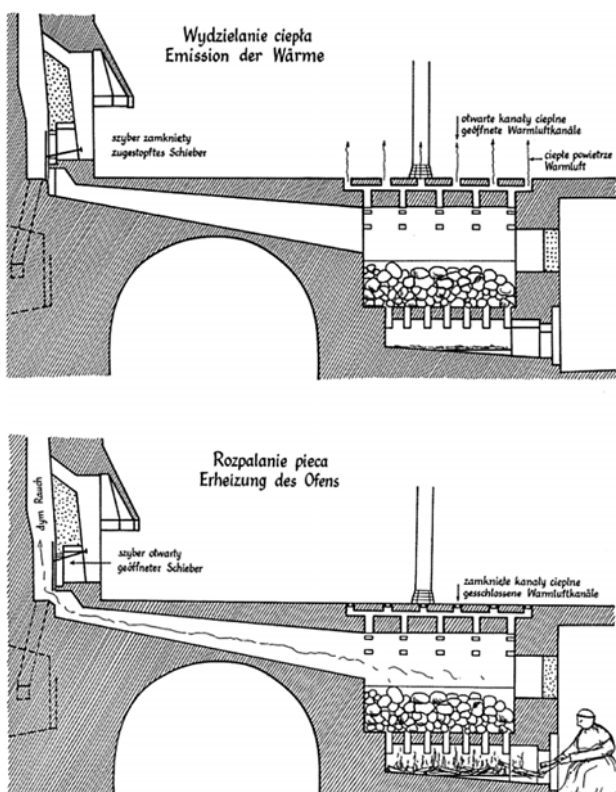
Hypocaust furnaces used to be permanent objects, integral to buildings, erected at the same time or added later, and most frequently located in cellars. Many displayed traces of alterations and remodelling, carried either in the name of technical modernisation or to adapt them to current requirements. Brick, stone (limestone or sandstone) often combined with bricks were the most frequent building materials. The furnaces consisted of two separate rooms: the stoker room used for manning the furnace and storing the fuel, which usually looked like a small cellar, and the proper furnace which – in most cases – consisted of two chambers: the lower serving as the hearth, and the upper, vaulted one, filled with piled stones that stored the heat radiating from the hearth. The chambers were separated by a row of massive brick arches resting on offsets and creating a grille on which the stones were piled. It ensured an optimal heating function and a better quality of the entire system. Thus in the front wall of the furnace there used to be two closed door: the lower used for feeding in fuel, and the upper through which the stones were piled in. That technological innovation was uniquely supported by a simultaneous development of brick architecture (*Backsteinbau*) using fireproof fired brick. Each furnace had to be fitted with a chimney through which toxic fumes and smoke produced by burning fuel could escape outside. Therefore, both from the perspective of furnace technology and the safety of its use, it was an essential and indispensable element. The best kind of fuel for hypocaust furnaces was wood, most often spruce, rich in volatile organic compounds, less frequently peat. Charcoal may also have been used in furnaces, though rarely⁸. Characteristic stone hot-plates with round openings through which hot air was released into the room have sometimes been found during research. Some of them have been found *in situ*, in the vault of the furnace or in the former floor, while other were found in the form of broken fragments e.g. in the infill of the furnace chamber. Such hot-plates were hewn from limestone or sandstone, with air vents surrounded by a prominent rim allowing for closing it airtight with a lid. The flues, through which – in the case of large hypocausts – hot air was released from the storage chamber via those stone

dużych pieców – gorące powietrze unosiło się z pieca poprzez owe kamienne płyty do ogrzewanego pomieszczenia. Na podstawie różnorodności zachowanych relikwów i ich interpretacji domniemywać można, że te elementy mogły być rozwiązywane różnie, a nawet całkiem indywidualnie. Najbardziej znanym i szeroko opisywanym zarówno w polskiej, jak i europejskiej literaturze przykładem opisanego dwukomorowego urządzenia, wzniesionego w całości z cegły, jest olbrzymi dwukomorowy piec pod Wielkim Refektarzem na zamku w Malborku (ryc. 4). Przeprowadzone w XIX w. eksperymentalne uruchomienie malborskiego systemu ogrzewania hypokaustycznego oraz kolejne prace konserwatorskie w obrębie zamku pozwoliły na praktyczne rozpoznanie sposobu działania tego systemu, a zwłaszcza pieców, jako jego najistotniejszych elementów⁹.

W uproszczeniu zasada działania pieca typu hypokaustycznego opierała się na dwóch powtarzanych cyklach: rozpalania i grzania. Podczas rozpalania w palenisku spalano odpowiednią ilość opału – najczęściej drewna, dbając o to, aby kanał komina był otwarty, a ciąg odpowiednio mocny. Przepustowość i ciąg komina regulował szyber, którym wlot do kanału komina otwierano lub zamykano, w zależności od fazy pracy pieca. W fazie rozpalania otwory w sklepieniu pieca pozostawały zamknięte. Gdy cały ładunek opału się spalił, a kominem ulotniły się trujące spaliny i dym powstałe

hot-plates into the heated room, have not been fully researched (owing to their state of preservation). On the basis of the variety of preserved relics and their interpretation, it can be assumed that those elements might have had various solutions, even fairly individually. The best known and elaborately described, both in Polish and European literature, example of the mentioned two-chamber appliance built entirely from brick is the enormous two-chamber hypocaust below the Great Refectory in the Malbork castle (fig. 4). The experimental firing of the hypocaust heating system in Malbork, carried out in the 19th century, and further conservation work in the castle, allowed for acquiring practical knowledge of the technology the system operated on, and especially the heat storage furnaces as its essential elements⁹.

To put it simply, the functioning of the hypocaust furnace was based on two repetitive cycles: firing and heating. During the firing stage, a sufficient amount of fuel – most often wood – burnt in the hearth, while making sure that the chimney was open and the draft strong. The chimney capacity and draft were regulated by the damper that could be opened or closed, depending on the stage of the process. At the firing stage the air vents in the hypocaust vault remained closed. When the firing was complete, and the toxic fumes and smoke escaped through the chimney, the damper



Ryc. 4. Zasada działania dwukomorowego pieca średniowiecznego oraz widok ściany czołowej pieca pod Wielkim Refektarzem na zamku w Malborku, źródło: B. Pospieszna, *Wielki Refektarz na Zamku Średnim w Malborku. Dzieje, wystrój, konserwacja*; rys. J. Kacperska, fot. 7, s. 87; fot. A. Bojęś-Białasik

Fig. 4. Functioning principle of the medieval heat storage hypocaust and a view of the front wall of the furnace below the Great Refectory in the Malbork castle; source: B. Pospieszna, *Wielki Refektarz na Zamku Średnim w Malborku. Dzieje, wystrój, konserwacja*; sketch: J. Kacperska, photo: 7, p. 87; photo: A. Bojęś-Białasik

podczas spalania, szyber zamykano, a otwierano otwory znajdujące się w posadzce ogrzewanego pomieszczenia. Wtedy gorące powietrze emitowane przez nagrzaną kamień unosiło się grawitacyjnie do znajdującego się bezpośrednio nad piecem pomieszczenia, ogrzewając je. Czasami piec ogrzewał także pomieszczenia na wyższych kondygnacjach, do których gorące powietrze docierało poprzez kanały grzewcze umieszczone w ścianach. Ogrzewanie średniowieczne wykorzystywało najczęściej bezpośredni (odkrywkowy) sposób dostarczania ciepła z pieca poprzez otwory w posadzce. Nieliczne odkrycia potwierdzają także istnienie pieców jednokomorowych, złożonych wyłącznie z paleniska, bez górnej komory wypełnionej kamieniami. W przypadku pieców jednokomorowych¹⁰ elementem akumulującym i dystrybuującym ciepło był sam piec: jego ściany oraz sklepienie – najczęściej specjalnie pogrubiona z zamysłem gliniano-ceglana lub gliniana koleba¹¹.

Całość prac związanych z obsługą pieca musiał wykonywać człowiek, dbając nie tylko o ciągłość i bezpieczeństwo pracy samego urządzenia, ale także kontrolując na bieżąco sprawność całego systemu. Tam, gdzie nie brakowało rąk do obsługi tak funkcjonujących pieców, w klasztorach czy zamkach zakonów rycerskich¹², ich żywot mógł przedłużyć się aż do wieku XVIII, choć nie wykorzystywano już bezpośredniej transmisji powietrza przez posadzkę ogrzewanego pomieszczenia, lecz – jak wspomniano – nad piecem stawiano piec kaflowy. Jednocześnie w wielu miejscach piece hypokaustyczne na zawsze ustąpiły miejsca klasycznym piecom kaflowym, ładowanym i obsługiwanym najczęściej z przylegających do nich niewielkich pomieszczeń, dostępnych z korytarzy lub specjalnych komórek. W stałym użyciu były również kominki, a później rozmaite piece żeliwne i kozy.

Na występowanie pewnych różnic pomiędzy piecami – przejawiających się w odejściu od przyjętych kanonów i stosowaniu rozwiązań niekonwencjonalnych – wpływał fakt wtórnej budowy pieca w określonym miejscu, czyli konieczność wpisania się w istniejące warunki. Takie praktyki miały miejsce nadzwyczaj często i wiązały się z konkretnymi problemami, dotyczącymi zwłaszcza budowy kominów koniecznych do obsługi tych nowych pieców. Paradoksalnie, z tym teoretycznie trudnym problemem radzono sobie nadzwyczaj łatwo, ponieważ determinacją była w takich przypadkach podstawową wytyczną. Komin budowano więc po prostu tam, gdzie był potrzebny, „demolując” wszystko, co stało na drodze jego pionowego kanału, a więc nadproża otworów, spływy sklepień, drewniane belki stropów i konstrukcyjne wzmocnienia. Przykłady takich lekkomyślnych inwestycji są liczne i niezwykle pouczające, a przede wszystkim nieodmienne wprawiają badaczy w zdumienie.

Wielkość pieca zależna była od wielkości ogrzewanego pomieszczenia oraz jego przeznaczenia. Piec był tym większy, im obszerniejsza była kubatura ogrzewanego pomieszczenia. Aby zaoszczędzić miejsce, różnicowano więc wielkość samych komór pieca, powiększając – czasem nawet dziesięciokrotnie – kubaturę komory górnej (z kamieniami) w stosunku do paleniska¹³.

was closed and the vents in the floor of the room to be heated were opened. Then the warm air emitted by the heated stones rose to the room located directly above the heat storage hypocaust and warmed it. Sometimes the furnace also warmed rooms on higher storeys, which hot air reached via flues built in walls. Most often medieval heating used the direct (open) way of feeding heat from the furnace through the vents in the floor. Few discoveries have also confirmed the existence of one-chamber furnaces, consisting of only the hearth without the upper chamber filled with stones. In the case of one-chamber furnaces¹⁰ the element that stored and distributed the heat was the furnace itself: its walls and vault – usually the deliberately thickened clay-and-brick or only clay barrel vault¹¹.

All the work related to manning the furnace had to be done by a man who made sure not only that the furnace worked continuously and safely, but also controlled the efficiency of the whole system. Whenever there was sufficient manpower to operate such furnaces, in monasteries or castles of military orders¹², they might have survived until the 18th century, even though the warm air no longer rose directly through the floor of the room to be heated, but instead a tiled stove was put up above the furnace. At the same time, in many places hypocaust furnaces were replaced with classic tile stoves, stoked and manned from adjoining rooms accessible from the corridor, or special cubicles. Fireplaces, and later various cast-iron as well as pot-belly stoves were also commonly used.

The occurrence of some differences between furnaces – manifested by deviation from generally approved canons and applying unconventional solutions – resulted from the furnace being built anew on the same spot and having to fit into the existing conditions. Such practices were fairly frequent and were related to concrete problems concerning mostly the construction of chimneys necessary for those new furnaces to function. Paradoxically, this theoretically difficult problem was solved fairly easily, since determination was the key in such cases. Thus the chimney was simply erected where it was necessary; while everything in the way of its vertical flue e.g. lintels, vault spandrels, wooden beams and construction reinforcements were dismantled. Examples of such reckless investments are numerous and very instructive, but mainly they invariably amaze researchers.

The size of the furnace depended on the size of the room to be heated and its function. The bigger the cubic capacity of the room to be heated, the larger the furnace was. In order to save space the furnace chambers differed in size, by enlarging – sometimes even ten times – the capacity of the upper chamber (with the stones) in comparison to the hearth¹³.

Despite limited “flexibility” of hypocaust furnaces resulting – as we have found out – from their permanence and complete dependence on the architectural structure of the building, they were extremely efficient and effective appliances. It was proven by

Pomimo małej „elastyczności” pieców hypokaustycznych, wynikającej – jak stwierdziliśmy – z faktu ich trwałości i całkowitej zależności od struktury architektonicznej budynków były to urządzenia niezwykle wydajne i efektywne. Dowiodły tego eksperymentalne uruchomienia kilku średniowiecznych pieców malborskich, przeprowadzone na zamku w latach 1822 i 1823¹⁴. Poprzedziły je trwające od roku 1817 prace przygotowawcze i budowlane, w toku których rozpoznano m.in. przebieg kanałów cieplnych i kominów, wykonano ich niezbędne remonty oraz poprawki w budowie samych pieców. Pomimo pewnych trudności rezultaty eksperymentu zdecydowanie wskazały na wysoką sprawność zarówno pieców, jak i całego systemu, o czym może świadczyć ogrzanie jednego z pomieszczeń o kubaturze prawie 4000 m³ do temperatury 22,5°C w 20 minut (*sic!*). Ten niesłychany sukces łączył się jednak nie tylko ze wspomnianym bieżącym, dużym udziałem pracy ludzkiej, ale także okresowym – jakbyśmy to dzisiaj określili – serwisowaniem całego systemu, z kontrolą jakości opału i wymianą ładunku kamieni włącznie. Po określonym czasie użytkowania otoczaki pełniące rolę akumulatorów ciepła traciły swoje właściwości fizyczne i wykazywały gorszą pojemność cieplną, ulegały całkowitemu przepaleniu, stawały się kruche i po prostu rozpadały się. Dlatego, aby utrzymać odpowiednie parametry pracy pieca, kamienie trzeba było sukcesywnie przekładać, uzupełniać, a pokruszone wyrzucać. Eksperyment malborski wykazał, że dbałość o drożność, czystość i szczelność kanałów, kominów oraz samych pieców była warunkiem *sine qua non* działania całego systemu.

experimental firing of a few medieval heat storage furnaces conducted in the Malbork castle in the years 1822 and 1823.¹⁴ They had been preceded by the preparation and building work, started in 1817, during which e.g. the outline of heat flues and chimneys was identified, necessary repairs were carried out as well as improvements in the construction of the furnaces. Despite certain difficulties, results of the experiment indicated the high efficiency of both furnaces and the whole system, the evidence of which was heating an almost 4000 m³ room to the temperature of 22.5°C in 20 minutes (*sic!*). However, that unbelievable success required not only the aforementioned need for manpower, but also – to put it in modern terms – periodical servicing of the entire system, including the quality control of the fuel and exchanging the stone piles. After a certain time, the stones used for accumulating the heat lost their physical properties and displayed lower heat storage capacity, were completely burnt out, became brittle and simply disintegrated. Therefore, in order to maintain the suitable parameters in the furnace, the stones had to be shuffled around, new ones added, and crumbled ones removed. The experiment in Malbork revealed that making sure that the flues, chimneys and furnaces remained passable, clean and tight was the *sine qua non* condition for the functioning of the whole system.

¹ Artykuł powstał na bazie książki pt. *Piece i latryny. Z badań nad urządzeniami ogniowymi i sanitarnymi w klasztorach Małopolski*, autorstwa A. Bojęś-Białasik, wyd. Kraków 2018, w której przedstawiono dwie wybrane grupy zabytków, odkryte podczas badań architektonicznych, przeprowadzonych w ciągu ostatniej dekady w klasztorach różnych zgromadzeń na terenie Małopolski. Książka zawiera katalog odkrytych pieców i latryn, wraz z opisem, dokumentacją architektoniczną i interpretacją. Niniejsza publikacja, ograniczona z racji wymogów wydawniczych do określonych rozmiarów, odnosi się do jednego rodzaju tych urządzeń, a mianowicie pieców i została podzielona na dwie części. Część I przedstawia specyfikę klasztoru jako środowiska architektonicznego, w którym odkryto rozmaite piece i urządzenia ogniowe oraz przybliżyła najistotniejsze etapy rozwoju historycznych systemów ogrzewania pomieszczeń za pomocą gorącego powietrza, których „głównym bohaterem” był piec hypokaustyczny. Część II prezentuje kilka przykładów dawnych pieców, wybranych spośród 22 odkrytych obiektów, koncentrując się na ich budowie, funkcji i przekształcaniach.

² Greckie słowa: *hypo* – pod spodem oraz *kaiein* – spalić, rozpalic ogień złożyły się na łacińską wersję słowa: *hypocaustum*, odnoszącego się do ogrzewania poprzez palenie od spodu.

³ M. Dąbrowska, *Ogrzewanie wnętrz mieszkalnych w średniowieczu i czasach nowożytnych*, Kwartalnik Historii Kultury Materialnej, rok LVI, nr 3–4, Warszawa 2008, s. 306; A. Zettler, *Die frühen Klosterbauten der Reichenau*, Sigmaringen 1988, s. 209.

Jednocześnie wiadomo, że antyczne systemy grzewcze z zasady nie posiadały osobnych kominów – we współczesnym rozumieniu – odprowadzających dym i spaliny.

⁴ T. Spiegel, *Die mittelalterliche Luftheizung des Zisterzienser-Klosters Doberan im Kontext der Entwicklung der vormodernen Heiztechnik*, Berlin 2016, praca magisterska obroniona na Technische Universität Berlin, opieka merytoryczna prof. Dr. Marcus Popplow., s. 7–11. W północnych prowincjach Cesarstwa stosowano również tzw. ogrzewanie kompozytowe, łączące system filarkowy z kanałowym. Za najstarszy przykład systemu ogrzewania z wykorzystaniem gorącego powietrza uznaje się system kanałowy odkryty w klasztorze Reichenau, datowany na IX wiek.

⁵ Ibidem, s. 22–28, s. 35–40. Ten typ ogrzewania zidentyfikowano m.in. w geneńskiej rezydencji biskupiej (kanały datowane pomiędzy III a VI w. n.e.) i reliktach wczesnochrześcijańskiego kościoła z IV w. (bazylika St. Laurenz), wzniesionym na resztkach dawnego obozu rzymskiego Lauriacum w Austrii (Lorch k. Enns).

⁶ K. Bingenheimer, *Die Luftheizungen des Mittelalters Zur Typologie und Entwicklung eines technikgeschichtlichen Phänomens*, Hamburg 1998, s. 215–231.

⁷ Najważniejsze pozycje europejskiej literatury przedmiotu to: G. Fusch, *Über Hypokausten-Heizungen und mittelalterliche Heizungsanlagen*, Hannover 1910; D. Meyer, *Warmluftheizungen des Mittelalters. Befunde aus Lübeck im europäischen Vergleich*, Lübecker Schriften zur Archäologie

und Kulturgeschichte 16/1989; K. Bingenheimer, *Die Luftheizungen des Mittelalters. Zur Typologie und Entwicklung eines technikgeschichtlichen Phänomens*, Hamburg 1998; *Vývoj a funkce topenišť. Sborník příspěvků z I konference stavebně historického průzkumu 4.-6.06.2002 v Zahrádkách u České Lípy* Sborník 1/2003, Praha 2003. Pierwszy katalog pieców grzewczych odkrytych podczas badań opracował D. Meyer, następnie K. Bingenheimer opracował system klasyfikacji pieców grzewczych z wykorzystaniem bezpośredniej emisji gorącego powietrza tzw. *Luftheizungen*, definiując sześć typów takich systemów w zależności od budowy i sposobu działania. W obrębie literatury polskiej tematykę tę podjęli m.in. Wilhelmina Lepik-Kopaczewska *Problem centralnego ogrzewania w starożytności*, „Dawna Kultura”, 1955, t. 2, z. 4; eadem, *Uwagi o genezie i ewolucji centralnego ogrzewania w starożytności*, „Archeologia”, 1955, t. 7; C. Buško, *Średniowieczne piece typu hypocaustum na Śląsku* [w:] *Archaeologia Historica Polona*, tom 1, 1995; W. Bis, *Ze studiów nad piecami typu hypocaustum z terenu ziem Polski*. Ten zasób uzupełniają artykuły opisujące okoliczności odkrycia różnych pieców, m.in. na Wawelu (A. Kukliński, P. Stępień); w klasztorach (J. Augustyniak, E. Łużyniecka, K. Sulowska-Tuszyńska, J. Dubikajtis), na zamkach (E. Kwaśniewska, C. Buško, J. Piekalski), kamienicach (M. Chorowska, M. Dąbrowska) i inni.

⁸ B. Pospieszna, *Ogrzewanie w Zamku Malborskim w dawnych wiekach*, Muzeum Zamkowe w Malborku, Malbork 2002, s. 23, 89.

⁹ O ogrzewaniu w zamku malborskim, okolicznościach i rezultatach uruchomienia średniowiecznego systemu grzewczego, o piecu pod Wielkim Refektarzem, wzniesionym przed rokiem 1340, i nie tylko m.in.: B. Pospieszna, *Ogrzewanie w Zamku Malborskim*; eadem, *Urządzenia grzewcze w kompleksie funkcjonalnym Wielkiego Refektarza* [w:] *Wielki Refektarz na Zamku Średnim w Malborku, dzieje, wystrój, konserwacja*, Malbork 2002.

¹⁰ C. Buško, *Średniowieczne piece typu hypocaustum na Śląsku*, s. 169–173. Słuszna wydaje się opinia tego autora, że piece jednokomorowe były prymitywniejszymi typami pieców hypokaustycznych, których sprawność grzewcza była prawdopodobnie mniejsza w porównaniu do pieców dwu-

komorowych z ładunkiem kamieni. Mniejsza skuteczność tych pieców wpłynęła z kolei na ich rzadsze stosowanie i nieliczną reprezentację w obrębie odkrywanych relikwów.

¹¹ Jednokomorowy piec odkryty przez zespół w składzie C. Buško, K. Dymek, J. Piekalski na zamku we Wleniu mieścił się – według autorów – w piwnicy hypokaustycznej, tworzącej dodatkową przestrzeń akumulującą ciepło, C. Buško, *Średniowieczne piece*, s. 176; M. Chorowska, M. Krzywka, A. Pankiewicz, *Relikty zabudowy średniowiecznych kurii kanonickich w narożniku ulic Kapitulnej 4 i św. Idziego 4–6 we Wrocławiu*, Śląskie Sprawozdania Archeologiczne, t. LIV, Wrocław 2012, s. 289–292, relikty pierwszego pieca z XIII–XIV w.

¹² Piece malborskie obsługiwał palacz, który pobierał za to roczną opłatę. Księgi wymieniają także osobistego palacza wielkiego mistrza; B. Postuszna, *Wielki Refektarz*, s. 84.

¹³ A. Kukliński, *Relikty pieca typu hypocaustum odkryte na Wawelu*, Studia Waweliana, t. XV, Kraków 2013, s. 13. Zróznicowanie kubatury komór dążyło najpewniej do ograniczenia wielkości pieca przy jednoczesnym zachowaniu jego maksymalnej wydajności. Niemniej, jak uznaje B. Pospieszna, struktura pieca malborskiego nie została do dzisiaj przebadana pod tym kątem, a bryła całego urządzenia jest niewspółmiernie duża w stosunku do wielkości jego komór; eadem, *Urządzenia grzewcze*, s. 93.

¹⁴ Uruchomienie czterech pieców malborskich: pod Wielkim Refektarzem, pod izbą pisarza sądowego – ogrzewającego także Refektarz Zimowy, w przyziemiu Pałacu (urząd wielkiego skarbnika) oraz ogrzewającego sypialnię wielkiego mistrza i tzw. izbę kompanów było częścią pierwszej restauracji zamku, przeprowadzonej w latach 1817–1838. Tę bardzo ciekawą próbę uruchomienia średniowiecznego systemu grzewczego wraz z opisem parametrów materiałów i urządzeń zastosowanych w eksperymencie oraz efektami uzyskanymi podczas jego przeprowadzania przedstawiła m.in. B. Pospieszna, *Ogrzewanie w Zamku Malborskim*, s. 54–57; eadem, *Urządzenia grzewcze*, s. 81–94. Podkreślenia wymaga fakt, że zarówno same piece malborskie, jak i próby ich uruchomienia są powszechnie znane i szeroko komentowane w literaturze europejskiej (m.in. D. Meyer, K. Bingenheimer).

Streszczenie

Piece hypokaustyczne jako elementy dawnych systemów ogrzewania pomieszczeń za pomocą gorącego powietrza zostały odkryte podczas badań architektonicznych w wielu obiektach, w tym w klasztorach różnych zgromadzeń. Koncepcja techniczna takiego systemu grzewczego ma korzenie antyczne, ale od czasów starożytnych przeszła wiele technologicznych transformacji, zanim wyłonił się z niej niezależny i autonomiczny element systemu w postaci pieca. Dawne piece były integralnymi elementami struktury budynków, przebudowywanymi i dostosowywanymi do bieżących potrzeb. Jako historyczne wyposażenie klasztorów – choć przestarzałe i zbędne – podlegają ochronie konserwatorskiej na równi z ich architekturą i wystrojem artystycznym, dając świadectwo poziomu rozwoju cywilizacyjnego i kultury materialnej.

Abstract

Hypocaust furnaces as elements of old heating systems that used hot air to warm rooms were discovered in the course of architectural research in many objects, including monasteries of various orders. The technological concept of such heating systems has its roots in the antiquity, though it underwent numerous technological transformations since then, before it evolved into an independent and autonomous element of the system in the form of the heat storage furnace. Old furnaces used to be integral elements of a building's structure, remodelled and adapted to suit current requirements. As historic equipment in monasteries – even if outdated and unnecessary – they are under conservation protection on a par with architecture and artistic decor, bearing testimony to the level of civilisation development and material culture.